

**Труды Военно-космической
академии имени А.Ф. Можайского**

Научное рецензируемое издание
Выходит с 1942 года

Выпуск 663

Проблемы обеспечения
функционирования и развития
наземной инфраструктуры
комплексов систем вооружения

2018 г.

Издатель:

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение
высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны Российской Федерации

Редакционный совет

Председатель:

Начальник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского
доктор техн. наук, профессор **М.М. Пеньков**

Члены редакционного совета:

С.В. Буг – заместитель начальника Михайловской военной артиллерийской академии
по учебной и научной работе *доктор пед. наук, проф.*;

В.П. Гаенко – главный научный сотрудник НИЦ БТС 12 ЦНИИ МО РФ
доктор техн. наук, проф., заслуженный деятель науки и техники;

А.М. Гончаров – заместитель начальника Военной академии воздушно-космической обороны
имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова по учебной и научной работе *доктор воен. наук, проф.*;

М.А. Еремеев – начальник управления в/ч 74455 *доктор техн. наук, проф.*;

А.В. Кузичкин – заместитель генерального директора АО «Научно-исследовательский институт телевидения»
по информационным технологиям *доктор техн. наук, проф.*;

Б.В. Соколов – начальник лаборатории Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации
Российской академии наук *доктор техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ*;

К.Г. Ставров – начальник научно-исследовательского океанографического центра
Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института *доктор техн. наук, проф.*;

С.В. Чварков – заместитель начальника Военной академии Генерального штаба Вооруженных Сил
Российской Федерации по научной работе *доктор воен. наук, проф.*

Главный редактор:

доктор техн. наук, проф. **Ю.В. Кулешов**

Редколлегия:

председатель **Ю.В. Кулешов**, *доктор техн. наук, проф.*;

зам. председателя **И.В. Сахно**, *доктор техн. наук, проф.*;

ответственный секретарь **С.Г. Алёхин**, *кандидат техн. наук, доц.*;

Н.Ф. Аверкиев, *доктор техн. наук, проф.*; **В.Ф. Алексеев**, *доктор техн. наук, доц.*;

Т.В. Алексеев, *доктор истор. наук, доц.*; **А.П. Алёшкин**, *доктор техн. наук, проф.*;

В.Н. Арсеньев, *доктор техн. наук, проф.*; **Д.Н. Бирюков**, *доктор техн. наук, доц.*;

И.Ю. Еремеев, *доктор техн. наук, проф.*; **А.И. Замарин**, *доктор техн. наук, проф.*;

В.Н. Калинин, *доктор техн. наук, проф.*; **В.В. Клейменов**, *доктор техн. наук, проф.*;

В.В. Козлов, *доктор техн. наук, проф.*; **Н.С. Кужекин**, *кандидат филос. наук, проф.*;

В.Н. Кузьмин, *доктор воен. наук, проф.*; **Н.Б. Кунгурова**, *доктор пед. наук, доц.*;

А.Г. Ломако, *доктор техн. наук, проф.*; **Г.Н. Мальцев**, *доктор техн. наук, проф.*;

Ю.С. Мануйлов, *доктор техн. наук, проф.*; **Т.О. Мысливцев**, *доктор техн. наук*;

А.В. Паршуткин, *доктор техн. наук, проф.*; **Н.А. Репях**, *кандидат филос. наук, доц.*;

А.В. Харченко, *доктор техн. наук, доц.*; **К.Ю. Цветков**, *доктор техн. наук, проф.*;

А.В. Чарушников, *доктор воен. наук, проф.*

ISSN 2218-5429

© Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2018

Издание зарегистрировано
Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзора).
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-45867 от 20 июля 2011 г.
Издание включено в перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы
основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук (с 01 декабря 2015 г.).
Издание включено в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Ответственный за выпуск:
начальник РИО **С.В. Чернышев**
Выпускающий редактор: *А.В. Головина*
Технический редактор
и компьютерная верстка: *О.В. Филиппова*
Техническая поддержка:
А.В. Федоренко

Адрес:
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13;
тел.: 8 (812) 347-97-69;
<http://trudvka.ru>

Не допускается воспроизведение текста издания любым механическим
или электронным способом, включая информационные базы данных
и системы, без письменного разрешения издателя

Подписано к печ. 29.08.2018.
Формат печатного листа 445×300/4.
Уч.-печ. л. 64,00. Уч.-изд. л. 31,75
Тираж 50 экз. Заказ 3666/114.
Отпечатано в типографии
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА, ИСПЫТАНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

<i>Авсюкевич Д.А., Миргородский А.Н., Ниёзова С.Е.</i> Алгоритм решения задачи оптимизации энергопотребления при функционировании систем жизнеобеспечения радиотехнического центра.....	7
<i>Бакаева Л.Н., Егармин К.А.</i> Сейсмоопоры в металлокаркасных зданиях как средство сейсмоизоляции.....	12
<i>Бирюзова Е.А., Глуханов А.С.</i> Эксплуатационные исследования теплоизоляционных конструкций тепловых сетей объектов наземной космической инфраструктуры.....	17
<i>Богомолов С.И., Грушковский П.А., Лебедь Б.П., Ситков Р.А., Щельников В.Н.</i> Методика оценивания участков местности при выборе места дислокации объекта в ходе проведения рекогносцировочных изысканий.....	23
<i>Борулев А.Д., Ерофеев М.Н., Паршин С.М.</i> Методики расчета водопритока в разрушенные подземные сооружения.....	31
<i>Воронин А.Е., Кретюк Д.А., Пешехонов Н.Е.</i> Определение доверительных границ нормативных показателей надежности специальных объектов.....	36
<i>Воронин А.Е., Пешехонов Н.Е.</i> Применение генетических алгоритмов при определении наилучших наборов мероприятий для обеспечения заданного уровня надежности электроснабжения.....	42
<i>Гайворонский О.В., Картунин Д.Н.</i> Постановка задачи формирования Парето-оптимальной зависимости вероятности выполнения задачи систем диагностирования и обеспечения запасными инструментами и принадлежностями элемента системы (агрегата) от суммарной стоимости.....	49
<i>Глуханов А.С., Некрасов И.Н., Сеньченков В.И.</i> Оптимизация процесса диагностирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха специальных объектов.....	54
<i>Горин В.А., Карагодин В.В., Смирнов С.В.</i> Математическое описание переходных процессов в бесщеточном синхронном генераторе.....	58
<i>Гуков Д.В., Загуляев С.Д., Прищепа Д.Н.</i> Повышение энергоэффективности силовых трансформаторов за счет снижения магнитных потерь.....	65

<i>Гусев Н.Н., Кучеренко А.О.</i> Адаптация систем испытаний и долговременного контроля к условиям аварийных ситуаций на стартовых сооружениях наземной космической инфраструктуры	71
<i>Демидова Н.С., Сальников В.М., Шевчук А.М.</i> Формирование исходных данных для проектирования основы строительства специальных объектов (информационно-аналитический обзор)	76
<i>Дуга В.В., Мосин Д.А., Чащин И.В.</i> Анализ требований, предъявляемых к универсальным техническим комплексам подготовки к запуску малых космических аппаратов.....	80
<i>Загруддинов Ю.А., Казимиров А.В., Мачнев С.А.</i> Способ оценивания теплового воздействия на железобетонные конструкции при аварийном возгорании компонентов ракетного топлива.....	86
<i>Загруддинов Ю.А., Мачнев С.А.</i> Метод оптимизации объемно-планировочных решений специальных фортификационных сооружений на этапе эскизного проектирования.....	90
<i>Заложных С.Д., Моторин В.М., Сальников В.М.</i> Система утилизации теплоты выхлопных газов дизель-генераторных установок специальных сооружений объектов наземной космической инфраструктуры.....	95
<i>Зарин С.В., Исхаков Ш.Ш., Ковалёв Ф.Е.</i> Учет трещинообразований бетона в вибрационной диагностике пролетных железобетонных конструкций....	99
<i>Зарин С.В., Исхаков Ш.Ш., Мохнаткин А.П.</i> К вопросу о диагностировании изменения эксплуатационных параметров несущих элементов стартового сооружения ракеты-носителя «Ангара» при возможном повышении сейсмической активности в Приарктическом регионе.....	105
<i>Каменев Ю.А., Соломахин А.С., Сычёва А.М.</i> Научно-практические основы применения неавтоклавно пенобетона в военном и гражданском строительстве.....	109
<i>Карагодин В.В., Полянский К.А.</i> Методика построения системы гарантированного электроснабжения специального объекта на базе статических источников бесперебойного питания.....	115
<i>Карагодин В.В., Ревяков Б.А., Рыбаков Д.В.</i> Подход к определению надежности систем электроснабжения.....	121
<i>Карагодин В.В., Рыбаков Д.В., Рыжый Н.В.</i> Подходы к повышению энергоэффективности систем электроснабжения наземных комплексов.....	126

<i>Карасёв С.Ю., Ситков Р.А., Шевчук А.М.</i> Методика оценивания маскирующих свойств местности при проведении рекогносцировочных изысканий мест предполагаемого размещения объектов космических войск.....	132
<i>Козлов Ю.В., Непша И.М.</i> Обоснование предложений по повышению живучести наземного комплекса управления космической системы.....	139
<i>Колесник И.В., Курьяков Е.В., Павленок А.М., Фоминич Э.Н.</i> Средства защиты электрооборудования систем автономного электроснабжения от воздействий мощных электромагнитных импульсов естественного и искусственного происхождения.....	142
<i>Кофнов О.В., Шелудяков А.М.</i> Применение пакета Graphviz при разработке структурных схем технических систем.....	150
<i>Кужекин И.Н., Сурин Д.В., Толмачёв С.А.</i> Метод прогнозирования расчетного воздействия средств поражения потенциального противника на объекты инфраструктуры наземных комплексов систем вооружения.....	155
<i>Кулганов В.А., Моторин В.М., Фомичёв А.Д.</i> Динамический контроль функционального состояния оператора технических систем.....	160
<i>Кулганов В.А., Моторин В.М., Фомичёв А.Д.</i> Психофизиологические аспекты совершенствования управления техническими системами объектов наземной космической инфраструктуры.....	165
<i>Курлапов Д.В., Тюрин Е.А., Хабарков А.В.</i> Усиление фундаментных плит специальных объектов инъектированием полимерных ремонтных составов.....	170
<i>Литвинова Н.Б., Миклашевский Н.В., Петрушин И.Е.</i> Гидравлическая и биогенная нагрузки на локальные очистные сооружения от отдельных объектов водоотведения.....	176
<i>Лунис И.В., Федоренко А.В.</i> Алгоритм обеспечения живучести стационарных объектов при воздействии обычных средств поражения.....	180
<i>Мандрица Д.П.</i> Исследования фактической прочности железобетонных балок специальных сооружений после аварийных нагрузок	187
<i>Миронов А.Н., Солдатенко В.С., Солдатенко Т.Н.</i> Модель и методика нечеткого ранжирования факторов деловой репутации подрядчика при эксплуатации инфраструктуры наземных комплексов.....	192
<i>Панкин Д.А., Спирыгин В.В., Чмыхало А.И.</i> Модель разрушения металлоконструкции теплообменного аппарата с учетом сверхгарантийной эксплуатации в условиях коррозионного воздействия.....	197

<i>Пудиков В.В.</i> Система автоматического управления системами кондиционирования воздуха для первого класса нагрузок специальных объектов наземной космической инфраструктуры.....	202
<i>Пудиков В.В., Шулика С.Р.</i> Анализ существующих методов регулирования центральных систем кондиционирования воздуха	206
<i>Сватовская Л.Б., Старчуков Д.С., Шмаков Р.Б.</i> Комплексная оптимизация технологических показателей при поверхностном модифицировании высокопрочного бетона зольсодержащими составами	211
<i>Старчуков Д.С.</i> Математические модели описания физико-химических процессов поверхностного и объемного модифицирования высокопрочных бетонов зольсодержащими растворами.....	218
<i>Сурин Д.В., Шевчук А.М.</i> Концепция и принципы применения маскировки на наземных комплексах при воздействии обычных средств поражения....	225
<i>Шепель Я.Е.</i> Расчет торообразных оболочек на сейсмические воздействия...	231
Рефераты статей.....	237
Сведения об авторах.....	248
Сведения о рецензентах.....	256

Д.А. Авсюкевич,
доктор техн. наук, профессор;
А.Н. Миргородский;
С.Е. Ниёзова

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

Представлен алгоритм оптимизации энергопотребления (теплопотребления) сооружениями командного пункта единой космической системы, основанный на термоэкономическом методе, позволяющем снизить затраты на эксплуатацию сооружений. В таких затратах учитываются не только затраты на тепловую и электроэнергию, но и затраты на оборудование, материалы, обслуживание, текущий ремонт, зарплату персоналу, тарифы, зависящие от местных условий, и др. И применение данного алгоритма позволяет выдать практические рекомендации по снижению затрат на эксплуатацию путем оптимизации энергопотребления.

Ключевые слова: сооружения командного пункта, затраты на эксплуатацию, термоэкономика, алгоритм оптимизации энергопотребления, приведенные затраты, эксергия, система отопления, теплозащита.

Сложность выполняемых задач, а также требования, предъявляемые к единой космической системе (ЕКС), делают процесс совершенствования и развития космического эшелона (КЭ) системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН) крайне актуальным. Переворужение существующего командного пункта (КП) ЕКС, состоящего из однотипных сооружений радиотехнического центра (РТЦ), которые являются объектами наземной инфраструктуры, решает задачу повышения эффективности их применения по назначению лишь частично. Так, надежное функционирование вооружения обеспечивается входящими в состав сооружений КП ЕКС системами жизнеобеспечения. Однако технические решения, заложенные в эти системы более 40 лет назад, в настоящее время не соответствуют показателям по надежности, экономичности, энергопотреблению.

Так как системы жизнеобеспечения (СЖО), включающие в свой состав взаимосвязанные процессы энергообмена системы теплопотребления, системы холодоснабжения (СХС), системы вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и КВ), являются составными частями сооружений КП ЕКС, то повышение энергоэффективности функционирования СЖО при обеспечении заданного показателя надежности функционирования приводит к повышению эффективности функционирования всего КП ЕКС и к снижению затрат на содержание сооружений.

До 80% затрат на содержание сооружения приходится на теплопотребление, а доля системы отопления в теплопотреблении составляет до 78%, поэтому в качестве оптимизируемой системы рассматривается система отопления (СО), которая вместе с теплозащитой сооружения составляют единую термодинамическую систему.

Учитывая, что затраты на содержание сооружения состоят как из энергетических (электроэнергия, тепло, вода и др.), так и неэнергетических затрат (капиталовложения в оборудование и материалы, затраты на обслуживание, текущий ремонт, зарплата персоналу, тарифы, зависящие от местных условий и др.), при разработке методики оптимизации энергопотребления сооружением был использован *метод термоэкономики*, позволяющий одновременно учитывать все виды затрат на содержание сооружений [1, 3, 8].

Основной идеей метода термоэкономики является использование для оценки изменений, происходящих в энергетической системе, некоторой обобщенной термодинамической характеристики, обеспечивающей получение конечного полезного эффекта. Учитывая, что в СО

энергия может передаваться как в форме теплоты, так и в форме механической работы, в качестве обобщенной термодинамической характеристики выбрана *эксергия* [2, 4, 5].

В методе термозаконономики в качестве целевой функции рассматриваются приведенные затраты:

$$\sum_{i=1}^n Z_i(X) = E_{\text{нi}} C_i(X) + U_i(X) \rightarrow \min_{X \in D}, \quad (1)$$

где $Z_i(X)$ – суммарные приведенные затраты, руб.;

$C_i(X)$ – капиталовложения в i -й элемент, руб.;

$U_i(X)$ – эксплуатационные затраты на i -й элемент, руб.;

$E_{\text{нi}}$ – коэффициент дисконтирования;

D – множество допустимых вариантов, определяемых структурой;

X – множество варьируемых переменных, которые определяются выражением

$$U_i(X) = b_i C_i(X) + \sum_{i=1}^m S_i^{\text{эH}}(X) + S_{0i}, \quad (2)$$

где $S_i^{\text{эH}}(X)$ – затраты на энергию в i -м элементе, руб.;

S_{0i} – затраты на обслуживание, текущий ремонт i -го элемента, зарплату персоналу, руб.;

b_i – коэффициент отчислений на амортизацию и ремонт i -го элемента.

Тогда

$$\sum_{i=1}^m S_{i\text{эH}}(X) = e_i(X) W_i t_{\text{пр}}, \quad (3)$$

где e_i – подводимая эксергия i -го вида, Дж;

W_i – цена эксергии i -го вида, руб./Дж;

$t_{\text{пр}}$ – расчетное время работы системы отопления в год (за отопительный период), с.

Следовательно, неэнергетические затраты составляют

$$\sum_{i=1}^n S_i^{\text{неЭH}}(X) = E_{\text{нi}} C_i(X) + b_i C_i(X) + S_{0i}. \quad (4)$$

В пересчете на отопительный период неэнергетические затраты z_i составят:

$$z_i = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^{\text{неЭH}}(X)}{t_{\text{пр}}} = \frac{(E_{\text{нi}} + b_i) \cdot C_i(X) + S_{0i}}{t_{\text{пр}}}. \quad (5)$$

Капиталовложения в различные элементы системы отопления и теплозащиты зависят от режима работы и от величины термического сопротивления теплоизоляции (табл. 1).

Таблица 1

Зависимости капиталовложений в различные элементы СО и ТЗ

В теплообменное оборудование	В циркуляционный насос
$C_{11i}(Q_{\text{п}}, \theta_{\text{то}}, k_{\text{тоi}}) = \frac{N_{11i} + M_{11i} \cdot Q_{\text{п}}}{k_{\text{тоi}} \cdot \theta_{\text{то}}}$	$C_{12i}(\Delta T_{\text{то}}, Q_{\text{п}}) = \frac{N_{12i} + M_{12i} \cdot Q_{\text{п}}}{c_{\text{т}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot \Delta T_{\text{то}}}$
Зависимости капиталовложений в утепление стен	Зависимости капиталовложений в утепление покрытий
$C_{31i}(R_{31i}) = F_{\text{орп}} \cdot (N_{31i} + M_{31i} \cdot R_{31i})$	$C_{32i}(R_{32i}) = F_{\text{покр}} \cdot (N_{32i} + M_{32i} \cdot R_{32i})$
Зависимости капиталовложений в утепление окон	Зависимости капиталовложений в отопительные приборы
$C_{33i}(R_{33i}) = F_{\text{ок}} \cdot (N_{33i} + M_{33i} \cdot R_{33i})$	$C_{21i}(Q_{\text{п}}, \theta_{\text{оп}}, k_{\text{опi}}) = \frac{N_{21i} + M_{21i} \cdot Q_{\text{п}}}{k_{\text{опi}} \cdot \theta_{\text{оп}}}$

В качестве оптимизируемых переменных используются такие, которые обеспечивают сравнительно простое определение температурных условий функционирования СО [3].

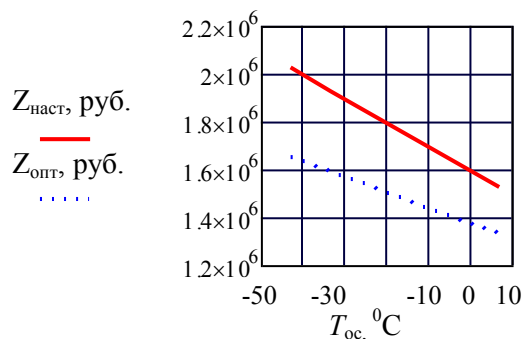
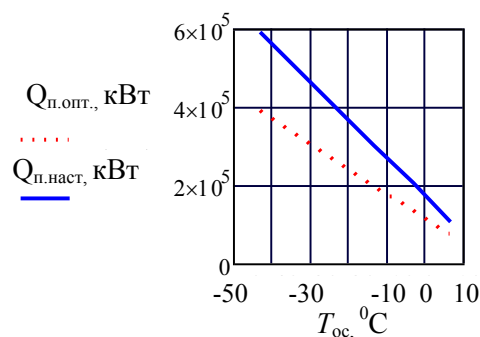
Получение аналитических зависимостей для энергетических и неэнергетических затрат позволяет оптимизировать выражение (1). Данная задача не относится к классу одноэкстремальных и не может быть решена путем дифференцирования выражения (1) по оптимизируемым переменным. Среди методов нелинейного программирования был обоснован выбор метода сканирования, на основе которого был разработан алгоритм оптимизации.

Полученные в результате оптимизации термических сопротивлений ограждений значения приведенных затрат и энергопотребления приведены в табл. 2 и на рис. 1, 2.

Таблица 2

Результаты оптимизации термических сопротивлений теплоизоляции

Перечень мероприятий	Стоимость выполнения мероприятия C , руб.	Уменьшение приведенных затрат ΔZ , руб. (%)	Уменьшение Теплопотребления, гДж/год (%)
Теплоизоляция стен	$4,785 \cdot 10^5$	$1,892 \cdot 10^5$ (24)	636,9 (18)
Теплоизоляция покрытия	$3,538 \cdot 10^5$	$1,349 \cdot 10^5$ (20)	82,73 (2,3)
Замена окон	$6,691 \cdot 10^5$	$9,25 \cdot 10^4$ (15)	229,8 (6)
Сумма мероприятий	$1,385 \cdot 10^6$	$1,652 \cdot 10^5$ (21)	835 (32)

Рис. 1. Зависимость Z от T_{oc} до и после оптимизацииРис. 2. Зависимость теплопотерь от T_{oc} до и после оптимизации

Полученные в результате оптимизации режимов работы СО значения приведенных затрат и энергопотребления приведены в табл. 3. Алгоритм оптимизации представлен на рис.3.

Таблица 3

Результаты оптимизации режимов работы СО

Перечень мероприятий	Стоимость выполнения мероприятия C , руб.	Уменьшение приведенных затрат ΔZ , руб.	Уменьшение теплопотребления, гДж/год (%)
Замена оборудования ИТП	$4,136 \cdot 10^5$	$2,654 \cdot 10^5$	35 (2,7)
Установка ТРВ на ОП	$1,435 \cdot 10^5$	$7,634 \cdot 10^4$	19,6 (1,6)
Замена насоса	$1,895 \cdot 10^4$	$2,988 \cdot 10^5$	8,7 (1)
Сумма мероприятий	$5,76 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^5$	38 (3)

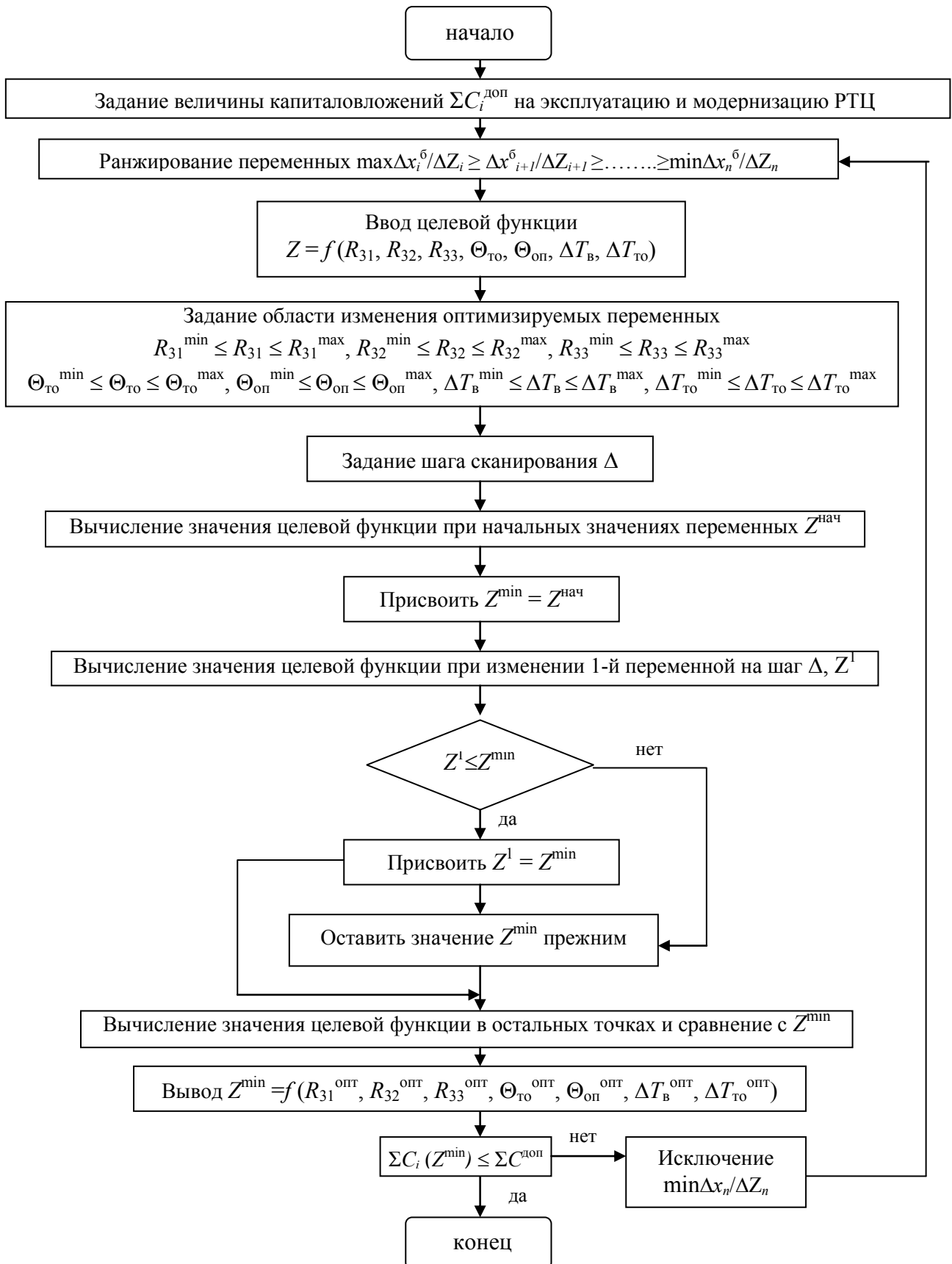


Рис. 3. Алгоритм оптимизации функции приведенных затрат Z методом сканирования

Полученные аналитические зависимости для приведенных затрат и разработанный алгоритм оптимизации функции приведенных затрат легли в основу созданной методики оптимизации энергопотребления при функционировании систем жизнеобеспечения радиотехнического центра путем снижения затрат на содержание сооружения. Экономическая эффективность внедрения разработанной методики оптимизации энергопотребления оценивается в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и осуществляется путем сравнения приведенных затрат на содержание сооружения при внедрении методики с затратами до внедрения методики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный в ходе исследований алгоритм стал основой методики оптимизации энергопотребления, которая включает в себя систему процедур и приемов по реализации процесса определения значений параметров функционирования, соответствующих минимальным приведенным затратам. Методика предполагает решение ряда задач, вытекающих из общих принципов построения термoeкономической модели и особенностей функционирования СО и ТЗ. Исходя из содержания задачи формируется содержание блоков методики.

Блок-схема разработанной методики отражает все этапы подготовки исходных данных, их обработки, построения математического обеспечения, выбора и использования программного обеспечения, получения конечных результатов, а также взаимосвязь этих этапов между собой.

Разработанный алгоритм позволяет определять значения как параметров функционирования СО, так и параметров ТЗ, соответствующие оптимальному энергопотреблению при эксплуатации сооружений радиотехнического центра, а также позволяет соответствующим образом организовать техническую эксплуатацию СО и управление ею.

Список используемых источников

1. *Авсюкевич Д.А.* Термoeкономическая модель технических систем сооружений наземных комплексов // Сб. рефератов деп. рукописей. – М.: ЦВНИ МО РФ, 1994. – Вып. № 27, сер. Б, инв. № Б2267.
2. *Бродянский В., Фратшер В., Михалек К.* Эксергетический метод и его приложения / под. ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
3. *Оносковский В.В.* Моделирование и оптимизация холодильных установок: учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленинградского гос. ун-та, 1990.
4. *Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С.* Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок: учеб. пособие. – СПб.: ГТУРП, 2013. – 93 с.
5. *Шилкопер С.М., Жадин С.И.* Эксергетический анализ систем обеспечения микроклимата и энергосбережения // Строительство и архитектура. – 1982. – Сер. 9, вып. 4. – С. 18–27.
6. *Андрющенко А.И.* Методика системных термодинамических исследований в теплоэнергетике. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 1996. – 72 с.
7. *Новгородский Е.Е.* Энергосберегающие установки теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие. – Ростов-на-Дону: РИСИ, 1991. – 124 с.
8. Термoeкономическая оптимизация системы теплоснабжения и теплозащиты сооружения вычислительного центра / Д.А. Авсюкевич, С.Н. Буяков, А.Н. Миргородский и др. // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. 649. – С. 6–15.

Л.Н. Бакаева,
студентка
СПБПУ Петра Великого;
К.А. Егармин;
ГИП КБ «ВиПС»

СЕЙСМООПОРЫ В МЕТАЛЛОКАРКАСНЫХ ЗДАНИЯХ КАК СРЕДСТВО СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ

В статье анализируются динамические характеристики, полученные от двух расчетных моделей: с сейсмоизоляцией и без сейсмоизоляции. В качестве активной сейсмоизоляции выбрано применение резинометаллических опор как один из наиболее перспективных и современных способов. Расчеты производятся на конечно-элементной схеме, замоделированной в программах SCAD Office. Модель представляет собой металлокаркасное здание, расположенное в г. Сочи. Сравниваются характеристики обеих расчетных моделей: ускорение, периоды и частоты колебаний, продольные перемещения. Приводится сравнительный анализ и делается вывод об эффективности использования сейсмоизолирующих резинометаллических опор.

Ключевые слова: сейсмогашение, сейсмоопоры, моделирование SCAD.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы растет популярность южного города Сочи, стремительно развивается инфраструктура, и все более остро встает вопрос рационального использования городской территории и обеспечения безопасности проживания людей. Территория города-курорта располагается в зоне сейсмической активности до 9 баллов. Такая сейсмичность достигается крайне редко, но применение средств сейсмозащиты и сейсмоизоляции зданий и сооружений позволяет уменьшить последствия разрушительной силы землетрясения [1–5].

Одним из наиболее эффективных и доступных способов сейсмоизоляции является применение резинометаллических опор (РМО), конструкция которых представлена на рис. 1. Данный вид сейсмоизоляции уже использовался в России и за рубежом в таких объектах, как Российский международный олимпийский университет в г. Сочи, комплекс высотных зданий «Грозный-сити» в г. Грозный, гостиница «Hayat» в г. Сочи [6].

Опора представляет собой стальные пластины, соединенные металлическим сердечником с прослойкой из слоев резины, чередующиеся со слоями металла. Суть данного метода сейсмоизоляции заключается в изоляции несущих конструкций здания от фундамента, испытывающего значительные колебания во время землетрясения, в результате чего снижается ответная реакция защищаемого объекта [7].

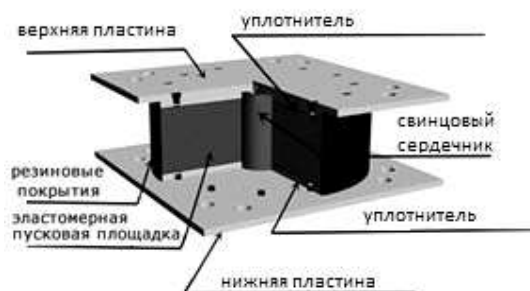


Рис. 1. Резинометаллическая опора

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эффективность работы резинометаллических опор (см. рис. 1) изучалась для здания из металлокаркаса, имеющего три подземных этажа и 11 надземных. Здание представляет собой рамно-связевую конструктивную схему с ядром жесткости из железобетона, с двумя лестничными клетками и лифтовыми шахтами [3]. Высота этажа 3,5 м, общая высота от дневной поверхности составляет 38,5 м. Габариты здания в плане 35 x 55 м. Фундамент – свайный с плитным ростверком.

Оценка эффективности работы сейсмоизолирующих опор велась методом численного эксперимента с применением программного комплекса Structure CAD Soft. Расчетная модель (рис. 2) была сформирована в препроцессоре ФОРУМ, где были смоделированы основные конструктивные элементы (стержни и пластины). Затем модель была импортирована в среду SCAD++, где были заданы условия закрепления с грунтом, сопряжения узлов, собраны нагрузки, в том числе сейсмические на 9 баллов.

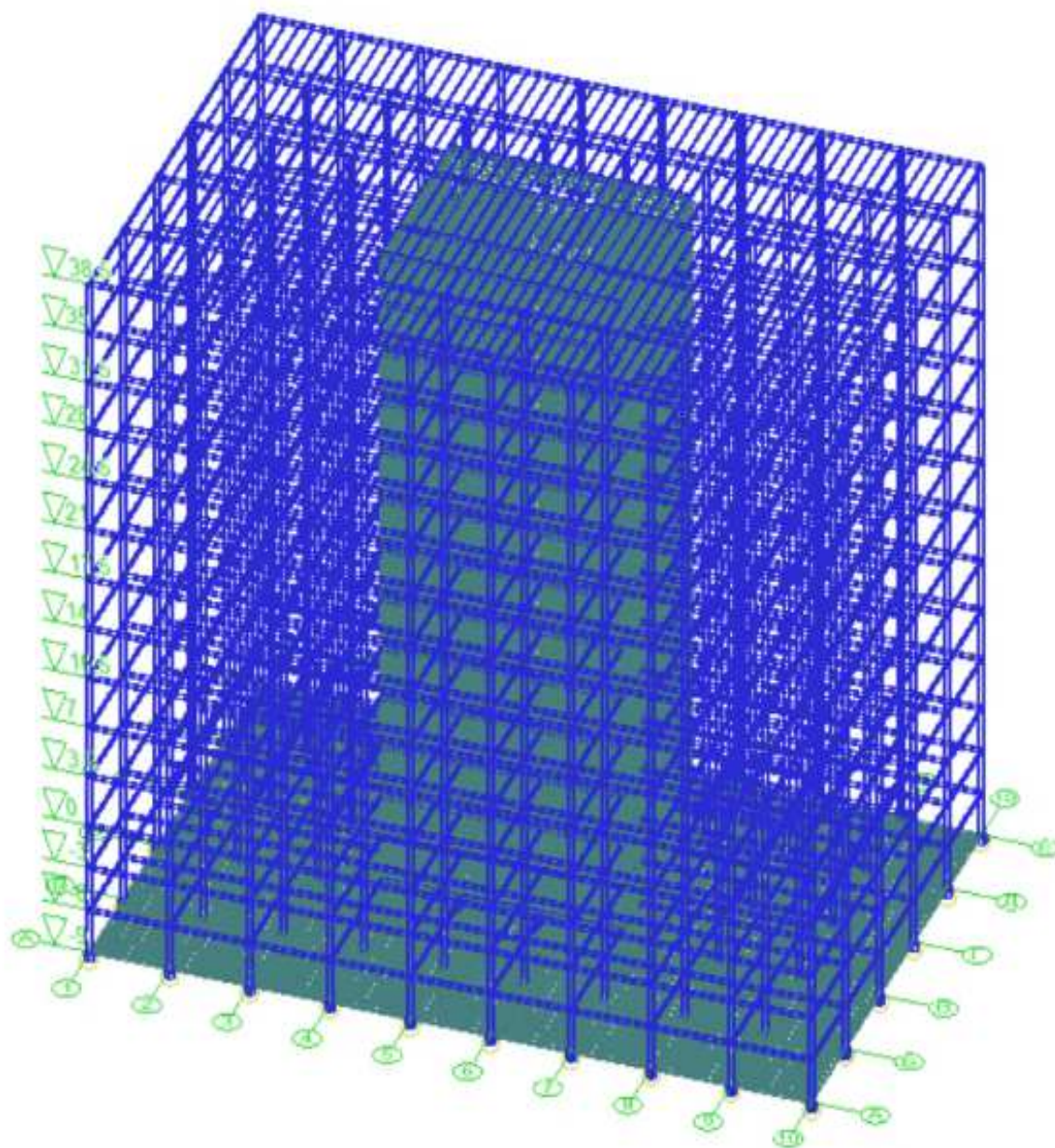


Рис. 2. Расчетная конечно-элементная модель

После автоматического расчета конструктивной схемы и получения результатов в подземную часть строения был интегрирован горизонтальный сейсмоизолирующий шов. Фундамент разделился на две части. Одна часть (плитный ростверк) опирается непосредственно на грунт через сваи, а другая – служит фундаментной плитой. Между ними располагается система сейсмоизолирующих опор GZY1000V5A в количестве 80 штук. Производителем опор является китайская фирма *Shantou Vibro Tech Ltd*.

Опоры моделировались в программе SCAD специальным элементом 55 «Упругая связь» (рис. 3) с горизонтальной жесткостью $K_u = 2331,295 \text{ Т/м}$ [8]. Расчетными являются именно горизонтальные колебания, так как вертикальные имеют место лишь при непосредственном расположении здания над эпицентром землетрясения. На рис. 4 представлена схема расположения всех РМО.

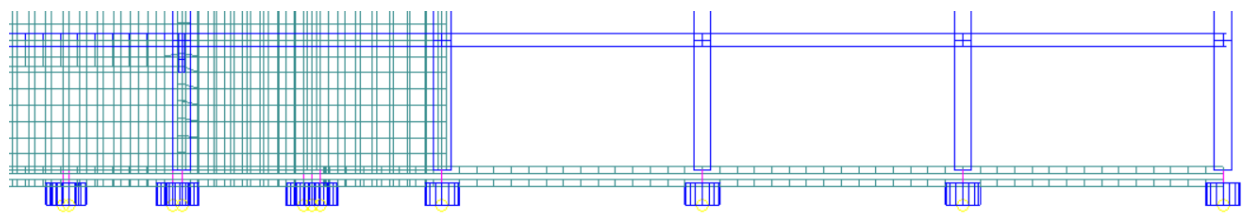


Рис. 3. Схема интегрирования РМО в модель

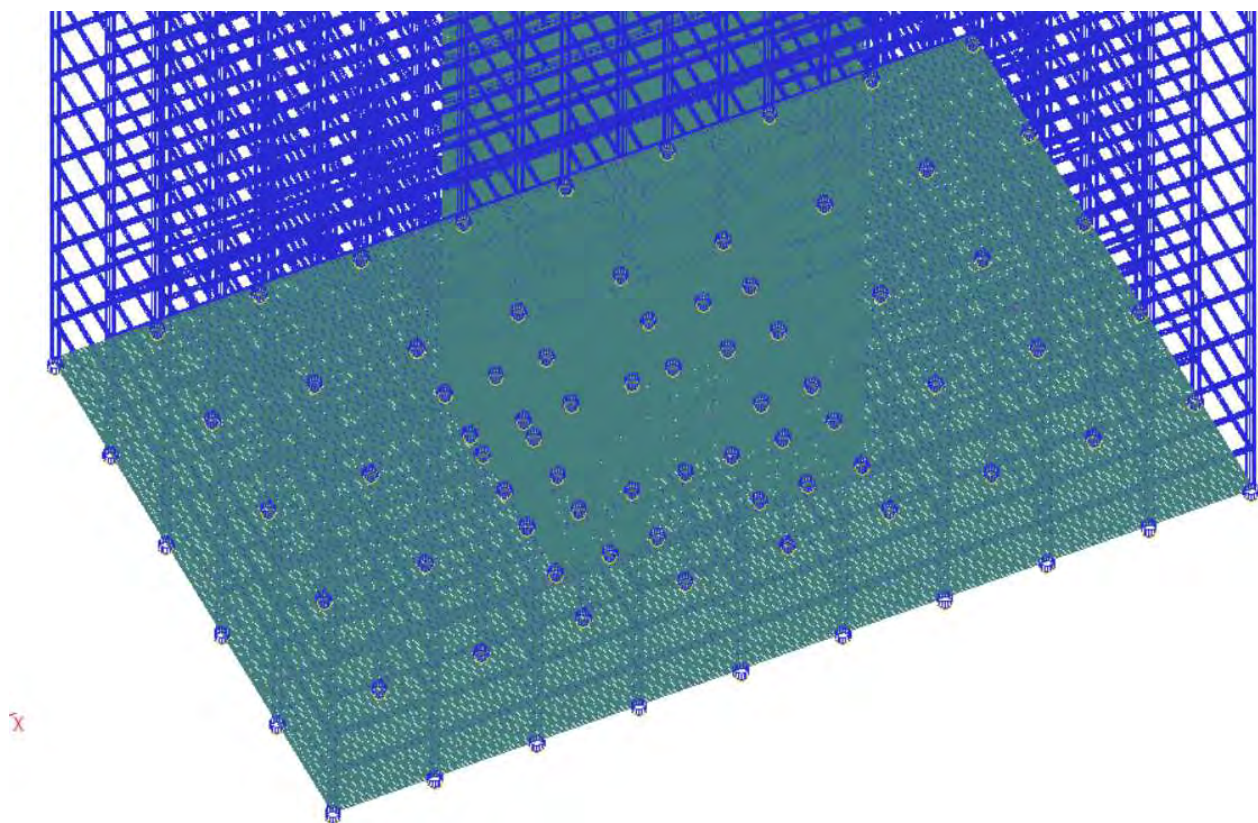


Рис. 4. Схема расположения всех РМО

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Сравнение результатов двух расчетных схем показало изменение ответной реакции металлокаркасной схемы здания после интегрирования системы сейсмоизолирующих опор. На рис. 5 представлены графики сравнения частот и периодов колебаний, а также значений

ускорений. Из графиков видно, что при применении в конструктивной схеме здания РМО снижаются амплитудно-частотные характеристики здания. Поэтому основные несущие конструкции испытывают меньшие перемещения, а следовательно, и меньшие напряжения.

График 1

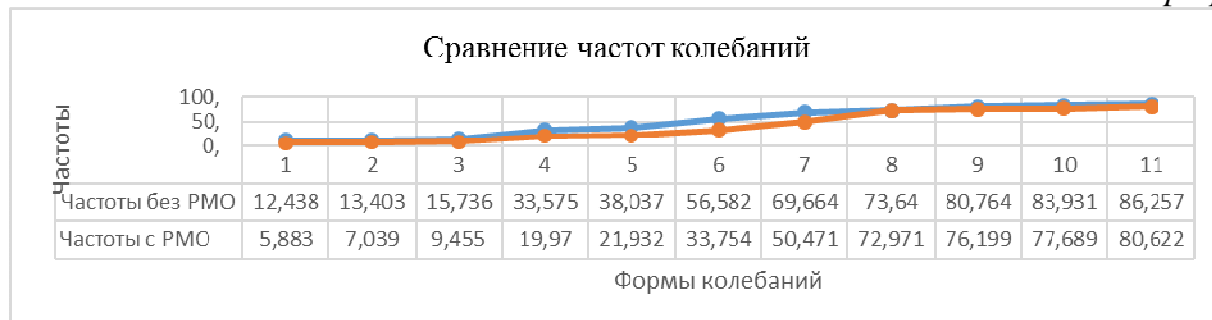


График 2

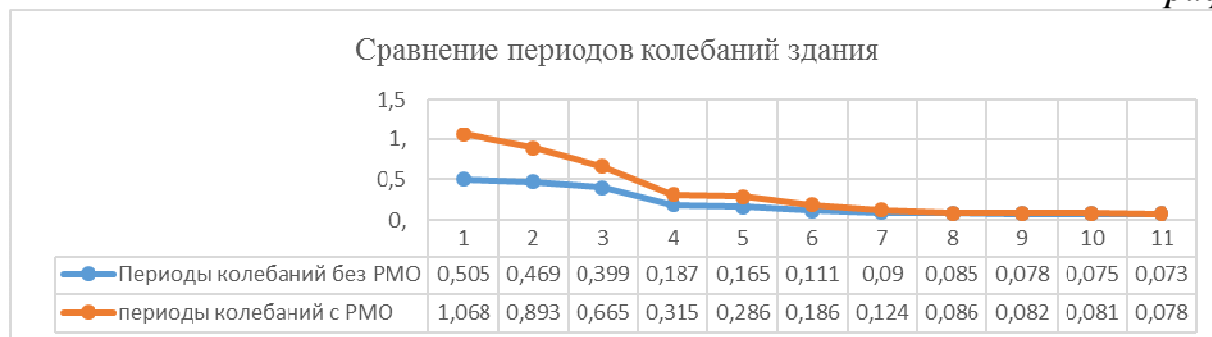


График 3

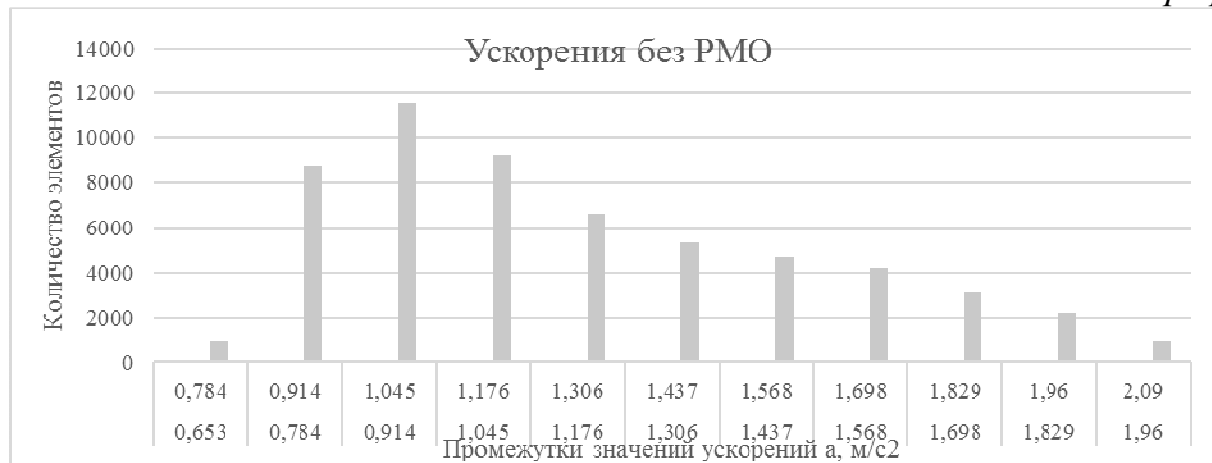


График 4

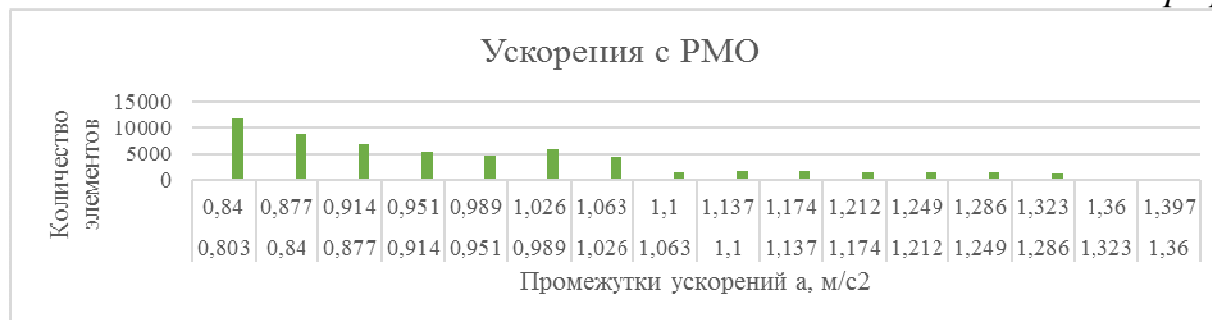


Рис. 5. Графики сравнения амплитудно-частотных характеристик для зданий с применением РМО и без применения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальные перемещения от комбинации загрузки с сейсмической нагрузкой увеличились от 15,9 до 17,8 мм.

В результате исследования можно сделать вывод, что при применении резинометаллических сейсмоопор период первой формы колебаний увеличивается на 52%, ближе к восьмой форме колебаний изменение периодов сглаживается и становится незначительным. Частота колебаний в обратно пропорциональной зависимости уменьшается на 52% на первой форме колебаний и уменьшается незначительно после восьмой. Ускорения для максимального количества элементов уменьшаются в среднем на 25%, а максимальное ускорение снижается на 33%.

Таким образом, в результате исследования получены численные данные, позволяющие утверждать о положительном эффекте влияния сейсмоизоляции зданий.

Список используемых источников

1. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Напряженно-деформированное состояние элементов каркасных сооружений из тонкостенных стержней // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 7(12). – С. 79–123.
2. Ватин Н.И., Рыбаков В.А. Расчет металлоконструкций: седьмая степень свободы // Стройпрофиль. – 2007. – № 2. – С. 60.
3. Рыбаков В.А. Применение полусдвиговой теории В.И. Сливкера для анализа напряженно-деформированного состояния систем тонкостенных стержней: дисс. канд. техн. наук: 01.02.04. – СПб., 2012. – 184 с.
4. Анализ работы рамных узлов одноэтажного стального каркаса в условиях высокой сейсмичности с использованием ПК «SCAD» / К.А. Егармин, Г.Ю. Сысоев, Н.И. Ватин, М.В. Врублевская // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 2. – С. 34–44.
5. Нуриева Д.М. Расчет каркасных зданий на сейсмические воздействия: методические указания. – Казанский гос. архитектурно-строительный ун-т, 2010. – 66 с.
6. Веревкин Д.Г., Мосин Н.В., Чубаков М.Ж. Опыт применения программного комплекса SCAD Office для анализа системы сейсмозащиты здания Республиканского национального театра драмы в Горно-Алтайске // CADMASTER. – 2003. – С. 145–151.
7. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. – М.: Изд-во РАН, 1998. – 249 с.
8. Обоснование и выбор параметров резинометаллических сейсмоопор / В.И. Дырда, Н.И. Лисица, Н.Г. Марьенков и др. // Геотехническая механика. – 2009. – № 84. – С. 17–23.

Е.А. Бирюзова,
кандидат техн. наук, доцент;
А.С. Глуханов,
кандидат техн. наук, доцент

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассмотрены и обоснованы методы проведения эксплуатационных исследований теплоизоляционных конструкций тепловых сетей, находящихся в эксплуатации. Проанализированы мероприятия по повышению энергоэффективности тепловых сетей на основе результатов проведенных исследований. Рассмотрены тепло-технические характеристики приведенных материалов, и выполнен сравнительный анализ.

Ключевые слова: трубопроводы тепловых сетей, тепловая изоляция, эксплуатационные исследования, повышение энергоэффективности, коэффициент теплопроводности.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость проведения тепловых испытаний, включающих в себя эксплуатационные исследования теплоизоляционных конструкций (ТИК) тепловых сетей (ТС) с целью повышения их энергоэффективности, обусловлена требованиями федерального закона РФ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» (от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ) [1], правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок [2], а также рядом других нормативно-технических документов и соответствующей методической литературы [3, 4].

В настоящее время задачи энергосбережения и повышения энергоэффективности тепловых сетей являются особенно актуальными. Решение этих задач с минимальными капиталовложениями и применением современных отечественных материалов отвечает требованиям Государственной программы по импортозамещению.

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

С 2011–2012 годов и до 1 апреля 2017 года эксплуатация теплового хозяйства и тепловых сетей Министерства обороны Российской Федерации осуществлялась специализированными организациями (ОАО «РЭУ», АО «Нордэнерго», АО «ГУЖКХ») с минимальными капиталовложениями. Комплекс мероприятий годового технического обслуживания в полном объеме не выполнялся, материальные средства на его проведение не выделялись. Закупались материалы и оборудование только для устранения аварийных ситуаций, влияющих на энергобезопасность военных объектов.

На ТС, как правило, проводились наружная чистка поверхностей и смазка штоков запорно-регулирующей арматуры. Чистка внутренних поверхностей и замена участков, подверженных коррозии, не производились. Также не проводилась промывка систем отопления зданий и сооружений, что привело к засорению трубопроводов тепловых сетей.

При ремонте участков ТС восстановление теплоизоляционного слоя выполнялось в ограниченных объемах. Тепловая изоляция (ТИ) на многих участках тепловых сетей находится в неудовлетворительном состоянии (рис.1), что ведет к возрастанию потерь тепловой энергии.

Для повышения энергоэффективности ТС согласно требованиям [2] эксплуатационные исследования теплоизоляционных конструкций тепловых сетей необходимо проводить с периодичностью раз в пять лет.



Рис. 1. Разрушение тепловой изоляции на трубопроводах тепловой сети

В задачи исследований входят:

- визуальное исследование целостности покровного слоя ТИК (при наличии такой возможности, например, при надземной или при подвальной прокладке тепловых сетей);
- инструментальный контроль температуры на поверхности ТК ТС (разрешается применение современных тепломеров – оптических пирометров и тепловизоров);
- определение потерь тепла трубопроводами ТС;
- выводы о состоянии и качестве ТИК.

Наиболее часто встречающимися недостатками при проведении исследований являются нарушение требований по выбору места проведения инструментальных замеров и несоблюдение последовательности проведения исследований.

Для инструментальных исследований выбирается участок ТС протяженностью не менее 2 м, на котором не должно быть фланцевых соединений, запорной арматуры, компенсаторов, отводов. Поверхность ТК должна быть ровной без повреждений и трещин. При наличии металлического кожуха на поверхности теплоизоляционной конструкции необходимо до проведения исследований покрыть поверхность бумагой на длину около 3 м, либо окрасить меловой побелкой или известковым молоком, с целью приближения условий теплоотдачи к условиям градуировки тепломеров, большинство из которых имеет фиксированный коэффициент излучения, либо использовать приборы с возможностью внесения погрешностей на величину коэффициента излучения исследуемого объекта.

Для проведения исследований температуры на стенке трубопровода под слоем ТИ необходимо использовать термодпары, для установки которых в изоляционном слое пробиваются отверстия размером 50 × 200 мм, которые затем закрываются.

Конструкции ТИ трубопроводов и оборудования должны отвечать современным требованиям энергоэффективности, эксплуатационной надежности и долговечности, которые приведены в работах [4, 5].

Рассмотрим наиболее часто применяемые современные теплоизоляционные материалы, в теплоснабжении на примере ТС с температурным графиком 150/70°C площадки № 41 1-го Государственного испытательного космодрома Министерства обороны Российской Федерации на основании проведенных эксплуатационных исследований (участки 1–5), выполним расчет потерь тепловой энергии. Тепловые сети площадки № 41 имеют общую протяженность 7102 м. Материал – сталь. Схема тепловых сетей – радиальная, двухтрубная, закрытая с зависимым присоединением абонентов. Прокладка трубопроводов – надземная на опорах. Компенсация температурных удлинений осуществляется П-образными компенсаторами частично на углах поворота теплотрассы.

Теплоизоляционные материалы следующие:

- 1) маты из минеральной ваты на синтетическом связующем производстве завода «Минвата» марки 200 [8];
- 2) пенополиуретан ППУ-331/3 (заливочный);
- 3) изделия из пенопласта ФРП-1 и резопена, группы 100 [9].

При отсутствии точных данных о количестве опор, компенсаторов, фланцев и арматуры потери тепла рассчитываются по формуле [9, 10]

$$Q = Q_{\text{л}} + Q_{\text{м}} = q \cdot l \cdot (1 + \beta_1) \text{ [Вт]}, \quad (1)$$

где q – линейная плотность теплового потока через теплоизоляцию, Вт/м;

l – длина участка трассы, м;

β_1 – поправочный коэффициент к линейной длине трубопровода, учитывающий эквивалентную длину изолированных элементов. Для каналов и тоннелей принимается равным 1,2; для надземной прокладки – 1,25.

Линейная плотность теплового потока для цилиндрической стенки определяется по формуле [9, 10]

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\ln \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{и}}}} \text{ [Вт/м]}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, Вт/(м·°С);

$t_{\text{в}}$ – температура внутренней поверхности изолируемого объекта, °С;

$t_{\text{н}}$ – температура наружной поверхности изоляции, °С;

$d_{\text{и}}$ – диаметр изолированного трубопровода, м;

$d_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубопровода, м.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет тепловых потерь изолированными трубопроводами

Параметр	Подающий трубопровод				
	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4	Участок 5
маты из минеральной ваты на синтетическом связующем марки 200					
$d_{\text{н}}$, м	0,530	0,426	0,273	0,159	0,133
$d_{\text{и}}$, м	0,698	0,602	0,421	0,280	0,253
q , Вт/м	37,0	29,5	23,5	18,0	15,9
Q , Вт	26031,8	15581,2	7769,9	3959,2	3494,5
Обратный трубопровод					
$d_{\text{н}}$, м	0,530	0,426	0,273	0,159	0,133
$d_{\text{и}}$, м	0,674	0,579	0,399	0,262	0,234
q , Вт/м	8,0	6,2	5,0	3,8	3,4
Q , Вт	5610,1	3288,1	1661,2	842,8	746,8
пенополиуретан ППУ 331/3 (заливочный)					
Подающий трубопровод					
$d_{\text{н}}$, м	0,530	0,426	0,273	0,159	0,133
$d_{\text{и}}$, м	0,618	0,516	0,348	0,218	0,190
q , Вт/м	36,8	29,4	23,4	17,8	15,8
Q , Вт	25940,4	15528,8	7716,1	3925,6	3465,6

Окончание табл. 1

Параметр	Подающий трубопровод				
	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4	Участок 5
Обратный трубопровод					
$d_{н, м}$	0,530	0,426	0,273	0,159	0,133
$d_{в, м}$	0,612	0,512	0,343	0,215	0,187
$q, Вт/м$	7,9	6,2	4,9	3,7	3,3
$Q, Вт$	5554,8	3259,1	1629,9	824,3	731,3
изделия из пенопласта ФПП-1 и резопена группы 100					
Подающий трубопровод					
$d_{н, м}$	0,530	0,426	0,273	0,159	0,133
$d_{в, м}$	0,669	0,571	0,394	0,257	0,229
$q, Вт/м$	37,0	29,5	23,5	17,9	15,8
$Q, Вт$	26077,7	15581,2	7756,4	3945,7	3482,9
Обратный трубопровод					
$d_{н, м}$	0,530	0,426	0,273	0,159	0,133
$d_{в, м}$	0,647	0,551	0,376	0,242	0,214
$q, Вт/м$	8,0	6,2	5,0	3,8	3,4
$Q, Вт$	5638,2	3288,1	1653,2	835,3	740,5

По результатам расчетов были построены гистограммы для наглядного определения наиболее эффективного теплоизоляционного материала. На рис. 2 представлен сравнительный анализ расчетных величин толщины тепловой изоляции, полученных согласно методике [5] для подающего и обратного трубопроводов.

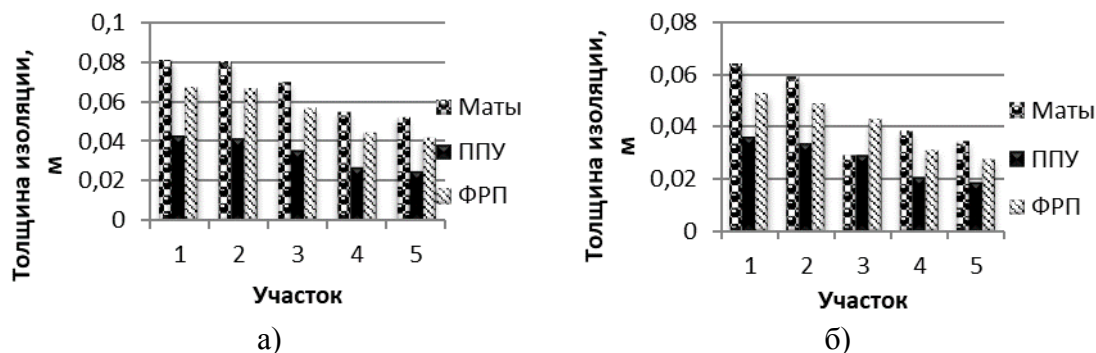


Рис. 2. Гистограммы величин толщины тепловой изоляции:
а – подающий трубопровод; б – обратный трубопровод

На рис. 3 показаны гистограммы тепловых потерь трубопроводами ТС при применении сравниваемых теплоизоляционных материалов.

Результаты проведенного технико-экономического анализа рассматриваемых ТИМ показывают неоспоримое преимущество изделий из пенопласта ФПП-1 и резопена группы 100 (рис. 4), в то время как стоимость ТИМ из минеральной ваты на синтетическом связующем и ППУ приблизительно одинаковая и находится на последнем месте. Однако изделиями из пенопласта ФПП-1 и резопена изолированы находящиеся в эксплуатации трубопроводы, а в современных системах теплоснабжения при их проектировании и строительстве не применяются из-за низких теплотехнических характеристик, не отвечающих требованиям [4, 5].

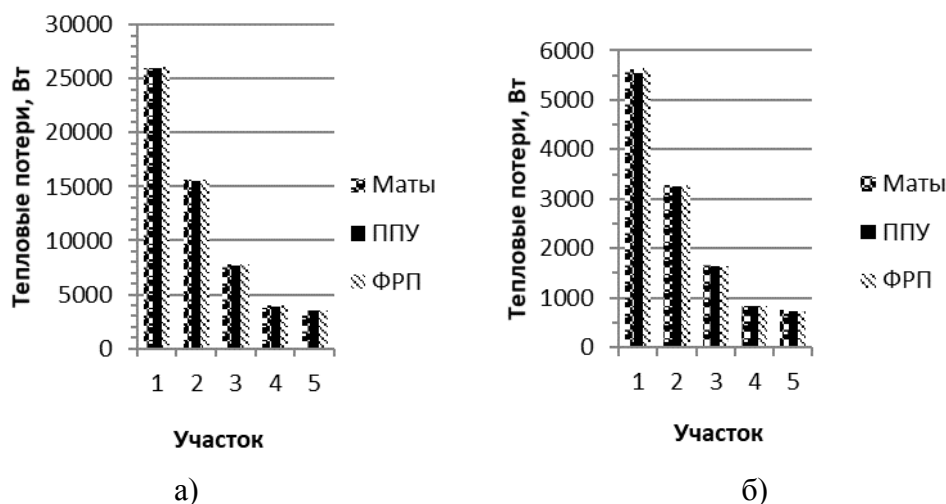


Рис. 3. Гистограммы величин тепловых потерь трубопроводами: а – подающий трубопровод; б – обратный трубопровод

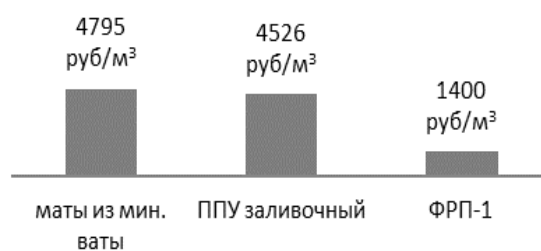


Рис. 4. Гистограмма стоимости ТИМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из результатов полученных исследований, можно сделать вывод о том, что наименьшая величина толщины ТИ и потерь теплоты соответствует материалу с меньшей величиной коэффициента теплопроводности, т.е. такому материалу, как пенополиуретан. Этот материал стал широко применяться отечественными производителями при изготовлении предизолированных трубопроводных систем [6].

Своевременное и качественное выполнение исследования в период эксплуатации дает возможность оценить эффективность применяемых теплоизоляционных материалов и разработать мероприятия по повышению энергоэффективности тепловых сетей [7], к которым относятся: своевременная модернизация тепловой защиты ТС, в строгом соответствии с требованиями нормативной литературы [4, 5]; неотложные мероприятия по ремонту и восстановлению ТИ; постоянный контроль состояния покрытия и температуры на его поверхности.

Список используемых источников

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон

Российской Федерации от 23.11.2009 № 261-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2009. – № 48. – Ст. 5711.

2. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок. – М.: Министерство энергетики Российской Федерации, 2012. – 112 с.

3. *Бирюзова Е.А., Пуцина Э.А., Шмигирилов В.А.* Эксплуатация тепловых энергоустановок: учеб. пособие / СПбГАСУ, ЦОТПБСППО. – СПб.: изд-во «ООО «Топпринт», 2015. – 258 с.

4. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012. – 74 с.

5. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: Минрегион России, 2012. – 56 с.

6. *Бирюзова Е.А., Глуханов А.С., Кобелев Н.С.* Применение современных трубопроводных систем при проектировании и реконструкции тепловых сетей // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер. Техника и технологии. – 2012. – №2, ч.2. – С. 63–68. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20958372> (дата обращения: 04.04.2018).

7. *Бирюзова Е.А.* Повышение энергоэффективности тепловых сетей за счет применения современных теплоизоляционных материалов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1 (15). – С. 62–66. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18778211> (дата обращения: 04.04.2018).

8. ГОСТ 21880-2011. Маты из минеральной ваты прошивные теплоизоляционные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 10 с.

9. ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. – М.: ИПК «Изд-во стандартов», 1996. – 38 с.

10. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – М.: ИПК «Изд-во стандартов», 2000. – 13 с.

С.И. Богомолов,
кандидат техн. наук;
П.А. Грушковский,
кандидат техн. наук;
Б.П. Лебедь;
Р.А. Ситков,
кандидат техн. наук;
В.Н. Щельников,
кандидат техн. наук

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ УЧАСТКОВ МЕСТНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ МЕСТА ДИСЛОКАЦИИ ОБЪЕКТА В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Рассматриваются вопросы всесторонней оценки качества земельных участков при проведении рекогносцировочных изысканий. Представлена процедура выбора земельного участка для строительства объекта космических войск с использованием квалиметрического подхода. Предложена методика оценивания земельных участков при проведении рекогносцировочных изысканий. Разработан алгоритм определения интегрального качества участка, и предложена методика определения коэффициента эффективности инвестиций.

Ключевые слова: рекогносцировочные изыскания, земельный участок, качество, квалиметрия, дислокация объекта, эффективность инвестиций.

Задачей рекогносцировочных изысканий (РИ) является выбор земельного участка (ЗУ) для строительства объекта космических войск (КВ), оптимального с точки зрения его соответствия техническим и экономическим требованиям на строительство объекта.

Сложившийся к настоящему времени подход к проведению изысканий и процедура выбора участка под строительство объекта имеют ряд недостатков. Подробно эти недостатки рассмотрены в работе [1], основные из них заключаются в отсутствии:

- 1) формальных процедур оценивания соответствия участков предъявляемым требованиям;
- 2) методики перехода от частных оценок участков по отдельным показателям к обобщенной оценке участка в целом;
- 3) методики оценивания затрат на строительство объекта на стадии проведения РИ.

В результате анализа данных недостатков возникла необходимость разработки методических материалов по сравнительному оцениванию пригодности участков для размещения объекта, а также для приближенной оценки затрат на его строительство.

Содержательно задача выбора участка под строительство объекта сводится к определению качества рассматриваемых в ходе проведения РИ участков и их ранжированию на основе проведенного оценивания. По своему характеру такая задача является квалиметрической, поэтому при ее решении необходимо руководствоваться методами, разработанными в квалиметрии.

Введем ряд определений.

Качество участка – свойства земельного участка и прилегающей местности, которые тем или иным образом влияют на его пригодность к размещению объекта.

Затраты – расходы, зависящие от свойств земельного участка и (или) прилегающей территории, которые тем или иным образом влияют на стоимость объекта

Ограничения – свойства участка местности и прилегающей территории геофизического, климатического, правового, социального, политического, экологического или иного характера, делающие невозможным (чрезвычайно дорогим или нежелательным по иным причинам) размещение на нем объекта.

Интегральное качество участка – свойство участка, характеризующее совокупность его качеств, затрат и ограничений. Структурная схема интегрального качества участка представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема интегрального качества участка

Каждый из показателей интегрального качества участка в приведенной укрупненной схеме, в свою очередь, разворачивается на множество составляющих его групповых и единичных показателей. Полностью развернутая структура показателей называется деревом свойств, или деревом показателей качества (ДПК) участка. Пример разворачивания ДПК для показателя качества (ПК) «Затраты» представлен на рис. 2.

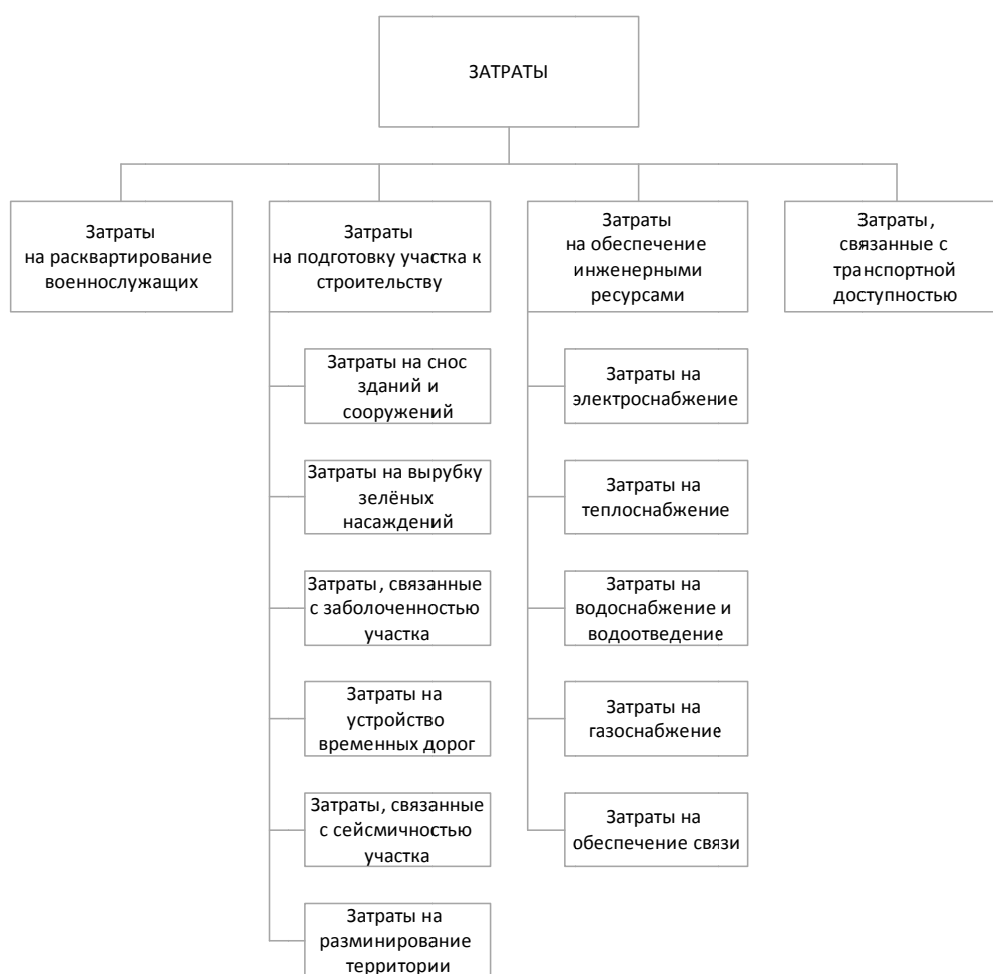


Рис. 2. Структурная схема показателя качества «Затраты»

Прежде чем переходить к описанию методики отметим, что необходимо различать между собой проведение РИ в целом и более узкую задачу – сравнительное оценивание участков.

Рекогносцировочные изыскания проводятся в три этапа: подготовительный, основной и заключительный. Сравнительное оценивание участков является составной частью проведения РИ и выполняется в ходе подготовительного и основного этапов. Оценивание осуществляется путем упрощенного квалиметрического анализа участков, укрупненный алгоритм которого представлен на рис. 3.

Алгоритм квалиметрического анализа участков состоит в следующем.

1. Разработка документов.

После принятия решения на проведение РИ разрабатывается оперативно-тактическое обоснование (ОТО) или оперативно-тактический расчет (ОТР) на размещение объекта, в соответствии с которым выбирается район предполагаемого размещения объекта, а также разрабатываются исходные данные (ИД) для подготовки технического задания (ТЗ) на проведение РИ, а затем и само ТЗ.

2. Уточнение задачи по разработке методики оценивания качества участка местности.

Суть мероприятия состоит в том, чтобы лицо, разрабатывающее методику оценивания качества, могло уточнить все неясные вопросы, связанные с ее разработкой у лица, принимающего решение (ЛПР), или у лиц, определенных для этого ЛПР.

3. Построение (уточнение) дерева свойств.

Построение ДПК представляет собой разворачивание укрупненной структуры интегрального качества (рис. 1) до единичных ПК подобно тому, как это сделано для ПК «Затраты» (см. рис. 2). Построение выполняется по определенным правилам [2], упрощающим эту процедуру и повышающим достоверность результатов расчета интегрального качества.

4. Формирование экспертной группы.

Отбор экспертов для участия в работе рекогносцировочной комиссии является важным этапом, существенно влияющим на качество принимаемых ею решений. В этой связи представляется целесообразным производить предварительную оценку компетентности предполагаемых членов комиссий. Методика упрощенного оценивания качества экспертов ранее была рассмотрена в [3].

5. Определение (уточнение) значений коэффициентов важности свойств участков местности.

Значения коэффициентов важности для тех показателей, которые входят в ветвь дерева «Качество» определяются экспертным путем так же, как и относительные веса ПК «Качество» и «Затраты». Для ПК «Ограничения» вес не определяется, так как данный показатель оценивается бинарно – оценками «0» в случае, если имеющиеся ограничения не позволяют разместить объект на участке, и «1» в том случае, если размещение возможно.

6. Определение значений эталонных и браковочных показателей свойств

При оценивании качества часто требуется учесть имеющиеся ограничения по значениям показателей, а также измерить качество оцениваемого объекта относительно некоторого базового образца, принимаемого за эталон качества. Для этого используется ряд показателей.

Эталонное значение абсолютного показателя свойства $q_{\text{эт}}$ – наилучшее возможное значение абсолютного показателя свойства.

Допустимое значение абсолютного показателя свойства $q_{\text{доп}}$ – наихудшее, но допустимое значение абсолютного показателя свойства.

Браковочное значение абсолютного показателя свойства $q_{\text{бр}}$ – ближайшее к $q_{\text{доп}}$, но худшее значение показателя свойства.

Определение эталонного и браковочного значений показателя выполняется только для свойств, находящихся на последнем ярусе дерева, и осуществляется двумя основными методами: документальным и экспертным.

Документальный метод определения $q_{эт}$ и $q_{бр}$ используется для свойств, по которым существуют документальные данные (отчеты по НИР, справочники, проектно-конструкторская, нормативно-техническая и иная документация), позволяющие определить $q_{эт}$ и $q_{бр}$.

Экспертный метод определения $q_{эт}$ и $q_{бр}$ следует применять по отношению к тем свойствам, для которых не подходит документальный метод или его применение нецелесообразно из-за слишком больших затрат труда или времени на поиск документальных данных по $q_{эт}$ или $q_{бр}$.

7. Сбор данных.

Получение данных, необходимых для оценивания участков и принятия решения о выборе одного из них для строительства объекта, осуществляется по всем возможным источникам, включая обращения с запросами в местные органы власти и военного управления, а также поиск справочных материалов в сети Internet.

8. Оценивание участков (определение значений показателей свойств и качества участка в целом).

Для сложных и некоторых простых свойств значения их показателей q_i определяются одним из следующих неэкспертных методов:

- документальным – данные о q_i участка получают из справочной, технической, кадастровой или иной документации;
- аналитическим (расчетным) – применяется для таких сложных свойств, как, например, площадь участка (произведение длины участка на ширину для прямоугольных участков, или для участков сложной формы – разбиение их на простые фигуры, расчет площади каждой из фигур и суммирование их площадей);
- методом физических измерений (экспериментальным) – применяется для тех свойств, данные по q_i которых могут быть получены путем измерений по картам, схемам, планам с использованием геоинформационных систем (ГИС) или непосредственно на самом участке (например, ширина дорожного полотна);
- простого подсчета.

Рассмотрим *определение значений относительных показателей*.

Для приведения значений абсолютных показателей q_i к одинаковому масштабу и выражения их в одинаковых единицах измерения производится перевод абсолютных показателей q_i в относительные показатели K_i с помощью операции нормирования [4].

Для возрастающих показателей качества (для которых желательно большее значение показателя) используется выражение

$$K_i = \frac{q_i - q_{бр}}{q_{эт} - q_{бр}}. \quad (1)$$

Для убывающих показателей качества (для которых желательно наименьшее значение показателя) используется выражение

$$K_i = \frac{q_{бр} - q_i}{q_{бр} - q_{эт}}, \quad (2)$$

где i – номер свойства; $0 \leq K_{ij} \leq 1$.

1. Оценка участков (свертка показателей).

Интегральный показатель качества (ИПК) K_{Σ} вычисляется по формуле

$$K_{\Sigma j} = K_{0j} \sum_1^2 K_{ij} w_{ij} = K_{0.j} (K_{3.j} w_{3.j} + K_{к.j} w_{к.j}), \quad (3)$$

где $w_{3.j}$ – вес показателя «Затраты», $w_{3.j} = 0,47$;

$w_{к.j}$ – вес показателя «Качество», $w_{к.j} = 0,53$;

$K_{к.j}$ – значение относительного показателя «Качество» (оценка «Качества»);

$K_{3.j}$ – значение относительного показателя «Затраты» (оценка «Затрат»);

$K_{0,j}$ – значение относительного показателя «Ограничения» («0» – строить нельзя, «1» – строить можно).



Рис. 3. Алгоритм оценивания качества участка упрощенным методом

2. Выбор участка.

В общем случае для принятия решения по выбору участка достаточно ранжировать определенные по формуле (3) ИПК участков, при этом участок с максимальным значением данного показателя необходимо рассматривать в качестве основного, а следующий за ним по его величине – в качестве запасного.

Однако необходимо понимать, что обобщенный показатель «Интегральное качество» ($K_{\Sigma j}$) может иметь одинаковое значение при различных соотношениях показателей «Затраты» ($K_{3,j}$) и «Качество» ($K_{К,j}$). Смоделируем ситуацию, когда для двух участков ИПК будут равны, а для остальных – различаться (табл. 1, рис. 4). Как выбрать участок для строительства в такой ситуации?

В этом случае возможны два варианта действий.

В первом варианте ЛПР необходимо рассмотреть показатели «Затраты» (q_i) в рублях и «Качество» ($K_{К}$) у данных участков и сопоставить их между собой. ЛПР должен решить при

этом, что для него является более важным – качество участка или затраты на строительство объекта.

Второй вариант основывается на требованиях Постановления Правительства РФ №590 от 12.08.2008 г. [5]. Согласно этому подходу при принятии решений о строительстве объекта необходимо отталкиваться от эффективности использования средств, выделяемых на строительство.

Таблица 1

Значения интегрального качества участков при различных соотношениях затрат и качества

№ ЗУ	Затраты, млн. руб.			Показатель «Затраты»	Показатель «Качество»	Вес показателя «Затраты»	Вес показателя «Качество»	Интегральный показатель качества ЗУ	Коэффициент эффективности инвестиций (КЭИ)	КЭИ max	Приведенный КЭИ
	Эталонное значение	Браковочное значение	Текущее значение								
	$q_{эт}$	$q_{бр}$	q_i								
				$K_{з.j}$	$K_{к.j}$	$w_{з.j}$	$w_{к.j}$	$K_{\Sigma j}$	$K_{эиi}$	$K_{эи\max}$	$K_{пэи.i}$
1	400	1100	632	0,67	0,9	0,43	0,57	0,80	1,42	1,57	0,91
2	400	1100	447	0,93	0,7	0,43	0,57	0,80	1,57		1,00
3	400	1100	789	0,44	0,1	0,43	0,57	0,25	0,13		0,08
4	400	1100	637	0,66	0,3	0,43	0,57	0,46	0,47		0,30
5	400	1100	963	0,20	0,5	0,43	0,57	0,37	0,52		0,33
6	400	1100	688	0,59	0,6	0,43	0,57	0,60	0,87		0,56

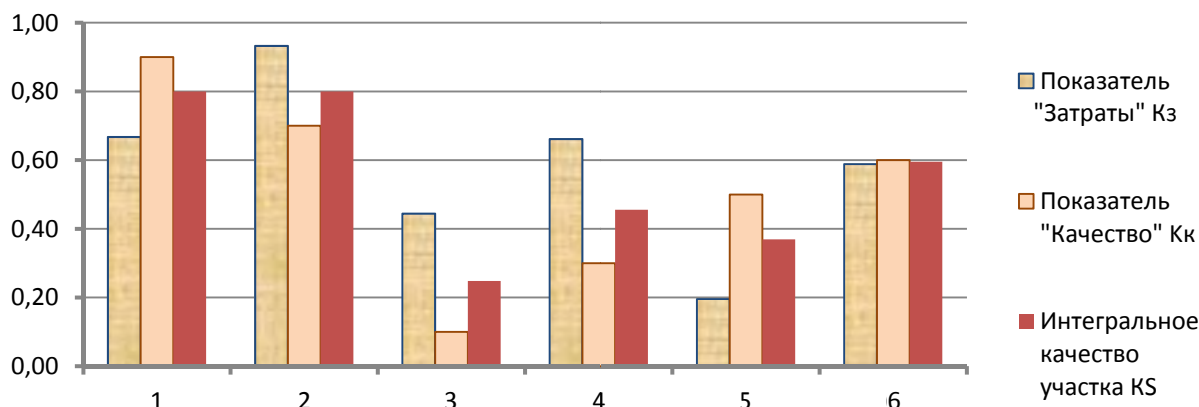


Рис. 4. Значения показателей: «Затраты», «Качество», интегральное качество для данных табл. 1

При принятии решений о строительстве объекта необходимо учитывать коэффициент эффективности инвестиций (ПЭИ) $K_{пэи.i}$ (4). Смысл этого коэффициента заключается в том, что он связывает между собой полученный полезный эффект (качество) и понесенные при этом затраты. Чем выше значение коэффициента, тем выше отдача на каждый вложенный рубль, и, соответственно, в ситуации, когда ИПК двух участков равны, необходимо выбирать тот из них, для которого этот показатель будет выше:

$$K_{пэи.i} = K_{эиi} / K_{эи\max}, \quad (4)$$

где $K_{эиi}$ – коэффициент эффективности инвестиций (КЭИ)

$$K_{эиi} = \frac{K_{к.j}}{q_i} 10^3;$$

- $K_{К. j}$ – оценка показателя «Качество»;
 q_i – затраты, млн. руб.;
 $K_{эи \max}$ – максимальное значение коэффициента эффективности инвестиций для представленных участков.

Применительно к ситуации оценивания, отраженной в табл. 1, для участков 1 и 2 интегральное качество одинаково, однако по ПЭИ второй участок стоит выше, соответственно, он и должен быть выбран в качестве основного варианта размещения объекта (рис. 5), а в качестве запасного – следует выбрать участок 1.

В приведенном примере дополнительным аргументом в пользу выбора участка 2 может быть и то, что для него абсолютные затраты на строительство существенно меньше на величину $\Delta q = q_1 - q_2 = 632 - 447 = 185$ млн. руб.

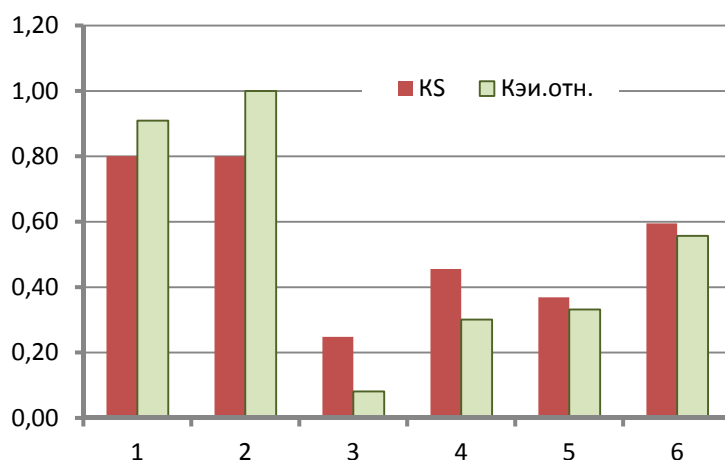


Рис. 5. Значения интегрального качества ($K_{\Sigma j}$) участков и приведенного коэффициента эффективности инвестиций ($K_{пэи.i}$) для данных табл. 1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методика оценивания участков при проведении РИ позволяет количественно оценить качество участков как с точки зрения их пригодности для размещения объектов, так и с точки зрения приближенной оценки затрат на строительство.

Внедрение методики в практику РИ существенно повысит обоснованность и достоверность решений по выбору участков под строительство объектов, так как оно позволит:

- выбрать лучшие по совокупности показателей участки для размещения объектов;
- снизить затраты на строительство объектов путем количественного оценивания тех факторов, которые влияют на стоимость строительства;
- уменьшить время на проведение РИ за счет отсутствия необходимости проведения повторных изысканий;
- упростить процедуру сравнительного оценивания участков за счет ее формализации.

Список используемых источников

1. Ситков Р.А. Основные недостатки современного подхода к оцениванию участков при проведении рекогносцировочных изысканий и выбору места под строительство объектов специального назначения / Р.А. Ситков, А.В. Ситников, В.М. Сальников, В.Н. Щельников //

Специальные сооружения и объекты: актуальные проблемы изысканий, строительства и эксплуатации: сб. науч. статей межвузовской научно-практической конф. – СПб.: ВИ (ИТ) ВА МТО имени А.В. Хрулёва, 2017. – 244 с.

2. *Азгальдов Г.Г., Костин А.В.* Квалиметрия для всех: учеб. пособие. – М.: ООО ИД ИнформЗнание, 2012. – 164 с.

3. *Ситков Р.А., Некрасов И.Н.* Методика оценивания качества экспертов, привлекаемых к работе в составе рекогносцировочных комиссий // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 654.

4. *Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П.* Экспертные методы в оценке качества товаров. – М.: Экономика, 1974. – 151 с.

5. О порядке проведения проверки инвестиционных объектов на предмет эффективности использования средств федерального бюджета, направляемых на капитальные вложения: Постановление Правительства РФ №590 от 12.08.2008 г. – URL: [http: prav.ru](http://prav.ru) (дата обращения: 23.09.2018).

А.Д. Борулев,

доктор техн. наук, профессор

ФГБУ «ЦНИИИ ИВ» Минобороны России, г. Москва;

М.Н. Ерофеев,

доктор техн. наук, профессор

ФГКВООУ «ВА РВСН имени Петра Великого» МО РФ, г. Балашиха;

С.М. Паршин

Девятое управление Минобороны России, г. Москва

МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВОДОПРИТОКА В РАЗРУШЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

В работе предложены оценки водопритока в разрушенные подземные сооружения, на основании которых разрабатываются рекомендации и мероприятия по локализации и устранению последствий воздействия средств поражения, природных и техногенных чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: оценка водопритока, подземные сооружения (заглубленные и обвалованные объекты, защитные сооружения гражданской обороны), чрезвычайные ситуации.

Подземные сооружения, за редким исключением, так или иначе соприкасаются с водоносными горизонтами или пластами, поэтому вопрос их гидроизоляции и ликвидации аварийных протечек является актуальным и при строительстве, и в процессе эксплуатации объекта [1].

В штатном режиме нормативное поступление воды в объект весьма незначительно. Подземные воды, поступающие в сооружение сквозь локальные трещины, неплотности, поры, а также воды, применяемые в нем для технических и технологических нужд, собираются в специальных объемах и затем откачиваются на поверхность.

Совершенно иная ситуация может возникнуть при разрушении ограждающих строительных конструкций подземного сооружения вследствие аварийной ситуации в самом объекте или воздействия средств поражения, природных и техногенных чрезвычайных ситуаций [1, 2]. В этом случае за счет движения подземных вод происходят их поступление в полость сооружения и его обводнение (затопление).

Для практики очень важно оценить объем и скорость поступления воды. На основании таких оценок будут рассчитываться, например, мощность и производительность насосов, откачивающих воду, или будут разрабатываться мероприятия аварийно-спасательных работ.

Для получения указанных оценок необходимо исследование закономерностей движения воды в пласте, основанное на решениях соответствующих граничных задач теории фильтрации [3–6], что является предметом настоящей работы.

Для расчетов в общей теории фильтрации пользуются различными уравнениями состояния идеальных и реальных жидкостей. Простейшей механической моделью сплошной среды является модель идеальной жидкости, характеризующейся отсутствием сил трения между слоями, а ее отдельные части взаимодействуют посредством нормального давления. Следовательно, в каждой точке идеальной жидкости касательные напряжения $\sigma_{ij} = 0$ ($i \neq j$), а нормальные напряжения $\sigma_{ii} = -P$, где σ_{ij} – компоненты тензора напряжений, P – давление жидкости [3, 4].

Если жидкость, текущая вдоль оси Ox_i (например, вдоль оси Ox_1), несжимаема, то поток скорости сквозь замкнутую поверхность S , отнесенный к единице объема V_1 , заключенного внутри S , называемый дивергенцией скорости, равен нулю, или $\operatorname{div} u = 0$, где u – вектор скорости жидкости. Также приняв допущение о постоянстве скорости u_1 вдоль оси x_1 , уравнение состояния можно записать в виде:

$$\begin{aligned}\sigma_{12} &= \mu \, dv_1/dx_2; \\ \sigma_{13} &= \sigma_{23} = 0; \\ \sigma_{11} &= \sigma_{22} = \sigma_{33} = -P,\end{aligned}\tag{1}$$

где μ – динамическая вязкость жидкости.

Движение воды в грунтовой среде достаточно хорошо вписывается в модель идеальной жидкости.

Общая задача гидромеханики состоит в определении компонент вектора скорости u (или u_i , где $i = 1, 2, 3$), компонент симметричного девиатора напряжений $S_{ij} = S_{ji}$ ($j = 1, 2, 3$), давления P и плотности ρ жидкости в любой точке рассматриваемого объема.

Для ламинарного режима, который, предполагается, имеет место при послойном течении грунтовых вод, эти одиннадцать искомым функций должны удовлетворять следующей полной системе дифференциальных уравнений [3, 4, 7]:

1) движения (девять уравнений)

$$\sum_j \partial S_{ij} / \partial x_j - \partial P / \partial x_i + F_i = \rho a_i \quad (i, j = 1, 2, 3); \tag{2}$$

2) сохранения массы или неразрывности движения

$$\partial \rho / \partial t + \operatorname{div}(\rho u) = 0; \tag{3}$$

3) механического состояния или физических уравнений:

$$\rho = f(P), \tag{4}$$

или

$$S_{ij} = f(n_k), \tag{4a}$$

где F_i – объемная сила, отнесенная к единице объема;

a_i – ускорение по i -й оси, $a_i = \partial u_i / \partial t$;

n_k – набор параметров, характеризующих механическое состояние жидкости.

Уравнения состояния записываются в соответствии с выбранной моделью текущей жидкости. Это могут быть, например, уравнения жидкости Шведова – Бингама, или Освальда – Вейля и др. Для идеальной жидкости $S_{ij} = 0$ [3, 4].

Граничные условия для системы дифференциальных уравнений (2)–(4) имеют вид: $u = u_0$ на поверхности контакта «жидкость – твердое тело», где u_0 – заданная (начальная) величина скорости жидкости, и (или) $P = P_0$ на свободной поверхности тела, где P_0 – внешнее давление.

Как уже отмечалось, для решения практических задач используются идеализированные закономерности процесса, которые в данной интерпретации теории фильтрации сводятся к следующему: режим фильтрации – ламинарный; жидкость – Ньютонская однородная (грунтовая вода). Для данного процесса фильтрации справедлив экспериментально установленный линейный закон фильтрации Дарси [4, 5, 7]

$$u = -k/\mu \operatorname{grad} P, \tag{5}$$

где k – коэффициент проницаемости (или просто – проницаемость).

Наряду с проницаемостью характеристикой трещиноватой среды является ее пористость m , равная отношению элементарного объема, занятого текущей жидкостью $dV_{\text{ж}}$, к общему объему среды dV_c , т.е. $m = dV_{\text{ж}}/dV_c$ [6, 7].

По своей сути закон фильтрации Дарси есть упрощенная интерпретация уравнений движения (2), в которых пренебрегают силой инерции ($\rho a_i = 0$), а сумма сил $\sum_j \partial S_{ij} / \partial x_j$ заменена силами трения Ньютона $(\mu/k) \times u_i$. Таким образом, в упрощенных уравнениях движения получена связь плотности и давления, следовательно, необходимость в уравнениях состояния отпадает.

Если принять, что при небольших изменениях порового давления пористость и проницаемость среды, а также плотность жидкости зависят от него линейно, то получается основное уравнение фильтрации [3–5]

$$\partial P / \partial t = \chi \Delta P, \tag{6}$$

где χ – коэффициент пьезопроводности среды, $\chi = (k \times K) / (\mu \times m)$;

K – приведенный модуль объемной упругости среды;

Δ – оператор Лапласа.

После решения уравнения (6) поле скоростей жидкости вычисляется по формуле Дарси. При установившемся режиме, когда $t \rightarrow \infty$, уравнение (6) примет вид

$$\Delta P = 0. \quad (7)$$

Оно характеризует «жесткий» режим фильтрации и стационарное поле давления.

Для однозначного определения поля давления $P(M)$ в заданной области D , ограниченной поверхностью S , необходимо и достаточно, чтобы решение уравнения (6) удовлетворяло начальному условию (при $t = 0$)

$$P(M, 0) = P_o, \text{ когда } M \in D, \quad (8)$$

а уравнения (6) и (7) – граничным условиям:

– если на поверхности S или ее части задано давление P_S , то

$$P(M, t) = P_S(M) \text{ при } M \in S; \quad (9)$$

– если задана нормальная составляющая скорости фильтрации, то

$$k/(\mu \times l) \partial P / \partial n = u_{ns}(M), \quad (10)$$

где l – характерный линейный размер.

Практически важной задачей для эксплуатации подземных сооружений является расчет водопритока во внутренний объем. Наиболее часто водоприток будет направляться в шахтные стволы, которые в большинстве сооружений являются людскими входами или вводами коммуникаций. Для решения задачи далее вводятся определенные предпосылки, касающиеся конструкции сооружения и процесса фильтрации.

1. Учитывая соотношение размеров шахтного ствола и грунтового массива, где возведено подземное сооружение, шахтный ствол моделируется цилиндрической скважиной радиусом R_c . За радиус скважины принимается срединная поверхность обделки шахты, а толщина обделки не учитывается. Модельная скважина является совершенной, так как она полностью вскрывает водоносный слой (или несколько водоносных слоев).

2. Шахтные стволы подземного объекта возводятся на достаточно удаленном друг от друга расстоянии, поэтому их взаимным влиянием на любые физико-механические процессы пренебрегают.

3. Однородный изотропный трещиновато-пористый водоносный пласт с постоянной проницаемостью $k = \text{const}$ ограничен непроницаемыми плоскостями (слоями) $z = 0$ и $z = h$ (подошва и кровля водоносного пласта) и проницаемыми цилиндрическими поверхностями $r = R_c$ (стенка скважины она же обделка шахты), $r = R_n$ (поверхность питания или радиус депрессионной воронки).

4. На цилиндрических поверхностях поддерживаются однородные граничные условия:

$$\begin{aligned} P &= P_c = \text{const}, \text{ при } r = R_c; \\ P &= P_n = \text{const}, \text{ при } r = R_n. \end{aligned} \quad (11)$$

5. Поры и трещины заполнены однородной жидкостью вязкости μ , а фильтрация происходит при установившемся ламинарном режиме.

Отсюда в любой плоскости $0 < z < h$ частицы жидкости движутся по радиусам со скоростью $u_r = u(r)$, обусловленной распределением давления $P = P(r)$. Эти обстоятельства позволяют формулу Дарси записать в частном виде

$$u = -(k / \mu) \times (dP/dr), \quad (12)$$

а уравнение неразрывности движения жидкости – в виде

$$(1/r) \times d/dr (r u) = 0. \quad (13)$$

Если подставить формулу (12) в (13), то получается уравнение Лапласа типа зависимости (7), учитывающее все введенные предпосылки, а именно

$$\Delta P = (1/r) \times d/dr (r dP/dr) = 0. \quad (14)$$

Последнее выражение можно получить непосредственно из уравнения Лапласа следующим образом. С учетом симметрии задачу можно считать плоскорадиальной, для которой оператор Лапласа в цилиндрической системе координат имеет вид [8]

$$\Delta P = (1/r) \times \partial/\partial r (r \partial P/\partial r) + (1/r^2) \times (\partial^2 P/\partial^2 \varphi) + (\partial^2 P/\partial^2 z). \quad (15)$$

Исходя из названных выше предпосылок, второе и третье слагаемые формулы (15) будут равны нулю, поэтому основное уравнение фильтрации получит вид [см. формулу (7)]

$$\Delta P = (1/r) \times \partial/\partial r (r \partial P/\partial r) = (1/r) \times d/dr (r dP/dr) = 0. \quad (16)$$

Общим решением этого уравнения является функция

$$P(r) = c_1 \ln(r) + c_2, \quad (17)$$

где c_1, c_2 – постоянные интегрирования, определяемые граничными условиями (11).

Окончательное решение граничной задачи фильтрации записывается следующим образом:

$$P(r) = P_c - (((P_c - P_{пл})/(\ln(R_n / R_c))) \times (\ln(r / R_c))) = P_{пл} + (((P_c - P_{пл})/(\ln(R_n / R_c))) \times (\ln(R_n/r))); \quad (18)$$

$$u(r) = (k / (\mu \times r)) / (((P_c - P_{пл})/(\ln(R_n / R_c))), \quad (19)$$

где $P_{пл}$ – давление на границе пласт-скважина.

Для случая поступления жидкости в скважину, что является предметом исследования настоящей работы, $(P_c - P_{пл}) < 0$ и ее объем определяется по формуле Дюпюи [5, 7]

$$Q = 2 \pi \times h \times r \times u = 2 \pi \times h \times k / \mu \times ((P_c - P_{пл})/(\ln(R_n / R_c))). \quad (20)$$

В случае решения данной задачи (о поступлении воды в подземное сооружение) в инженерном представлении выражение (20) может быть конкретизировано следующим образом. Шахтный вход моделируется совершенной скважиной в напорном однородном водоносном слое. Ламинарное поступление воды обусловлено разницей давлений, которые создаются весом вышележащих слоев грунта с постоянным удельным весом γ . Тогда (20) переписывается в виде

$$Q = 2 \pi \times h \times k / \mu \times \gamma \times ((H_c - H_n)/(\ln(R_n / R_c))), \quad (21)$$

где H_c, H_n – мощности пласта над водоносным слоем у стенки скважины (шахты) и на радиусе поверхности питания соответственно.

Если обозначить $k / \mu \times \gamma = k_{\phi}$, то формула (21) примет вид

$$Q = 2 \pi \times h \times k_{\phi} \times ((H_c - H_n)/(\ln(R_n / R_c))), \quad (22)$$

что совпадает с формулой Дюпюи, приведенной в [6, 8], где k_{ϕ} является характеристикой породы и определяется как коэффициент фильтрации.

Коэффициенты фильтрации наиболее распространенных водоносных слоев приведены в табл. 1 [4–6].

Таблица 1

Значения коэффициента фильтрации

Порода	Коэффициент фильтрации, м/с
Песок мелкозернистый	$1,16 \times 10^{-5} - 5,79 \times 10^{-5}$
Песок среднезернистый	$5,79 \times 10^{-5} - 2,31 \times 10^{-4}$
Песок крупнозернистый	$2,31 \times 10^{-4} - 5,79 \times 10^{-4}$
Гравий	$2,31 \times 10^{-4} - 1,74 \times 10^{-3}$
Галечник	$1,16 \times 10^{-3} - 5,79 \times 10^{-3}$
Крупный галечник	$5,79 \times 10^{-3} - 1,16 \times 10^{-2}$

Значения радиуса депрессионной воронки или поверхности питания R_n определяются по рекомендациям [6, 9], и для отдельных водоносных пород приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения приведенного радиуса влияния (радиуса депрессионной воронки)

Породы	Водоносный горизонт	Приведенный радиус влияния, м
Мелко- и среднезернистые пески	Напорный	250–500
	Безнапорный	100–200
Крупнозернистые пески, гравийно-галечные отложения	Напорный	750–1500
	Безнапорный	300–500
Трещиноватые породы	Напорный	1000–1500
	Безнапорный	500–1000

Таким образом, при известных гидрогеологических характеристиках породного массива, вмещающего подземное сооружение, таких как мощность водоносного пласта, коэффициент фильтрации, толщина пласта породы от водоносного слоя до поверхности у сооружения и на границе депрессионной воронки по формуле (22) можно оценить водоприток в объект в случае разрушения его строительных ограждающих конструкций.

Такая оценка имеет важное практическое приложение: на ее основании разрабатываются рекомендации и мероприятия по локализации и устранению последствий этой чрезвычайной ситуации [9]. Зная скорость водопритока, можно назначить производительность насосов, откачивающих воду, разработать технические решения по гидроизоляции отдельных блоков сооружения [10], рассчитать время, за которое подземный объект будет затоплен, составить оптимальную схему эвакуации людей из аварийных помещений и т.д.

Список используемых источников

1. Зейниев Г.Я., Агеев С.М., Ерофеев М.Н. Технические и технологические решения при строительстве и реконструкции объектов ракетно-космической инфраструктуры // Известия: научно-техн. сб. – Балашиха: ВА РВСН, 2016. – №269. – С. 264–273.
2. Исмятуллин Р.Г., Ерофеев М.Н., Кравченко И.Н. Повышение безопасности и энергоэффективности функционирования специальных фортификационных сооружений // Научно-технический сборник №25. – М.: ВНИИ ГОЧС, 2016. – С. 64–74.
3. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжсин В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. – М.: Недра, 1972.
4. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. – М.: Наука, 1977.
5. Борулев А.Д. Оценки водопритока при строительстве подземных сооружений // Научно-технический сб. – Балашиха: ВТУ МО РФ, 2014. – Вып.25. – С. 58–63.
6. Ромм Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1966.
7. Рабинович Н.Р. Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении. – М.: Недра, 1989.
8. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочеввер, И.В. Гармонов, А.В. Лебедев и др. – М.: Недра, 1966.
9. Соболев Г.Г. Организация и ведение горноспасательных работ в шахтах. – М.: Недра, 1988.
10. Борулев А.Д., Рожков А.С., Димитриев И.В. Применение нечеткой логики для организации аварийно-восстановительных работ в подземных сооружениях // Труды XI Российской конференции по механике горных пород. – 1997. – С. 47–52.

А.Е. Воронин;
Д.А. Кретьюк,
кандидат техн. наук;
Н.Е. Пешехонов,
кандидат техн. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ГРАНИЦ НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассмотрен вопрос достоверной оценки соответствия фактического уровня надежности нормативному значению. Обоснован вывод о необходимости задавать требования к надежности электроснабжения с учетом интервальных значений показателя надежности. Проанализированы методы определения нижней доверительной границы нормативных показателей надежности, а также подход к определению доверительных границ и условиям применения предложенных методов определения интервальных значений нормативного показателя надежности.

Ключевые слова: показатель надежности, доверительный интервал, нижняя доверительная граница, приемочный и браковочный уровни надежности.

ВВЕДЕНИЕ

Выбор и обоснование численных значений показателей надежности (ПН) для вновь разрабатываемых или модернизируемых специальных объектов (СО) осуществляются с учетом следующих основных факторов:

- достигнутого уровня лучших отечественных прототипов и зарубежных аналогов;
- результатов специальных исследований, в процессе которых были выявлены теоретические (опытно-теоретические) обоснования необходимого уровня надежности объекта;
- технико-экономических возможностей разработчиков и заказчиков;
- заданных оперативно-тактических требований и др.

Обоснованные значения ПН обязательно указываются в тактико-техническом задании (техническом задании) на разработку или модернизацию СО, которые, в соответствии с нормативным документом [1], должны быть ограничены либо снизу, либо сверху. Например: словами «не менее», «не более» либо соответственно знаками « \geq » или « \leq ». Поэтому в тактико-техническом задании, чаще всего, указывается только нормативное «точечное» значение ПН, без указания контрольного уровня надежности (пороговое значение), при котором объект можно считать удовлетворяющим нормативным требованиям. В этом случае нормативное значение ПН, по умолчанию, соответствует пороговому значению контролируемого показателя.

НЕОБХОДИМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ГРАНИЦ ПРИ НОРМИРОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Подход к нормированию «точечными» значениями ПН является распространенным и методически ошибочным, так как его применение усложняет процесс оценки и контроля фактического уровня надежности, тем более показатели надежности всегда вычисляются с определенными допусками (погрешностью) относительно требований нормативных документов. Для получения достоверной оценки фактического уровня надежности СО норматив-

ный ПН целесообразно задавать в виде интервала значений, ограниченного доверительными границами.

Доверительные границы – это те максимальное и минимальное значения, в пределах которых, при заданной степени вероятности безошибочного прогноза (доверительной вероятности), может принимать значения искомая величина генерального параметра.

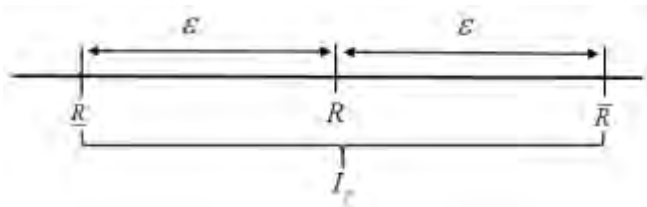


Рис. 1. Доверительный интервал

Нам рис. 1 приняты следующие обозначения:

R – искомая величина генерального параметра;

\underline{R} – нижняя доверительная граница;

\bar{R} – верхняя доверительная граница;

ε – отклонение от искомой величины генерального параметра;

I_γ – доверительный интервал;

γ – доверительная вероятность.

Контролировать нормативное «точечное» значение ПН целесообразно только при наличии больших выборок наработок до отказа и последующего выявления закона надежности. Для высоконадежных СО это практически нереально. При малых же выборках в половине случаев вычисленный фактический уровень надежности может быть значительно ниже нормативного «точечного» значения ПН только лишь из-за влияния размера выборки. В этом случае контроль нормативного ПН теряет всякий смысл.

Необходимость оценки и последующего применения доверительных границ для заданного нормативного ПН также подтверждает практика реализации программ обеспечения надежности для сложных технических объектов, которая свидетельствует об объективно существующей проблеме малых выборок для высоконадежных объектов специального назначения. Применять методы расширения информационного пространства об отказах путем привлечения дополнительных сведений об аналогах не всегда возможно из-за отсутствия таковых.

Кроме того, доверительные границы нормативного ПН лежат в основе принятия решения о соответствии СО заданным требованиям к надежности. Допустим, что оценка уровня надежности произведена экспериментальным методом и определен «точечный» ПН (R_0), а также его верхняя (\bar{R}_0) и нижняя (\underline{R}_0) доверительные границы, тогда критерии принятия решения о соответствии СО заданным требованиям можно представить в следующем виде:

– если «точечная» оценка ПН (R_0) больше нормативного значения ($R_{\text{норм.}}$), то принимается решение о соответствии СО установленным требованиям к надежности;

– если «точечная» оценка ПН (R_0) меньше нормативного значения, но при этом $\underline{R}_0 \geq \underline{R}_{\text{норм.}}$ и $\bar{R}_0 \geq \bar{R}_{\text{норм.}}$, то принимается решение о соответствии СО установленным требованиям к надежности;

– если «точечная» оценка ПН (R_0) меньше нормативного значения, но при этом $\underline{R}_0 \geq \underline{R}_{\text{норм.}}$ и $\bar{R}_0 < \bar{R}_{\text{норм.}}$, то принимается решение о непротиворечии полученных результатов нормативным требованиям и о продолжении сбора статистической информации для уточнений фактического уровня надежности СО;

– если «точечная» оценка ПН (R_0) меньше нормативного значения, при этом $\underline{R}_0 < \underline{R}_{\text{норм.}}$ и $\bar{R}_0 < \bar{R}_{\text{норм.}}$, то принимается решение о несоответствии СО установленным требованиям к надежности.

Таким образом, можно сделать вывод, что для СО, особенно для малосерийных и высоконадежных, оптимальной (в смысле получения достоверных оценок) является процедура контроля ПН в процессе эксплуатации только в том случае, если нормативно-техническими документами установлены не только «точечные» значения, но и доверительные границы нормативного ПН.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЖНЕЙ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ГРАНИЦЫ НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СО

Как показано выше, если фактический уровень надежности больше нормативного значения, то принимается решение о соответствии СО установленным требованиям. Тогда интервал значений целесообразно указывать в одностороннем порядке:

$$R_{\text{норм.}} = R_k + \Delta_R, \quad (1)$$

где $R_{\text{норм.}}$ – нормативный ПН СО;

R_k – контрольный уровень (пороговое значение) ПН СО;

Δ_R – допустимая ширина интервала.

В данном случае достаточно определить только нижнюю доверительную границу. Тогда величину R_k можно считать нижней доверительной границей, а нормативный показатель $R_{\text{норм.}}$ – верхней доверительной границей:

$$\begin{aligned} R_{\text{норм.}} &= \bar{R}_{\text{норм.}}, \\ R_k &= \underline{R}_{\text{норм.}}. \end{aligned} \quad (2)$$

В литературе по вопросам нормирования надежности обращается внимание на то, что выбор того или иного метода определения нижней доверительной границы зависит, главным образом, от структуры нормативных ПН, а также от объема и характера исходной информации, необходимой для расчетов.

Отсутствие информации об отказах накладывает существенные ограничения на возможность определения доверительных границ нормативного ПН. В этом случае используют гипотезу биномиального распределения случайных величин и соответствующие решения, полученные Клоппером и Пирсоном [2]. В качестве исходной информации требуется знать только количество контролируемых составных систем объекта (N) и доверительную вероятность (γ), при которой обеспечивается выполнение условия

$$\text{Вер}\{R_{\text{норм.}} > \underline{R}_{\text{норм.}}\} \geq \gamma. \quad (3)$$

Тогда расчет выполняется по формуле

$$\underline{R}_{\text{норм.}} = (1 - \gamma)^{1/N}. \quad (4)$$

Как видно из формулы (4), нижняя интервальная доверительная граница ПН зависит от количества наблюдаемых составных систем объекта и от заданной доверительной вероятности. При снижении числа контролируемых составных систем объекта нижняя доверительная граница сместится влево, т.е. диапазон допустимых оценок фактического ПН будет расширяться. Аналогичные результаты можно получить, используя приближенную формулу [3]

$$\underline{R}_{\text{норм.}} = \frac{4N - 2n - \chi^2(2n + 2, \gamma)}{4N - 2n + \chi^2(2n + 2, \gamma)}, \quad (5)$$

где $\chi^2(2n+2, \gamma)$ – квантиль χ^2 -распределения с соответствующими степенями свободы, значение которого получают из статистических таблиц;
 n – количество зафиксированных отказов.

При вычислении нижней доверительной границы нормативного ПН по выражению (5), в условиях отсутствия статистики отказов, следует принять $n = 0$.

Нижняя доверительная граница ПН, вычисленная с помощью выражения (5), также зависит от количества контролируемых составных систем объекта.

Выражения (4), (5) использовать для определения нижней доверительной границы нормативных ПН имеет смысл в том случае, когда количество контролируемых составных систем объекта больше 10, в противном случае нижняя доверительная граница стремится к нулю [4].

В условиях наличия статистики отказов СО можно получить нижнюю интервальную границу нормативного ПН, также используя зависимость, которую предложили Клоппер и Пирсон в следующем виде:

$$\underline{R}_{\text{норм.}} = 1 - \frac{\chi^2(n, \gamma)}{(2N - n) + \chi^2(n, \gamma)}, \quad (6)$$

или же выражение (5) при $n > 0$. Значения квантили χ^2 -распределения также берутся из статистических таблиц.

Нижняя доверительная граница, полученная по выражению (6), с увеличением доверительной вероятности γ понижается, а увеличение количества выявленных отказов приводит к еще более заметному ее уменьшению.

Применение зависимости (6) для вычисления нижней границы ПН целесообразно при контролируемых составных системах объектах $N \geq (8 \div 10)$, так как в противном случае результат становится тривиальным из-за существенного расширения доверительного интервала [4].

Если принять допущения, что фактическая «точечная» оценка R_0 ПН объекта будет находиться в определенном интервале $R_0 \in [\bar{R}_{\text{норм.}}, \underline{R}_{\text{норм.}}]$, и если в качестве верхней доверительной границы принять нормативное значение ПН, например, вероятность безотказной работы $\bar{R}_{\text{норм.}} = P_{\text{тр}}$, то можно получить нижнюю доверительную границу нормативного ПН. Решение основывается на оценке полной вероятности возможных исходов при биномиальной схеме испытания сложных объектов [5]. В этом случае расчет нижней доверительной границы для числа отказов больше нуля выполняется по формуле

$$\underline{R}_{\text{норм.}} = \frac{P_0 - (1 - \bar{p}) \cdot P_{\text{норм.}}}{\bar{p}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{норм.}}$ – нормативное значение вероятности безотказной работы;
 P_0 – фактическая «точечная» оценка вероятности безотказной работы;
 \bar{p} – относительное количество отказов.

С увеличением относительного количества отказов нижняя доверительная граница, полученная из выражения (7), повышается. При этом чем выше фактическая «точечная» оценка, тем больше $\underline{R}_{\text{норм.}}$.

Существует другой подход к определению доверительных границ нормативного ПН, который заключается в том, что вместо границ доверительного интервала рассматриваются приемочный R_α и браковочный R_β уровни контролируемого ПН, т.е. величину R_α можно считать верхней доверительной границей ($\bar{R}_{\text{норм.}}$) показателя надежности СО, а величину R_β – нижней доверительной границей ($\underline{R}_{\text{норм.}}$). Тогда

$$\begin{aligned} R_{\alpha} &= \bar{R}_{\text{норм.}} \\ R_{\beta} &= \underline{R}_{\text{норм.}} \end{aligned} \quad (8)$$

Суть приемочного и браковочного уровней надежности заключается в следующем. Заказчика в первую очередь интересует обеспечение незначительной вероятности ошибки при положительном исходе испытаний. В случае, когда СО принимается, заказчику необходима высокая степень уверенности в том, что данное решение правильно. С другой стороны, изготовитель, чтобы обеспечить себе благоприятные условия сдачи СО, вынужден при его разработке добиваться значительно более высокого уровня надежности, чем требуемый по техническим условиям и стандартам. Чтобы учесть одновременно интересы изготовителя и заказчика, исходные данные для планирования контрольных испытаний задают в виде двух уровней надежности – приемочного R_{α} и браковочного R_{β} .

Под приемочным уровнем ПН (R_{α}) понимается наихудший уровень надежности, который при оценке выполнения заданных требований рассматривается как удовлетворительный.

Под браковочным уровнем ПН (R_{β}) понимается наилучший уровень надежности, который при оценке выполнения заданных требований рассматривается как неудовлетворительный.

Как правило, приемочный уровень ПН в тактико-техническом задании на разработку или модернизацию СО приравнивается к нормативному ПН, что не противоречит стандартам по контрольным испытаниям.

Уровни R_{α} и R_{β} указывают двумя равнозначными способами: либо указывается приемочный и браковочный уровни ПН ($R_{\alpha}; R_{\beta}$) либо только приемочный уровень ПН и разрешающий коэффициент D ($R_{\alpha}; D$).

Под разрешающим коэффициентом D понимается соотношение приемочного и браковочного уровней показателей надежности, определяемое, в общем виде, как

$$D = \frac{R_{\alpha}}{R_{\beta}}. \quad (9)$$

Если ПН задан в виде временной характеристики T (например, в виде средней наработки до отказа или среднего времени восстановления), то разрешающий коэффициент D определяется по следующему выражению:

$$D = \frac{T_{\alpha}}{T_{\beta}}. \quad (10)$$

Для НП, заданного в виде вероятностной характеристикой P (например, в виде вероятности безотказной работы), коэффициент D вычисляется по формуле

$$D = \frac{(1 - P_{\beta})}{(1 - P_{\alpha})}. \quad (11)$$

При втором способе задания требований ($R_{\alpha}; D$) значение браковочного уровня R_{β} можно легко определить с помощью выражения (11).

Разрешающий коэффициент D либо назначается по согласованному решению заказчика и изготовителя, либо выбирается из рекомендуемых соотношений исходных данных, указанных в стандартах по контрольным испытаниям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные методы, кроме последнего, базируются на гипотезе биномиального распределения количества отказов для ограниченного множества наблюдений составных си-

стем СО. Подход к определению доверительных границ нормативного ПН, основанный на приемочном и браковочном уровнях надежности, зависит в первую очередь от выбранного разрешающего коэффициента D .

Данные методы актуальны для условий ограниченной информации об отказах, и особенно для малосерийных и высоконадежных СО. По мере накопления статистики об отказах СО необходимо корректировать численные значения нормативного ПН для обеспечения возможности последующего вычисления более достоверных оценок.

Список используемых источников

1. ГОСТ 27.003 – 2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности [введен 01.09.17]. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 41 с.
2. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдуревский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1989. – Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания / под общ. ред. Р.С. Судакова, О.И. Тескина. – 376 с.
3. Вопросы математической теории надежности / Е.Ю. Барзилович и др. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
4. Рыбалко В.В. Математические модели контроля надежности объектов энергетики. – СПб.: ГОУВПО, 2010. – 151 с.
5. Гречин А.Л., Скрипкин В.М. Об учете предварительной информации о надежности сложных систем при планировании и оценке их испытаний // Статистические методы обработки результатов наблюдений при контроле качества и надежности машин и приборов: материалы семинара / под ред. В.И. Шаповалова. – Л.: ЛДНТП, 1979.

А.Е. Воронин;
Н.Е. Пешехонов,
кандидат техн. наук, доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАИЛУЧШИХ НАБОРОВ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье рассматривается возможность применения генетических алгоритмов для определения наилучших (по экономическому критерию) наборов мероприятий по изменению структуры систем электроснабжения специальных объектов для обеспечения требуемого уровня надежности. Показана процедура недоминируемой сортировки для выбора лучших особей из текущего поколения.

Ключевые слова: генетический алгоритм, особь, надежность электроснабжения, капитальные вложения, функция жизнеспособности.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании и реконструкции систем электроснабжения (СЭС) специальных объектов (СО) возникает задача обеспечения необходимого уровня надежности. Одним из критериев выбора наилучшего варианта является экономический критерий, т.е. достижение требуемого уровня надежности при минимуме капитальных вложений. Для задач небольшой размерности с несколькими мероприятиями она может быть решена простым перебором вариантов. В задачах большой размерности количество мероприятий для улучшения структуры СЭС может быть значительным, при этом возникает задача выбора различных комбинаций из возможных мероприятий для достижения заданного показателя надежности электроснабжения с учетом затрат на реализацию выбранных мероприятий.

ФОРМИРОВАНИЕ НАБОРА МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

На рис. 1 представлена однолинейная схема электроснабжения объекта, которая может быть как типовой, так и существующей схемой СЭС, подлежащая реконструкции. Требования к надежности функционирования объекта заданы одним из показателей надежности, например, вероятностью безотказной работы за какой-то промежуток времени. Очевидно, что все системы, обеспечивающие функционирование объекта, также должны обладать требуемым уровнем надежности. То есть к каждой системе предъявляются требования к надежности, причем такие, чтобы общий показатель надежности (ПН) был не ниже требуемого значения, заданного для СО в целом.

Для представленной структуры СЭС мероприятиями, повышающими надежность электроснабжения, могут быть такие как установка резервных дизельных электростанций (ДЭС); применение устройств автоматического включения резерва (АВР) на всех уровнях напряжения; замена отдельных элементов СЭС на другие элементы, имеющие более высокие характеристики надежности, (например, установка тиристорных выключателей) [1]. На рис.1 такие мероприятия выделены пунктирной линией.

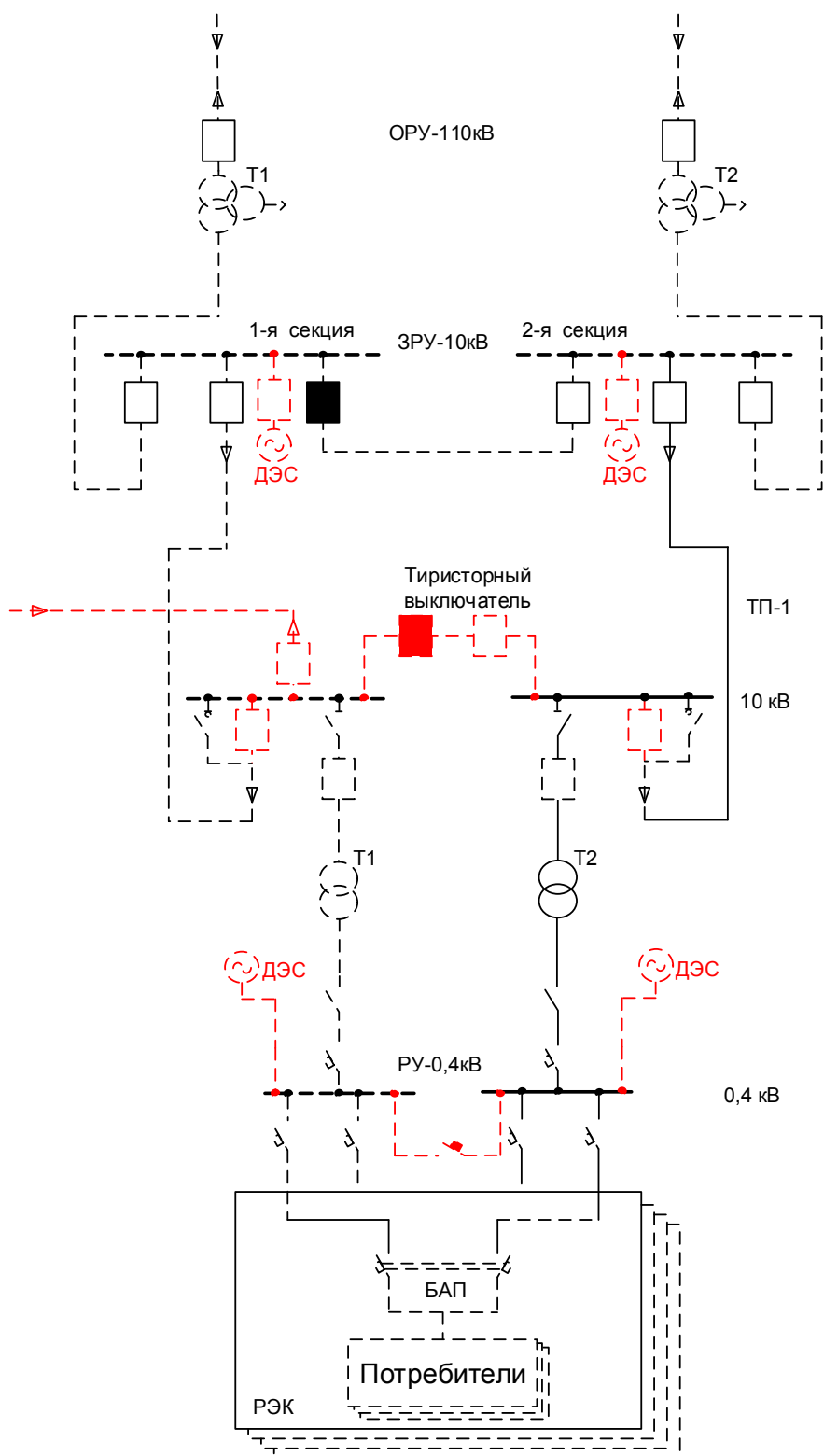


Рис. 1. Однолинейная схема электроснабжения объекта

Заметим, что мероприятия, не приводящие к улучшению показателя надежности, не рассматриваются. Зададим перечень мероприятий, направленных на повышение надежности СЭС, множеством

$$A = \{a_i\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

а экономические затраты на реализацию этого множества мероприятий – множеством

$$F = \{f_i\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где n – число мероприятий, направленных на повышение надежности СЭС.

Очевидно, что каждому мероприятию a_i будут соответствовать экономические затраты на их реализацию f_i .

Допустим, что требования к надежности электроснабжения (см. рис. 1) заданы вероятностью безотказной работы за определенный промежуток времени $P_{\text{зад}}$, а фактический уровень надежности ниже заданного значения. Тогда необходимо реализовать мероприятия из множества A , которые обеспечат заданный ПН для СЭС. Выполнение полного перечня мероприятий приведет к самому высокому значению показателя надежности и к максимально возможным затратам на их выполнение. С точки зрения экономической целесообразности достаточно сочетания мероприятий, которые приведут к выполнению условия

$$P_k \geq P_{\text{зад}}, \quad (3)$$

где P_k – вероятность безотказного электроснабжения при выполнении k -го набора мероприятий из множества A .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИЛУЧШЕГО СОЧЕТАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

В самом общем случае при значительном наборе мероприятий количество их комбинаций, обеспечивающих заданный уровень надежности электроснабжения, может быть значительным. При этом необходимо проводить расчеты по определению значения показателя надежности электроснабжения каждого сочетания предложенных мероприятий. Если взять k мероприятий из n , то возможное количество комбинаций определяется по известному выражению

$$C_n^k = \frac{n!}{k! * (n-k)!} \quad (4)$$

Например, при $n = 30$ и $k = 7$ $C_{30}^7 = 2035800$, и соответственно общее число возможных комбинаций, которые необходимо рассмотреть, составит более триллиона, что делает неприменимым перебор вариантов. Следует также учитывать, что если реализация i -го мероприятия дает приращение показателя надежности на $\Delta P_i = P - P_i$, а реализация $i+1$ -го мероприятия дает приращение показателя надежности на $\Delta P_{i+1} = P - P_{i+1}$, то реализация двух мероприятий, i -го и $i+1$ -го, не приведет к приращению показателя надежности на $\Delta P_i + \Delta P_{i+1}$.

Таким образом, задача имеет достаточно большую размерность, требует больших затрат на определение приращения показателя надежности и для расчета экономических затрат каждого сочетания мероприятий, направленных на повышение надежности системы электроснабжения. Таким образом, задача определения наилучшего сочетания мероприятий, направленных на достижение требуемого уровня надежности, является двухкритериальной задачей. Функция зависимости показателя надежности от капитальных вложений является дискретной.

В последнее время для решения задач подобного рода применяют генетические алгоритмы. *Генетический алгоритм* – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию [2]. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент

на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе. В генетических алгоритмах применяются методы естественного отбора для получения наилучших решений.

Под *геном* в общем случае подобного алгоритма понимается определенное значение одного из исходных параметров, по которым производится подбор решения. Набор таких генов создает *хромосому*, которая присваивается конкретной *особи*. Множество особей на определенном шаге алгоритма создает *популяцию*. Изначальная популяция, в большинстве случаев, генерируется случайно, но с учетом требований, предъявляемых к значениям параметров (генам). Для каждой особи определяется результат так называемой *функции жизнеспособности (fitness function)*. Чем лучше (с точки зрения нужного результата) значение этой функции, тем более приспособленной считается особь, т.е. набор параметров в ее хромосоме в большей степени удовлетворяет необходимому решению конечной задачи. На основе вычислений функций жизнеспособности для всех особей популяции производится *селекция*, или *отбор*. Выбранные особи подвергаются *скрещиванию (кроссинговеру)* и/или *мутации*, производя таким образом *потомство*, которое составит основу следующей популяции. Алгоритм повторяется до тех пор, пока не истечет заданное число итераций или пока не будет достигнуто необходимое качество решения.

Для рассматриваемого случая хромосому особи возможно выразить двоичным кодом, при этом длина хромосомы будет равна количеству возможных мероприятий, направленных на повышение надежности системы электроснабжения:

010010001100000001...1000.

Ноль – мероприятие не выполняется, единица – мероприятие входит в рассматриваемый набор. Данной особи будет соответствовать определенный уровень надежности электроснабжения и суммарные затраты на выполнение этих мероприятий, т.е. значения функций жизнеспособности.

Несмотря на то, что алгоритм ничего не знает о поведении функции (дифференцируемость, непрерывность), он полезно использует накопленную эволюционную информацию для быстрого приближения к решению. Стоит отметить, что скорость этого приближения падает с каждой новой популяцией. По этой причине увеличение количества итераций при достаточно большом их изначальном числе незначительно влияет на конечную точность решения.

Первоначальная функция жизнеспособности может возвращать не одно, а множество значений. Именно таким случаем является *многокритериальная оптимизация*, когда в равной степени важны несколько критериев. Встает вопрос о том, как сравнивать различные множества значений между собой и отобрать из них лучшие.

Удобно использовать для этой цели оптимальность по Парето. Из множества всех решений выбирается подмножество таких, для каждого из которых не нашлось ни одного доминирующего. Эти решения называются *недоминируемыми*, а их множество формирует так называемый *фронт-Парето* в пространстве решений. Большинство современных алгоритмов используют понятия доминирования по Парето, чтобы более точно оценивать «хорошие» решения в многокритериальном смысле. Простой способ для этого заключается в разработке оператора турнирной селекции, основанной на Парето-доминировании. Например, *особь А доминирует по Парето особь В, если А не хуже В по всем критериям, а хотя бы по одному критерию лучше*.

Часто, в целях оптимизации, необходимо выбрать из двух особей, не доминирующих друг над другом, одну – более предпочтительную. Следует определить способы, которыми будет ранжироваться популяция по качеству, а также способы сравнения отдельных особей, принадлежащих границе Парето. Рассмотрим метод, который называется *Ранг границы Парето*. При первом выполнении алгоритма формируется определенный фронт Парето. Особи, лежащие на нем, получают *ранг 1*. После чего их удаляют из общей популяции, алгоритм по-

вторяется снова, формируя еще один Парето-фронт. Особи, принадлежащие новому фронту, получают *ранг 2*. Процесс повторяется, пока не будут разобраны все особи популяции. Суть определения границы Парето заключается в том, что добавляем особь к границе, если эта особь не доминируема другими особями, уже находящимися на границе, и удаляем с границы тех особей, которые оказались доминируемыми этой новой особью.

После того как границы определены и найдены ранги особей (R), можем использовать их для вычисления конечной обобщенной функции жизнеспособности (W):

$$W = \frac{1}{1 + R}. \quad (5)$$

Алгоритм для вычисления рангов достигает две цели. Сначала популяция разбивается по рангам, и каждый ранг (группа особей) сохраняется в векторе. Далее алгоритм присваивает номер ранга особи. Таким образом, всегда можно произвести как выборку особей, имеющих определенный ранг, так и запросить ранг любой особи. Такая процедура разработана и называется *недоминируемая сортировка*.

После сортировки необходимо выбрать наиболее предпочтительные результаты. Желательно это делать так, чтобы особи на границе Парето были равномерно распределены вдоль нее. Действительно, если выбирать подмножество определенной величины, то лучше взять такое, которое дает максимальное представление о возможных решениях, а значит, решения должны сильно отличаться. Чтобы определить степень их отличия, применяют понятие *разреженности*. Как правило, разреженность определяется с использованием Манхэттенского расстояния по всем критериям для правого и левого соседа каждой особи по рассматриваемому критерию. Особи на концах Ранга границы Парето считаются находящимися в бесконечно разреженной области. Разреженность используется, чтобы реализовать ситуацию перенаселения только в многокритериальном пространстве, а не в пространстве генотипов или фенотипов. Турнирная селекция реализуется таким образом, чтобы особи прежде всего отбирались по Рангу границы Парето, а неоднозначные ситуации разрешались в пользу особей с большей разреженностью. Генетический алгоритм недоминируемой сортировки сохраняет всех хороших особей, найденных в процессе поиска, т.е. работает с эволюционной стратегией и элитаризмом [3].

Таким образом, можно сформулировать следующий алгоритм определения наилучшего решения (рис. 2). После формирования популяции производится вычисление рангов границ Парето для всех индивидуумов в популяции. Затем вычисляются разреженности. По результатам этих вычислений формируется лучший на текущий момент фронт Парето. Начинается цикл. В алгоритм добавляются новые особи, полученные в результате скрещивание или мутации особей из существующей популяции. Затем к ним прибавляется вся существующая популяция. Происходит вычисление границ Парето у полученного множества, и одна из них помещается в память как лучшая. Для каждой границы из полученных значений выбираются наиболее разреженные особи с таким учетом, чтобы общая величина границы не превысила заранее заданное число, или выбираются все, если вновь добавленные особи не создадут перенаселения. Цикл повторяется, пока не достигнута требуемая точность или не превышено предельное время вычисления.

Обычно при таком подходе найденные решения наносят ущерб поисковым возможностям. Однако в многокритериальной оптимизации все немного по-другому, так как производится определение не одной единственной точки в пространстве поиска, а границы Парето, которая распределена в пространстве критериев, что и вносит необходимое разнообразие в решение задачи.

Следует отметить, что разреженность вычисляется только для некоторых Рангов границы Парето, поскольку эта характеристика нужна только в том случае, если размер необходимой выборки меньше, чем количество особей на границе текущего ранга.

После прохождения заданного количества поколений делается выборка полученных решений, и после их анализа принимается решение о наборе необходимых мероприятий.

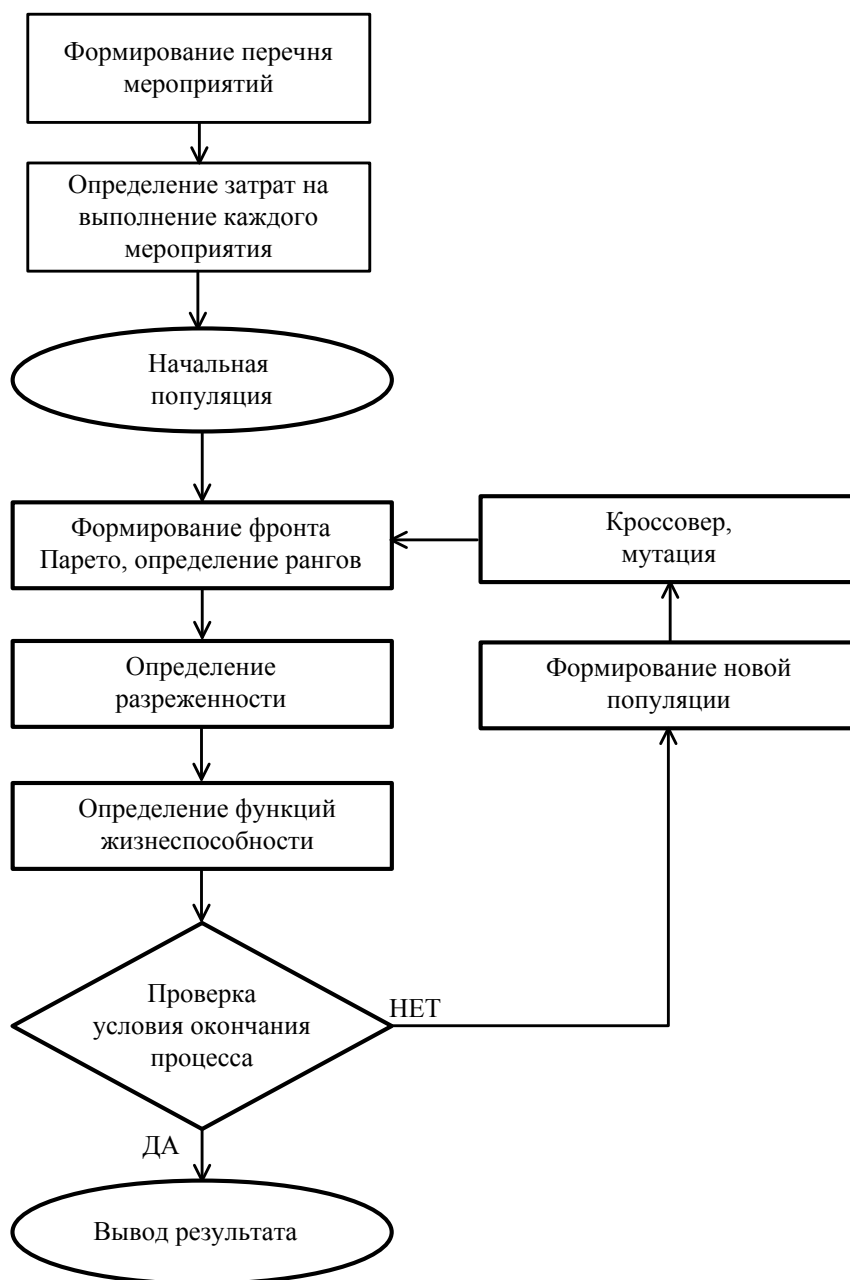


Рис. 2. Алгоритм применения метода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение генетических алгоритмов в задачах определения наилучших сочетаний мероприятий, направленных на повышение надежности системы электроснабжения, позволяет значительно сократить время на вычисления. При большой размерности исходных данных такой подход, по мнению авторов, является единственно возможным для получения необходимых технических решений с хорошими экономическими показателями.

Список используемых источников

1. *Пешехонов Н.Е.* Электроснабжение специальных комплексов: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 187 с.
2. *Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В.* Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации: учеб.-метод. материал. – Нижний Новгород, 2007. – 85 с.
3. *Подиновский В.В., Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. – 234 с.

О.В. Гайворонский;
Д.Н. Каргунин,
кандидат техн. наук,
ФГКВОУ «ВА РВСН имени Петра Великого» МО РФ, г. Балашиха

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЯМИ ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ (АГРЕГАТА) ОТ СУММАРНОЙ СТОИМОСТИ

В данной статье представлена постановка задачи формирования Парето-оптимальной зависимости вероятности выполнения задачи систем диагностирования и обеспечения запасными инструментами и принадлежностями (ЗИП) элемента системы (агрегата) от суммарной стоимости. Представленная модель позволяет произвести расчет вероятности выполнения задачи системами диагностирования и обеспечения ЗИП элемента системы (агрегата) в условиях ограниченного финансирования на начальном этапе эксплуатации (в течение периода приработки).

Ключевые слова: системы диагностирования, вероятность выполнения задачи, задачи формирования зависимости, элементы системы.

Для обеспечения в течение назначенного срока эксплуатации требуемых показателей надежности нового оборудования, входящего в состав восстанавливаемых систем, вместе с ним поставляются запасные части и принадлежности (ЗИП) на весь назначенный срок службы. Однако, как показывает опыт эксплуатации различных систем и агрегатов, на начальном этапе (этапе приработки) оборудование имеет более высокую интенсивность отказов по сравнению с другими периодами эксплуатации. Следовательно, заданный (имеющийся) объем ЗИП не всегда позволяет оперативно устранять неисправности, ввиду дефицита по некоторым позициям. Понижение оперативности устранения неисправности, ввиду отсутствия ЗИП, ведет к понижению показателей надежности всей системы в целом, что требует от эксплуатирующей организации выбора особой стратегии обеспечения ЗИП.

Анализ эксплуатации сложных технических систем показывает, что изменение интенсивности потока отказов большинства объектов описывается зависимостью, представленной на рис. 1 [1].

В этой статье рассматривается период приработки, в процессе которого устраняют систематические отказы элементов и производятся доработки. Выявление и устранение неисправностей приводят к повышению вероятности безотказной работы и, следовательно, к снижению интенсивности отказов.

Методы расчета количества запасных элементов, разработанные для этапа нормальной эксплуатации, не всегда позволяют оптимальным образом осуществить планирование поставок запасных элементов на этапе приработки. Это приводит к появлению нулевых позиций одной номенклатуры и завышенному запасу элементов другой номенклатуры.

В результате анализа источников [2, 3] можно сделать вывод, что необоснованное уменьшение запасов ЗИП приводит к снижению надежности систем и может привести к срыву выполнения функциональной задачи. Это может повлечь за собой ущерб, который складывается из потерь готовности технологического оборудования, затрат на ремонтно-восстановительные работы в случае повреждения каких-либо систем, штрафов за нанесение ущерба окружающей среде. Наиболее тяжелые последствия возникают, если отсутствие ЗИП приводит к невозможности своевременного устранения неисправностей, локализации нештатных ситуаций и аварии на технологическом оборудовании. В этом случае размеры ущерба являются недопустимыми.

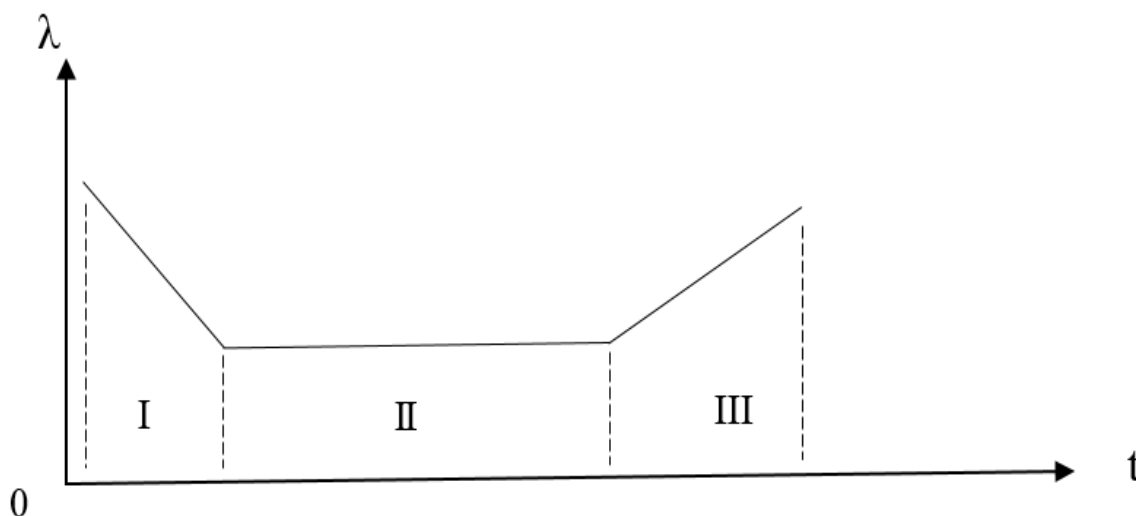


Рис. 1. Характерное изменение интенсивности потока отказов

На рис.1 введены следующие обозначения:

I – период приработки;

II – период нормальной работы;

III – период старения.

Формирование Парето-оптимальной зависимости вероятности выполнения задачи системой диагностирования (СД) и системой обеспечения ЗИП (СОЗ) элемента системы (агрегата) в условиях ограниченного финансирования на начальном этапе эксплуатации (в течение периода приработки) позволяет уменьшить сроки ожидания ЗИП нулевых позиций. Это, в свою очередь, повышает оперативность устранения неисправностей и как следствие – повышает готовность системы (агрегата) к использованию по назначению.

Для формирования данной зависимости рассмотрим сценарий невыполнения задачи элементом агрегата (системы). На рис.2 показано дерево такого сценария.

Из рисунка видно, что определяющими событиями, обуславливающими невыполнение задачи элементом агрегата (системы), являются:

- обнаружение дефекта системой диагностики;
- наличие дефекта в элементе;
- невозможность замены элемента за допустимое время (отсутствие ЗИП или превышение времени ремонта).

Для такого сценария формула для вычисления вероятности невыполнения задачи запишется следующим образом:

$$P_{\text{НВЗ}} = P_{\text{д}} \cdot (1 - P_{\text{СД}}) + P_{\text{д}} \cdot P_{\text{СД}} \cdot (1 - P_{\text{СОЗ}}), \quad (1)$$

где $P_{\text{НВЗ}}$ – вероятность невыполнения задачи элементом агрегата (системы);

$P_{\text{д}}$ – вероятность того, что в элементе присутствует дефект;

$P_{\text{СД}}$ – вероятность обнаружения дефекта системой диагностики;

$P_{\text{СОЗ}}$ – вероятность нахождения в ЗИП отказавшего элемента.

Формула (1) легко преобразовывается к следующему виду:

$$P_{\text{НВЗ}} = P_{\text{д}} \cdot (1 - P_{\text{СД}} P_{\text{СОЗ}}). \quad (2)$$

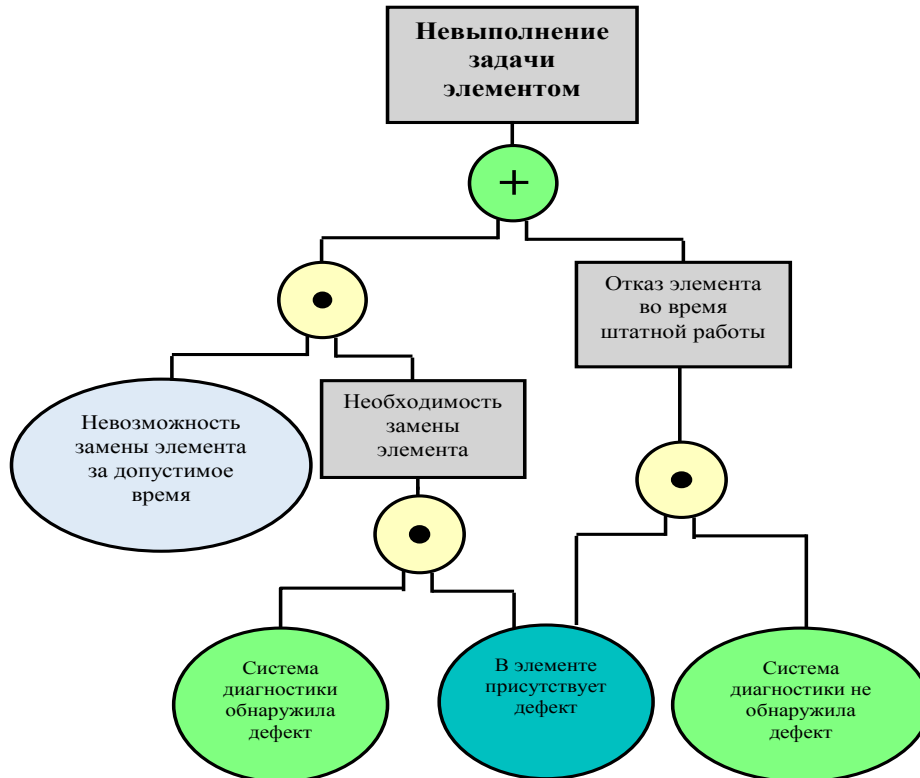


Рис. 2. Сценарий невыполнения задачи элементом агрегата (системы)

В результате анализа способов понижения вероятности невыполнения задачи элементом агрегата (системы) становится понятно, что такое понижение может быть осуществлено тремя способами.

1. Понизить вероятность возникновения дефекта в элементе. Желаемый эффект в этом случае может быть достигнут в основном на этапе изготовления и монтажа элемента, например, путем более жесткого контроля качества материалов, сборки и т.д. В данной статье эти вопросы не рассматриваются.

2. Повысить вероятность обнаружения дефекта. Это может быть осуществлено путем использования дополнительных средств контроля и (или) заменой средств контроля на другие, обеспечивающие большую достоверность диагностирования по сравнению с существующими.

3. Повысить вероятность обеспечения запасными элементами. Вероятность обеспечения запасными элементами однозначно определяется количеством запасных элементов данной номенклатуры, заложенных в ЗИП.

В рамках предложенного автором подхода будут рассматриваться только 2-й и 3-й способы минимизации вероятности невыполнения задачи элементом агрегата (системы). В данном случае целевая функция для составления Парето-оптимальной зависимости вероятности выполнения задачи СОЗ и СД от суммарной стоимости СОЗ и СД может быть представлена в следующем виде:

$$P_{ВЗi}^{эл}(d_{l,m_i}^*; c_i) = \max_{d_{l,m_i} \in d_i} \{P_{ВЗi}^{эл}(d_{l,m_i}; c_i)\}, \forall (c_i = 0, \Delta c, 2\Delta c, \dots, C_{\max}), i \in I \quad (3)$$

Кроме того, запишем ограничение

$$C_{СД} + C_{СОЗ} \leq C_{\max}, \quad (4)$$

где $C_{СД}$ – совокупная стоимость системы диагностирования;

$C_{СОЗ}$ – стоимость системы обеспечения ЗИП;

C_{\max} – выделенный бюджет на СД и СОЗ.

Данную задачу предлагается решать в два этапа. На *первом этапе* необходимо определить множество оптимальных наборов средств контроля для контролируемого элемента и, соответственно, сформировать Парето-оптимальную зависимость $P_{\text{СД}}(C_{\text{СД}})$. В этом случае целевая функция примет следующий вид:

$$\vec{x}^* = \arg \max P_{\text{СД}}(\vec{x}), \quad (5)$$

где \vec{x} – множество средств контроля, которое определяется выражением

$$\vec{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}. \quad (6)$$

Здесь x_i – булева переменная, $x_i \in \{0;1\}$;

1 – контролировать i -м средством контроля;

0 – не контролировать i -м средством контроля.

Стоимость СД однозначно связана с \vec{x} следующим соотношением:

$$C_{\text{СД}}(\vec{x}) = \sum_{i=1}^n c_{\text{СД}_i} \cdot x_i, x_i \in \vec{x}, \quad (7)$$

где $c_{\text{СД}_i}$ – стоимость контроля i -м средством.

Соответственно, ограничение запишется следующим образом:

$$C_{\text{СД}} \leq C_{\text{СД}}^{\max}. \quad (8)$$

На *втором этапе* необходимо сформировать Парето-оптимальную зависимость вероятности выполнения задачи СОЗ и СД от суммарной стоимости СОЗ и СД. Для ее решения воспользуемся методом полного перебора. Применение этого метода в данном случае обосновано рядом факторов. Среди них:

1. Вычислительная простота метода позволяет избежать сложных алгоритмов, эвристик и т.д.

2. Достаточно малое количество запасных элементов одного типа (от 1 до 10 элементов) позволяет осуществить перебор всех возможных вариантов без существенных вычислительных затрат.

3. Обеспечена возможность получения точного решения и области Парето-оптимальных решений.

При решении задачи будем использовать следующий алгоритм.

Шаг 1. Введем такие переменные:

Y_i – количество запасных элементов i -й номенклатуры;

P_{\max} – вспомогательная переменная;

$N = C / c_i$ – количество запасных элементов, которое обеспечивается при полном израсходовании средств C на СОЗ.

Зададим начальные значения:

$$y_i = 0, \quad P_{\max} = 0. \quad (9)$$

Шаг 2. Рассчитаем текущие значения $C_{\text{СОЗ}}$ и $C_{\text{СД}}$ по формулам:

$$C_{\text{СОЗ}} = y_i c_i, \quad (10)$$

$$C_{\text{СД}} = C - C_{\text{СОЗ}}. \quad (11)$$

Определим текущее значение $P_{\text{ВЗ}}(C)$:

$$P_{\text{ВЗ}}(C) = P_{\text{СД}}(C_{\text{СД}}) \cdot P_{\text{СОЗ}}(C_{\text{СОЗ}}). \quad (12)$$

Шаг 3. Если выполняется условие $P_{\text{ВЗ}}(C) > P_{\max}$, то присваиваем P_{\max} новое максимальное значение $P_{\max} = P_{\text{ВЗ}}(C)$, запоминаем текущие значения управляющих переменных $y^* = y_i$, $C_{\text{СОЗ}}^* = C_{\text{СОЗ}}$, $C_{\text{СД}}^* = C_{\text{СД}}$.

Шаг 4. Если выполняется условие $y_i < N$, то увеличиваем значение $y_i = y_i + 1$ и идем на шаг 2.

Шаг 5. Значения y^* , $C_{СОЗ}^*$, $C_{СД}^*$ являются оптимальными в смысле вероятности выполнения задачи СОЗ и СД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная модель позволяет произвести расчет вероятности выполнения задачи системами диагностирования и обеспечения ЗИП элемента системы (агрегата) в условиях ограниченного финансирования на начальном этапе эксплуатации (в течение периода приработки), тем самым позволяет повысить готовность к применению по назначению исследуемой системы (агрегата).

Список используемых источников

1. *Волков Л.И.* Управление эксплуатацией летательных комплексов: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 400 с.
2. *Соломонов П.А.* Вопросы надежности авиационной техники: учеб. пособие для вузов. – М.: Воениздат, 1965. – 144 с.
3. *Труханов В.М.* Сложные технические системы типа подвижных установок. Разработка и организация производства. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.

А.С. Глуханов,
кандидат техн. наук, доцент;
И.Н. Некрасов,
кандидат техн. наук;
В.И. Сеньченков,
доктор техн. наук, профессор

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Предложен метод оптимизации программы диагностирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха специальных фортификационных сооружений стартовой позиции РКК по критерию максимума средней вероятности правильного определения технического состояния.

Ключевые слова: диагностирование, вероятность отказа, оптимизация диагностирования, отказ, неисправность.

Одним из фундаментальных свойств любого процесса является его эффективность, под которой понимается приспособленность данного процесса к достижению поставленной цели, его результативность, соотнесенная с затратами всех видов ресурсов [1]. Для оценивания эффективности процесса принятия решений о техническом состоянии (ТС) объекта необходимо выбрать показатель эффективности и сформировать критерий, по которому оцениваются различные варианты программы диагностирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и КВ). Из трех известных видов критериев – пригодности, оптимальности и превосходства [2] – в рассматриваемой задаче целесообразно использовать второй. В соответствии с данным критерием должен быть найден такой вариант ветвления граф-дерева, на котором выбранный показатель эффективности принимает экстремальное значение при условии выполнения заданных ограничений.

Под эффективностью процесса принятия решений о техническом состоянии элементов СВ и КВ в дальнейшем понимается его достоверность. И если универсальным показателем эффективности является вероятность достижения цели, то показатель достоверности – это вероятность D получения правильного решения о техническом состоянии СВ и КВ. Естественно, что оптимизация должна выполняться по критерию максимума указанного показателя.

Чтобы сформулировать данную задачу на математическом уровне, необходимо на упорядоченном множестве проверок КП

$$\Pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_j\}$$

задать множество перестановок $m\Pi$. Данное множество содержит все возможные упорядоченные сочетания проверок КП. Следовательно, экстремальное значение показателя D необходимо искать именно на множестве $m\Pi$, которое является множеством альтернатив [2]. Реализация всех перестановок дает всевозможные варианты ветвления граф-дерева, при этом формируются все подмножества проверок Π_i . Для каждого варианта ветвления можно вычислить значение показателя D , и максимальное из всех полученных значений соответствует оптимальному варианту ветвления.

Пусть множество видов ТС объекта, как и прежде [3], индексируется множеством F , мощность которого равна количеству рассматриваемых видов ТС: $|F| = m$. С учетом данного обозначения оптимизационная задача формулируется следующим образом. Найти последовательность $(\Pi_f)_{f \in F}$ упорядоченных подмножеств проверок КП такую, что

$$D(\Pi_f)_{f \in F} = \max_{p \in m\Pi} D\{(D(\Pi_f)_{f \in F})_p\}. \quad (1)$$

Ограничением на состав КП является условие попарной различимости изображений видов ТС объекта [3]. При этом должны выполняться и ограничения на временные и трудовые ресурсы. В явном виде последние ограничения будут сформированы ниже.

Для решения оптимизационной задачи (1) целевая функция должна быть задана в явном виде. Ее построение осуществляется на основе следующих рассуждений. В соответствии с принятой ранее вероятностной моделью

$$M = (E, A_E, P, \Theta), \quad (2)$$

где E – множество изображений видов ТС объекта, сформированных в результате обучения (множество исходов эксперимента);

A_E – алгебра подмножеств множества E , в которой элементы R имеют смысл фазовых состояний моделируемого процесса, $A_E = \{R | R \subseteq E\}$;

P – вероятностная мера, заданная на алгебре A_E ,
 $P = \{P(R) | P(R) = \sum_{E_i \in R} P(E_i), R \in A_E\}$;

Θ – множество операторов, описывающих переходы из начального фазового состояния $R = E$ к конечным фазовым состояниям $R_i = \{E_i\}$, каждое из которых содержит единственный элемент E_i , представляющий опознанный вид ТС объекта, $\Theta = \{\Theta_i | \Theta_i: E \rightarrow R_i, i = \overline{1, m}\}$. Событие, заключающееся в том, что объект находится в i -м виде технического состояния, будет обозначаться через E_i . Вероятность такого события $P(E_i)$ полагается заданной. Событие, заключающееся в том, что в результате выполнения проверок КП зафиксирован i -й вид ТС, будет обозначаться через R_i .

Пусть зафиксирован i -й вид ТС при условии, что реальное состояние объекта также соответствует i -му виду ТС, т.е. одновременно произошли события E_i и R_i . Следует заметить, что событие R_i – это не вполне достоверный результат из-за наличия инструментальных и методических погрешностей при выполнении проверок.

Очевидно, что условная вероятность $P(R_i | E_i)$ представляет собой вероятность D_i получения правильного решения для i -го вида ТС:

$$D_i = P(R_i | E_i).$$

Так как при идентификации i -го вида ТС реализуются проверки из упорядоченного подмножества Π_i , можно записать, что

$$D_i = D\Pi_i.$$

Вероятность D правильного решения в целом по программе определяется как средняя вероятность, которая аппроксимирует математическое ожидание величины D_i :

$$D = ED(\Pi_i)_{i=\overline{1, m}} = \sum_{i=1}^m P(E_i)P(R_i | E_i). \quad (3)$$

Структура ограничений оптимизационной задачи формируется из аналогичных рассуждений. Если $\sum_{\pi_j \in \Pi_i} t(\pi_j)$ и $\sum_{\pi_j \in \Pi_i} c(\pi_j)$ – суммарные затраты времени и ресурсов на выполнение

проверок КП, необходимых для определения i -го вида ТС, то математическое ожидание затрат в целом по программе определяется из выражений:

$$ET = \sum_{i=1}^m P(E_i) \sum_{\pi_j \in \Pi_i} t(\pi_j), \quad (4)$$

$$EC = \sum_{i=1}^m P(E_i) \sum_{\pi_j \in \Pi_i} c(\pi_j). \quad (5)$$

Для того чтобы производить оптимизацию процесса принятия решений о ТС объекта, необходимо оперировать выражением (3). Следовательно, должны быть выведены соотношения для определения вероятностей типа $P(R_i|E_j)$, которые характеризуют вероятности как правильных решений о ТС объекта при $i = f$, так и ошибочных решений ($i \neq f$).

Для идентификации произвольного вида ТС объекта необходимо выполнить ряд проверок КП. Возникающие при этом вероятности ошибок первого и второго рода зависят только от точностных характеристик контрольно-измерительных приборов и значений допусков на КП. Поэтому вероятности этих ошибок для разных проверок статистически независимы, что позволяет использовать формулу умножения вероятностей при вычислении общей ошибки контроля и диагностирования на множестве Π_i . Исходя из этого выражение для вычисления $P(R_i|E_f)$ можно записать в виде произведения:

$$P(R_i | E_f) = \prod_{\pi_j \in \Pi_i} \gamma_{if}(\pi_j), \quad (6)$$

в котором сомножители $\gamma_{if}(\pi_j)$ определяются на основе решающего правила и вероятностей ошибок первого и второго рода производимых проверок. С учетом определения указанных ошибок, которое приведено выше, вытекает правило вычисления данных сомножителей при контроле работоспособности и диагностировании:

$$\gamma_{if}(\pi_j) = \begin{cases} 1 - \alpha_j, & \text{если } |y_{ij} - e_{ij}| = \min_{f=0,m} \{|y_{ij} - e_{ff}|\}, i = 0; \\ 1 - \beta_j, & \text{если } |y_{ij} - e_{ij}| = \min_{f=1,m} \{|y_{ij} - e_{ff}|\}, i = \overline{1,m}; \\ \alpha_j, & \text{если } |y_{ij} - e_{ij}| = \min_{f=1,m} \{|y_{ij} - e_{ff}|\}, i = 0; \\ \beta_j, & \text{если } |y_{ij} - e_{ij}| = \min_{f=1,m} \{|y_{ij} - e_{ff}|\}, f = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, учитывая соотношения (6) и (7), математическая формулировка задачи оптимизации по критерию максимума средней вероятности получения правильного решения о ТС объекта при ограничениях на временной и трудовой ресурсы состоит в следующем. Найти упорядоченные подмножества $\Pi_i \subseteq \Pi$, $i = \overline{1,m}$, такие, что

$$ED = \max_{p \in m\Pi} \left\{ \sum_{i=1}^m P(E_i) \left(\prod_{\pi_j \in \Pi_i} \gamma_{ii}(\pi_j) \right)_p \right\}; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m P(E_i) \sum_{\pi_j \in \Pi_i} t(\pi_j) \leq M_t; \quad \sum_{i=1}^m P(E_i) \sum_{\pi_j \in \Pi_i} c(\pi_j) \leq M_c,$$

где M_t , M_c – максимально допустимые расходы временного и трудового ресурсов соответственно.

Решение задачи (8) обеспечивает максимальную достоверность, т.е. функциональную эффективность процесса принятия решений о ТС объекта. Данное свойство имеет особенно важное значение при контроле и диагностировании военно-технических систем, в частности, СВ и КВ. Это объясняется высокой ответственностью решений, принимаемых по результатам анализа ТС. Если работоспособный объект признается неработоспособным, то он выводится из эксплуатации, что ведет к неоправданным затратам по производству монтажных работ.

Попытка применения по назначению неработоспособного объекта, ошибочно принятого как работоспособный, ведет к срыву выполнения боевой задачи. Кроме того, возможные по-

следствия чрезвычайно опасны для обслуживающего персонала, если объекты представляют собой тепломеханические или электромеханические системы с высокими значениями температур и давлений рабочих тел, подвижными инерционными массами. Поэтому обеспечение максимальной достоверности диагностирования СВ и КВ является весьма актуальной задачей.

Диагностирование можно рассматривать как управляемый дискретный многошаговый процесс стохастического типа. Он обладает свойствами марковского процесса [4], так как переход из любого его состояния в другое полностью определяется предыдущим состоянием и выбранной в нем проверкой. Причем задача диагностирования допускает декомпозицию на относительно самостоятельные подзадачи меньшей размерности. Любая программа диагностирования может быть представлена как композиция отдельных подпрограмм, которые начинаются с промежуточных фазовых состояний.

Оптимизация таких процессов производится различными методами дискретного программирования [5], в частности динамического программирования. Другой способ нахождения оптимального решения состоит в построении всех возможных гибких программ диагностирования путем задания различных вариантов ветвления. Указанные варианты реализуются при изменении порядка проверок. В связи с тем, что в рассматриваемом случае число видов технического состояния СВ и КВ и количество проверок невелики, для поиска оптимального решения применяется метод прямого перебора вариантов ветвления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, формализация последовательности выполнения проверок и оптимизация процессов принятия решений о техническом состоянии ТМО выполнены для различной формы представления и физической природы выходных процессов объекта, что является дальнейшим развитием известных разработок в области контроля и диагностирования.

Список используемых источников

1. *Дмитриев А.К., Юсупов Р.М.* Идентификация и техническая диагностика. – МО РФ, 2007. – 521 с.
2. *Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И.* Теория систем и оптимального управления. – МО РФ, 1997. – Ч. 2: Понятия, модели, методы и алгоритмы оптимального выбора. – 589 с.
3. *Сеньченков В.И.* Модели, методы и алгоритмы анализа технического состояния. – Гамбург: LAP LAMBERT, 2013. – 377 с.
4. *Феллер В.* Введение в теорию вероятностей и ее приложения: в 2 т.: пер. с англ. – М.: Мир, 1964.
5. *Беллман Р., Калаба Р.* Динамическое программирование и современная теория управления: пер. с англ. / под ред. Б.С. Разумихина. – М.: Наука, 1999. – 118 с.

В.А. Горин,
кандидат техн. наук;
В.В. Карагодин,
доктор техн. наук, профессор;
С.В. Смирнов,
кандидат техн. наук, доцент

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕСЩЕТОЧНОМ СИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ

Показано, что задача разработки математических моделей синхронных генераторов, которые являются наиболее сложными динамическими элементами систем автономного электроснабжения, в настоящий момент весьма актуальна. При этом для повышения достоверности решения задачи синтеза эффективных законов управления возбуждением синхронного генератора необходимо обеспечить достаточную точность математической модели. Представлена упрощенная математическая модель синхронного генератора, проведен анализ степени влияния принятых допущений и предложены рекомендации по повышению точности моделирования.

Ключевые слова: система автономного электроснабжения, синхронный генератор, математическая модель, уравнения Парка – Горева, демпферный контур, насыщение, скольжение.

ВВЕДЕНИЕ

В системах автономного электроснабжения (САЭ) технических комплексов и средств наземного базирования ВКС РФ (далее – наземные комплексы), для которых в качестве одного из важнейших требований выступает обеспечение высокого уровня живучести и надежности электроснабжения, целесообразно использование как источников электроэнергии бесщеточных синхронных генераторов [1]. Эти генераторы обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с генераторами, имеющими другие системы возбуждения. Внедрение перспективных бесщеточных синхронных генераторов для увеличения надежности систем автономного электроснабжения должно сопровождаться совершенствованием их систем регулирования и управления для обеспечения требуемого качества электроэнергии в различных (переходных и установившихся) режимах функционирования.

Наиболее эффективное решение задачи совершенствования систем регулирования возбуждения синхронных генераторов возможно на основе разработки и реализации более совершенных законов регулирования. Успех разработки и исследования законов регулирования возбуждения электрических машин весьма проблематичен без применения современных методов математического моделирования [2]. В связи с этим задача разработки математических моделей элементов автономных электростанций, которые при значительно более низком порядке описывающих их уравнений давали бы адекватную реальную реакцию на возмущения в сетях потребителей наземных комплексов (НК), является сейчас весьма актуальной.

Разработка математических моделей автономных источников электроснабжения (АИЭ) – это важнейший этап исследований, проводимых с целью решения стоящих перед исследователями задач. Получение адекватных математических моделей позволит:

- осуществить применение методов теории автоматического управления для синтеза эффективных законов регулирования АИЭ;
- произвести детальный и комплексный анализ происходящих в различных режимах работы процессов без натуральных испытаний, что значительно снижает материальные затраты;
- произвести испытание (моделирование) таких процессов и режимов работы, которые невозможно или нецелесообразно производить на реальных объектах;

– интенсифицировать процессы разработки и проектирования (при снижении суммарных затрат) путем применения машинных методов обработки информации и поиска решений на базе электронно-вычислительной техники.

Чтобы снизить затраты на проведение испытаний физических объектов для отработки алгоритмов функционирования и настройки систем автоматического регулирования, необходимо обеспечить достаточную точность математической модели. Для этого следует, с одной стороны, при идеализации реального объекта учитывать все наиболее существенные свойства и связи, пренебрегая второстепенными несущественными, с другой – по возможности упростить математическое описание, что позволит, в свою очередь, упростить решение задачи синтеза эффективных законов управления.

УПРОЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Процессы, происходящие в автономных системах электроснабжения, описываются уравнениями синхронных генераторов, статической нагрузки, асинхронных приводов, регулирования возбуждения, автоматического распределения активной и реактивной мощностей между генераторами, регулирования первичных двигателей генераторных агрегатов, соединительных линий и уравнениями связи. При исследовании переходных процессов в автономных системах электроснабжения необходимо получить математические модели (уравнения) элементов системы (синхронного генератора, синхронного возбудителя, преобразователей), представить их в виде системы уравнений, адаптированной для решения поставленных задач.

Основными наиболее сложными динамическими элементами в составе САЭ являются синхронные генераторы (СГ), электромагнитные и электромеханические переходные процессы, в которых наиболее полно они описываются с помощью уравнений Парка – Горева [3].

На основе указанных уравнений могут быть получены различные модели генератора, отличающиеся степенью идеализации происходящих в машине переходных процессов.

При разработке таких моделей, как правило, используют ряд общепринятых допущений [4, 5]. В частности, к ним относят следующие допущения:

- о симметричности трехфазной системы обмоток синхронного генератора;
- о незначительном влиянии гистерезисных явлений и вихревых токов на электромагнитные процессы, что позволяет ими пренебрегать;
- о постоянстве параметров системы и независимости их от параметров режима в течение всего времени протекания изучаемого процесса. При этом параметры режима в переходных процессах выражаются действующими или амплитудными, а не мгновенными значениями ввиду малости периода колебаний по сравнению с длительностями переходных процессов;
- о симметричности электрической трехфазной нагрузки, что позволяет не учитывать составляющие обратной и нулевой последовательностей.

Однако, даже с учетом принятых допущений, математическая модель имеет достаточно высокий порядок. Так, например, система дифференциальных уравнений, описывающая электромагнитный контур синхронного генератора, имеет шестой порядок. Порядок системы возрастает до 12-го, если учитывать математическое описание регулятора возбуждения и двигательной нагрузки.

Именно высокий порядок дифференциальных уравнений, описывающих поведение объекта управления, создает одну из основных трудностей при нахождении законов управления, в особенности оптимальных законов.

Данные обстоятельства обуславливают необходимость проведения исследований, направленных на упрощение математического описания элементов САЭ (в смысле обоснованного понижения порядка системы дифференциальных уравнений при исследовании определенных режимов работы), при этом не значительно снижая точность моделирования. Результаты таких исследований приведены в работах [4, 6–9].

При исследовании автономных систем электроснабжения часто используются упрощенные уравнения синхронного генератора, которые получены с учетом не только общепринятых допущений, но и ряда допущений, учитывающих специфику решаемой задачи.

К таким допущениям можно отнести следующие:

- не учитываются активные сопротивления обмоток статора, т.е. считают $r = 0$;
- не учитываются трансформаторные э.д.с., т.е. считают $e_{тр} = 0$;
- не учитывается влияние демпферных контуров;
- частота вращения первичного двигателя считается постоянной;
- не учитывается влияние насыщения.

В работах [7, 8] путем учета дополнительно принятых допущений получена математическая модель СГ, работающего на активно-индуктивную нагрузку, которая имеет следующий вид:

$$u_d = x_q i_q = r_n i_d - x_n i_q; \quad (1)$$

$$u_q = e_q - x_d i_d = x_n i_d + r_n i_q; \quad (2)$$

$$(T_{d0} p + 1) e_q - T_{d0} (x_d - x_d') p i_d = u_f; \quad (3)$$

$$u_r = \sqrt{u_q^2 + u_d^2}, \quad (4)$$

где u_r – напряжение генератора, о.е.;

u_d, u_q, i_d, i_q – напряжения и токи СГ по осям d и q , о.е.;

u_f – напряжение возбудителя, приложенное к обмотке возбуждения генератора, о.е.;

e_q – э.д.с. возбуждения, о.е.;

x_q, x_d – индуктивные сопротивления обмоток генератора по осям d и q , о.е.;

x_d' – переходное индуктивное сопротивление СГ по продольной оси, о.е.;

T_{d0} – постоянная времени цепи возбуждения при разомкнутой цепи статора, $T_{d0} = X_f/R_f$, с;

r_n, x_n – параметры нагрузки, о.е.

Результаты математического моделирования переходного процесса в СГ с диодной бесщеточной системой возбуждения для случая наброса нагрузки при использовании математической модели на основе полных уравнений Парка – Горева и упрощенной математической модели СГ [выражения (1)–(4)], полученной с учетом принятых допущений, показывают, что упрощенное математическое описание в основном достаточно точно определяет характер переходного процесса СГ при изменении параметров нагрузки. И, в принципе, такое описание может быть использовано для предварительных расчетов и оценок качества переходных процессов при работе различных систем возбуждения, а также для исследования статической устойчивости.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОПУЩЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ

Однако при решении ряда задач синтеза законов управления возбуждения СГ (например, при нахождении оптимального управления) имеющая место неточность вполне может привести к значительным погрешностям при их реализации и, как следствие, к ухудшению качества переходных процессов. Поэтому для уточнения математического описания возникает необходимость более подробно исследовать степень влияния принятых допущений и выработать рекомендации по повышению точности моделирования.

Как показали результаты исследований [4, 6], **пренебрежение активными сопротивлениями статора** не вносит заметных погрешностей в расчеты переходных и установившихся режимов СГ, если относительное сопротивление $r = RI_\delta/U_\delta$ оказывается меньше величины $r < 0,02$, где R – сопротивление статора в именованных единицах, I_δ и U_δ – базовые значения

тока и напряжения. Так как в СЭС НК используются в основном СГ средней мощности, для которых $0,008 < r < 0,02$, то пренебрежение активным сопротивлением обмоток статора r вполне допустимо.

При расчете переходных процессов СГ обычно не учитывают и *трансформаторные э.д.с.* [4, 7, 10]. Погрешность вследствие неучета трансформаторных э.д.с. можно приближенно оценить через параметры СГ по формуле

$$\frac{e_{\text{тр}}}{e_{\text{вр}}} = \frac{x_d - x'_d}{\omega_0 \cdot x'_d \cdot T_{d0}},$$

где $e_{\text{вр}}$ – э.д.с. вращения;

ω_0 – синхронная скорость вращения.

Так, например, при параметрах генератора СБГ-1600-1500 $x_d = 1,98$ о.е., $x'_d = 0,20$ о.е. и $T_{d0} = 0,6$ с это отношение дает $e_{\text{тр}} = 0,073e_{\text{вр}}$.

Кроме того, следует учитывать и тот факт, что составляющие трансформаторных э.д.с. затухают значительно быстрее всего переходного процесса. Так, в работе [4] проведен анализ влияния трансформаторных э.д.с. на переходные процессы синхронной машины. В результате получено аналитическое решение характеристического уравнения системы, а также в явном виде – частоты свободных колебаний и постоянная времени затухания апериодических составляющих. Показано, что апериодические составляющие затухают с постоянной времени на несколько порядков меньше времени переходного процесса.

Подробный анализ влияния данного допущения был рассмотрен в статье [7]. Он показал, что трансформаторные э.д.с. оказывают существенное влияние на переходный процесс в СГ лишь в первые 0,04 с после возмущения. А так как регуляторы напряжения СГ не могут значительно изменить ток возбуждения и существенно повлиять на выходное напряжение генератора в течение $0,02 \div 0,04$ с, то трансформаторные э.д.с. при исследованиях работы систем автоматического управления возбуждением СГ можно не учитывать.

Учет влияния демпферных обмоток на переходные процессы в электромагнитном контуре СГ. Учет демпферных контуров в модели СГ существенно усложняет его математическое описание. В то же время переходные процессы в демпферных обмотках затухают почти на порядок быстрее времени всего переходного процесса. Кроме того, необходимо отметить, что большинство СГ малой и средней мощностей в СЭС НК, как правило, не имеют демпферных обмоток. Поэтому в уравнениях СГ можно принять, что э.д.с. демпферных контуров $e_{rd} = e_{rq} = 0$. Обоснование допустимости неучета демпферных контуров приведено также, например, в [10].

В работах [7, 8] путем сравнения расчетных и экспериментальных кривых переходного процесса показано, что неучет демпферных контуров приводит к погрешности не более 3%. Таким образом, влиянием демпферных контуров на переходный процесс в СГ можно пренебречь.

Однако при решении задачи синтеза законов регулирования возбуждения автономно работающего генератора важно установить влияние демпферных контуров при их наличии на процессы в электромагнитном контуре. Это достаточно обстоятельно сделано в работе [7]. В ней установлено, что при набросе нагрузки продольные демпферные контуры способствуют уменьшению провала напряжения, а поперечные – напротив, увеличивают провал. Причем при увеличении коэффициента мощности нагрузки степень воздействия продольных демпферных контуров уменьшается, а поперечных – увеличивается. При некотором значении $\cos\varphi$ их влияние может взаимно компенсироваться (данное значение $\cos\varphi$ различно для различных генераторов и зависит от их параметров и режимов работы).

Наличие демпферного контура по оси q , как показано в [7], приводит к увеличению провала напряжения в первоначальный момент времени и только при нагрузке с $\cos\varphi > 0$. В случае наброса чисто индуктивной нагрузки ($\cos\varphi = 0$) влияние поперечного демпферного

контура на провал напряжения и на переходный процесс в целом вообще отсутствует. Исследования показали, что учет влияния поперечного демпферного контура приводит к погрешности моделирования, не превышающей 1%.

В соответствии с рекомендациями [7–9], не усложняя математического описания СГ, повысить точность моделирования можно, если для учета влияния демпферных обмоток по оси d на процессы в электромагнитном контуре генератора выполнить соответствующее эквивалентирование его параметров. Для учета влияния продольного демпферного контура при работе генератора на холостом ходу достаточно заменить постоянную времени обмотки возбуждения T_{d0} эквивалентной постоянной:

$$T_{d0э} = T_{d0} + T_{rd}, \quad (5)$$

где T_{rd} – постоянная времени демпферного контура. А при работе генератора на нагрузку необходимо еще эквивалентировать переходное индуктивное сопротивление по продольной оси синхронной машины x_d' , заменив его величиной

$$x_{dэ}' = x_d - (T_{d0}(x_d - x_d') + T_{rd}x_{ad}) / T_{d0э} = (T_{d0}x_d' + T_{rd}x_s) / T_{d0э} = x_s + T_{d0}(x_d' - x_s) / T_{d0э}. \quad (6)$$

Из выражения (6) следует: $x_{dэ}'$ всегда меньше, чем x_d' , что при моделировании приводит к уменьшению первоначального скачка напряжения после возмущения.

Кроме того, для учета влияния демпферных контуров с целью повышения точности моделирования при изменении нагрузки в любой точке установившегося режима с параметрами нагрузки $r_H(0^-)$, $x_H(0^-)$ необходимо мгновенное изменение напряжения после возмущения рассчитывать с учетом эквивалентированных параметров.

Таким образом, не усложняя математического описания СГ (не увеличивая порядок системы), удастся повысить точность моделирования, если для учета влияния демпферных контуров:

- эквивалентировать T_{d0} , x_d' по выражениям (5), (6);
- скачкообразное изменение $u_T = u_T(0^+)$ после возмущения рассчитать с учетом $T_{d0э}$, $x_{dэ}'$.

Учет насыщения в упрощенной математической модели СГ. Коэффициент насыщения h в зависимости от внутренней э.д.с. СГ по оси d e_{id} может быть определен из соотношения

$$h = k_0 + k_1 e_{id} + k_2 e_{id}^2 + k_3 e_{id}^3,$$

которое получено аппроксимацией нелинейной характеристики холостого хода $h=f(e_{id})$ [6].

В [7] показано, что при использовании упрощенной математической модели СГ для аппроксимации нелинейной характеристики $h=f(e_{id})$ гораздо удобнее (с точки зрения упрощения расчетов) пользоваться более простым выражением

$$e_{idH} = a_H e_{id} / (b_H + e_{id}),$$

где a_H , b_H – коэффициенты, подбираются из условия хорошего совпадения реальной и приближенной зависимостей.

Для среднестатистической характеристики холостого хода СГ малой и средней мощностей могут быть выбраны следующие коэффициенты аппроксимации: $a_H = 1,45$; $b_H = 0,45$.

Учет скольжения в упрощенной математической модели СГ. Точный учет *изменений частоты* для определенных расчетов также не является обязательным [4, 10, 11]. Допущение о постоянстве частоты правомерно в основном вследствие относительно большой инерции вращающихся масс синхронных машин. Механические постоянные инерции СГ в несколько раз превышают постоянные времени электромагнитного контура системы. Частота вращения роторов СГ не может изменяться скачком, а длительности электромагнитных переходных процессов значительно превышают длительности электромеханических процессов. Поэтому в нормальных режимах работы частота претерпевает некоторые изменения, в основном, когда переходные процессы в электромагнитном контуре уже завершены. В связи с этим в тех уравнениях, куда входят значения частоты, можно полагать $\omega = \omega_{ном} = \text{const}$ (т.е. скольжения $s = 0$).

В [12] неучет влияния частоты на электромагнитный контур системы обоснован тем, что наряду с изменением частоты изменяется не только величина выходного напряжения, но и величина реактивности машины. Причем данные факторы оказывают взаимно компенсирующее воздействие. Допущение о постоянстве частоты будет тем более правомерным, если рассматривается наброс нагрузки с низким коэффициентом мощности, так как при низком $\cos\varphi$ тормозной момент на валу двигателя незначителен. Таким образом, в первом приближении изменением скольжения СГ можно также пренебречь.

В [7–9] показано, что погрешность моделирования переходных процессов в контуре напряжения СГ при неучете изменения скольжения и низких $\cos\varphi$ составляет не более 2%. Однако с увеличением $\cos\varphi$ и величины нагрузки до предельно возможных значений погрешность возрастает до 5%.

Поэтому, несмотря на принятое допущение о постоянстве частоты вращения ротора СГ, при исследовании переходных процессов в электромагнитном контуре автономно работающего синхронного генератора и при расчете параметров регуляторов напряжения изменение частоты вращения при необходимости можно учесть, рассчитывая параметры генератора по следующим формулам [7, 8]:

$$k = k_s = x_{qs}(1+s)^2 / (r_n^2 + x_{ds}x_{qs}(1+s)^2);$$
$$T_{d3} = T_{d0}(1 - k_s(x_d - x_d')),$$

где $x_{qs} = x_n + x_q$; $x_{ds} = x_d + x_n$.

Приведенные формулы получены из уравнений Парка – Горева при дополнительно принятых допущениях для математической модели СГ, работающего на активно-индуктивную нагрузку, но с учетом скольжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переходные процессы, полученные при использовании упрощенных уравнений СГ с учетом насыщения и эквивалентирования демпферных контуров, для многих режимов работы практически полностью совпадают с результатами моделирования при использовании полных уравнений Парка – Горева. При этом порядок системы дифференциальных уравнений удается значительно понизить.

Представленные в статье материалы убедительно подтверждают необходимость проведения исследований с целью определения круга задач, для решения которых применимы те или иные математические модели синхронного генератора, отличающиеся сложностью представления электромагнитных и электромеханических процессов в них. Это позволит, с одной стороны, избегать излишней детализации при использовании сложных моделей, а с другой – не допускать значительных погрешностей в расчетах переходных процессов.

Список используемых источников

1. Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. – ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – 90 с.
2. Использование современных информационных технологий для моделирования применения космических средств / В.И. Горбулин, В.Ф. Фатеев, В.В. Ефимов и др. // Военная мысль. – 2004. – № 8. – С.76–80.
3. Горов А.А. Переходные процессы синхронных генераторов. – М.: ГЭИ, 1960. – 551 с.
4. Токарев Л.Н. Математическое описание, расчет и моделирование физических процессов в судовых электростанциях. – Л.: Судостроение, 1980. – 119 с.
5. Краснов В.В., Мещанинов П.А., Мещанинов А.П. Основы теории расчета судовых электроэнергетических систем. – Л.: Судостроение, 1979. – 326 с.

6. *Веретенников Л.П.* Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы. – Л.: Судостроение, 1975. – 375 с.
7. *Карагодин В.В., Фомичев И.В., Сымитка А.В.* Разработка математической модели автономно работающего синхронного генератора на статическую активно-индуктивную нагрузку / ВИКА имени А.Ф. Можайского. – М., 1996. – 27 с. – Деп. в ЦСИФ МО РФ 12.01.96, № Б 2775.
8. *Герасимов А.Н., Карагодин В.В., Фомичев И.В.* Математическая модель возбудителя диодной бесщеточной системы возбуждения синхронного генератора / ВИКА имени А.Ф. Можайского. – М., 1996. – 35 с. – Деп. в ЦСИФ МО РФ 12.01.96, № Б 2774.
9. *Карагодин В.В., Горин В.А.* Математическая модель бесщеточного синхронного генератора для исследования динамических режимов в системах автономного электроснабжения наземных комплексов Войск ВКО // Сборник научных трудов Всеармейской военно-научной конференции «Современные проблемы применения Войск ВКО в системе операций ВС РФ», Санкт-Петербург, 2013 г. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – Ч.2. – С.210–215.
10. *Мелешкин Г.А.* Переходные режимы судовых электроэнергетических систем. – Л.: Судостроение, 1971. – 344 с.
11. *Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А.* Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
12. *Таганов С.И.* Инженерные расчеты переходных процессов в судовых электростанциях. – Л.: Судостроение, 1970. – 136 с.

Д.В. Гуков,
доктор техн. наук, профессор
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва;
С.Д. Загуляев
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва;
Д.Н. Прищепа,
кандидат техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ

При работе трансформатора под нагрузкой поля рассеяния отдельных обмоток приводят в насыщение отдельные участки магнитопровода или, наоборот, их разгружают, что сказывается на величине магнитных потерь под нагрузкой, причем расположение обмоток оказывает на это непосредственное влияние.

Выполнено исследование зависимости взаимного расположения обмоток силового трансформатора на намагничивающий ток и магнитные потери. Выявлено, что первичную обмотку целесообразно размещать дальше от магнитопровода. В таком случае магнитные потери снизятся, что положительно скажется на энергетической эффективности силовых трансформаторов в системах военного назначения.

Ключевые слова: трансформатор, энергетическая эффективность, ток намагничивания, магнитопровод, падение напряжения, магнитное поле.

Силовые трансформаторы, ввиду их широкого применения, играют значительную роль в системах электроснабжения не только объектов гражданского, но и военного назначения. Невысокая энергоэффективность трансформаторов оказывает влияние на боеготовность военных объектов, требует повышенных денежных вложений на эксплуатацию. Поэтому задача повышения энергетической эффективности трансформаторов в системах электроснабжения наземных комплексов и систем военного назначения путем внедрения технических решений энергосберегающих трансформаторов является актуальной.

Трансформаторы подробно исследованы и изучены. Наименее изученный вопрос – это рассеяние магнитного потока отдельно взятых обмоток. Обычно либо рассеянием пренебрегают, либо индуктивности рассеяния обмоток принимают равными при условии приведения их к одному числу витков. Ряд исследований показывает значимость потоков рассеяния и их влияние на величину намагничивающего тока. Так, работы [1, 2] выявили возможности снижения поперечного сечения сердечника сварочного трансформатора и выполнения сердечника с переменным сечением, сниженным под вторичной обмоткой. В результате значительно снижается потребность в материалах, уменьшаются потери энергии.

Но, в отличие от сварочного оборудования, силовые трансформаторы имеют небольшое рассеяние магнитного потока вследствие концентрического расположения обмоток. При этом потоки рассеяния в них протекают преимущественно по магнитопроводу и частично – по воздуху. В итоге поля рассеяния имеют различные пути и значения. Расположение концентрических обмоток, в зависимости от взаимного расположения и удаленности от магнитопровода, определяет различия в величинах индуктивностей потоков рассеяния. Известно, что при концентрическом исполнении обмоток значение индуктивности рассеяния больше у той обмотки, которая расположена ближе к магнитопроводу (является внутренней) [3, 4].

Таким образом, исследование полей рассеяния силовых трансформаторов, широко применяемых на военных объектах, а также рекомендации по оптимальному размещению обмоток могут дать весомую экономическую выгоду за счет снижения намагничивающего тока и магнитных потерь. Цель проведенной работы – определить оптимальное размещение концентрических обмоток для повышения энергоэффективности силовых трансформаторов.

Объектом исследования являлся однофазный трансформатор типа ОСМ мощностью 1 кВА с концентрическими обмотками. Ближняя и дальняя от магнитопровода обмотки рассчитаны на номинальное напряжение 220 и 230 В соответственно.

Трансформатор относится к броневого типу, напряжение короткого замыкания составляет 1,78%. Поэтому рассеяние магнитного потока мало.

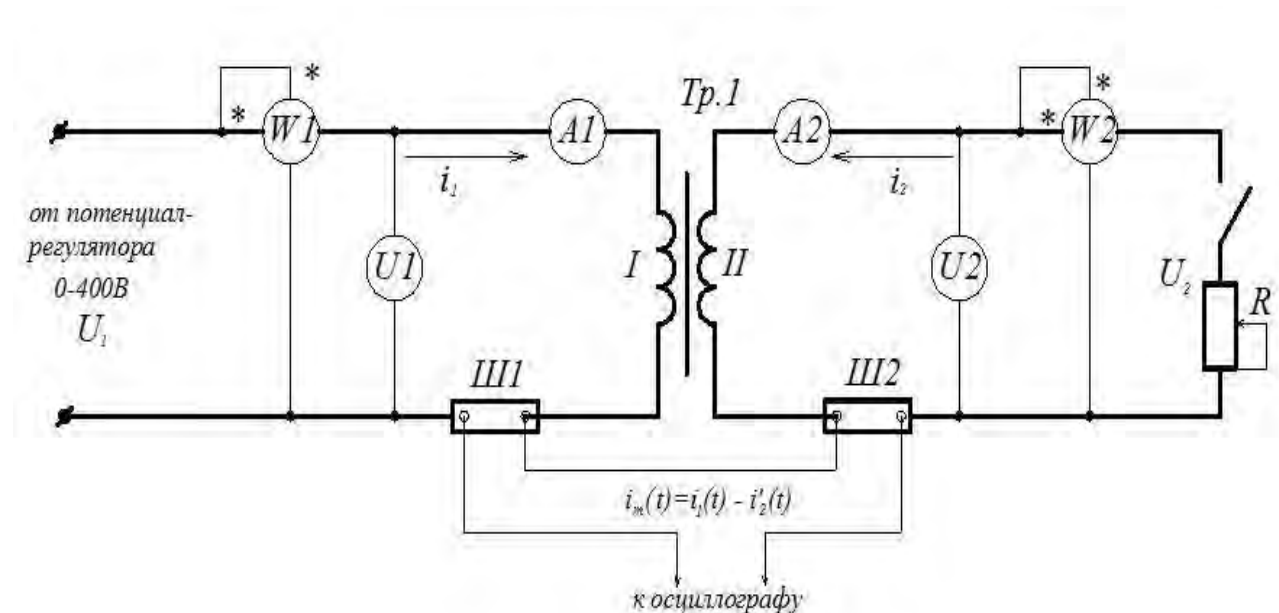


Рис. 1. Схема для определения величины намагничивающего тока

На рис. 1 представлена схема для определения амплитудного значения тока намагничивания при работе трансформатора в режиме нагрузки [5]. В цепи двух обмоток последовательно подключаются шунты Ш₁ и Ш₂. Отношение номинальных токов на Ш₁ и Ш₂ подбирается равнозначным коэффициенту трансформации. Шунты соединяются между собой так, чтобы падение напряжения от вторичного тока $i_2'(t)$ на Ш₂ вычиталось из падения напряжения на Ш₁ от первичного тока $i_1(t)$. Осциллограф, подключенный к Ш₁ и Ш₂, отобразит амплитуду тока намагничивания $i_{\mu}(t)$.

Источником питающего напряжения выступал потенциал-регулятор, позволяющий менять напряжение в широких пределах. В течение опытов к трансформатору в режиме холостого хода прикладывали напряжение немного выше номинального. Вследствие этого сталь магнитопровода насыщалась и в кривой намагничивающего тока проявлялись очевидные признаки нелинейности (этим упрощался контроль максимального значения амплитуды тока намагничивания).

Нагрузку на трансформатор увеличивали до номинальной, удерживая величину питающего напряжения неизменной. Амплитудное значение тока намагничивания, значения напряжений и токов в обмотках фиксировались.

Затем опыты выполняли повторно при смене обмоток местами. Начальную величину питающего напряжения в режиме холостого хода устанавливали так, что амплитуда тока намагничивания была абсолютно такая, как и в предыдущем опыте.

Подобным образом проводились эксперименты и для индуктивной нагрузки. Результаты исследований отражены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Активная нагрузка

Первичная обмотка	Расположена ближе к магнитопроводу				Расположена дальше от магнитопровода			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Опыты	1	2	3	4	1	2	3	4
U_1 , В	260	260	260	260	260	260	260	260
I_1 , А	1	3	4	5	1	3	4	5
U_2 , В	263	263	262	262	248	246	246	246
I_2 , А	0,0	2,4	3,4	4,45	0,0	2,75	3,85	4,9
$I_{\text{намаг}}$, дел	1,3	1,4	1,4	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3
$I_{\text{намаг}}$, А	1,41	1,52	1,52	1,63	1,41	1,41	1,41	1,41
Вывод	$I_{\text{намаг}}$ увеличивается				$I_{\text{намаг}}$ не изменяется			

Таблица 2

Индуктивная нагрузка

Первичная обмотка	Расположена ближе к магнитопроводу				Расположена дальше от магнитопровода			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Опыты	1	2	3	4	1	2	3	4
U_1 , В	260	260	260	260	260	260	260	260
I_1 , А	1	3	4	5	1	3	4	5
U_2 , В	264	264	264	264	246	250	250	250
I_2 , А	0	2,3	3,5	4,4	0	2,5	3,6	4,7
$I_{\text{намаг}}$, дел	1,3	0,9	0,8	0,7	1,3	0,8	0,7	0,6
$I_{\text{намаг}}$, А	1,41	1,09	0,98	0,87	1,41	0,87	0,76	0,65
Вывод	$I_{\text{намаг}}$ уменьшается				$I_{\text{намаг}}$ уменьшается			

Объяснить результаты можно следующим образом. На величину тока намагничивания в режиме нагрузки будут влиять два диаметрально направленных эффекта.

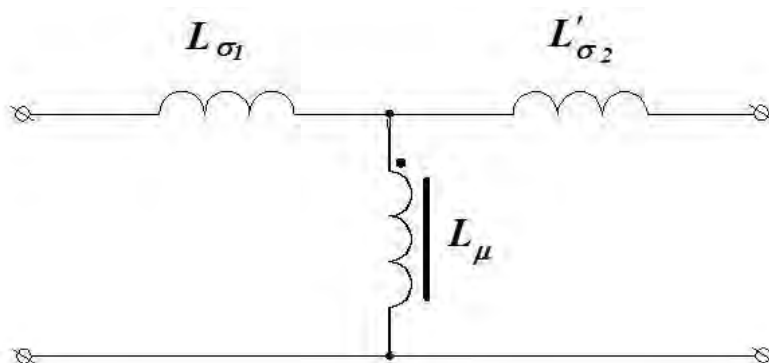


Рис. 2. Т-образная схема замещения трансформатора (упрощенная)

Ток нагрузки вызывает падение напряжения на индуктивности рассеяния первичной обмотки, приложенное напряжение к намагничивающей ветви уменьшится, и намагничивающий ток снизится (рис. 2.). При этом фаза нагрузочного тока также имеет существенную роль. Индуктивный ток нагрузки может «подменить» ток намагничивания (создать электродвижущую силу индукции первичной обмотки, уравнивающую питающее напряжение) и может снизить его, поскольку они совпадают по фазе.

Однако поля рассеяния магнитного потока отдельных обмоток проходят по стали и воздуху различными путями (рис. 3). Нагрузочный ток создаст потоки рассеяния первичной обмотки, часть которых будет проходить по воздуху, а часть – по стали в месте размещения обмотки. Магнитопровод будет излишне нагружен, а намагничивающий ток возрастет.

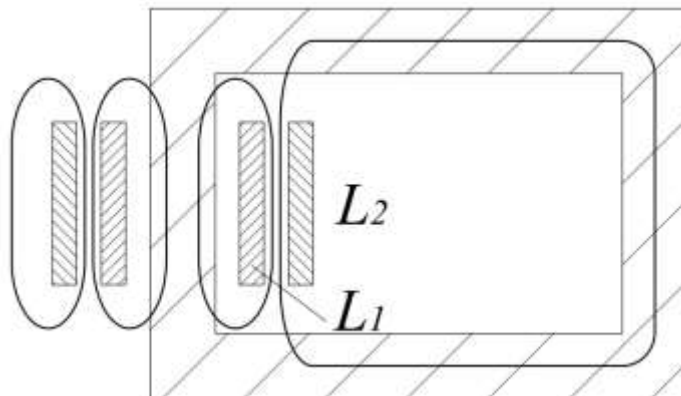


Рис. 3. Потoki рассеяния отдельных обмоток трансформатора

Поскольку пути магнитных потоков рассеяния отдельных обмоток различны, ближняя к магнитопроводу обмотка способна охватить меньший по длине участок магнитопровода и тем самым обеспечить более высокое насыщение, что приведет к более сильному росту намагничивающего тока.

В зависимости от размещения обмоток, характера тока нагрузки преобладает тот или иной эффект. Но результаты свидетельствуют о том, что лучшие из них получены в случае, когда первичной является обмотка, удаленная от магнитопровода.

По значениям намагничивающего тока (см. табл. 1 и 2) можно определить возможность снижения магнитных потерь. Для этого по опытным данным или по паспортным данным трансформатора определяем активное сопротивление r_0 , обуславливающее потери в стали, а значение магнитных потерь $P_{ст}$ (m – количество фаз) рассчитывается по выражению

$$P_{ст} = mI_{\mu}^2 r_0. \quad (1)$$

Для расширения возможности исследования различий в расположении обмоток на величину намагничивающего тока была составлена математическая модель. Определим схемы замещения. В расчетах необходимо учесть индуктивности рассеяния отдельных обмоток, меняющиеся со временем в широком интервале, поэтому обмотки трансформатора в текущем случае покажем в виде индуктивно связанных цепей (рис. 4).

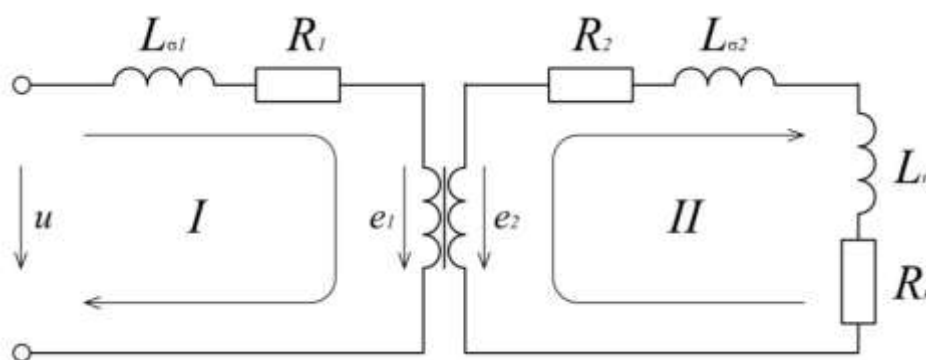


Рис. 4. Электрическая схема замещения

Причем $L_{\sigma 1}$ и $L_{\sigma 2}$ – это малые части индуктивностей рассеяния, обусловленные рассеянием только по воздуху (показаны отдельно, так как не насыщаются). Для учета изменения магнитного поля в магнитопроводe от тока намагничивания принимаем Т-образную схему замещения магнитной цепи (рис. 5), где F_1 , F_2 – магнитодвижущая сила обмоток; Φ_1 , Φ_2 – магнитные потоки через обе обмотки; R_{σ} – сопротивление магнитному потоку в воздухе (линейное); $R_{\mu 1}$, $R_{\mu 2}$ – магнитные сопротивления части магнитопровода в местах размещения обмоток.

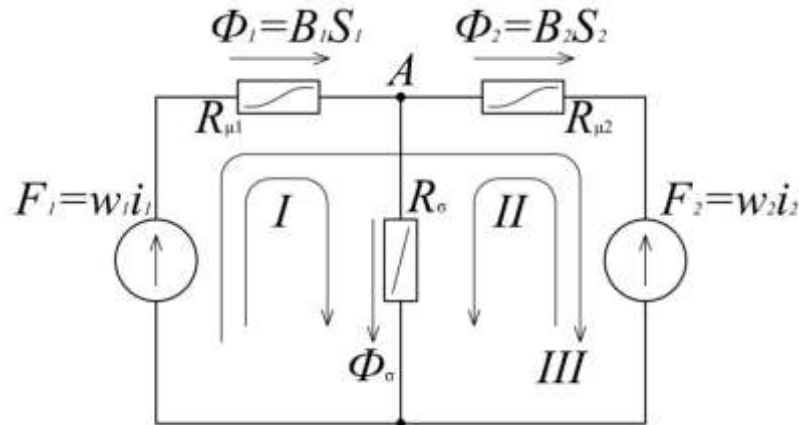


Рис. 5. Схема замещения магнитной цепи

На схеме (рис. 4) в I, II контурах определим направления обхода электродвижущих сил, токов и напряжений, и по 2-му закону Кирхгофа составим уравнения:

$$u_m \sin \omega t = w_1 S_1 \frac{dB_1}{dt} + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + R_{\mu 1} i_1, \quad (2)$$

$$w_2 S_2 \frac{dB_2}{dt} = i_2 (R_2 + R_n) + (L_{\sigma 2} + L_n) \frac{di_2}{dt}. \quad (3)$$

По схеме (рис. 5) запишем 3-е уравнение для III контура и систему уравнений для I и II контуров. Под H_0 и B_0 обозначены коэффициенты аппроксимации основной кривой намагничивания. Тогда

$$l_1 H_0 sh \frac{B_1}{B_0} + l_2 H_0 sh \frac{B_2}{B_0} = w_1 i_1 - w_2 i_2, \quad (4)$$

$$\begin{cases} w_1 i_1 = \Phi_1 R_{\mu 1} + \Phi_{\sigma} R_{\sigma} \\ w_2 i_2 = \Phi_2 R_{\mu 2} + \Phi_{\sigma} R_{\sigma} \end{cases} \quad (5)$$

По итогам решения системы уравнений (5) получим уравнение, продифференцируем его и уравнение (4). С учетом уравнений (2) и (3) была составлена система из четырех исходных уравнений, которые были реализованы с помощью программной среды *Quick Basic*. Сходимость с результатами опытов хорошая. Максимальное отклонение не превысило 10%. Были смоделированы разные модели трансформаторов, с разным размещением обмоток. Выявлено, что в качестве первичной обмотки предпочтительнее использовать дальнюю от магнитопровода обмотку. В этом случае намагничивающий ток под нагрузкой будет ниже. Отличия в величине тока намагничивания под нагрузкой при использовании в качестве первичной обмотки удаленной от магнитопровода обмотки и ближней к магнитопроводу обмотки применительно к трансформатору ОСМ мощностью 1 кВА для различных случаев по результатам физического и математического моделирования составили 3–36,7%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые с применением нового метода и устройства для определения величины намагничивающего тока в режиме нагрузки [4] экспериментально установлено влияние взаимного размещения концентрических обмоток силовых трансформаторов на величину намагничивающего тока в режиме нагрузки. Математическое моделирование позволило распространить полученные результаты на трансформаторы различных типов.

Установлено, что в трансформаторах с концентрическими обмотками первичную обмотку рационально размещать дальше от магнитопровода. Это позволит снизить намагничивающий

ток и магнитные потери под нагрузкой, повысить энергоэффективность систем электроснабжения объектов военной инфраструктуры.

Процессы в трансформаторах аналогичны процессам в асинхронных двигателях, причем намагничивающий ток в асинхронных двигателях выше. Представляется актуальным исследовать снижение тока намагничивания асинхронного двигателя под нагрузкой за счет падения напряжения на активном сопротивлении и индуктивности рассеяния статора, а также влияние на это конструктивных особенностей двигателя.

Список используемых источников

1. *Гуков Д.В., Перцев А.В.* Сварочный трансформатор с уменьшенным сечением магнитопровода // *Электротехника*. – 1996. – № 6. – С.22–25.
2. Пат. РФ №2121416 МКИ В23К9/10. Устройство для сварки / *Гуков Д.В., Еруманс А.А.*; Военный инженерно-технический университет. – Заявл. 05.06.1996; опубл. 10.11.1998, Бюл. №31. – 3 с.
3. *Марквардт Е.Г.* О рассеянии обмоток трансформатора // *Электричество*. – 1937. – № 11. – С.60–63.
4. *Гуков Д.В., Загуляев С.Д., Новиков С.А.* Индуктивности рассеяния магнитного потока отдельных обмоток трансформатора // *Завалишинские чтения'17: сб. докладов*. – СПб.: ГУАП, 2017. – С.140–143.
5. Пат. РФ №2328749 МПК G01R19/00. Способ измерения намагничивающего тока трансформатора, работающего под нагрузкой / *Гуков Д.В. и др.*; Военный инженерно-технический университет. – Заявл. 29.01.2007; опубл. 10.07.2008, Бюл. №19. – 3 с.

Н.Н. Гусев,
доктор техн. наук, профессор;
А.О. Кучеренко

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМ ИСПЫТАНИЙ И ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ К УСЛОВИЯМ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В статье рассмотрено влияние параметров вибраций, действующих на стартовые сооружения в момент аварийных ситуаций, и технические возможности систем испытаний и долговременного контроля. Предложены пути совершенствования технических средств контроля параметров напряженно-деформированного состояния несущих конструкций стартовых сооружений ракетно-космических комплексов непосредственно в момент воздействия на них экстремальных нагрузок и сразу же после окончания такого воздействия.

Ключевые слова: стартовые сооружения, системы испытаний и долговременного контроля, экстремальные воздействия природного и техногенного характера, струнные преобразователи, вибрация, ускорения.

ВВЕДЕНИЕ

Стартовые сооружения (СС) объектов космической инфраструктуры оснащались системами испытаний и долговременного контроля (ИДК) [1], предназначенными для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) их строительных конструкций. При разработке систем ИДК СС космодромов Байконур и Плесецк был использован опыт создания систем контроля в гидротехнике (КИА) [2] с учетом специфики СС. В состав систем ИДК входят комплекты: тензометрического контроля (ТК), геодезического контроля (ГК), вибрационного контроля (ВК) и средства неразрушающего контроля (НМК). ТК создаются на основе струнных преобразователей (СП), используемых в системах КИА.

Системы ИДК с успехом выполняют свои функции при воздействии на СС штатных эксплуатационных нагрузок, расчетных для каждого из них. Однако опыт эксплуатации СС свидетельствует о том, что СС могут подвергаться и нерасчетным нагрузкам [1], а именно нагрузкам с параметрами, характерными для средств поражения или катастроф техногенного или природного характера. ТК систем ИДК не рассчитывались для контроля НДС несущих конструкций СС на действие экстремальных нагрузок.

Целью настоящего исследования было выяснение возможности использования штатных систем ИДК для регистрации параметров НДС непосредственно в момент возникновения нештатных ситуаций на СС.

Основное отличие штатных воздействий на СС от нештатных (экстремальных) заключается в значительно больших значениях параметров: давлений, ускорений, акустических воздействий и т.д. В данной статье рассмотрено влияние ускорений, имеющих место при экстремальных воздействиях на СС, на метрологические характеристики и работоспособность ТК систем ИДК.

Способ измерения с помощью СП основывается на зависимости частоты ω колебания частотного резонатора (струны) от напряжения растяжения струны, которое в каждом конкретном СП пропорционально измеряемому параметру P .

Для возбуждения колебаний струны СП используются электромагнитные катушки, при подаче на клеммы которых импульса возбуждения в катушке генерируется импульс силы. Такой импульс «щипком» возбуждает затухающие колебания струны u , наводящие в электромагнитной катушке ЭДС, с частотой ω . Максимальное значение амплитуды колебаний

струны y_{\max} ограничено конструктивным зазором между струной в невозбужденном состоянии и керном электромагнитной катушки возбуждения δ_o^k , значение которого для серийно выпускаемых СП лежит в пределах 0,35–0,40 мм [2].

В СП колебания струны возбуждаются импульсом силы, приложенным к центру струны. Однако колебания струны могут возникнуть при любом выводе ее из положения равновесия [5], например при вибрациях [3–6].

Параметры вибраций конструкций СС и СС в целом в системах ИДК контролируются ВК. По экспериментальным данным [1] величины максимальных ускорений элементов строительных конструкций СС при воздействии на них эксплуатационных (штатных) динамических нагрузок не превышают значения **1,0g** (коэффициент перегрузки $n_g = 1,0$) при расчетных значениях **2,0g**. Относительная погрешность определения частоты колебаний струны при воздействии на СП вибраций зависит от ряда факторов, в том числе от коэффициента затухания (α) струны и коэффициента перегрузки (n_g) [3–6].

Целью проведенного исследования было выяснение диапазонов значений максимальных ускорений элементов строительных конструкций СС, при которых обеспечивается работоспособность СП ТК систем ИДК.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ИСПЫТАНИЙ И ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ

Исследования проводились на СП типа АД-40 и ПСАС-М-40С [2], по стандартной методике [7], на вибростенде марки ВСВ-220-450 с параметрами: диапазоном частот 2–2800 Гц, максимальным ускорением **70g**. Оборудование удовлетворяло требованиям нормативных документов [8]. Эксперимент проводился при $P = 0$ с шагом **0,2g** при моногармоническом синусоидальном и полигармоническом характерах вибраций со спектром частот в диапазоне от 2 до 2800 Гц. Струна и электромагнитная катушка возбуждения были сориентированы в плоскости вибрации.

Испытания проводились до момента достижения амплитуды колебания струны значения, равного δ_o^k , т.е. максимально возможного для конкретного СП. При совпадении частоты вибрации с частотой колебания струны фиксировался эффект резонанса, при котором амплитуда колебания струны резко возрастала (рис. 1) или колебания срывались, при попадании импульса возбуждения в противофазе с направлением действия ускорения (рис. 2).

Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

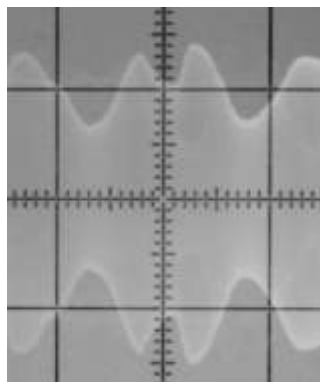


Рис. 1. Эффект резонанса

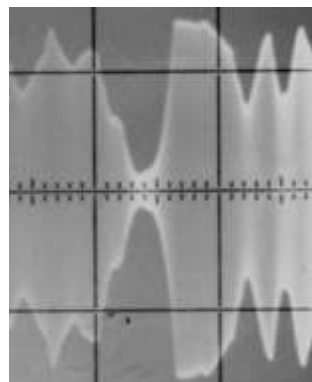


Рис. 2. Срыв колебаний струны при генерации импульса возбуждения в противофазе с направлением действия ускорения

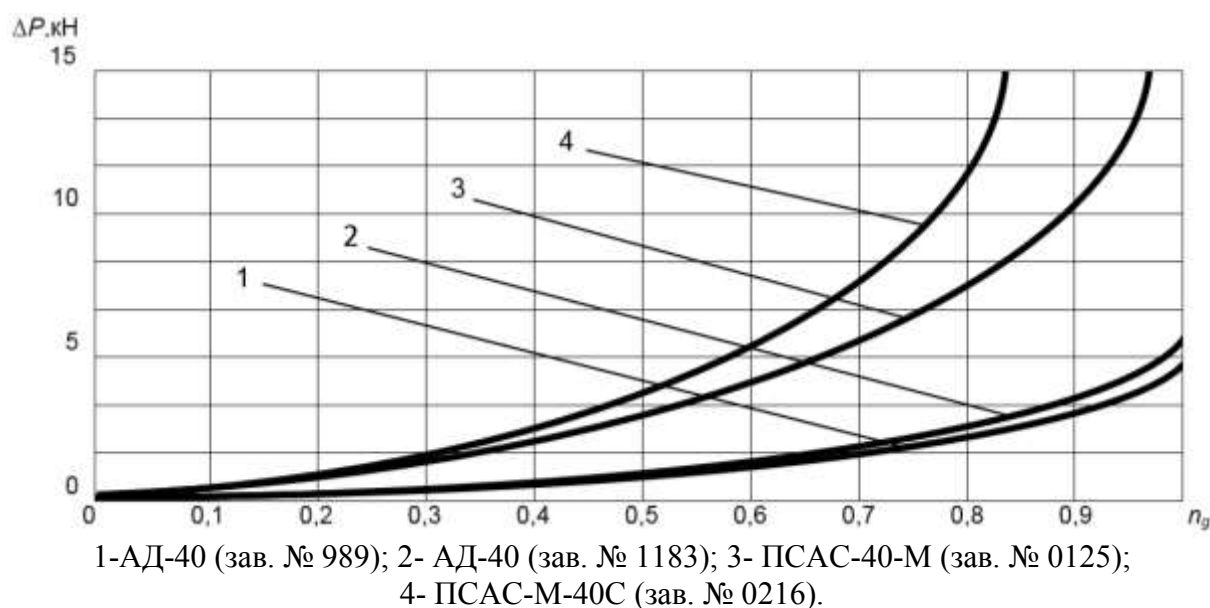


Рис. 3. Экспериментальные зависимости амплитудной погрешности (ΔP) СП ТК от коэффициента перегрузки (n_g)

Представленные на рис. 2 материалы исследования показывают следующее:

1. Вибрация приводит к увеличению амплитуды колебания струны СП, а следовательно, к увеличению амплитудной погрешности измерения, абсолютное значение которой ΔP растет с увеличением значения n_g .

2. Максимально возможная для каждого конкретного СП амплитуда колебания y_{\max} достигается при различных значениях ускорений. Для СП типа АД-40 она достигается при ускорениях $0,98 \div 1,0g$, а для СП типа ПСАС-40-М – при $0,83-0,97g$.

3. Максимальное значение ускорения, при котором достигается максимально возможная для каждого конкретного СП амплитуда колебания, в $2,27-2,47$ раза ниже расчетного значения для систем ИДК.

4. При экстремальных нагрузках, действующих на СС в момент аварийных ситуаций, ТК сохраняет свою работоспособность (дает устойчивые показания) только до значений ускорений не выше от $0,83-1,0g$.

5. Абсолютная погрешность измерения усилий в арматуре строительных конструкций СС при δ_o^k составляет для СП АД-40 – до 6,0 кН; для СП типа ПСАС-40-М – до 15 кН, что сопоставимо со значениями усилий в арматуре строительных конструкций СС в штатном режиме эксплуатации.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В эксперименте рассматривалось только влияние вибраций на метрологические характеристики и эксплуатационную пригодность СП ТК систем ИДК. Однако при оценке метрологических характеристик и эксплуатационной пригодности СП комплектов ТК необходимо учитывать и другие влияющие факторы, присутствующие при аварийных ситуациях. Кроме того, погрешность измерения с помощью СП зависит от скорости нарастания этих параметров [5].

Эксперимент ставился при условии, что струна и электромагнитная катушка возбуждения находятся в плоскости вибрации. На практике СП в момент аварийной ситуации может быть

ориентирован в любой плоскости, что требует корректировки выводов, полученных в эксперименте. Кроме того, в СП проявляется эффект прецессии колебания струны [5], который учесть при неопределенности ориентации струны относительно плоскости вибрации на СС не представляется возможным.

Значения амплитуд колебания струны получены в условиях демпфирования колебаний струны электромагнитной системой вибростенда. В реальных условиях СС данный эффект отсутствует, а это значит, что струны СП систем ИДК имеют меньшее значение коэффициента затухания α , а следовательно, большую амплитуду колебаний струны, по сравнению с полученной в эксперименте.

В процессе эксперимента не представлялось возможным учесть эффект прецессии колебания струны [4, 5], при наличии которого колебания могут происходить в произвольной плоскости.

Результаты эксперимента дают основание продолжить работы в части исследования влияния на метрологические свойства первичных преобразователей ТК систем ИДК пространственной ориентации первичных преобразователей относительно плоскости вибрации и эффектов прецессии и демпфирования колебаний струны. Целесообразно проанализировать и исследовать влияния других факторов, сопровождающих аварийные ситуации на СС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СП штатных систем ИДК не обеспечивают возможность регистрации параметров НДС конструкций СС при воздействии на них экстремальных нагрузок, с ускорением выше **0,83–1,0g**.

Определяющими параметрами при оценке эксплуатационного состояния СС являются максимальные и минимальные значения параметров НДС конструкций за время действия динамической нагрузки в процессе аварии, которые как раз остаются незарегистрированными штатными системами ИДК.

Со всей очевидностью встает вопрос совершенствования ТК систем ИДК с целью обеспечения регистрации и сохранения параметров НДС строительных конструкций СС непосредственно в момент аварии или, как минимум, максимальных (P_{\max}) и минимальных (P_{\min}) значений этих параметров.

В целях устранения указанного недостатка авторами предложено использовать СП с механическим запоминанием максимальных P_{\max} и минимальных P_{\min} значений измеряемого параметра НДС несущих конструкций СС, т.е. гарантированно получать значения P_{\max} и P_{\min} независимо от состояния источников питания и вторичной аппаратуры ТК систем ИДК в момент аварии и наличия экстремальных воздействий на СС и СП. Конкретные технические решения таких СП защищены авторами заявкой на изобретение [9].

Список используемых источников

1. Пособие по проектированию, монтажу и эксплуатации систем ИДК несущих конструкций стартовых сооружений. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2001. – 241 с.
2. СТО 70238424.27.140.004-2008. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования: приказ ОАО РАО «ЕЭС России» от 20.03.2008 № 140 / НП «ИНВЭЛ».
3. Магнус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем. – М.: Мир, 1982. – 304 с.
4. Новицкий П.В., Кнорринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. – Л.: Энергия, 1970. – 424 с.

5. Проектирование датчиков для измерения механических величин /под ред. Е.П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979 – 480 с.
6. *Эткин Л.Г.* Виброчастотные датчики. Теория и практика. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 408 с.
7. ГОСТ 30630.1.2-99. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 21 с.
8. ГОСТ 25051.4-83. Установки испытательные вибрационные электродинамические. Общие технические условия. – ИПК «Изд-во стандартов», 1983. – 19 с.
9. Заявка на изобретение. Датчик. № 2017144153 от 15.12.2017.

Н.С. Демидова;
В.М. Сальников,
кандидат техн. наук;
А.М. Шевчук,
кандидат техн. наук, доцент

ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ (ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

В публикации рассмотрены вопросы организации подготовки исходных данных для проектирования и строительства специальных объектов. Проведен анализ исторического опыта размещения поселений на местности. Рассмотрен процесс развития состава и подготовки исходных данных. Представлена информация о современном подходе к составу исходных данных. Приведены основные действующие нормативные документы, определяющие состав, а также правила подготовки, сбора, согласования и утверждения комплекса исходных данных для проектирования.

Ключевые слова: исходные данные, строительство специальных объектов.

Климатическое зонирование планеты характеризует плавный переход от низких широт с относительно высокими постоянными температурами, позволяющими обходиться легким неотопляемым жилищем, к средним и высоким широтам со значительными сезонными и суточными колебаниями температуры, дождями и снегопадами, вынуждающими искать зимой убежище в теплых отапливаемых жилищах, а летом использовать системы жизнеобеспечения, позволяющие создавать комфортные условия. Расположение нашей страны характеризуется как раз последними факторами, что говорит о необходимости развития строительного дела.

Строительное производство и призвано защитить человека от влияния негативных природных, техногенных и других негативных факторов. Строительное дело – одна из древнейших сфер человеческой деятельности. Это высокоинтеллектуальная, комплексная область знаний, включающая различные отрасли науки и исторический общественный опыт. Комплекс необходимых знаний включает как естественные науки, такие как физика, химия, материаловедение, геология, геодезия, экология, сопротивление материалов, так и социально-общественные науки.

Классический способ строительства (возведения) зданий, сооружений (в том числе специальных), поселков, деревень, городков и городов, мегаполисов обусловлен всей историей развития человечества.

Данный способ заключается в следующем.

1. Подготовка исходных данных [выбор места расположения населенного пункта (городка); проведение топографических, геодезических, гидрогеологических, экологических, археологических и других изысканий].

2. Разработка проектной документации на строительство городка в целом и на отдельные здания и сооружения.

3. Выполнение строительно-монтажных работ.

Наиболее важным этапом является процесс подготовки исходных данных. Изначально этот этап определялся как *рекогносцировка*. От качества его выполнения зависела эффективность принятия основных планировочных и конструктивных решений элементов, сооружения и обустройства земельного участка в целом.

Первобытные поселения обнаружены вблизи источников воды: по берегам рек и озер.

Однако уже во времена античных империй размещение воинских поселений определялось стратегическими целями (т.е. размещение вдоль границ, в труднодоступных местностях и т.п.). Наибольшего развития в организации охраны границ достигли римляне и китайцы. Первые создали систему военных крепостей и фортификационных сооружений, соединенных сетью коммуникаций вдоль границ империи. Вторые оградил империю со сторон наиболее опасных направлений сплошной линией фортификационных сооружений. Со временем военные лагеря и крепости обрастали поселками с гражданским населением (ремесленниками и торговцами), обеспечивавшим жизнь военных.

Первые «правильные» римские дороги были проложены в военных целях, и позднее власти постоянно содержали их как стратегические объекты.

Принципы построения военного лагеря были следующие. С одной стороны, это стратегически выгодная для обороны местность, с другой – удачная позиция для осуществления быстрого наступления. Важным фактором являлось близкое расположение путей сообщения, источников питьевой воды и пищи.

Весь последующий исторический военный опыт человечества свидетельствует о том, что, несмотря на развитие способов и средств военного противоборства, основные принципы военного (специального) строительства остаются прежними.

Таким образом, разработка, формирование и определение исходных данных для размещения специальных сооружений и комплексов, военных городков и поселений в целом являются одними из важнейших процедур в процессе проектирования и строительства.

Подтверждением вышеизложенного служит включение в План научной работы Вооруженных Сил на 2017–2018 годы НИР (шифр «Меркурид») на тему «Разработка научно-методического аппарата обоснования исходных данных на проектирование и строительство (реконструкцию) объектов наземной инфраструктуры Космических войск».

Изначально процедура определения места размещения того либо иного объекта называлась рекогносцировкой. Большая советская энциклопедия дает следующие значения этого термина. В военном деле рекогносцировка – визуальное изучение противника и местности лично командиром и офицерами штабов, имеющее целью получение необходимых данных для принятия решения или его уточнения. Соответственно, в области геодезии рекогносцировка представляет собой осмотр и обследование местности с целью выбора положения астрономических и геодезических опорных пунктов для обоснования топографических съемок [6]. Однако одной рекогносцировки для размещения долговременного капитального здания или сооружения, а тем более комплекса зданий и (или) сооружений специального назначения мало. Крупные сооружения, особенно выполненные из камня, имеют огромный вес и оказывают значительное воздействие на грунтовое основание, на котором они расположены.

Инженерная геология изучает геологическое строение самых верхних слоев земной коры применительно к запросам строительства инженерных сооружений [1]. В развитии инженерной геологии как самостоятельной научной дисциплины в России большую роль сыграло строительство первых шоссейных и железных дорог. Шоссе и железнодорожные линии протяжением в сотни и тысячи километров неизбежно пролегают в самых разнообразных геологических условиях; они пересекают движущиеся пески пустынь, болота и реки, проходят в районах, скованных вечной мерзлотой, вдоль обрывистых берегов рек и морей, прорезают горные хребты.

Изыскания и проектирование шоссейных и железных дорог требуют предварительного изучения и оценки геологических условий для выбора направления дороги, наиболее рациональных конструкций сооружений и способов производства работ.

В XVIII веке геологические исследования проводились в более широких масштабах, в частности во время строительства Ладожского канала, шлюзов, военных крепостей, Московского тракта с ответвлениями в города Тихвин, Псков, Боровичи (1733–1746) и т. п. Этому способствовало создание инженерных школ, а также корпуса военных инженеров, основным

предназначением которого, наряду с другими работами, являлось устройство дорог, мостов, каналов и различных гидротехнических сооружений.

К началу XIX века вопросы геологического строения и гидрогеологических условий грунтов, выбора наиболее выгодного места для сооружения зданий, каналов и земляного полотна трактов на отдельных участках, в особенности на болотах, уже стали предметом глубокого изучения. В связи с этим Петербургский институт корпуса инженеров путей сообщения, уже в 1816 году ввел в учебный план курс минералогии. В качестве примера можно привести строительство Московского шоссе, которое происходило с 1817 по 1834 год. Для того времени оно являлось крупнейшим сооружением. Здесь русские инженеры впервые столкнулись с вопросами выбора направления дороги, проектирования земляного полотна на болотах, устройства постоянных мостов и других сооружений. Во время изысканий производились геологические исследования и составлялись описания характера грунтов, болот и строительных материалов.

Со временем процедура оформления исходных данных для проектирования и строительства получила статус инженерных изысканий [2].

В структуру современных инженерных изысканий для строительства входят следующие основные виды:

- инженерно-геодезические;
- инженерно-геологические;
- инженерно-гидрометеорологические;
- инженерно-экологические.

В настоящее время основным документом, регламентирующим строительное производство, является Градостроительный кодекс Российской Федерации [4]. Кодекс введен в действие федеральным законом от 29 декабря 2004 года № 191-ФЗ. С момента его введения несколько раз ежегодно в Кодекс вносятся изменения федеральными законами.

Предметом правового регулирования в Градостроительном кодексе являются градостроительные отношения.

Указанные выше отношения связаны прежде всего с градостроительной деятельностью, т.е. с работой по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений.

Градостроительная деятельность является основой для следующих мероприятий:

- планирования территорий;
- градостроительного зонирования;
- планировки территории;
- архитектурно-строительного проектирования, в том числе инженерных изысканий;
- строительства, капитального ремонта и реконструкции объектов капитального строительства;
- мероприятий по эксплуатации зданий, сооружений (такой вид включен в понятие градостроительной деятельности с 1 января 2013 года).

Градостроительное зонирование осуществляется на основе градостроительного регламента, который устанавливает:

- виды допустимого использования земельных участков в пределах границ соответствующей территориальной зоны, как и всего, что находится над и под поверхностью земельных участков, а также используется в процессе застройки объектами капитального строительства и их последующей эксплуатации;
- предельные (наименьшие и (или) наибольшие) размеры земельных участков и предельные параметры разрешенного строительства, реконструкции объектов капитального строительства, а также ограничения использования земельных участков и объектов капитального строительства (в соответствии с п. 9 ст. 1 [4]).

Планировка территории осуществляется как в отношении застроенных, так и подлежащих застройке территорий (в соответствии с п. 1 ст. 41 [4]).

Разработка проекта планировки территории проводится для выделения элементов планировочной структуры (кварталов, микрорайонов, иных элементов), установления параметров планируемого развития элементов планировочной структуры (п. 1 ст. 42 [4]).

Проекты межевания территорий разрабатываются применительно к застроенным и подлежащим застройке территориям, расположенным в границах элементов планировочной структуры, установленных проектами планировки территорий (п. 1 ст. 43 [4]).

Подготовка градостроительных планов земельных участков проводится применительно к застроенным или предназначенным для строительства, реконструкции объектов капитального строительства земельным участкам (п. 1 ст. 44 [4]).

Таким образом, в действующем Градостроительном кодексе немалое внимание уделено территориальному планированию – проектам планировки и межевания, градостроительным планам земельных участков. Документы территориального планирования совместно с Федеральной государственной информационной системой территориального планирования можно рассматривать как базу исходных данных для территорий и объектов, в интересах которых выполняется проектирование.

Исходя из особенностей и специализации строительных объектов космических войск, рекогносцировочные изыскания являются первым и важнейшим этапом, от качества выполнения которого зависят не только все последующие этапы жизненного цикла строительных объектов, но и их изначальная стоимость и затраты на последующую эксплуатацию и развитие соответствующей обеспечивающей инфраструктуры. На сегодняшний день разработка и получение исходных данных начинаются с разработки проекта планировки территории на всех уровнях: федеральном, региональном и муниципальном. При этом в ходе процесса проектирования планировки выполняются сбор и обработка исходных данных, необходимых для планирования комплексного развития территорий. Аналогичные исходные данные, дополненные уточняющей информацией, в дальнейшем используются для проектирования конкретных объектов, размещение которых предусмотрено проектами планировок.

Список используемых источников

1. История строительной науки и техники: сб. статей / под общ. ред. А. В. Конорова. – М., 1956. – 264 с.
2. *Гуменский Б.М., Комаров Н.С., Воронин М.Н.* К истории геологических исследований для строительства дорог в России в 1817–1870 гг. // Труды Института истории естествознания и техники. – М.: АН СССР, 1956. – Т 7. – С. 3–22.
3. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения [прин. постановлением Минстроя РФ от 29 октября 1996 г. №18-77]. – М., 1996. – 52 с.
4. Градостроительный кодекс Российской Федерации: федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ, ред. от 03.08.2018, с изм. и доп. [вступ. в силу 01.09.2018]. – URL: <http://legalacts/codeks/Gradostoitelnyi-Kodeks-RF> (дата обращения: 02.09.2018).
5. О генеральном плане Санкт-Петербурга: закон Санкт-Петербурга [принят Зак. собр. СПб 12.12.2005], с изм. от 06.07.2017. – URL: http://www.gov.spb.ru/norm_baza/npa (дата обращения: 10.07.2017).
6. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: СЭ, 1993. – С.1116.

В.В. Дуга

войсковая часть 13991, космодром Плесецк;

Д.А. Мосин,

кандидат техн. наук, доцент;

И.В. Чащин,

кандидат техн. наук

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К УНИВЕРСАЛЬНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСАМ ПОДГОТОВКИ К ЗАПУСКУ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрены тенденции развития космической отрасли в плане миниатюризации космических аппаратов (КА) различного целевого назначения, в том числе на базе унифицированных космических платформ (УКП) с широкой «линейкой» целевой аппаратуры, которые диктуют необходимость создания универсальных технических комплексов (УТК) для подготовки к запуску малых КА (МКА) либо универсальных рабочих мест (УРМ) подготовки на уже эксплуатируемых технических комплексах (ТК). Проанализированы особенности и актуальные вопросы модернизации наземной космической инфраструктуры для подготовки к запуску МКА на примере космодрома Плесецк (г. Мирный Архангельской обл.). Обоснована необходимость оснащения ТК для подготовки МКА на космодроме Плесецк учебными тренажерными средствами (УТС).

Ключевые слова: малые космические аппараты, универсальные технические комплексы и рабочие места, учебные тренажерные средства, комплекс чистого помещения, обслуживающий персонал.

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху реформирования и перевооружения Вооруженных Сил (ВС) РФ перед ними стоит большое количество важных государственных задач, связанных с поддержанием боеготовности армии на необходимом для обеспечения безопасности страны уровне. Одним из ведущих направлений поддержания боеготовности ВС РФ в части обеспечения действий всех видов и родов войск является применение космических систем (КС) и космических комплексов (КК) как информационно-космических компонент обеспечения действий ВС РФ.

Результаты анализа мировых тенденций развития военного дела свидетельствует о расширении масштабов использования КС и КК при решении целого ряда оборонных задач как в мирное, так и в военное время. Современные КС и КК различного назначения широко применяются для навигационного и метеорологического обеспечения, для обеспечения связью и разведывательной информацией потребителей всех видов и родов ВС. Оценки зарубежных и отечественных специалистов показывают, что использование информации, получаемой с помощью КС и КК, позволяет повысить эффективность действий Сухопутных войск и Военно-морских сил в 1,5–3 раза [1]. Вместе с тем существующие КС и КК разведки, связи и боевого управления ориентированы преимущественно на стратегические и оперативные звенья управления войсками. В то же время, в соответствии с основными положениями Военной доктрины РФ и реальной обстановкой, наиболее вероятный вариант применения ВС РФ состоит в ведении боевых действий в локальных войнах и вооруженных конфликтах (в том числе международных) [5].

Кроме того, следует отметить достаточно острую проблему обеспечения требуемых уровней живучести существующих орбитальных группировок (ОГ) КА военного и двойного назначения, а также серьезные затруднения при их оперативном наращивании и восполнении в особые периоды обстановки. Это связано с тем, что в существующих ракетно-космических комплексах временной интервал, от момента принятия решения до запуска КА, может составлять значительное время.

Выход из создавшегося положения военные специалисты ведущих космических держав видят в создании многоспутниковых КС и КК информационного обеспечения войск на основе использования МКА [1, 6].

В соответствии с общей классификацией КС и КК как пространственно-распределенные объекты разделяются на космический (орбитальный) сегмент от одного до нескольких десятков (сотен) КА и наземный сегмент (элементы, системы и комплексы наземной космической инфраструктуры).

К группе МКА относят миниКА (100–500 кг), микроКА (10–100 кг), наноКА (1–10 кг), пикоКА (0,1–1 кг) и фемтоКА (менее 0,1 кг).

Создание и использование МКА подразумевают под собой не только уменьшение их массогабаритных характеристик и стоимости, но и переход на следующую ступень развития ракетно-космической техники. Создание многоспутниковых ОГ на основе МКА базируется на миниатюризации электроники и вычислительной техники, новых подходах в организации архитектуры МКА (поэлементное или послойное), а также процессов проектирования, изготовления, испытаний, запуска [5].

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ МКА К ЗАПУСКУ

В настоящее время на космодроме Плесецк проводятся работы по выполнению космических программ РФ по подготовке и запуску МКА различного целевого назначения, а также работы в рамках международных коммерческих программ, о чем свидетельствует статистика запусков. К примеру, с 2000 по 2017 год было подготовлено к запуску около 60 отечественных и иностранных МКА различного целевого назначения.

Тенденции развития космической отрасли в плане миниатюризации КА диктуют необходимость создания УТК для подготовки МКА либо создания УРМ подготовки на уже эксплуатируемых ТК [6].

Универсальность ТК (РМ) заключается в том, что необходимо обеспечить возможность проведения работ по подготовке различных МКА к запуску на одном УТК (УРМ) при условии удовлетворения следующих основных требований.

1. Возможность приема, осмотра, монтажа, размещения и хранения нескольких МКА (нескольких типов МКА), запасных инструментов и комплектующих.

2. Наличие универсального комплекта технологического оборудования, предназначенного для подготовки разных типов МКА.

3. Возможность размещения наземного (мобильного) технологического оборудования, обеспечение электропитанием необходимого класса при проведении различных видов испытаний МКА.

4. Возможность проведения комплекса работ по зарядке и разрядке бортовых батарей МКА.

5. Возможность проведения комплекса работ по заправке, сливу и нейтрализации компонентов ракетного топлива (КРТ) без вывоза МКА на заправочную станцию в целях сокращения времени подготовки МКА к запуску.

6. Необходимость обеспечения класса чистоты помещений, как правило, 8 ИСО (или выше) по ГОСТ 1466-1-2002.

7. Наличие необходимого интерфейса, переходников и другого оборудования для сопряжения наземного (мобильного) технологического оборудования с МКА.

8. Обеспечение безопасности обслуживающего персонала при проведении всех видов работ на УТК (УРМ).

9. Обеспечение требований режима секретности (по необходимости).

10. Эргономичность и др.

Создание и использование УТК и УРМ обладают рядом преимуществ:

- мобильностью: заключается в возможности быстрой доставки и развертывания технологического оборудования и отсутствии необходимости его хранения на полигоне, использовании его на всех УТК, удовлетворяющих требованиям к подготовке МКА;
- универсальностью: заключается в возможности подготовки разных типов МКА;
- современностью: заключается в отсутствии морального устаревания технологического оборудования, так как при необходимости возможно быстро и удобно провести его ремонт или замену. Внедрение и использование современных компьютерных средств и технологий позволят доработать и переустановить программное обеспечение на предприятии-изготовителе в более короткий срок;
- высокой технологичностью: заключается в упрощении, удобстве выполнения операций технологического графика при подготовке МКА на УТК (УРМ).

По состоянию на сегодняшний день на отечественных космодромах существуют несколько РМ подготовки МКА, но указанным требованиям в полном объеме они не отвечают.

К современным УТК (УРМ) подготовки МКА предъявляются повышенные требования по чистоте окружающего воздуха, как правило, класса чистоты не ниже 8 ИСО по ГОСТ 1466-1-2002, поэтому в составе современного УТК необходимо наличие комплекса чистого помещения (ЧП).

Комплексы ЧП должны обеспечивать управляемый на протяжении всего цикла работ по подготовке КА температурно-влажностный режим и класс чистоты, с целью защиты КА от привносимых загрязнений. Основными составляющими комплексов ЧП являются системы кондиционирования воздуха и фильтрации (СКВиФ), опыт эксплуатации которых позволяет говорить о возникновении ряда проблемных вопросов. Например, СКВиФ имеют высокое энергопотребление, необоснованно увеличенные габариты, недостаточную стабильность в поддержании заданных параметров регулирования и неспособность функционировать по оптимальным режимам с целью снижения энергетических затрат. Одним из путей решения задачи по оптимизации энергопотребления существующих комплексов ЧП является совершенствование режимов функционирования СКВиФ. Также следует отметить, что необходимость совершенствования автоматизации процессов управления СКВиФ обуславливается возрастающим объемом контролируемых параметров, сложностью алгоритмов управления, необходимостью оптимизации энергопотребления. Возникла противоречивая ситуация, характеризующаяся, с одной стороны, потребностью в снижении энергетических затрат СКВиФ, и несовершенством управления ими – с другой. Это обусловлено следующими эксплуатационными факторами.

Во-первых, тепловлажностные нагрузки, возникающие в системе автоматического управления СКВиФ, в течение суток могут динамично изменяться. В соответствии с этими изменениями необходимо осуществлять корректировку режимов функционирования СКВиФ. Возлагать решение задачи корректировки режимов функционирования только на эксплуатирующую организацию и обслуживающий персонал неправильно. Поэтому перспективная СКВиФ должна быть адаптивной – приспособляющейся к возмущающим (деструктивным) воздействиям на основе корректировки режима функционирования и выбора оптимальных термодинамических процессов обработки воздуха в СКВиФ.

Во-вторых, управляющие воздействия в системе автоматического управления СКВиФ в современных условиях определяются исключительно отклонениями параметров воздушной среды комплексов ЧП от их предельных нормативно-заданных значений, при этом причины отклонений не анализируются. Хотя одно и то же отклонение параметров воздушной среды ЧП может быть вызвано разными причинами. Следовательно, управляющие воздействия, направленные на устранение появившихся отклонений параметров воздушной среды, должны определяться по изменениям тех отклонений параметров воздушной среды, в результате которых они происходят.

В-третьих, в системе автоматического управления СКВиФ решается только задача стабилизации параметров воздуха, а вопросы организации управления процессами обработки воз-

духа в СКВиФ на основе энергосберегающих технологий с целью сокращения энергозатрат даже не рассматриваются. В результате применяемая технология обработки воздуха становится крайне неэкономичной – происходит значительный перерасход энергоресурсов, термодинамический потенциал наружного воздуха не используется. Поэтому в перспективных СКВиФ необходимо предусмотреть применение энергосберегающих технологий обработки воздуха.

В-четвертых, система автоматического управления СКВиФ, построенная на применении «жесткого» алгоритма при реализации последовательности управляющих воздействий, не предусматривает возможности приложения управляющих воздействий одновременно в каждой из подсистем. Это является причиной значительной инерционности в управлении и может привести к возникновению автоколебательных процессов, которые могут повлечь за собой «раскачивание» системы. Перевод управления на локальный уровень (на уровень подсистем) позволит снизить инерционность в системе автоматического управления СКВиФ и исключить причину возникновения автоколебательных процессов.

В-пятых, электронно-компонентная база системы автоматического управления СКВиФ ЧП на 90% состоит из импортных элементов, что приводит к удорожанию и усложнению эксплуатации системы.

Другой, не менее важный вопрос для проведения наземных испытаний МКА с двигательными установками на борту – это возможность заправки МКА КРТ и сжатыми газами на УТК (УРМ) без вывоза изделия на заправочную станцию, что позволит экономить время подготовки МКА [2].

ПОДГОТОВКА ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ НА УТК И УРМ

Качество и эффективность выполнения работ на УТК и УРМ в значительной степени зависят от степени подготовки обслуживающего персонала, которая определяется уровнем теоретической и практической (как частный случай – тренажерной) подготовки как на стадии обучения специалистов, так и в рамках системы непрерывной эксплуатационной подготовки (например, в рамках системы переподготовки и повышения квалификации).

Уровень владения обслуживающим персоналом практическими умениями и навыками в значительной степени определяет правильность и своевременность применения полученных знаний, умений и навыков и, следовательно, является важнейшим показателем уровня квалификации специалистов.

Решение задачи обеспечения притока и поддержания теоретических знаний, практических умений и навыков специалистов на требуемом уровне может быть обеспечено:

- практической подготовкой (стажировкой) непосредственно в составе расчета;
- проведением занятий практической направленности (лабораторных и практических работ) в составе учебного расчета в процессе обучения в учебном заведении;
- повышением уровня квалификации, включая тренажерную подготовку.

Необходимо отметить, что практическая подготовка в составе расчета может обеспечить требуемый уровень развития и поддержания знаний, умений и навыков ввиду ее максимальной приближенности к практике самостоятельной работы специалиста в должности. Недостатком является невозможность отработки навыков действий и принятия решений в нестандартных (непредусмотренных аварийных) ситуациях, ввиду ограниченности описания возможных вариантов аварийных ситуаций в эксплуатационной документации.

Из перечисленных методов притока и поддержания практических знаний, умений и навыков обслуживающего персонала работа на тренажерах, безусловно, является основным методом, благодаря высокому уровню приближения процесса обучения к реальным действи-

ям на УТК и УРМ и широким возможностям моделирования нештатных (аварийных) ситуаций [3].

В широком смысле тренажерные технологии – это сложные комплексы, системы моделирования и симуляции, компьютерные программы и физические модели, специальные методики, создаваемые для того, чтобы подготовить специалиста к принятию качественных и быстрых решений. В современных тренажерах и в программах подготовки и обучения, на них основанных, закладываются принципы развития практических навыков с одновременной теоретической подготовкой. Реализация такого подхода стала возможна в связи с бурным развитием и удешевлением электронно-вычислительной техники и прогрессом в области создания виртуальной реальности. Тренажерные технологии получили наибольшее развитие там, где ошибки при обучении на реальных объектах могут привести к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам: в военном деле, медицине, ликвидации последствий стихийных бедствий, в атомной энергетике, авиации и космосе.

Эффективность практической подготовки специалиста определяется следующими критериями:

- эффективностью методики обучения (подготовки);
- качеством и адекватностью учебной программы;
- высоким профессиональным уровнем преподавательского (инструкторского) состава;
- видом применяемого тренажера – его адекватностью, валидностью, сложностью, гомогенностью;
- стартовым (начальным) уровнем квалификации обучающегося;
- уровнем организации учебного процесса и его методическим обеспечением.

Качество тренажера является одним из основных показателей, определяющих как эффективность процесса обучения, так и итоговую оценку приобретенных обучающимися знаний, умений и навыков.

В международной практике тренажерная подготовка обеспечивается использованием двух отличающихся по принципу изготовления и исполнения типов тренажеров [3].

1. *Компьютерные тренажеры*, базирующиеся на математическом моделировании и использовании передовых информационных и компьютерных технологий.

2. *Модельные тренажеры*, использующие натурные модели, изготовленные в определенном масштабе и применяемые в реальных условиях.

Рассматривая оба указанных типа тренажеров для нужд МО РФ, необходимо заметить, что стремительное развитие информационных и компьютерных технологий в конце XX – начале XXI веков предопределило рост разработки и внедрения в эксплуатационный процесс специализированных УТС для практической подготовки в первую очередь обслуживающего персонала. На основе применения компьютерных тренажеров появилась возможность достижения как требуемой адекватности и валидности моделирования реальной обстановки, нештатных (аварийных) ситуаций, так и поведения самого объекта регулирования. Особенно необходимо отметить возможность организации отработки взаимодействия обслуживающего персонала как внутри расчета, так и между расчетами и звеньями управления на разных уровнях иерархии, а также представителями организаций и предприятий промышленности. Данные достоинства компьютерных тренажеров значительно расширили сферу их применения в системе подготовки обслуживающего персонала и в конечном итоге предопределили главенствующее развитие именно этого типа технических средств обучения.

Современная парадигма обучения предполагает широкое использование в образовательном процессе различных тренажерных средств и комплексов, тренажерные системы являются одним из приоритетных направлений развития компьютерных технологий. Имитационно-тренажерные комплексы, максимально приближенные к реальным установкам, позволяют обучающимся получать необходимые знания и приобретать устойчивые навыки.

Так, переход от использования реальной техники к тренажерам привел к весьма существенному изменению методики подготовки персонала, позволив сократить время подготов-

ки специалистов, расширить номенклатуру учебных задач, отработка которых на реальной технике либо крайне затруднительна, либо невозможна в принципе, либо представляет опасность для людей или окружающей среды, либо нецелесообразна экономически [3, 4]. Например, тренажерная и учебная компьютерная база в армиях США и других стран НАТО для подготовки специалистов позволяет отрабатывать до 90% упражнений, нормативов и задач на тренажерах. Широкое применение получили компьютерные тренажеры и симуляторы вождения танков и боевых машин, огневой подготовки из стрелкового оружия и других средств ближнего боя. Малозатратные средства обучения используются и для подготовки летчиков, резервистов [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование технических средств для обучения и тренировок личного состава обеспечивает доступность и наглядность обучения, а также позволяет сократить время на подготовку специалистов для наиболее технически оснащенных войск. Громоздкие, дорогостоящие ТК, разработанные для подготовки конкретных типов КА и развернутые на отечественных испытательных космодромах, не в полной мере отвечают современным условиям и реалиям, а также требованиям, предъявляемым к УТК и УРМ подготовки к запуску перспективных МКА. Необходимо создание новых УТК и УРМ для вновь разрабатываемых МКА с внедрением в их состав ЧП и РМ по заправке КРТ и сжатыми газами.

Предъявляемые к наземной подготовке требования разработчиков МКА зачастую предполагают наличие повышенных условий «комфортности»: чистоты окружающей среды, определенной влажности и т.д. Такие требования относятся к целевой аппаратуре и ряду оптоэлектронных приборов системы ориентации и стабилизации и т.д. Современные УТК (УРМ) должны отличаться широкой степенью унификации и универсализма, возможностью их адаптации к подготовке максимально широкого спектра МКА различного целевого назначения.

Список используемых источников

1. Малые космические аппараты информационного обеспечения / под ред. д-ра техн. наук, засл. деятеля науки РФ, проф. В.Ф. Фатеева. – М.: Радиотехника, 2010. – 320 с.
2. Комплект заправки КА РМЗКА-68Р: руководство по эксплуатации / ГУП РКА КБТХМ. – 1999. – 47 с.
3. Ильин А.М., Курочкин С.А., Ткач В.П. О базовой концепции тренажеростроения // Известия ТулГУ. Вычислительная техника. Информационные технологии. – 2005. – Т. 1, вып. 2: Системы управления. – С. 28–34.
4. Ларкин Е.В., Привалов А.Н. Моделирование информационных процессов тренажерных систем: концепция, методология, модели. – Searbruecken: LAP LAM-BERT Academic Publishing GmbH, 2012. – 230 с.
5. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения / РАРАН; редкол. серии: В.В. Панов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2010. – 368 с.
6. Басотин Е.В., Мосин Д.А., Перфильев С.А. Перспективы развития средств развертывания, наращивания и восполнения орбитальных группировок на основе малых КА // Сб. докладов и выступлений научно-деловой программы Международного военно-технического форума «Армия-2016» (6–11 сентября 2016 г. ПАТРИОТ ЭКСПО Московская обл.). – МО РФ, 2016. – С. 130–132.
7. Белоусов А.В. Боевая подготовка: шаг в будущее // Красная звезда. – 2005. – 16 сент.

Ю.А. Загрутдинов,
кандидат техн. наук;
А.В. Казимиров,
кандидат техн. наук;
С.А. Мачнев,
кандидат техн. наук

СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИ АВАРИЙНОМ ВОЗГОРАНИИ КОМПОНЕНТОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

В публикации проанализированы основные поражающие факторы возможных аварийных ситуаций, связанных с подготовкой и пуском ракеты-носителя. Рассмотрены основные конструкционные материалы, применяемые в несущих и ограждающих конструкциях стартового сооружения. Описаны расчетные тепловые воздействия на стартовое сооружение, получаемые в результате аварийной протечки и возгорания различных ракетных топлив.

Ключевые слова: аварийный взрыв, компоненты ракетного топлива, железобетон, тепловой поток.

Эксплуатация современных ракет-носителей неразрывно связана с рисками возникновения аварийных ситуаций. Наиболее вероятными из них на стартовом комплексе являются проливы и утечки значительного количества компонентов ракетного топлива (КРТ) без возгорания и взрыва, возгорание и (или) дефлаграция смеси КРТ без взрыва, детонация конденсированных или газопаровоздушных взрывчатых смесей КРТ [1–3]. Основные поражающие факторы для соответствующих аварийных ситуаций, связанные с подготовкой и пуском РН, которые необходимо учитывать при проектировании зданий и сооружений стартового комплекса, показаны на рис. 1.



Рис. 1. Аварийные ситуации и их основные поражающие факторы

Статистика и анализ аварийных ситуаций свидетельствуют о том, что наиболее губительным для стартового комплекса являются аварийный взрыв заправленной ракеты-носителя и возгорание смеси КРТ [4, 5]. При этом следует отметить, что возгорание КРТ происходит и при аварийном взрыве, так как большая часть КРТ не участвует в детонации, а разбрызгивается и затем воспламеняется. Основное поражающее воздействие при возгорании КРТ проявляется посредством передачи тепла на строительные конструкции, оказавшиеся в зоне огня.

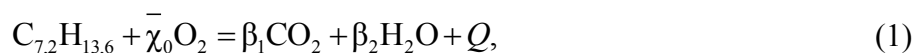
Согласно статистике техногенных катастроф подобного рода, наиболее вероятно возгорание ракеты-носителя на стартовом сооружении [5]. Стартовое сооружение представляет собой уникальное сооружение, и преимущественно конструкционным материалом для него служит железобетон. Основные несущие и ограждающие конструкции стартового сооружения выполнены из сборно-монолитных и монолитных железобетонных элементов. Степень огнестойкости сооружения определяется огнестойкостью строительных конструкций поэлементно, с учетом устойчивости сооружения при пожаре [6]. В результате возгорания и (или) взрыва ракеты-носителя происходят проливы компонентов ракетного топлива на само стартовое сооружение и их возгорание. Данный процесс связан с большим выделением тепловой энергии и высокими температурами горения на поверхности железобетонных несущих и ограждающих конструкций. Температурный фактор оказывает существенное влияние на сохранение и изменение свойств бетона. Под влиянием высокотемпературного пламени снижается несущая способность бетонных и железобетонных конструкций, а через определенное время под действием огня возможно их разрушение. По данным экспериментальных исследований при нагреве бетона с 300 до 400°C его прочность понижается на 15%, при 500°C – на 34%, при 600°C – на 55%. В случае, когда причиной пожара является взрыв, высокотемпературное влияние пожара и динамическая нагрузка вызывают более значительный ущерб, чем отдельно взрыв или пожар [7–10]. Снижение прочности бетона в условиях пожара происходит в результате развития внутренних напряжений вследствие различия температурного коэффициента линейного расширения цементного камня и заполнителей. При температуре выше 500°C снижение прочности бетона под воздействием огня значительно усиливается.

Для количественного оценивания теплового воздействия на железобетонные конструкции при аварийном возгорании компонентов ракетного топлива необходимо понимать, какие температуры и тепловые потоки будут воздействовать на железобетонные конструкции.

Максимальная теплотворная способность топлива будет проявляться в том случае, когда исходные вещества реагируют до предельных продуктов горения. То есть если исходные вещества содержат в своем составе ионы углерода, азота, водорода и кислорода, то в результате такой реакции горения должны образовываться углекислый газ CO_2 , азот N_2 и вода H_2O [3].

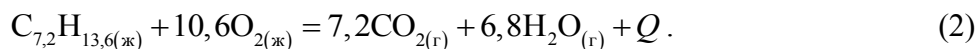
Следуя данной логике рассуждений, можно составить уравнение окислительно-восстановительных реакций горения наиболее применяемых пар компонентов ракетных топлив, а именно: керосина и жидкого кислорода, несимметричного диметилгидразина (НГМД) и азотного тетраоксида (АТ), а также жидкого водорода и жидкого кислорода.

Так, для первой пары составим схему реакции горения, допустив условную формулу керосина $\text{C}_{7,2}\text{H}_{13,6}$:



где $\bar{\chi}_0$ – число молей кислорода на один моль керосина, $\bar{\chi}_0 = 10,6$;
 β_1, β_2 – стехиометрические коэффициенты;
 Q – тепловой эффект реакции.

В итоге получаем стехиометрические коэффициенты β_1 и β_2 , подбираются они исходя из закона сохранения массы. Таким образом, схему реакции (1) можно написать в виде уравнения реакции



Далее, для нахождения теплового эффекта реакции Q воспользуемся первым следствием из закона Г.И. Гесса. Тепловой эффект Q численно равен изменению энтальпии реакции ΔH_p с обратным знаком и с учетом допущения, что реакция протекает при нормальных условиях ($T = 293,15 \text{ К}$; $p = 1 \times 10^5 \text{ Па}$).

Таким образом, получаем

$$\Delta H_p = [7,2 \times (-393,51) + 6,8 \times (-241,82)] - [-180 + 10,6 \times 0] = -4297,65 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Следует отметить, что поскольку теплотворной способностью топлива называют тепловой эффект, соответствующий сгоранию единицы массы (1 кг) топлива, и понимая, что при сгорании 1 моль керосина выделяется 4297,65 кДж теплоты [молярная масса керосина $M(C_{7,2}H_{13,6}) = 100 \text{ г/моль}$], мы можем составить пропорцию

$$\begin{aligned} 100z(C_{7,2}H_{13,6}) - 4297,65 \text{ кДж}; \\ 1000z(C_{7,2}H_{13,6}) - x [\text{кДж}], \end{aligned}$$

$$\text{где } x = \frac{4297,65 \times 1000}{100} = 42976,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \approx 43 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Следовательно, при сгорании 1 кг керосина в жидком кислороде при нормальных условиях получим $43 \times 10^3 \text{ кДж}$ тепла.

Аналогичны расчеты и для следующей пары КРТ – НГМД и АТ. В результате расчетов тепловой эффект реакции составит

$$\Delta H_p = -1996,5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Определив теплотворную способность и рассчитав относительную молярную массу НДМГ: $M = 60 \text{ г/моль}$, получим, что при сгорании 1 кг НДМГ в АТ будем иметь $33,3 \times 10^3 \text{ кДж}$

Для пары КРТ жидкий водород и жидкий кислород тепловой эффект реакции составит

$$\Delta H_p = -285,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Следовательно, при сгорании 1 кг жидкого водорода образуется $143 \times 10^3 \text{ кДж}$ тепла.

Таким образом, определены максимальные теплотворные способности и максимальные температуры горения трех топлив, применяемых в современных РН.

В табл. 1 приведены теплотворная способность ракетного топлива и расчетные максимальные температуры горения в камерах сгорания ракетных двигателей и на поверхностях конструкций при розливе.

Таблица 1

Теплотворная способность и температуры горения ракетных топлив

Пары компонентов ракетного топлива	Теплотворная способность, кДж	Максимальная температура горения, °С	Максимальная температура горения в воздухе, °С
Керосин + жидкий кислород	43×10^3	3427	820
НДМГ + АТ	$33,3 \times 10^3$	3127	680
Водород + жидкий кислород	143×10^3	3677	715

Исходя из расчетной максимальной температуры горения КРТ в камере сгорания и в воздухе, можно сделать вывод, что железобетонные конструкции стартового сооружения получают критическое тепловое воздействие. Следствием этого является их ограниченная работоспособность. Представленный способ позволяет оценить максимально возможное тепловое воздействие на конструкции оказавшиеся в зоне огня. Полученные результаты расчетных температур рекомендуется учитывать при проектировании подобных сооружений с применением современных термостойких строительных материалов.

Список используемых источников

1. Карчин А.Ю., Султанов А.Э. Конструктивно-компоновочные схемы и основные параметры отечественных ракет-носителей и разгонных блоков: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 26 с.
2. Котляревский В.А., Шаталов А.А., Ханухов Х.М. Безопасность резервуаров и трубопроводов. – М.: Экономика и информатика, 2000.
3. Пономаренко В.К. Ракетные топлива: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 428 с.
4. Загрутдинов Ю.А. Методика оценки параметров воздушной ударной волны аварийного взрыва ракеты-носителя при старте // Вопросы оборонной техники. Технические средства противодействия терроризму. – 2016. – Вып. 9-10 – С. 96–100.
5. Методика оценки ущерба объектам инфраструктуры стартового комплекса при аварийном взрыве ракеты-носителя на старте / С.А. Мачнев, Ю.А. Загрутдинов, А.М. Шевчук, Р.Ф. Закиров // Вопросы оборонной техники. Технические средства противодействия терроризму. – 2016. – Вып. 9-10. – С.67–71
6. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: Минстрой РФ, 1997.
7. Расчет железобетонных конструкций на взрывные и ударные нагрузки / Н.Н. Белов, Д.Г. Копаница, О.Г. Кумпяк, Н.Т. Югов. – Томск-Нортхэмптон, 2004.
8. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1981.
9. Антонов В.М., Леденев В.В., Скрылев В.И. Проектирование зданий в особых условиях строительства и эксплуатации: учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 240 с.
10. Мачнев С.А., Загрутдинов Ю.А., Алтынников А.В. Методика оценивания мощности взрыва смеси компонентов ракетного топлива // Вопросы оборонной техники. Технические средства противодействия терроризму. – 2018. – Вып. 1-2. – С. 24–28.

Ю.А. Загрудинов,
кандидат техн. наук;
С.А. Мачнев,
кандидат техн. наук

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЭТАПЕ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В статье рассмотрены особенности эскизного этапа проектирования специальных фортификационных сооружений. Представлен метод оптимизации объемно-планировочного решения специальных фортификационных сооружений, в котором приведены показатель и критерий эффективности оптимальности разработки принципиального варианта размещения помещений во внутреннем объеме и принципы их альтернативного формирования.

Ключевые слова: специальное фортификационное сооружение, этап проектирования, функциональная связь, площадь помещения.

На благоприятные условия в выполнении задач по предназначению существенно влияют объемно-планировочные и конструктивные решения специальных фортификационных сооружений. Объемно-планировочное решение (ОПР) специальных фортификационных сооружений представляет собой размещение помещений во внутреннем объеме его полезной части с внутренним оборудованием, обеспечивающим функционально-технологический процесс. Внутренний объем специальных сооружений включает в себя ряд сложных технических и технологических систем, размещаемых как в отдельных помещениях, так и в блоках помещений. Рассматриваемые сооружения являются обитаемыми, поэтому присутствуют ограничения по размещению во внутреннем объеме людей. Помещения по назначению в выполнении функционально-технологических операций объединяются в блоки помещений.

При разработке ОПР на эскизной стадии проектирования применяются два этапа формирования: блочная разработка и детализация ОПР помещений, в которых осуществляется оптимизация в составе блоков помещений [1]. В условиях блочной разработки формируется принципиальное объемно-планировочное решение.

Оптимизация принципиального ОПР сооружения обусловлена реализацией обеспечения функционально-технологических, эксплуатационных, тактико-технических и технико-экономических требований к сооружению [2]. Отметим, что оптимизация детального ОПР в прямой постановке представляется пока еще неосуществимой из-за больших математических трудностей. Эти трудности связаны с количеством функционально-технологических операций, сложных по структуре описания. Такие операции представляют собой взаимозависимые компоненты целевой функции оптимизации сложной военно-технической системы, которой является специальное фортификационное сооружение.

Рассмотрим важные особенности разработки схемы функционально-технологических операций применительно к сооружению командного пункта. Данные особенности связаны с тем, что выделяется первый (главный) блок помещений – блок боевого управления и связи, функционирование которого обеспечивают оставшиеся 13–15 блоков помещений. При этом каждый из обеспечивающих блоков, в свою очередь, обеспечивается в техническом отношении рядом других блоков.

По однородному интегральному (без детализации) функционально-технологическому назначению отдельные операции в командном пункте могут быть объединены в группы блоков помещений.

При рассмотрении специальных фортификационных сооружений широкой номенклатуры по функционально-боевому назначению, включая командные пункты, формируются следующие группы блоков помещений:

- основные функционально-технологические помещения;
- технологические помещения;
- ремонтно-восстановительные помещения (для внутреннего оборудования);
- бытовые помещения;
- эвакуационные помещения;
- входы;
- вводы коммуникаций;
- воздухозаборы и воздуховыбросы.

На этапе эскизного проектирования сооружений группы блоков помещений удобно разбить по функционально-технологическому назначению с несколько большей детализацией, которая совпадает с укрупненными функционально-технологическими операциями [2]:

- $v = 1$: блок помещений боевого управления и связи;
- $v = 2$: блок помещений системы электроснабжения;
- $v = 3$: блок помещений отопления, вентиляция и кондиционирования;
- $v = 4$: блок помещений поддержания ТВР;
- $v = 5$: блок помещений водоснабжения;
- $v = 6$: блок помещений канализации;
- $v = 7$: блок бытовых помещений;
- $v = 8$: эвакуационные помещения;
- $v = 9$: людской основной вход;
- $v = 10$: людской дополнительный вход;
- $v = 11$: аварийный выход;
- $v = 12$: воздухозаборы и воздуховыбросы;
- $v = 13$: вводы кабельных коммуникаций;
- $v = 14$: вводы инженерных коммуникаций;
- $v = 15$: санитарный пропускник (при основном людском входе для командных пунктов высшего ранга).

На основе анализа существующих командных пунктов по функционально-технологическому процессу выполнения задач установлена определенная тенденция потребности в площадях указанных выше блоков помещений, что позволяет рассчитать требуемые полезные площади по коэффициенту удельной площади для каждого из блоков помещений ($v = 1(1)15$) размещения внутреннего оборудования. При этом первый блок помещений – блок боевого управления и связи представляется базовым для других блоков помещений. Общая зависимость для расчета площади блока помещений v -го типа имеет вид

$$F_{n(v)} = \rho_{v(\phi)} F_{n(\phi)} / \sum_v \rho_{v(\phi)}, \quad (1)$$

где $F_{n(\phi)}$ – общая требуемая полезная площадь КП ϕ -го типа по назначению, м^2 ;

$\rho_{v(\phi)}$ – коэффициент требуемой удельной площади блока помещений v -го типа по отношению к первому блоку помещений.

Отметим, что общая требуемая полезная площадь сооружений более высокого ранга по назначению после командного пункта полка (при отсутствии непосредственного задания требуемой полезной площади в тактико-техническом задании на проектирование) определяется по среднестатистическому коэффициенту требуемого увеличения полезной площади по формуле вида

$$F_n = 240 k_\phi, \quad (2)$$

где k_φ – среднестатистический коэффициент, характеризующий увеличение полезной площади сооружения φ -го типа по назначению по отношению к специальному фортификационному сооружению полка ($\varphi = 1$),

$$k_\varphi = \begin{cases} 1, & \text{КП полка } (\varphi=1); \\ 2, & \text{КП дивизии } (\varphi=2); \\ 6, & \text{КП армии } (\varphi=3); \\ 18, & \text{ЦКП вида (рода) войск } (\varphi=4); \\ 36, & \text{ЦКП МО } (\varphi=5). \end{cases} \quad (3)$$

В табл. 1 представлены рекомендуемые значения коэффициентов удельной площади $\rho_{v(\varphi)}$ для сооружений пяти типов по назначению ($\varphi = 1(1)5$) и коэффициенты кратности полезной площади k_φ , которые получены в результате анализа типовых сооружений различного назначения.

Таблица 1

**Рекомендуемые значения коэффициентов удельной площади
блоков помещений специальных фортификационных сооружений**

№ п/п	Наименование блоков помещений	Коэффициенты $\rho_{v(\varphi)}$				
		1	1	1	1	1
1	Блок боевого управления и связи	1	1	1	1	1
2	Блок системы энергоснабжения	2,07	1,86	1,76	1,61	1,45
3	Блок отопления, вентиляции, кондиционирования	3,05	2,74	2,59	2,18	2,13
4	Блок поддержания ТВР	1,24	1,12	1,05	0,67	0,57
5	Блок водоснабжения	0,86	0,67	0,53	0,47	0,60
6	Блок канализации	0,64	0,47	0,34	0,30	0,25
7	Блок бытовых помещений	0,80	0,52	0,68	0,54	0,40
8	Эвакуационные помещения	1,71	1,54	1,45	1,25	1,20
9	Людской основной вход	0,82	0,28	0,15	0,05	0,03
10	Людской дополнительный вход	-	-	0,12	0,08 (два входа)	0,05 (два входа)
11	Аварийный вход (выход)	0,32	0,11	0,06	0,06 (два входа)	0,03 (два входа)
12	Воздухозаборы и воздуховыбросы	0,38	0,19	0,08	0,06	0,04
13	Вводы кабельных коммуникаций	0,27	0,09	0,14	0,06	0,04
14	Вводы инженерных коммуникаций	0,31	0,12	0,07	0,04	0,03
15	Санитарный пропускник	-	-	0,35 (тип Г)	0,25 (тип Б; В)	0,14 (тип А)
$\sum_v \rho_{v(\varphi)}$		11,4	9,08	8,61	6,95	6,51

Метод оптимизации ОНР сооружения на этапе эскизного проектирования состоит в том, что в оболочке лучшего варианта объемно-конструктивного решения, полученного в результате операций оптимизации совокупности альтернативных вариантов по типу и виду основ-

ного конструктивного материала для несущего остова, должны быть сформированы альтернативные варианты объемно-планировочного решения, которые путем структурно-параметрической оптимизации должны позволять выбрать для детального проектирования лучший вариант ОНР сооружения [1, 3].

При оптимизации ОНР сооружения учитываются схема функционально-технических операций, на основе которой формируются функционально-технологические взаимосвязи, вид внутреннего оборудования и его вклад в решение функционально боевой задачи, длина в пространстве коммуникаций между геометрическими центрами блоков помещений, а также эксплуатационные затраты и боевое применение внутреннего оборудования – средств вооружения, специального технологического оборудования, технических систем и помещений основных блоков [4].

В качестве показателя эффективности (оптимальности) разработки ОНР сооружений КП принимается «взвешенная» (по важности) длина функционально-технологической цепочки выполнения боевой задачи, представленного в виде

$$P_{\text{эф}(\text{фТ})\beta} = \sum_{\lambda=1}^{\nu} \sum_{\gamma=1}^{\nu} \rho_{\lambda\gamma(\beta)\varphi} \tilde{l}_{\lambda\gamma(\beta)\varphi}, \quad (4)$$

$$(\lambda = 1(1)\nu; \gamma = 1(1)\nu; \beta = 1(1)u; \varphi = 1(1)5),$$

где $\rho_{\lambda\gamma(\beta)\varphi}$ – обобщенный коэффициент важности функционально-технологической связи $\lambda\gamma$ -го типа между операциями блоков помещений с соответствующими номерами для альтернативного варианта ОНР β -го типа для КПУ φ -го типа по назначению;

$\tilde{l}_{\lambda\gamma(\beta)\varphi}$ – совокупная приведенная длина функционально-технологической связи между центрами блоков помещений соответственно с номерами λ и γ альтернативного варианта ОНР β -го типа для сооружения КП φ -го типа по назначению.

В качестве критерия эффективности (оптимальности) ОНР принимается минимум показателя эффективности (оптимальности) $P_{\text{эф}(\text{фТ})}$ по совокупности альтернативных вариантов ОНР ($\beta = 1(1)$)

$$K_{\text{эф}(\text{фТ})} = \min \left\{ P_{\text{эф}(\text{фТ})\beta} \right\}, \quad (5)$$

$$(\beta = 1(1)u).$$

Отметим, что приведенная в табл. 1 номенклатура блоков помещений КП ($\nu = 1(1)5$), соответствует перечню также основных функционально-технологических операций по выполнению боевой задачи. При этом непосредственно боевую задачу выполняет блок боевого управления и связи ($\nu = 1$), а остальные 14 блоков обеспечивают выполнение боевой задачи первым блоком, образуя вокруг него семейство обеспечивающих блоков с соответствующими связями функционально-технологических операций. Сами блоки ($\nu = 2(1)5$), в свою очередь, обеспечиваются взаимно из состава других блоков и имеют с ними соответствующие локальные функционально-технологические связи [2].

Формирование альтернативных принципиальных вариантов ОНР сооружения основывается на анализе системы основных требований (ТТТ, ЭТТ и ОСТ) и на следующих принципах размещения блоков помещений на этажах:

- жесткая ориентация отдельных блоков помещений к первому, второму или последнему этажам из-за требований живучести, эксплуатации и экономии затрат;
- равномерное распределение по этажам блоков помещений, обеспечивающих функционирование большинства остальных блоков помещений, при условии отсутствия ограничений;
- минимальная удаленность обеспечивающих блоков от первого (основного) блока помещений по этажам при условии отсутствия ограничений.

При равномерном размещении помещений блока ν -го типа по этажам на каждом этаже с номером $p = 1(1) k$ выделяется k -я часть общей полезной площади данного блока

$$F_{\nu(p)} = \frac{1}{k} F_{n(\nu)}. \quad (6)$$

При пропорциональном размещении помещений блока ν -го типа по этажам на каждом этаже с номером $p = 1(1) k$ выделяется для размещения часть полезной площади помещений, определяемая по формуле вида

$$F_{\nu(p)} = \frac{k+1-p}{k} F_{n(\nu)}. \quad (7)$$

Полученные после расчета показатели эффективности для совокупности альтернативных вариантов ОПР ($\beta=1(1)$) сравниваются между собой по критерию эффективности $K_{\text{эф(фрт)}}$, на основании чего выбирается наилучший вариант ОПР, который в дальнейшем совершенствуется с учетом максимального заполнения этажей СФС помещениями блоков, принимая во внимание при этом общие строительные требования, включая требуемые размеры помещений с учетом модулизации и типизации строительных конструкций специальных фортификационных сооружений.

Список используемых источников

1. Бабкина Н.А., Макеев Н.Ф. Оптимизация объемно-планировочных и конструктивных решений общественных зданий в условиях комфортной среды // Инновационное развитие: международный науч. журнал. – 2017. – Вып. 8(13) – С. 5–6.
2. Сурин Д.В., Стахно Р.Е. Оптимальное проектирование и оперативный расчет специальных фортификационных сооружений: учеб. пособие. – МО РФ, 2008. – 142 с.
3. Сурин Д.В. Специальные фортификационные сооружения: учебник. – МО РФ, 2010. – 429 с.
4. Расторгуев Б.С., Плотников А.И., Хуснутдинов Д.З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях: учеб. пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 152 с.

С.Д. Заложных;
В.М. Моторин,
кандидат техн. наук, доцент;
В.М. Сальников,
кандидат техн. наук

СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Статья посвящена вопросам использования вторичных энергетических ресурсов в системах жизнеобеспечения специальных сооружений. Рассмотрены предложения по введению новых конструктивных элементов в состав газовыххлопного тракта дизель-генераторной установки, что позволяет снизить площадь и объем всего специального сооружения в целом.

Ключевые слова: специальные сооружения; резервный источник электроснабжения; утилизация тепловой энергии выхлопных газов ДГУ.

В специальных сооружениях объектов наземной космической инфраструктуры в качестве резервных источников электроснабжения используются дизель-генераторные установки (ДГУ), имеющие коэффициент полезного действия, в настоящее время не превышающий 38–42%. То есть до 62–58 % энергии, получаемой при сжигании топлива, отводится в окружающую среду, в том числе с выхлопными газами – до 45% и через систему водяного охлаждения – до 20–28 %.

В соответствии с федеральным законом [1] в различных отраслях промышленности, в том числе и в Министерстве обороны РФ, закреплена обязательность утилизации и использования вторичных энергоресурсов.

Утилизация тепловой энергии выхлопных газов ДГУ, имеющих температуру 350–550°C, представляется актуальной и перспективной.

Очевидно, что для использования теплоты в выхлопной тракт ДГУ должны быть внесены конструктивные изменения. При этом в состав ДГУ следует включить: водяной охладитель газов, регулирующие газовые заслонки с электроприводами и байпасный газоход.

Охладитель газов может последовательно объединяться с теплообменником контура охлаждения двигателя трубопроводами с запорной арматурой в единый циркуляционный контур нагрева воды.

По результатам выполненных патентных исследований и на основе анализа научно-технической литературы [2–4] можно сделать вывод, что утилизация теплоты выхлопных газов позволит существенно повысить суммарный коэффициент полезного действия ДГУ, доведя его значение до 75–85%.

Особенностью специальных сооружений объектов наземной космической инфраструктуры является необходимость их функционирования в особых условиях, характеризующихся прекращением централизованного тепло- и электроснабжения и загрязнением приземного наружного воздуха различными вредностями (пылевые, аэрозольные, газовые, в том числе продукты горения). В этих режимах электроснабжение сооружения обеспечивается от автономных ДГУ и особую актуальность приобретает надежность функционирования систем жизнеобеспечения (СЖО), предназначенных для создания и поддержания условий нормального функционирования технологического оборудования и жизнедеятельности личного состава.

Одними из важнейших СЖО являются системы вентиляции, решающие задачу обеспечения нормативных параметров воздушной среды в сооружении путем ассимиляции тепло-, влагоизбытков и выделяющихся газовых вредностей подаваемым в сооружение обработанным наружным воздухом, а также для обеспечения подпора (избыточного давления воздуха) в сооружении.

В холодный период года наружный воздух, подаваемый в сооружение, по требованию нормативных документов необходимо нагревать, для чего затрачивается значительное количество энергии. Именно в этих условиях наибольший экономический эффект может быть получен от использования теплоты выхлопных газов для нагрева приточного воздуха.

Не вся вторичная теплота может быть полезно использована. Так, выхлопные газы никогда не охлаждаются до температуры окружающей среды в теплообменниках-охладителях, поскольку их охлаждение в зимнее время ведет к образованию конденсата и обледенению газовых выхлопных труб. В связи с этим целесообразно на выходе из котла-утилизатора иметь температуру газов не ниже 115–135°C.

В настоящее время в стационарных ДГУ все чаще применяется совместная выработка (когенерация) электрической энергии и тепловой [5, 6].

Когенерация в настоящее время широко используется вследствие повышения экономических показателей. При этом утилизационное оборудование включает в себя теплообменники, отбирающие теплоту от выхлопных газов ДГУ, и теплообменники, отбирающие теплоту из контура охлаждения ДГУ [5]. При ряде положительных свойств такая схема утилизации вторичных энергоресурсов обладает некоторыми недостатками.

Потребление электроэнергии и теплоты необходимо согласовать с выработкой электрической энергии и тепловой, что не всегда совпадает. В данной ситуации возникает необходимость периодического включения автономного теплогенератора, что снижает эффективность работы системы в целом [6].

Следует отметить, что системы когенерации наиболее эффективно можно использовать в случаях, когда в районе расположения объекта отсутствуют государственная система электроснабжения и централизованные источники теплоснабжения. Такие ситуации возникают при расположении объектов в отдаленных труднодоступных районах, например в арктической зоне.

Кроме того, системы когенерации могут применяться в СЖО защитных сооружений (убежищ) гражданской обороны, предназначенных для защиты укрываемых людей в особые периоды (когда отсутствуют централизованное теплоснабжение и электроснабжение).

В качестве примера можно привести следующие результаты оценочного расчета зависимости расхода теплоты для нагрева воздуха от количества людей в сооружении.

Требуемое количество теплоты для нагрева приточного наружного воздуха определяется формулой

$$Q = L_n \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) / 3,6, \quad (1)$$

где L_n – объемный расход приточного воздуха, $L_n = L_1 \cdot n$, м³/ч;

L_1 – минимальный санитарный расход наружного воздуха на одного человека, м³/ч;

n – количество людей в сооружении, чел.;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

t_1 – температура наружного воздуха, °С;

t_2 – температура нагретого воздуха, °С;

c – удельная массовая теплоемкость воздуха, кДж/кг*град.С.

Принимая $t_1 = -26^\circ\text{C}$, $t_2 = +18^\circ\text{C}$, $L_1 = 30$ м³/ч, для различного количества людей в сооружении получаем требуемое количество теплоты для нагрева наружного приточного воздуха (рис. 1).



Рис. 1. Расход теплоты для нагрева наружного приточного воздуха

Для утилизации теплоты выхлопных газов ДГУ может быть применено техническое решение, представленное на рис. 2. В период функционирования специального сооружения в особых условиях электроснабжение сооружения осуществляется от автономной ДГУ. Выхлопные газы дизеля по газовыхлопному тракту 2 выбрасываются из сооружения в атмосферу. В газовыхлопном тракте 2 установлен теплообменник охлаждения горячих выхлопных газов 3. В воздуховоде забора наружного воздуха 1 установлен теплообменник нагрева приточного наружного воздуха 4.



Рис. 2. Схема утилизации теплоты выхлопных газов ДГУ:

- 1 – воздуховод забора наружного воздуха; 2 – газовыхлопной тракт ДГУ;
 3 – теплообменник охлаждения выхлопных газов; 4 – теплообменник нагрева приточного наружного воздуха; 5 – циркуляционный насос теплоносителя;
 6 – замкнутый контур циркуляции теплоносителя

Теплообменники 3 и 4 соединены друг с другом в замкнутый контур циркуляции теплоносителя 6. В контуре установлен насос 5 для обеспечения циркуляции теплоносителя.

Выхлопные газы от ДГУ, проходя по газовыхлопному тракту 2, нагревают теплоноситель в теплообменнике 3 охлаждения выхлопных газов и, охлажденные, выбрасываются в атмосферу. Нагретый в теплообменнике 3 теплоноситель по замкнутому контуру циркуляции 6 циркуляционным насосом 5 перекачивается в теплообменник нагрева наружного воздуха 4. Наружный воздух через воздухозабор по воздуховоду забора наружного воздуха 1 поступает в приточную вентиляцию для использования в сооружении. Проходя по воздуховоду, воздух нагревается в теплообменнике нагрева наружного воздуха 4.

В приточной вентиляции воздух очищается от загрязнений (пылевых, аэрозольных, газовых), подвергается необходимой тепло- и влагообработке и раздается потребителям сооружения.

Введение конструктивных элементов для подогрева наружного воздуха, забираемого в холодное время, позволяет снизить установленную мощность ДГУ в специальном сооружении.

В результате ДГУ меньшей мощности занимает меньшую площадь и объем сооружения. ДГУ меньшей мощности требует меньше запасов топлива для обеспечения работы в особый период. Запасы топлива будут занимать меньшую площадь и объем сооружения. Для ДГУ меньшей мощности требуется меньше воздуха на горение топлива. Соответственно, также уменьшаются размеры воздухопроводов. Уменьшается количество фильтров для очистки воздуха, установленных в сооружении, вследствие чего также уменьшаются площадь и объем сооружения.

Таким образом, в результате введения новых конструктивных элементов снижаются площадь и объем всего специального сооружения в целом и значительно сокращаются капитальные затраты на его строительство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены вопросы использования вторичных энергетических ресурсов в системах жизнеобеспечения специальных сооружений объектов наземной космической инфраструктуры.

По результатам выполненных патентных исследований и на основе анализа научно-технической литературы предложено техническое решение, обеспечивающее утилизацию теплоты выхлопных газов ДГУ для нагрева наружного приточного воздуха в холодный период.

Список используемых источников

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ. – URL: www.consultant.ru (дата обращения: 20.02.2018).
2. *Селиверстов В.И.* Утилизация тепла в судовых дизельных установках. – Л.: Судостроение, 1973. – 218 с.
3. *Кривов В.Г., Синатов С.А.* Повышение эффективности дизельных энергоустановок путем утилизации отходящей теплоты // Двигателестроение. – 1979. – № 10. – С. 14–18.
4. Комплексное электроснабжение на базе дизельных электростанций с внешней утилизацией отходящей теплоты / В.Г. Кривов, С.А. Синатов, С.Д. Гулин и др. // Двигателестроение. – 1988. – № 9. – С. 3–7.
5. *Валиулин С.Н., Бурдастов Н.Н.* Системы утилизации вторичной теплоты дизельных и газопоршневых электрогенераторов (системы когенерации) / ООО «Гидротермаль». – URL: www.gidrotermal.ru (дата обращения: 14.02.2018).
6. *Валиулин С.Н., Фролов М.В.* Эффективность применения электрического котла в составе когенерационной дизель-электрической установки // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 82–87.

С.В. Зарин;
Ш.Ш. Исхаков,
кандидат техн. наук, доцент;
Ф.Е. Ковалёв,
кандидат техн. наук

УЧЕТ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЙ БЕТОНА В ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПРОЛЕТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассматриваются возможности совершенствования метода диагностирования технического состояния зданий и сооружений по таким характеристикам, как снижение несущей способности пролетных железобетонных конструкций при трещинообразованиях бетона, вероятность аварийного состояния (обрушения) таких конструкций и категория их технического состояния, определяемая на основе использования тестового метода вибрационных и статических испытаний эталонных конструкций балочного типа.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, пролетные железобетонные конструкции, трещинообразование бетона, жесткость изгибаемых конструкций, вероятность обрушения.

ВВЕДЕНИЕ

Известно [1–3], что наличие информативных диагностических признаков (Дп) снижения изгибной жесткости C , содержащихся в передаточных функциях $\eta(\omega)$ пролетных железобетонных конструкций (ЖБК), позволяет методом вибрационной диагностики идентифицировать снижение несущей способности (НС) пролетных ЖБК различных зданий и сооружений (ЗиС), включая стартовые сооружения (СС) (рис. 1). При этом диагностическими признаками являются снижение собственной (резонансной) частоты колебаний λ_1 по первой (основной) форме колебаний пролетных ЖБК на некоторую величину $\Delta\lambda$ и увеличение резонансного экстремума передаточной функции $\eta(\omega)$ в V раз при постоянстве массы конструкции m ($m = \text{const}$).

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА В ОБЛАСТИ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Данный метод [4] (рис. 1), в отличие от других неразрушающих методов контроля (НМК), регистрирующих различные параметры физико-механических характеристик (ФМХ) материала конструкций, на основе которых расчетными методами определяется НС конструкций, позволяет непосредственно *аппаратурным* способом оценивать снижение НС пролетных ЖБК. В свою очередь, это позволяет для ЗиС, подверженных воздействию динамических нагрузок (например, высотные ЗиС при воздействии ветровых нагрузок, СС (рис. 1) при воздействии газодинамической нагрузки от реактивных двигателей 1-й ступени ракетносителей), находить взаимосвязности сразу между тремя основополагающими характеристиками ЗиС, такими как снижение НС их конструкций, надежность в виде вероятности $P = \{0, \dots, 1\}$ возникновения аварийного состояния (обрушения) ЖБК [5] и категории их технического состояния [6, 7] (рис. 2).

Одним из методических приемов в обосновании взаимосвязности характеристик, указанных на рис. 2, является использование *экспертных оценок* [5–7] в определении соответствия физико-математических параметров (ФМП) ТС ЗиС категориям ТС ЗиС,

регламентируемым в [8–10]. Это актуализирует дальнейшее совершенствование методов задания взаимозависимости характеристик, представленных на рис. 2, в части использования информативных ФМП при диагностировании (мониторинге) ТС ЗиС без экспертных оценок, снижающих объективность и достоверность постановки диагноза о ТС эксплуатируемых ЗиС.

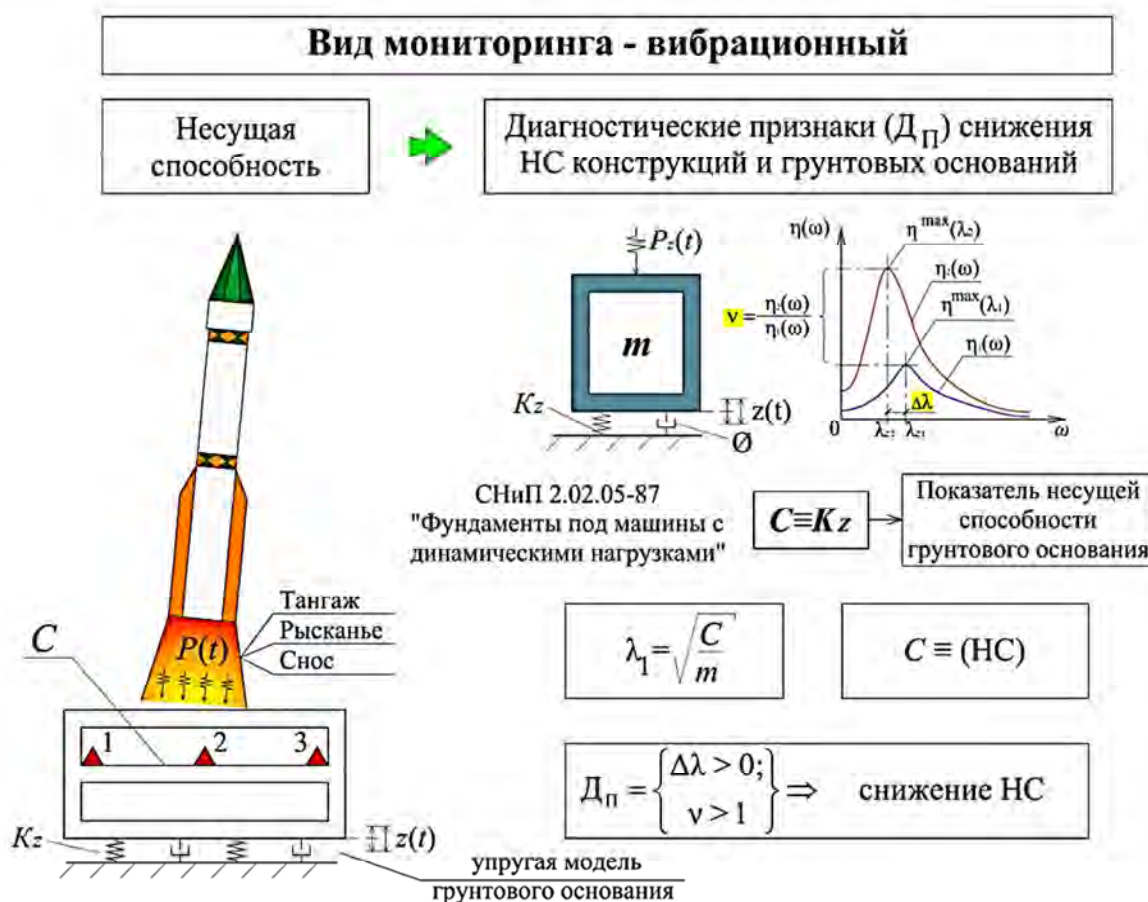


Рис. 1. Методика вибрационного диагностирования пролетных ЖБК



Рис. 2. основополагающие характеристики зданий и сооружений, физико-математические взаимозависимости которых отсутствуют в действующей нормативной базе [8–12]

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Одним из направлений совершенствования диагностирования ТС несущих пролетных ЖБК в эксплуатируемых ЗиС, включая СС (см. рис. 1), является оценивание снижения НС конструкций ЗиС по проценту снижения их изгибной жесткости,

$$\Delta C = \left(1 - \frac{C_i}{C^{\max}}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C^{\max} – изгибная жесткость пролетной ЖБК, фиксируемая при мониторинге ЗиС с помощью вибрационной диагностической системы (ВДС) [3] с начала эксплуатации ЗиС при $\lambda_1 = \lambda^{\max}$ (см. рис. 1);

C_i – значения изгибной жесткости пролетной ЖБК в i -х циклах испытаний [i -х пусках РКН с данного СС (рис. 1)] при снижении начального значения резонансной частоты λ^{\max} конструкций на некоторые величины $\Delta\lambda_i$ до величин λ_i (рис. 1), где $\Delta\lambda_i = \lambda^{\max} - \lambda_i$.

В указанном случае для конструкций будет фиксироваться фактическая для данного ЗиС зависимость $\Delta C = f(\Delta\lambda)$, как показано на рис. 3.

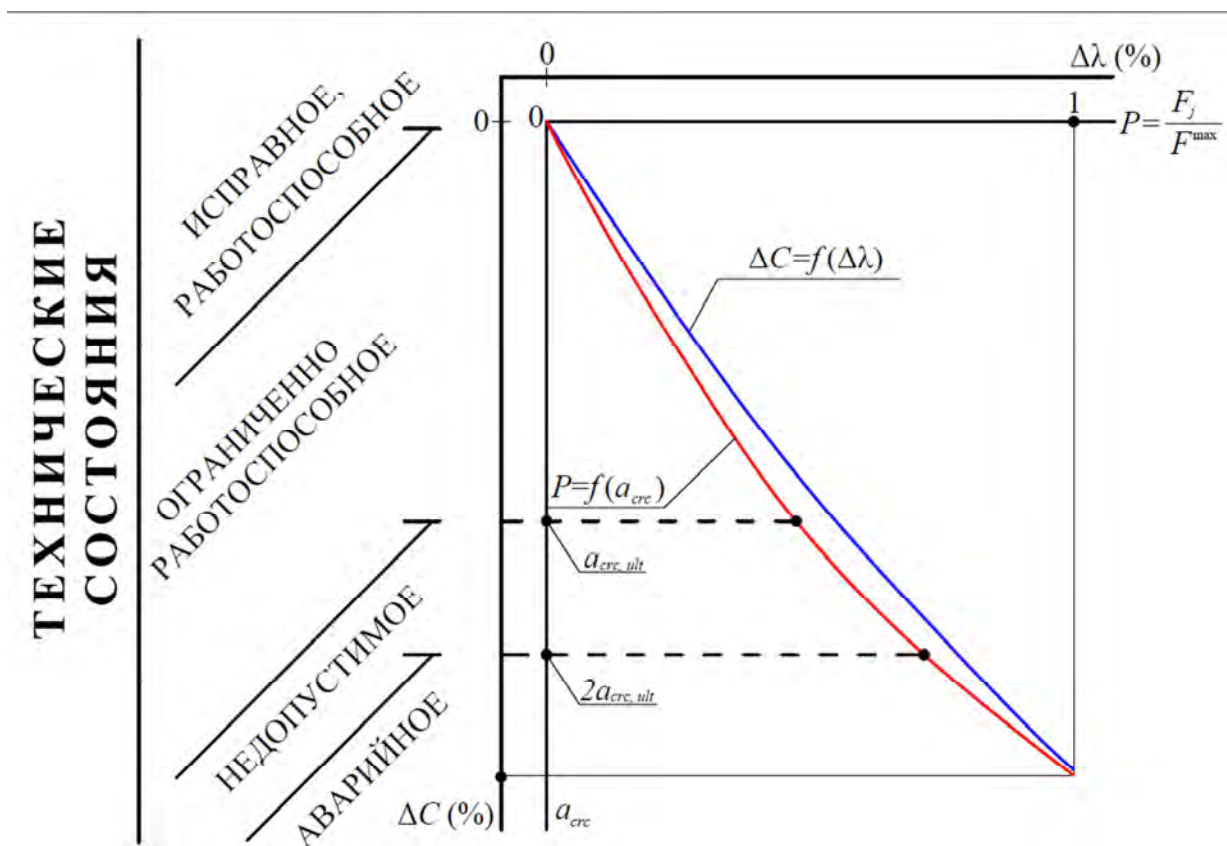


Рис. 3. Пример графоаналитических зависимостей физико-математических параметров (ФМП) ТС несущих элементов ЗиС

Фиксации фактических функций вида

$$\Delta C = f(\Delta\lambda) \quad (2)$$

на эксплуатируемых ЗиС (рис. 1) могут предшествовать тестовые динамические испытания эталонных ЖБК балочного типа с выявлением для них зависимости (2) по типу того, как это

в последние годы практикуется на заводах железобетонных изделий [13], например, для определения вибрационным методом модуля упругости бетона E_b путем вибрационных испытаний ЖБК балочного типа в упругой стадии их работы (без образования трещин в бетоне изгибаемых ЖБК). Использование такого приема позволяет по тестовой зависимости (2) идентифицировать фактическое снижение НС пролетных ЖБК в эксплуатируемых ЗиС, в том числе и на СС (см. рис. 1), если выполнять пересчет параметров, входящих в выражение (2), с эталонных ЖБК на ЖБК в эксплуатируемом ЗиС по известным зависимостям, например В.А. Котляревского [14].

Кроме того, с указанными эталонными ЖБК балочного типа могут быть выполнены тестовые статические испытания на изгиб с образованием трещин в растянутых зонах бетона с заданной шириной их раскрытия a_{crc} , допустимые значения которых регламентируются в СП 63.13330.2012 [15]. В этом случае может быть получена тестовая зависимость вида

$$P = \frac{F_j}{F^{\max}} = f(a_{crc}), \quad (3)$$

где F^{\max} – максимальное значение нагрузки, при которой происходит обрушение изгибаемых эталонных изделий;

F_j – значения нагрузок, при которых фиксируется заданная ширина раскрытия трещин в бетоне a_{crc_j} .

При этом параметр P изменяется в пределах $P = \{0, \dots, 1\}$ при изменениях параметра F_i от $F_{j=0} = 0$ до $F_j = F^{\max}$. Поэтому параметр P в формуле (3) можно интерпретировать как вероятность обрушения (аварийного состояния) пролетных ЖБК.

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Тестовые зависимости (2) и (3) можно отложить на общей координатной сетке, как показано на рис. 3, совмещая соответствующие i -е значения параметра ΔC , полученные в процессе динамических тестовых испытаний эталонных ЖБК, с соответствующими значениями раскрытия трещин a_{crc} , полученными в процессе статических испытаний этих же эталонных ЖБК. При этом вдоль вертикальных осей параметров ΔC и a_{crc_j} следует откладывать категории ТС ЗиС, регламентируемые в [9] и [10], как это впервые было предложено в работе [6], что нашло свое дальнейшее развитие для специальных сооружений Космических войск (КВ) (рис. 1) в [7]. По аналогии логично полагать, что пролетным ЖБК, функционирующим на эксплуатируемых СС (рис. 1) без трещинообразования бетона ($a_{crc} = 0$) при максимальной жесткости (НС) конструкции C^{\max} [при $\Delta C = 0$ в (2)], должны соответствовать по регламентации [9, 10] «исправное» и «работоспособное» технические состояния (рис. 3). Начало трещинообразования бетона ($a_{crc} > 0$) при снижении НС пролетных ЖБК (при $\Delta C > 0$) соответствует переходу ТС ЗиС в «ограниченно работоспособное состояние» (рис. 3). Достижение предельно допустимой ширины раскрытия трещин бетона $a_{crc,ult}$, регламентируемой для изгибаемых ЖБК в СП 13.13330.2012 [15], при дальнейшем снижении жесткости (НС) конструкции (нарастании параметра ΔC) должно соответствовать переходу пролетных ЖБК в «недопустимое» ТС (рис. 3). Двойное увеличение предельно допустимой ширины раскрытия трещин бетона (до $a_{crc} = 2a_{crc,ult}$) следует считать «аварийным» состоянием таких пролетных ЖБК, при котором возникает риск обрушения ЖБК (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методический подход, представленный на рис. 3, позволяет диагностировать ТС ЗиС, подверженных воздействию функциональных динамических нагрузок, сразу по трем характеристикам, указанным на рис. 2, без использования экспертных оценок, снижающих объективность постановки диагноза о ТС ЗиС. При этом, в отличие от известных способов контроля жесткости, трещиностойкости и прочности изгибаемых железобетонных конструкций, например в [16], представленный в данной статье метод (см. рис. 3) с помощью зависимости (3) позволяет на объективной физической основе определять количественную меру надежности по вероятности P обрушения пролетных ж/б конструкций и позволяет также идентифицировать категорию ТС пролетных ЖБК в случае применения вибрационного метода контроля на основе зависимости (2) [см. рис. 1].

Список используемых источников

1. Исхаков Ш.Ш. К вопросу о прогнозировании выявления информативных диагностических признаков состояния зданий и сооружений при динамических воздействиях // Белые ночи-2008: сб. док. [Юб. науч. чтения]: в 2 ч. – СПб.: МАНЭБ, 2008. – Ч.2. – С. 346–350.
2. Исхаков Ш.Ш. Вибрационная тестово-функциональная диагностика состояния строительных конструкций при мониторинге зданий и сооружений для предупреждения чрезвычайных ситуаций: моногр. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 163 с.
3. Становление и развитие вибрационных систем мониторинга технического состояния несущих элементов стартовых сооружений: моногр. / Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалёв, А.П. Мохнаткин, Д.С. Старчуков. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 110 с.
4. А. с. RU(21) 147445/28(13)А. Метод функционирования вибрационной диагностики изменения несущей способности грунтового основания и строительных конструкций зданий и сооружений / Н.Н. Гусев, Ш.Ш. Исхаков. – №2008147445; заявл. 01.12.2008; опубл. 2010, Бюл. №16 ФГУ по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 3 с.
5. Оценка надежности эксплуатации зданий и сооружений по методикам возникновения риска их неработоспособных состояний / Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалёв, В.М. Васкевич, В.Ю. Рыжиков // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №7(33). – С. 76–88.
6. Проблемы оценивания надежности и безопасности эксплуатируемых сооружений наземной космической инфраструктуры и идентификации их технических состояний / Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалёв, Р.Э. Косенков, А.П. Мохнаткин // Известия ПГУПС. – 2016. – Т. 13, вып. 4(49). – С. 592–599.
7. Задачи адаптации обеспечения надежности специальных объектов Космических войск нормативным требованиям безопасной эксплуатации военно-строительных комплексов / Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалёв, С.В. Зарин, А.П. Мохнаткин // Современные направления в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений: сб. научных трудов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – С. 67–75.
8. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ. – М.: Кремль, 2009.
9. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: ГОССТРОЙ РФ, 2004. – 32 с.
10. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2011. – 89 с.
11. ГОСТ 27751-2011. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 14 с.

12. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М: Госстандарт СССР, 1989. – 16 с.
13. А. с. RU 2473880 С2. Способ определения модуля упругости бетона в упругих железобетонных конструкциях балочного типа / В.Л. Коробко, А.В. Коробко, Е.Г. Абашин. – Заявка 27.04.2011; опубл. 27.01.2013, Бюл. №3 ФС по интеллектуальной собственности. – 7 с.
14. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса. / рук. авт. кол-ва Н.А. Махутов, О.И. Лобов, К.И. Еремин. – М.: МГОФ «Знание», 2012. – 798 с.
15. СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: Минрегион РФ, 2012. – 147 с.
16. А. с. RU 2 235 988 С1. Способ контроля жесткости, трещиностойкости и прочности изгибаемых железобетонных конструкций / В.И. Коробко, Д.И. Красильников, В.И. Поляков. – Заявка 2003110351/28, 10.04.2003; опубл. 10.09.2004, Бюл. №25. ФС по интеллектуальной собственности. – 5 с.

С.В. Зарин;
Ш.Ш. Исхаков,
кандидат техн. наук, доцент;
А.П. Мохнаткин

К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИРОВАНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАРТОВОГО СООРУЖЕНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «АНГАРА» ПРИ ВОЗМОЖНОМ ПОВЫШЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ПРИАРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

В статье рассматриваются факторы, вызывающие риски снижения эксплуатационных параметров строительной части уникального стартового сооружения семейства ракеты-носителя «Ангара» на космодроме Плесецк, включая возможное повышение сейсмической активности в Северо-Западном регионе РФ, что обуславливает целесообразность повышения эффективности использования системы испытания и долговременного контроля на данном стартовом сооружении.

Ключевые слова: стартовое сооружение, конструкции, основание, техническое состояние, система испытания и долговременного контроля, вибрационная диагностическая система.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования подразделений Российской академии наук (РАН) показывают, что добыча углеводородов на шельфе Северного Ледовитого океана (СЛО) может вызвать повышение сейсмической активности в Северо-Западном регионе РФ, включая район базирования космодрома Плесецк [1].

Исследования Военно-космической академии (ВКА) имени А.Ф. Можайского в области динамики стартовых сооружений [2], результаты которых были доложены на I Национальном конгрессе по комплексной безопасности в строительстве (2010), вызвали интерес у специалистов Института экологических проблем Севера (Уральское отделение РАН). По этой причине ряд специалистов академии [3] приняли участие в публикации коллективной монографии [1], посвященной проблемам возможного повышения сейсмической активности в Северо-Западном регионе РФ вследствие добычи углеводородов на шельфе СЛО.

Учет возможного повышения указанной сейсмической активности в совокупности с другими известными факторами, которые могут вызывать риски снижения эксплуатационных показателей строительной части (СЧ) специальных сооружений космодрома Плесецк [4], способствовали актуализации вопросов, связанных с *контролем* параметров технического состояния (ТС) сооружений, включая уникальное стартовое сооружение (СС), унифицированное для семейства РКН «Ангара».

АКТУАЛИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ОБЪЕКТА

Рассмотрению вопроса о необходимости и возможности диагностирования ТС объекта способствует наличие на данном СС системы испытания и долговременного контроля (ИДК), разработанной коммерческой организацией «Учреждение науки «ИКЦ СЭКТ» [5] без учета опыта создания подобных систем ИДК на космодроме Байконур [6–8] ВКА имени А.Ф. Можайского.

Кроме вышеуказанного риска повышения сейсмической активности в Северо-Западном регионе РФ [1] целесообразность применения системы ИДК на СС для РКН «Ангара» обусловлена следующими факторами:

- наличием основания с карстовыми пустотами с малообоснованной эффективностью заполнения их бетоном;
- некачественным заполнением монолитного бетона за несъемную опалубку несущих стеновых конструкций в процессе строительства данного СС [5];
- снижением общей несущей способности (НС) строительных элементов (конструкций и основания) СС, вызывающим риски того, что пуски тяжелых модификаций РКН семейства «Ангара» могут приводить к недопустимым деформациям элементов СЧ СС.

Указанные факторы свидетельствуют о целесообразности корректировки системы ИДК с учетом того, что тензодатчики комплекта тензометрического контроля (ТК) на данном СС не установлены на основании под фундаментной плитой СС и в несущих железобетонных конструкциях (ЖБК) в их арматуре и бетоне [5]. Это не обеспечивает контроль изменения напряжений в указанных строительных элементах СС, как это ранее по программам ВКА имени А.Ф. Можайского выполнялось с помощью систем ИДК на СС под тяжелые и сверхтяжелые РКН на космодроме Байконур [6–8].

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ

Ввиду малой эффективности функционирования комплекта ТК на СС для РКН «Ангара» в соответствии с рекомендациями по применению современных систем мониторинга (СМ) [7–9] необходима компенсация (по возможности) низкой информативности комплекта ТК за счет других комплектов (других средств контроля) параметров ТС ЧС СС. В качестве такого компенсирующего средства, как показывают исследования [2, 3, 6], проведенные в ВКА имени А.Ф. Можайского, можно успешно использовать комплект вибрационного контроля (ВК) при условии его соответствующего «обучения» с целью функционирования в режиме вибрационной диагностической системы (ВДС) [7, 8, 10]. Эффективность применения ВДС на СС обусловлена получением информации о «стабильности-снижении» несущей способности (жесткости) конструкций СС по анализу реализаций вибраций, регистрируемых при каждом пуске РКН с помощью акселерометров. Эти акселерометры установлены на диагностируемых строительных конструкциях. Они имеют диапазон рабочих частот 0,1–120 Гц, включающий в себя собственные (резонансные) частоты по первой (основной) форме колебаний массивных пролетных ЖБК [2, 6–8, 10].

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИСПЫТАНИЯ И ДОЛГОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЯ

Для достижения эффективности применения систем ИДК на СС для РКН «Ангара» необходимо научно-техническое сопровождение [9] использования системы ИДК с выполнением ряда мероприятий, которые заключаются в следующем:

- 1) использовать акселерометры с вышеуказанным диапазоном рабочих частот;
- 2) обеспечить схемой расстановки акселерометров идентификацию снижения НС наиболее ослабленных и наиболее нагруженных несущих ЖБК;
- 3) обеспечить цифровую запись акселерограмм;
- 4) выполнить обработку и анализ акселерограмм по программно-методическому обеспечению мониторинга (ПМОМ), разработанному в ВКА имени А.Ф. Можайского [7];

5) разработать на систему ИДК эксплуатационно-техническую документацию (ЭТД), отсутствующую в настоящее время;

6) обеспечить функционирование ВДС при каждом пуске РКН.

Анализ данных вибрационного контроля должен выполняться экспертами в области воздействия случайных нестационарных динамических процессов (например, сотрудниками ВКА имени А.Ф. Можайского [2, 6]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным сейсмологических исследований [1], на сейсмических станциях РАН, установленных в Архангельской области, четко фиксируются сейсмические воздействия, вызываемые пусками РКН на космодром Плесецк (рис. 1). При этом регистрация сейсмических сигналов от различных техногенных воздействий (рис. 1) позволяет судить о геологических изменениях в регионе и прогнозировать возможное повышение сейсмической активности [1].

Проведение вышеуказанных мероприятий по доработке комплекта ВК системы ИДК на СС для РКН «Ангара» позволяет не только оценивать изменение НС конструкций СС, но и существенно повысить эффективность мониторинга сейсмической обстановки в регионе за счет совместного анализа параметров вибраций на СС при пусках РКН (т.е. в источнике зарождения сейсмического сигнала [3]) и на сейсмических станциях РАН в Архангельской области (рис. 1) [1]. Данное обстоятельство обуславливает целесообразность доработки комплекта ВК системы ИДК на СС для РКН «Ангара» с полноценным его функционированием в режиме ВДС [6–8, 10] как для целей мониторинга ТС строительных элементов данного СС, так и мониторинга сейсмической обстановки в регионе совместно с подразделениями РАН.

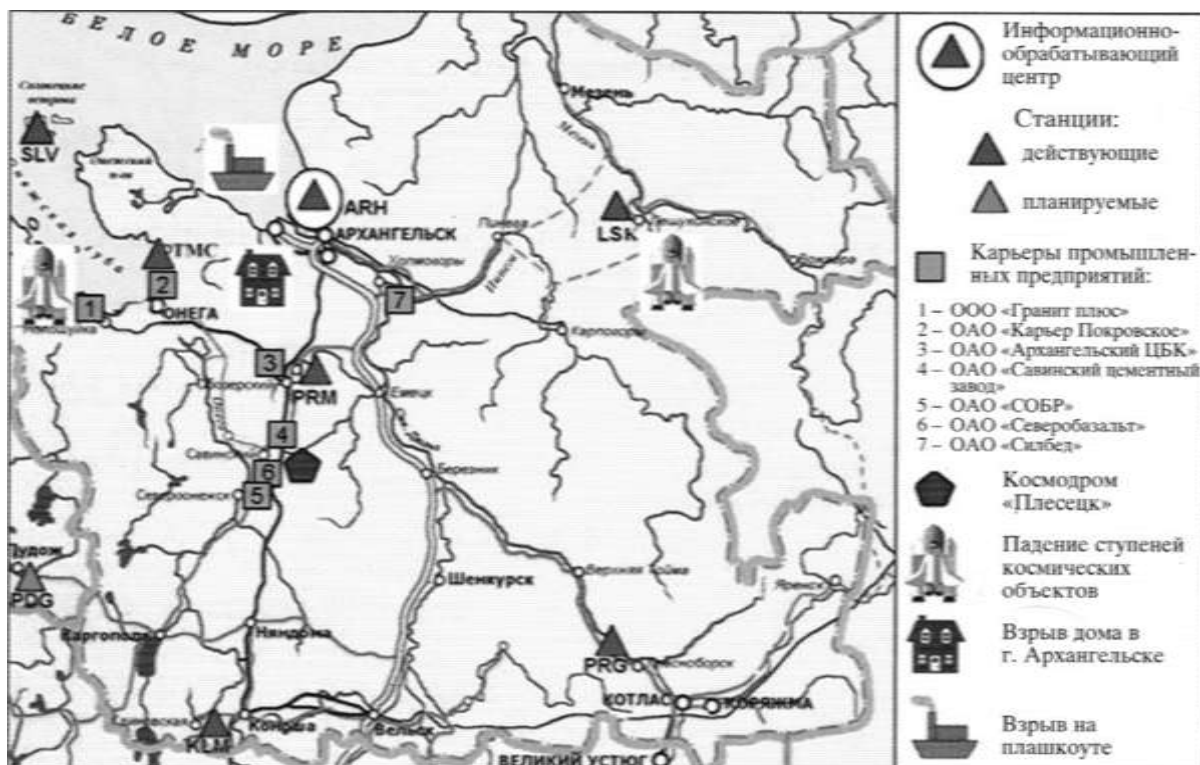


Рис. 1. Карта расположения регистрирующих станций и источников техногенных воздействий [1]

Список используемых источников

1. Сейсмологические исследования в Арктических и Приарктических регионах / Г.Н. Антоновский, В.Э. Асмиг, С.В. Басакин и др.; под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 243 с.
2. Методы вибрационного и тензометрического диагностирования состояния несущих конструкций и грунтовых оснований специальных сооружений при воздействии динамических нагрузок / А.П. Козин, Ш.Ш. Исхаков, В.М. Васкевич, Ф.Е. Ковалёв // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. научн. тр. / под ред. К.И. Ерёмна. – 2010. – №9. – С. 404–414.
3. *Исхаков Ш.Ш., Васкевич В.М., Ковалёв Ф.Е.* Адаптация результатов вибрационного мониторинга массивных специальных сооружений к сейсмическим исследованиям динамики зданий и сооружений в плотной застройке городов // Сейсмологические исследования в Арктических и Приарктических регионах / под ред. чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 220–243.
4. *Исхаков Ш.Ш., Ковалёв Ф.Е., Котович В.Г.* Проблемы оценивания остаточного ресурса специальных сооружений наземной космической инфраструктуры // Проблемы и достижения в области строительного инжиниринга: сб. материалов научно-метод. конф., посвященной 150-летию кафедры «Здания». – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 9–14.
5. *Прохорович В.Е., Тупицин Ю.Е., Виноградов А.В.* Особенности проведения обследования технического состояния строительных конструкций стартовых космических комплексов с последующим проведением поверочных расчетов для обеспечения их безотказной эксплуатации или реконструкции // Неразрушающий контроль композиционных материалов: сб. трудов 1-й дистанционной научно-технической конференции НККМ-2014 «Приборы и методы неразрушающего контроля качества изделий и конструкций из композиционных и неоднородных материалов». – СПб.: изд-во СВЕН, 2015. – С. 129–138.
6. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса / В.М. Васкевич, Н.Н. Гусев, Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалёв, В.А. Рудаков; под ред. Н.А. Махмутова. – М.: МГОФ «Знание», 2012. – Гл.IV, подразд. 7, 8; гл. V, подразд. 3. – 798 с.
7. МРД 01-2011. Методические рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния несущих элементов зданий и сооружений. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 110 с.
8. *Исхаков Ш.Ш., Васкевич В.М., Ковалёв Ф.Е.* Проектирование и применение систем мониторинга инженерных (строительных) конструкций зданий и сооружений: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 158 с.
9. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2011. – 89 с.
10. Становление и развитие вибрационных систем мониторинга технического состояния несущих элементов стартовых сооружений: моногр. / Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалёв, А.П. Мохнаткин, Д.С. Старчуков. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 110 с.

Ю.А. Каменев;
А.С. Соломахин,
кандидат техн. наук;
А.М. Сычёва,
доктор техн. наук, доцент

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА В ВОЕННОМ И ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Статья посвящена проблеме получения проектных характеристик пенобетона при транспортировании его по подающим трубопроводам к месту укладки в конструкцию. Показана зависимость изменения объемного веса пенобетона от высоты транспортировки смеси. Рассмотрен подход к корректировке количественных значений составляющих пенобетона.

Ключевые слова: пенобетон, устойчивость, объемная релаксация, теплоизоляция.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к использованию монолитного неавтоклавного пенобетона в конструкциях различного назначения обусловлен тем, что его применение способствует комплексному ресурсо- и энергосбережению на всех этапах их существования. Это проявляется в следующем:

- низком уровне затрат на производство и укладку единицы объема пенобетона, по сравнению с аналогичными теплоизоляционными материалами;
- высоких теплотехнических свойствах, а также в возможности сочетать в себе свойства теплоизоляционных и конструкционных материалов;
- возможности монолитной заливки прямо на объекте – высокой долговечности.

Применение монолитного неавтоклавного пенобетона в ограждающих конструкциях высотных зданий и сооружений, дорожном строительстве, тепловой защите трубопроводов различных технических систем обусловлено тем, что оно позволяет [4, 5]:

- существенно упростить и удешевить строительство за счет производства пенобетона непосредственно на строительной площадке;
- вести работы круглогодично (зимой при температуре до -15°C без дополнительного ухода за бетоном; пенобетон способен аккумулировать тепло за счет реализации эффекта термоса);
- увеличить объем выполнения работ более чем в десять раз, в сравнении с укладкой газобетонных и пенобетонных блоков, при существенном сокращении количества рабочих;
- минимально использовать краново-подъемное оборудование (подача монолитного пенобетона осуществляется с отметки земли);
- сократить транспортные расходы на строительную площадку и площади зон складирования материалов;
- получить дополнительную жилую площадь за счет уменьшения толщины утепления наружных стен при использовании пенобетона низких плотностей.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА

Особенностью применения неавтоклавного монолитного пенобетона в строительстве являются использование технологии подачи монолитного пенобетона с «нулевой» проектной

отметки и дальнейшее транспортировка пенобетонной смеси к месту укладки на значительные расстояния (до 70 м по вертикали и до 200 м по горизонтали), в полном соответствии с требуемыми проектными и реологическими характеристиками смеси, что возможно реализовать при соблюдении следующих условий:

- только при раздельном способе получения пены и водо-цементно-песчаной смеси с последующим их перемешиванием в общем смесителе;
- при высотах больше 20 м необходимо выполнить дополнительные операции по увеличению показателя стойкости пены;
- при изменении схемы подачи пенобетона на высоту более 20 м, без дополнительных операций по улучшению качества пены.

Под изменением схемы подачи понимается перенос пенобетонной установки к месту заливки, т.е. разбивка здания на захватки определенной высоты.

Для монолитных пенобетонов изучение реологических характеристик представляет большой практический интерес, поскольку именно они определяют поведение пеноцементной системы под нагрузкой при подаче к месту заливки, ее деформативность и способность к восстановлению первоначальной поровой структуры после снятия нагрузки [3].

Исследование вопросов изменения реологического состава пенобетонной смеси при транспортировке на значительные расстояния по вертикали практически не проводились. Нет систематизированных данных о критических высотах подачи пенобетонных смесей различного реологического состава с помощью разных по принципу работы пеноподающих устройств. Получение, при транспортировке, пенобетона с устойчивыми физико-механическими характеристиками является достаточно трудной задачей.

В табл.1 приведены значения изменения плотности пенобетонной смеси (для средней плотности D300 в сухом состоянии) при подаче на высоту от 0 до 70 м.

Таблица 1

Изменение плотности пенобетона средней плотности D300 в зависимости от высоты подачи

Вид пенобетона	Высота подачи, м							
	0	10	20	30	40	50	60	70
	Значение плотности в сухом состоянии, кг/м ³							
Сырая пенобетонная смесь	420	490	525	560	575	600	626	646
Пенобетон в проектном возрасте (в сухом состоянии)	300	370	400	440	455	480	500	520

Из таблицы видно, что при подаче пенобетона на высоту его плотность увеличивается до 50%, в результате чего пенобетон не отвечает проектной марке и имеет более высокий показатель коэффициента теплопроводности и, соответственно, более низкие теплотехнические характеристики.

Для понимания процессов изменения реологии пенобетонной смеси рассмотрим схему ее подачи героторным насосом на высоту H и возникающие при этом гидравлические давления в подающем трубопроводе (рис.1).

На нижний слой ΔH пенобетонной смеси оказывает давление столб смеси $P_{см}$, находящийся в трубопроводе, а также пусковое давление насоса $P_{нас}$.

Именно высокие показатели давления столба смеси в трубопроводе и способны вызвать в нижних слоях пенобетонной массы:

- схлопывание пенного пузырька (разрушение);
- сжатие пенного пузырька (без разрушения).

Для оценки реологической устойчивости пенобетонной смеси при подаче к месту укладки на значительные вертикальные расстояния в работе предложено ввести коэффициент объемной релаксации пенобетонной массы $K_{об.р}$. Значение этого коэффициента предлагается оце-

нить как отношение объемной массы пенобетонной смеси на выходе из пенобетонной установки – V_{m_1} к объемной массе пенобетонной смеси на выходе из трубопровода в месте укладки – V_{m_2} :

$$K_{об.р.} = V_{m_1} / V_{m_2}. \quad (1)$$

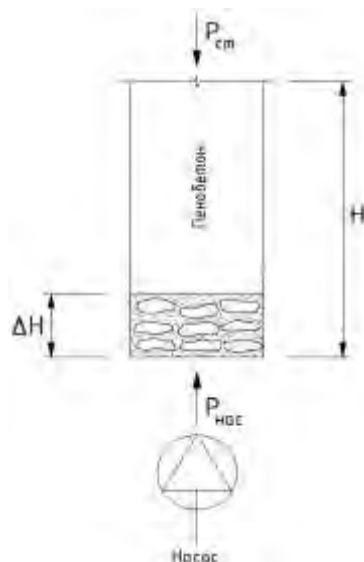


Рис. 1. Схема воздействия различных видов нагрузки на нижние слои пенобетона при вертикальной транспортировке

Из формулы следует, что чем выше $K_{об.р.}$, тем выше способность смеси воспринимать без разрушения различные нагрузки при транспортировке. Зависимость коэффициента объемной релаксации от высоты подъема пенобетонной смеси средней плотности D300 показана на рис. 2.

Основной идеей исследований является предположение о том, что поскольку самой «хрупкой» в пенобетонной смеси является строительная пена, то ее упрочнение и стабилизация должны повысить $K_{об.р.}$ пенобетонной смеси. Такое решение, в свою очередь, должно повысить устойчивость пенобетонной смеси в условиях различных нагрузок, определяемых давлением в трубопроводе и высотой, на которую подается смесь.

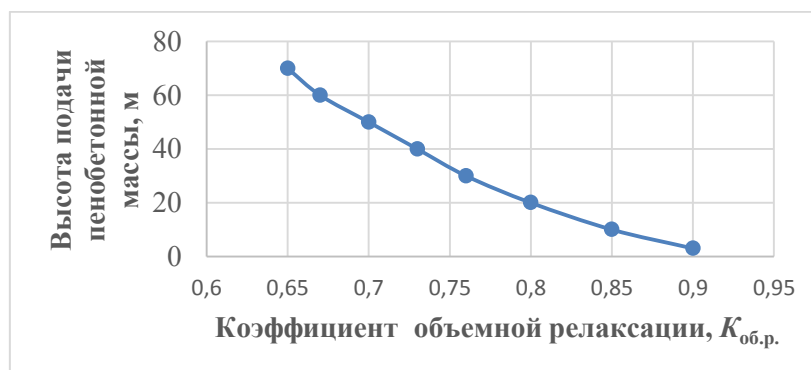


Рис. 2. Зависимость коэффициента объемной релаксации смеси от высоты подъема пенобетонной массы

Для проведения экспериментальных исследований был использован белковый пенообразователь, поскольку он является наилучшим с точки зрения его влияния на гидратацию цемента [1, 4].

В работе были использованы стабилизаторы, обеспечивающие различный механизм стабилизации пены, прочность которой оценивалась по времени устойчивости в сравнении с контрольной нестабилизированной пеной. Устойчивость контрольной пены составила 40 мин. В качестве стабилизаторов использовались: поливинилацетат (ПВА); латекс СКС 65 ГП, золь берлинской лазури $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ и красная кровяная соль $K_3[Fe(CN)_6]$. Золи представляют собой коллоидные растворы, содержащие в качестве дисперсной фазы частицы размером 1–100 нм [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования показали (рис. 3), что все выбранные вещества оказывают положительный эффект и увеличивают время устойчивости пены до 4,6 раза. Наилучший эффект проявляется при использовании $K_3[Fe(CN)_6]$.

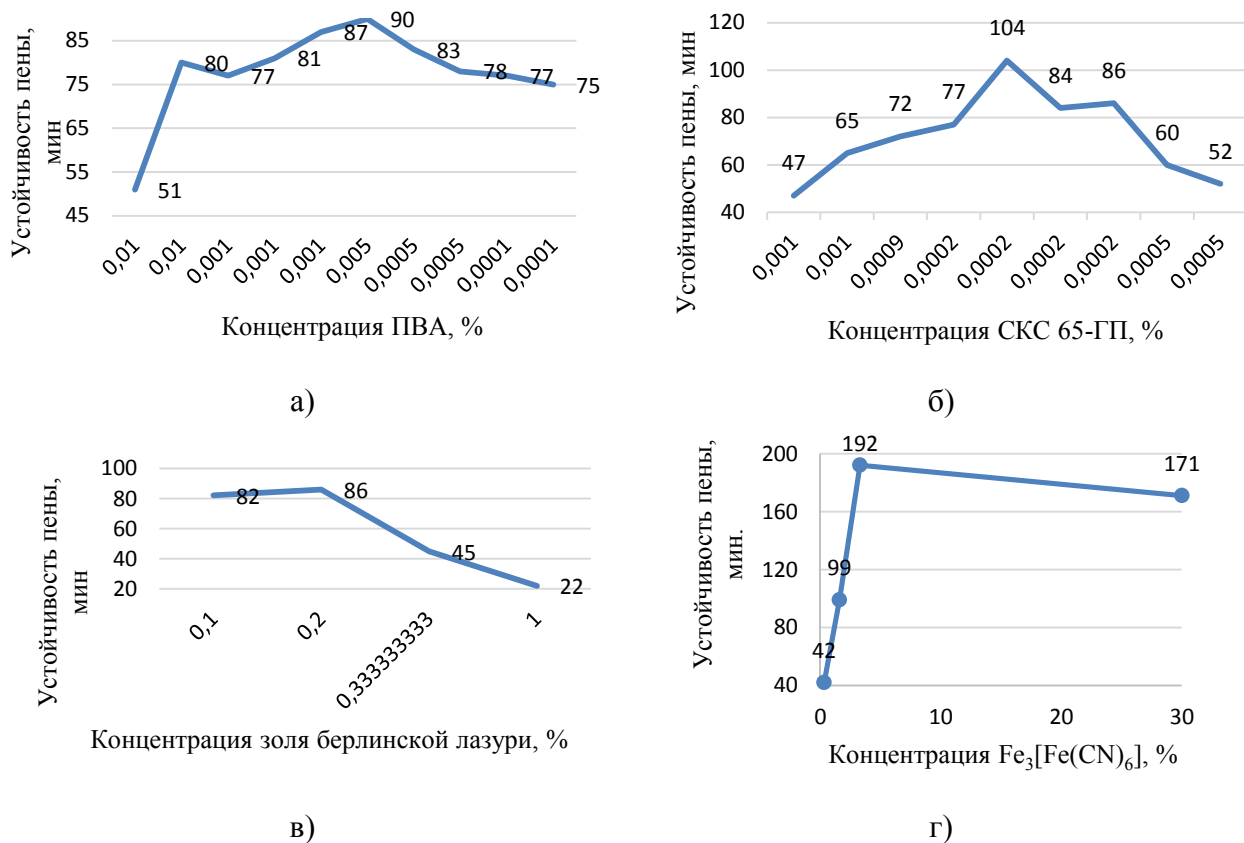


Рис. 3. Устойчивость пены, приготовленной на основе различных стабилизаторов:
 а – поливинилацетат; б – латекс СКС 65-ГП;
 в – $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$; г – $K_3[Fe(CN)_6]$

НАУЧНЫЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ О СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕНЫ

Эффект стабилизации пены может быть связан с проявлением двух механизмов. В случае использования ПВА и латекса увеличивается вязкость раствора пенообразователя, а в случае использования золь берлинской лазури и красной кровяной соли, содержащих ионы Fe^{2+}

и Fe^{3+} , возможно его взаимодействие с молекулами белка пенообразователя (табл. 2). При таком взаимодействии образуются прочные комплексные соединения, увеличивающие толщину пенной пленки [1]. В обоих случаях эффект стабилизации приводит к снижению скорости вытекания межпленочной жидкости из пенной пленки под действием силы тяжести и повышению времени ее устойчивости [6, 7].

Таблица 2

Механизмы стабилизации пены

Наименование пенообразователя	Гидролизаты белков				Синтетический пенообразователь
	ПВА	СКС65ГП	$Fe_3 [Fe(CH)]_3$	$Fe_3 [Fe(CH)]$	
Вид стабилизатора	ПВА	СКС65ГП	$Fe_3 [Fe(CH)]_3$	$Fe_3 [Fe(CH)]$	-
Механизм стабилизации	Наличие водородных связей		Ковалентные связи		-
Устойчивость стабилизированной пены (мин)	90	104	86	192	4
Значение $K_{об,рел}$	0,8($h=70$)	0,9($h=70$)	0,65($h=70$)	0,60($h=70$)	0,50($h=70$)
	0,83($h=50$)	0,94($h=50$)	0,75($h=50$)	0,65($h=50$)	0,55($h=50$)
	0,86($h=30$)	0,98($h=30$)	0,90($h=30$)	0,80($h=30$)	0,65($h=50$)
Энергия внутренних связей, Дж/моль	≈ 10		-	≈ 450	-

Далее было выдвинуто предположение, что для сохранения реологии пенобетонной смеси при подаче к месту укладки по вертикали важно не только время устойчивости, но и ее структурно-механические свойства. Предварительные эксперименты показали, что при введении стабилизаторов на основе ионов железа образуется устойчивая, но хрупкая пенная пленка, которая может не выдержать гидравлическое давление в трубопроводе при подаче на большую высоту. В случае использования полимеров, увеличивающих вязкость межпленочной жидкости, время устойчивости пены ниже, но пена имеет большую пластичность, т.е. способность восстанавливать форму пузырька, релаксировать после действия на нее давления в трубопроводе [3].

На рис. 4 показаны значения коэффициента объемной релаксации пенобетонной смеси, приготовленной на основе строительной пены, стабилизированной латексом. Из рисунка видно, что присутствие стабилизатора увеличивает значение $K_{об,р}$ до 38% при подаче пенобетона на высоту до 70 м.

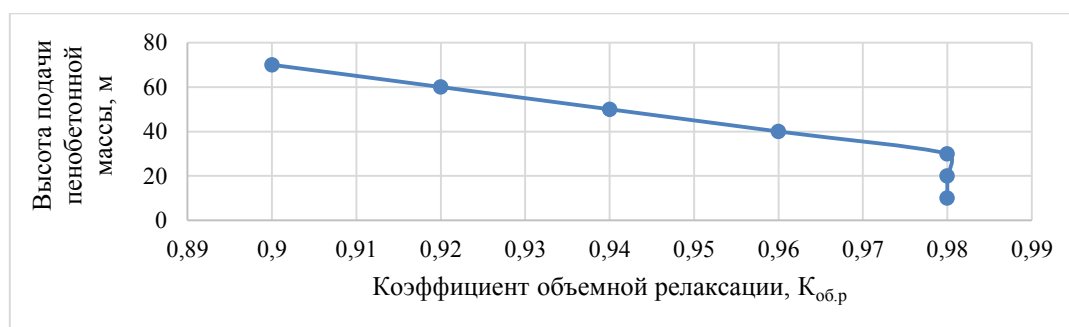


Рис. 4. Зависимость коэффициента объемной релаксации от высоты подъема пенобетонной массы, приготовленной на основе стабилизированной латексом пены

При высоте здания более 70 м рекомендуется использовать способ укладки пенобетона с высотной разбивкой здания на захватки с шагом подачи до 70 м и переносом пенобетонной установки к месту заливки. Такой способ может обеспечить заливку пенобетонной массы при строительстве зданий любой высоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложено оценивать устойчивость сырой пенобетонной массы при ее транспортировке к месту укладки на высоту до 70 м при помощи коэффициента объемной релаксации как отношения плотности пены на выходе из пенобетонной установки к плотности пены на выходе из трубопровода.

2. Впервые предложено повышать уровень реологических свойств пенобетона при его транспортировке к месту укладки в конструкцию путем стабилизации пены и увеличения прочности пенного пузырька.

3. Рассмотрены стабилизаторы для пены различной природы и показано, что устойчивость пены в их присутствии возрастает до 4,8 раза; предложены механизмы стабилизирующего эффекта и их влияние на структурно-механические свойства пены.

4. Показано, что при использовании стабилизаторов для пены коэффициент объемной релаксации пенобетонной массы при ее транспортировке по вертикали до 70 м увеличивается до 38%.

5. При строительстве зданий высотой более 70 м предложено использовать способ подачи пенобетона с высотной разбивкой здания на захватки с шагом подачи до 70 м и переносом пенобетонной установки к месту заливки.

Список используемых источников

1. *Тихомиров В.К.* Пены. Теория и практика их получения и разрушения. – М.: Химия, 1983. – 252 с.
2. *Зимон А.Д.* Коллоидная химия. – М.: Агар, 2007. – 343 с.
3. *Шахова Л.Д.* Технология пенобетона. Теория и практика: моногр. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 248 с.
4. *Sychova A., Solomahin A., Hitrov A.* The Increase Of The Durability And Geoprotective Properties Of The Railway. Subgrade Transportation Geotechnics and Geoecology, TGG 2017 // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189. – P. 688–694.
5. Применение полимерцементного пенобетона для повышения срока службы железнодорожного полотна / А.М. Сычёва, А.С. Соломахин, Н.С. Яснова и др. // Транспортное строительство. – 2017. – №6. – С. 21–23.
6. Пат. RU № 2646925 С1, СПК С04В 24/14, 38/10, 38/106, С04В 2103/42. Комплексная добавка для бетонной смеси / Соломахин А.С. и др. – Бюл. №8 от 12.03.2018.
7. Пат. RU № 2647532 С1, СПК С04В 16/0641, 24/14, 38/10, 38/106. Комплексная добавка для бетонной смеси / Соломахин А.С. и др. – Бюл. №8 от 16.03.2018.

В.В. Карагодин,
доктор техн. наук, профессор;
К.А. Полянский,
кандидат техн. наук

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА НА БАЗЕ СТАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

В публикации представлена методика определения варианта построения системы гарантированного электроснабжения, включающей статические источники бесперебойного питания двойного преобразования и дизель-генераторные установки и обеспечивающей достижение заданного показателя надежности системы электроснабжения специального объекта при минимизации капитальных вложений или эксплуатационных издержек.

Ключевые слова: система гарантированного электроснабжения, источник бесперебойного питания, автономный источник, задача оптимизации, целевая функция, структурно-параметрическая оптимизация.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительно возрастает роль систем автономного (резервного, аварийного) электроснабжения в процессе обеспечения электроэнергией специальных объектов Министерства обороны. Это обусловлено прежде всего нерешенностью проблемы обеспечения надежности в электроэнергетике Российской Федерации [1] (системы внешнего электроснабжения не гарантируют требуемой надежности электроснабжения).

Неотъемлемой частью современных автономных энергетических комплексов являются системы гарантированного электроснабжения (СГЭ). В состав СГЭ специального объекта должна включаться система бесперебойного электроснабжения (СБЭ), предназначенная для бесперебойного электроснабжения потребителей в случаях отклонения показателей качества электрической энергии, поступающей от основных источников, за пределы допустимых значений, и для автономного электроснабжения потребителей на время, определяемое количеством запасенной накопителем энергии [2]. Для обеспечения длительного времени автономной работы совместно с СБЭ применяются автономные источники электроэнергии, которые в совокупности составляют СГЭ. В качестве таких автономных источников для СГЭ специального объекта используют дизель-генераторные установки (ДГУ).

Основным структурным элементом СБЭ, предопределяющим ее эксплуатационные показатели, является источник бесперебойного питания (ИБП). ИБП бывают различного типа в зависимости от принципа действия, но для электроснабжения специального объекта наилучшим образом подходят только ИБП двойного преобразования. Выбор ИБП двойного преобразования для построения СГЭ обусловлен рядом их преимуществ по сравнению с другими типами ИБП [3], прежде всего по показателям надежности и времени необслуживаемой работы.

Задача построения СБЭ на базе ИБП двойного преобразования может решаться как оптимизационная задача [4]. На основе ее математической модели [5], которая позволяет учесть наиболее важные показатели эффективности СБЭ, в том числе и эксплуатационные расходы, разработана и программно реализована [6] методика структурно-параметрической оптимизации СБЭ [7]. Применение этой методики для оптимизации СБЭ специального объекта позволяет определить оптимальный с точки зрения экономического критерия вариант построения СБЭ, обеспечивающий требуемый уровень надежности.

Разработанная методика не учитывает проблемы, возникающие при совместной работе СБЭ на базе статических ИБП и ДГУ [8]. К таким проблемам можно отнести: отклонение показателей качества электрической энергии синхронного генератора за допустимые пределы в момент включения СБЭ на работу от ДГУ и проблема электромагнитной совместимости данных элементов СГЭ.

Решить названные проблемы возможно путем завышения номинальной мощности ДГУ и/или используя ИБП с более дорогостоящей конфигурацией. Под конфигурацией ИБП двойного преобразования понимается тип и схема выпрямителя, а также наличие или отсутствие дополнительных устройств, таких как устройства плавного пуска и фильтры высших гармоник. Выбор СБЭ с более дорогостоящей конфигурацией ведет к повышению экономических затрат на СБЭ, но позволяет снизить затраты на ДГУ. Другое решение задачи согласования параметров СБЭ и ДГУ (путем завышения номинальной мощности генератора) приведет к повышению затрат на ДГУ, но позволит использовать СБЭ с менее дорогостоящей конфигурацией.

Таким образом, очевидно, что решение задачи построения СГЭ, обеспечивающей высокие показатели надежности, невозможно без учета особенностей совместной работы ДГУ и статических ИБП, причем как в переходных, так и в установившихся режимах работы. А поскольку СБЭ могут иметь различные конфигурации и в зависимости от этого оказывать различное влияние на работу ДГУ, степень которого также зависит от номинальной мощности ДГУ, то задача построения СГЭ может быть рассмотрена как задача оптимизации.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При математической постановке задачи оптимизации должны быть определены переменные, фиксированные значения которых определяют отдельное решение задачи, целевая функция, представляющая собой математическую запись критерия оптимальности, и набор ограничивающих условий.

В качестве *переменных*, подлежащих определению в ходе решения оптимизационной задачи, введем в рассмотрение следующие булевы переменные:

$$w_{uv} = \begin{cases} 1, & \text{если ДГУ } v\text{-й номинальной мощности питает СБЭ } u\text{-й конфигурации;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

Целевая функция представляет собой экономические (капитальные или приведенные годовые) затраты на построение СГЭ:

$$F_{\text{СГЭ}} = \sum_u \sum_v w_{uv} (F_{\text{ДГУ}_v} + F_{\text{СБЭ}_u}), \quad (2)$$

где $F_{\text{ДГУ}_v}$ – экономические затраты на ДГУ v -й номинальной мощности;

$F_{\text{СБЭ}_u}$ – экономические затраты на СБЭ u -й конфигурации.

Если в качестве критерия оптимальности принимается минимум капитальных затрат, то целевая функция принимает следующий вид:

$$F_{\text{СГЭ}} = K_{\text{СГЭ}} = \sum_u \sum_v w_{uv} (c_{\text{ДГУ}_v} + K_{\text{СБЭ}_u}), \quad (3)$$

где $c_{\text{ДГУ}_v}$ – стоимость ДГУ v -й номинальной мощности, руб.;

$K_{\text{СБЭ}_u}$ – капитальные затраты на СБЭ u -й конфигурации, руб.

Так как ДГУ выполняет функции резервного источника, то стоимостью потерь электроэнергии в ней при расчете годовых приведенных затрат можно пренебречь, и тогда выраже-

ние (2) в случае, когда в качестве критерия оптимальности используется минимум годовых приведенных затрат, примет следующий вид:

$$F_{\text{СГЭ}} = Z_{\text{СГЭ}} = \sum_u \sum_v x_{uv} (p_{\Sigma} c_{\text{ДГУ}_v} + Z_{\text{СБЭ}_u}). \quad (4)$$

Здесь p_{Σ} – суммарный расчетный коэффициент отчислений, зависящих от объема капитальных вложений в систему электроснабжения, учитывающий эксплуатационные затраты (для ДГУ до 500 об./мин $p_{\Sigma} = 0,212$, свыше 500 об./мин $p_{\Sigma} = 0,252$ [9]);

$Z_{\text{СБЭ}_u}$ – годовые приведенные затраты на СБЭ u -й конфигурации, руб./год.

Множество допустимых альтернатив формируется *ограничениями*, представляющими собой учитываемые при решении оптимизационной задачи следующие математические и технические условия:

– переменные могут принимать только одно из двух значений:

$$w_{uv} = \{0, 1\}; \quad (5)$$

– при подключении нагрузки необходимо исключить недопустимое отклонение напряжения на клеммах генератора:

$$\sum_v w_{uv} (P_{\text{ДГУ}_v} - k_{\text{изб}_u}^{\text{п.р}} P_{\text{СБЭ}_u}^{\text{вх}}) \geq 0, \quad (6)$$

где $P_{\text{ДГУ}_v}$ – номинальная активная мощность v -го ДГУ, кВт;

$k_{\text{изб}_u}^{\text{п.р}}$ – коэффициент избыточности мощности ДГУ над мощностью СБЭ u -й конфигурации, о.е.;

$P_{\text{СБЭ}_u}^{\text{вх}}$ – входная потребляемая мощность СБЭ u -й конфигурации, кВт;

– в установившемся режиме необходимо обеспечить минимальную загрузку ДГУ:

$$\sum_v w_{uv} (k_{\text{мин.заг}}^{\text{у.р}} P_{\text{ДГУ}_v} - P_{\text{СБЭ}_u}^{\text{вх}}) \leq 0, \quad (7)$$

где $k_{\text{мин.заг}}^{\text{у.р}}$ – коэффициент минимальной загрузки ДГУ, о.е.;

– должен быть выбран один вариант построения СГЭ:

$$\sum_u \sum_v w_{uv} = 1; \quad (8)$$

– необходимо обеспечить электромагнитную совместимость ИБП и ДГУ [10]:

$$\sum_v w_{uv} \left(P_{\text{ДГУ}_v} - P_{\text{СБЭ}_u}^{\text{вх}} - P_{\text{СБЭ}_u}^{\text{вх}} \sum_{n>1} K_{I(n)_u}^2 \left(1 + x_{d_v}^{*2} (2n^{3,3} + n^2) \right) \right) \geq 0, \quad (9)$$

где $K_{I(n)_u}$ – коэффициент n -й гармонической составляющей тока СБЭ u -й конфигурации, о.е.;

n – порядок гармонической составляющей;

$x_{d_j}^{*2}$ – относительное сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси, о.е.

Полученная математическая модель использована в методике построения СГЭ.

АЛГОРИТМ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Схема алгоритма методики построения СГЭ показана на рис. 1. Рассмотрим подробнее каждый из этапов методики.

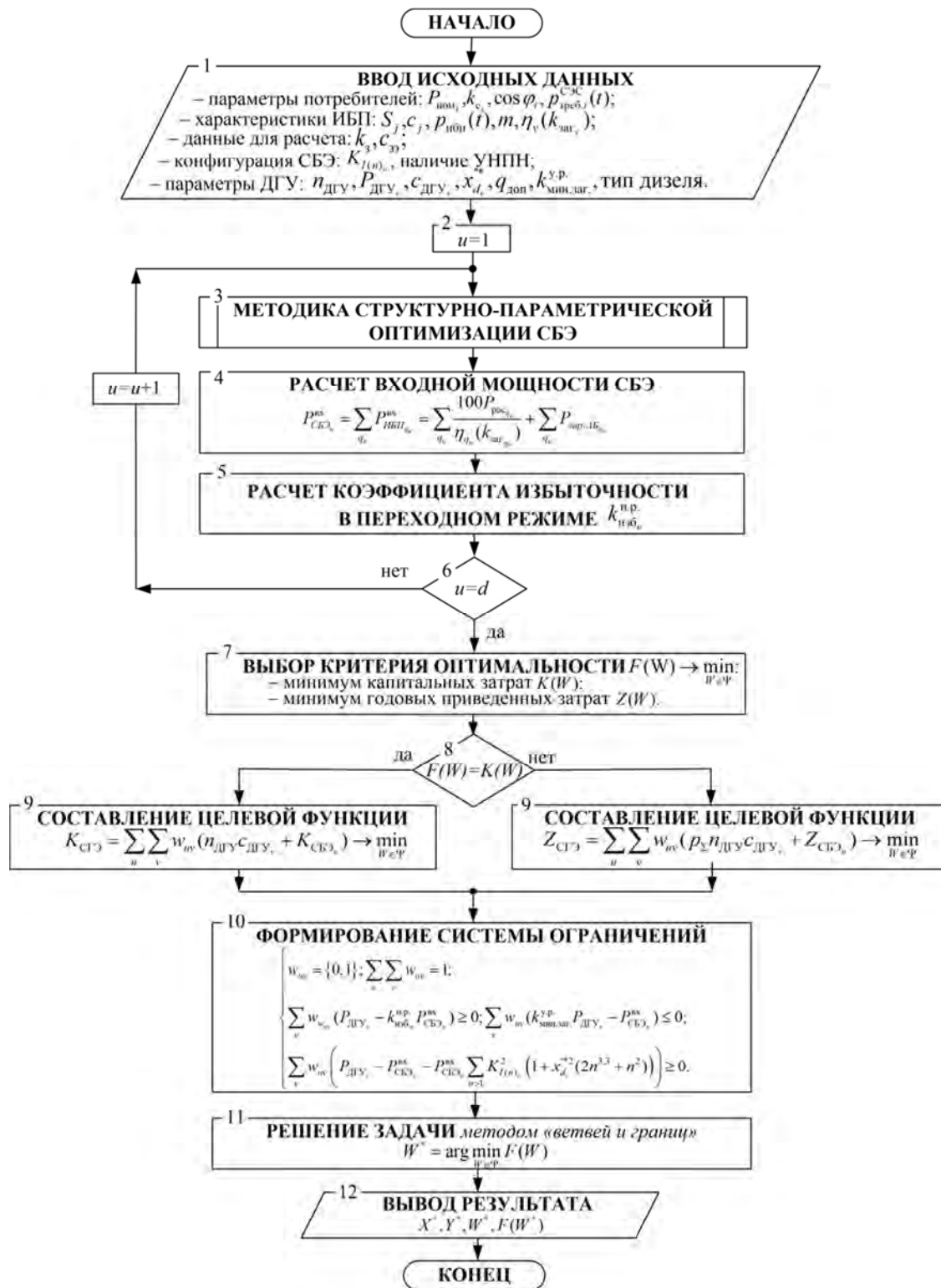


Рис. 1. Схема алгоритма методики построения СПЭ

1. Вводятся исходные данные, содержащие кроме информации, необходимой для решения задачи оптимизации СПЭ [11], следующие показатели:

– данные о конфигурации СБЭ, а именно, значения коэффициентов n -й гармонической составляющей тока ИБП и отсутствие/наличие устройства нормированного подключения нагрузки;

– количество и параметры ДГУ: номинальные мощности; соответствующие им стоимости и значения относительных сверхпереходных индуктивных сопротивлений генераторов по продольной оси; допустимая относительная мощность нагрузки, подключаемой одномоментно; а также коэффициент минимальной загрузки ДГУ.

2. Задаются начальные условия ($u=1$) для организации итерационного процесса.

3. Выполняется решение задачи структурно-параметрической оптимизации СБЭ [12].

4. Входная мощность СБЭ может значительно превышать мощность нагрузки (в зависимости от загрузки ИБП) и определяется расходом на заряд аккумуляторных батарей и внутренними потерями ИБП. Поэтому выполняется расчет входной мощности СБЭ.

5. Рассчитывается коэффициент избыточности в переходном режиме.

Данный коэффициент имеет различное значение в зависимости от типа приводного дизельного двигателя и наличия устройств нормированного подключения нагрузки.

При использовании ИБП, не имеющих устройств программного ввода в работу, коэффициент избыточности может быть вычислен следующим образом [11]:

$$k_{\text{изб}}^{\text{п.р}} = \frac{100k_{\text{зап}}}{q_{\text{доп}}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса (для дизелей с газотурбинным наддувом принимается равным 1,3-1,4, без него 1,1-1,2), о.е.;

$q_{\text{доп}}$ – допустимый мгновенный наброс нагрузки, в процентах от номинальной выходной мощности ДГУ (принимается по технической документации к конкретному ДГУ или в соответствии с [13]).

Для ИБП, оборудованных УНПН, $k_{\text{изб}}^{\text{п.р}}$ определяется по данным завода-изготовителя или равным 1,2-1,3 для ДГУ с дизелями, оборудованными газотурбинным наддувом, и 1,05-1,1 без него.

6. Выполняются пункты 3–5 для каждой u -й конфигурации СГЭ. Условие остановки итерационного цикла $u=d$ (d – количество рассматриваемых конфигураций).

7–8. Выбирается критерий оптимальности. Важно отметить, что выбранный критерий должен совпадать с критерием оптимальности, в соответствии с которым решалась задача структурно-параметрической оптимизации СБЭ.

9. Составляется целевая функция, которая в зависимости от выбранного критерия определяется с помощью выражения (3) для критерия минимума капитальных вложений или с помощью (4) для критерия минимума годовых приведенных затрат.

10. Формируется система ограничений, представляющих собой зависимости между булевыми переменными w_{iv} , задаваемыми в форме равенства (8) и неравенств (6), (7), (9).

11. Выполняется решение поставленной задачи оптимизации методом «ветвей и границ».

12. Осуществляется вывод результата решения $X^*, Y^*, W^*, F(W^*)$. Векторы X^* и Y^* являются решением задачи структурно-параметрической оптимизации СБЭ и однозначно определяют оптимальный вариант построения СБЭ. Результатом решения задачи параметрической оптимизации СГЭ с учетом обеспечения электромагнитной совместимости СБЭ и ДГУ является вектор W^* , элементы которого определяют оптимальный вариант построения СГЭ. Значение капитальных или годовых приведенных затрат (в зависимости от выбранного на этапе 7 экономического критерия, в соответствии с которым решалась задача) на этот вариант построения содержит вектор $F(W^*)$.

Вывод. Разработана методика, направленная на решение актуальной задачи выбора оптимального варианта построения СГЭ, в состав которой входят ИБП двойного преобразования. Ее использование позволит избежать необоснованных экономических издержек, а также возможных технических сбоев, возникающих при несогласованных параметрах элементов СГЭ.

Список используемых источников

1. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалёв, Ю.Н. Кучеров и др. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. – 212 с.
2. Герасимов А.Н., Орлов А.В., Петрушин В.Ф. Системы бесперебойного электроснабжения: учеб. пособие. – МО РФ, 1997. – 203 с.
3. Коттули К. Сравнение статических и динамических ИБП // Информационные статьи Schneider Electric. – 2011. – № 92.
4. Анализ задачи обеспечения электроснабжения ответственных потребителей с заданным уровнем обеспечения надежности / В.В. Карагодин, Е.М. Рудой, К.А. Полянский, С.В. Морозов // Вестник СПбО АИН. – 2015. – Вып. №11. – С. 162–171.
5. Карагодин В.В., Полянский К.А. Постановка задачи оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов Космических войск // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 175–181.
6. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016619582. Программа определения оптимального варианта построения СБЭ / Карагодин В.В., Полянский К.А., Горин В.А. – Заявл. 24.08.2016.
7. Карагодин В.В., Полянский К.А. Задача оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов Министерства обороны // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – № 1, Т.12. – С. 20–27.
8. Карагодин В.В., Полянский К.А., Рыбаков Д.В. Учет особенностей совместной работы дизель-генераторных установок и статических источников бесперебойного питания при построении систем гарантированного электроснабжения // Актуальные вопросы развития систем автономного электроснабжения объектов Министерства обороны Российской Федерации: сборник докладов круглого стола, проведенного в рамках научно-деловой программы Международного научно-технического форума «АРМИЯ–2017». г. Кубинка Московской области 24 августа 2017 года. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 226–231.
9. Ревяков Б.А., Карагодин В.В., Пешехонов Н.Е. Проектирование систем электроснабжения объектов специального назначения: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – Ч. 2: Сети выше 1000 В. – 124 с.
10. Карагодин В.В., Полянский К.А., Смирнов С.В. Оптимизация системы гарантированного электроснабжения ответственных потребителей с учетом обеспечения электромагнитной совместимости ее элементов // Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Т.1. – С. 450–454.
11. Статические и дизельные агрегаты резервного электропитания / А.Я. Гольдинер, М.И. Цыркин, С.В. Соколов, В.В. Головкин. – СПб.: Галей Принт, 2006. – 115 с.
12. Карагодин В.В., Полянский К.А., Горин В.А. Структурно-параметрическая оптимизация системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей // Изв. вузов. Приборостроение. – 2017. – Т. 60, № 1. – С. 14–24.
13. ГОСТ Р 55231-2012. Системы автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ) судовых, тепловозных и промышленных двигателей внутреннего сгорания. Общие технические условия. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2013. – 14 с.

В.В. Карагодин,
доктор техн. наук, профессор;
Б.А. Ревяков,
кандидат техн. наук, доцент;
Д.В. Рыбаков,
кандидат техн. наук

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрен подход к определению понятия надежности систем электроснабжения. Предложено условное деление надежности систем электроснабжения на структурную (аппаратную) и функциональную (режимную). Введены показатели функциональной надежности систем электроснабжения, характеризующие режимы работы электрических сетей. Приведены способы обеспечения надежности систем электроснабжения.

Ключевые слова: теория надежности, работоспособность, показатели надежности, функциональная надежность, способы обеспечения.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современной военно-политической обстановки к числу основных задач развития систем Воздушно-космических сил Российской Федерации относятся повышение их живучести и боевой устойчивости. Что, в свою очередь, обуславливает необходимость обеспечения выполнения жестких требований к энерговооруженности, надежности систем электроснабжения технических комплексов и средств наземного базирования в различных условиях оперативно-стратегической обстановки.

Возрастающая функциональная взаимосвязь систем электроснабжения (СЭС) с другими техническими и технологическими системами делает требование обеспечения надежности электроснабжения одним из главных требований, предъявляемых к СЭС наземных комплексов.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При создании и эксплуатации системы электроснабжения наземного комплекса, как и любой технической системы, одной из важнейших задач является задача обеспечения ее надежности. Актуальность этой задачи еще более возрастает, если учесть, что системы электроснабжения, состоящие из большого количества различного взаимосвязанного электрооборудования, находящегося под воздействием различных внешних и внутренних возмущений, необходимо рассматривать как сложные системы, для которых решение рассматриваемой задачи связано с большими трудностями.

Согласно [1], *надежность* – это «свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования», т. е. понятие термина «надежность» в общетехническом смысле отождествляется с понятием «работоспособное техническое состояние». Это понятие формировалось вместе с развитием автоматизации, электроники, телемеханики и других отраслей науки и техники, определяющих технический прогресс. Методы теории надежности главным образом предназначены для решения задач надежности отдель-

ных устройств, комплексов и достаточно простых систем. В энергетике же приходится иметь дело, как правило, с большими распределенными на значительных территориях системами.

Электроэнергетическая система представляет собой большую сложную систему, которую можно считать системой кибернетического типа, характеризующейся рядом специфических особенностей, отличающих ее от других систем, например технологических. К таким особенностям относятся:

- непрерывность процесса производства, передачи и потребления электроэнергии;
- наличие потребителей, электроприемники которых предъявляют различные требования к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии;
- высокая степень резервирования оборудования, что приводит к низкой вероятности полного отказа систем, а также к практической невозможности проведения планового или непланового ремонта одновременно на всем оборудовании вследствие большого количества источников и потребителей, режимной избыточности элементов;
- сложная иерархическая структура систем электроснабжения, элементы которых (оборудование, аппараты и элементы электрических сетей) также могут (должны) рассматриваться как самостоятельные достаточно сложные системы, состоящие, в свою очередь, из элементов;
- невозможность практически получить статистические данные испытаний в условиях эксплуатации, а также невозможность проведения таких испытаний в лабораторных и заводских условиях вследствие трудностей в создании реальных условий и необходимой длительности работы оборудования.

Указанные особенности свидетельствуют о том, что механически переносить положения общей теории надежности на электроэнергетические системы не всегда возможно и оправдано. Это приводит к необходимости определения и использования показателей надежности, критериев работоспособности, отражающих специфику функционирования СЭС, что, в свою очередь, влечет за собой необходимость разработки специальных математических моделей и специальных методов расчета надежности СЭС. В связи с этим требует уточнения и само понятие надежности применительно к системам электроснабжения.

Вышесказанное приводит к необходимости расширения общепринятого понятийного аппарата (понятий, терминов и определений) надежности технических систем применительно к СЭС наземных комплексов, который учитывал бы специфику свойств таких систем. Однако в этом случае такая вводимая система понятий, терминов и определений должна быть применима при рассмотрении вопросов надежности любых (большинства) систем энергетики.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Сложные технические объекты, к которым относится и СЭС, как правило, являются многоуровневыми, поэтому для них обоснована необходимость расширения понятия надежности путем использования дополнительных показателей, характеризующих режимы функционирования электрических сетей. При этом система всё равно рассматривается как техническая и ее надежность также обусловлена надежностью комплектующих элементов.

Учитывая вышесказанное, под *надежностью электроснабжения* следует понимать непрерывное обеспечение всех потребителей электрической энергией заданного качества и в необходимом количестве в нормальном режиме работы системы.

Надежность – одно из основных свойств, характеризующих качество СЭС наземных комплексов. Понятие надежности СЭС не совпадает с общепринятым в общетехнической теории надежности. Для систем энергетики свойство надежности определяется как свойство «объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования» [2].

Соответственно выделяют два вида отказа: отказ работоспособности СЭС и отказ функционирования СЭС. С одной стороны, переход отдельных элементов СЭС в неработоспособное состояние не всегда влечет за собой переход в неработоспособное состояние всей СЭС, с другой стороны, отказ функционирования системы может иметь место при полностью работоспособной СЭС, если она не отвечает требованиям потребителей электрической энергии. В зависимости от того, какие отказы могут иметь место, можно говорить о надежности СЭС в смысле общетехнической теории надежности или о надежности ее функционирования. В связи с этим надежность СЭС условно можно разделить на структурную (аппаратную) и функциональную (режимную).

При анализе *структурной (аппаратной) надежности* объект энергетики рассматривается как элемент или совокупность элементов. Надежность системы (элемента) обеспечивается такими свойствами, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, устойчивоспособность, управляемость, живучесть, безопасность, качество [1]. Данная составляющая надежности соответствует понятию общетехнической теории надежности как комплексному свойству. В большинстве своем эти свойства могут быть охарактеризованы соответствующими количественными показателями надежности [3, 4].

При решении вопросов обеспечения надежности СЭС на всех этапах жизненного цикла необходимо учитывать взаимосвязь понятий «надежность электроснабжения» и «качество электроэнергии». Очевидно, что практически невозможно обеспечить потребителям высокое качество электроэнергии при низкой структурной (аппаратной) надежности СЭС. Вместе с тем, регулируя параметры режима работы системы по напряжению и частоте, то есть воздействуя на показатели качества электроэнергии, можно демпфировать последствия отказов оборудования СЭС. В свою очередь, низкое качество электроэнергии снижает надежность оборудования потребителей и СЭС. В этом случае необходимо говорить о *функциональной (режимной) надежности*, которая обусловлена особенностями режимов работы электрической сети, ограничениями режимов и пропускных способностей элементов при изменении структуры в различных состояниях. Отказ или нарушение условий функционирования СЭС – это недоотпуск потребителям электроэнергии по сравнению с заданными значениями и (или) снижение ее качества ниже определенных требований.

Для оценки функциональной (режимной) надежности СЭС возможно применять следующие показатели.

1. Показатель, характеризующий баланс мощности в системе, – поступающая в распределительную электрическую сеть мощность S_n должна покрывать потребности потребителей в активной мощности P_n и реактивной мощности Q_n , а также потери активной ΔP и реактивной ΔQ мощности в распределительных электрических сетях в каждый момент времени t на всех уровнях напряжения:

$$\sum_U \sum_t S_n = \sum_U \sum_t (P_n + \Delta P + j(Q_n + \Delta Q)), U = 10(6), 0.4 \text{ кВ}; t = 1, 2, 3, \dots, n.$$

2. Показатель, характеризующий качество электрической энергии, поступающей к потребителю, – вероятность нахождения напряжения на зажимах наиболее удаленного потребителя в нормированном интервале, которая определяется неравенством

$$P(|\Delta U| \leq \Delta U_{\text{доп}}) \geq P_{\text{зад}}(\Delta U), \quad \Delta U = \Delta U_a, \Delta U_b, \Delta U_c.$$

Например, если отклонение напряжения должно находиться в пределах $\pm 5\%$, тогда

$$P(|\Delta U| \leq 5\%) \geq 0,95.$$

В настоящее время в различных нормативно-технических документах и технической литературе используются без определения ряд словосочетаний, например «надежность электроснабжения», «надежность систем электроснабжения», которые понятийно связаны с

термином «надежность». Надежность электроснабжения отражает надежность свойства СЭС по отношению к выполнению ею своей главной функции – электроснабжения потребителей. С другой стороны, и собственно надежность систем электроснабжения рассматривается по отношению к выполнению этим объектом задач по предназначению. В этом случае термин «надежность энергоснабжения» можно истолковывать как синоним термина «надежность системы электроснабжения», отражающую «взгляд» со стороны потребителя электроэнергии. При этом необходимо учитывать, что система электроснабжения специального комплекса, представляющая собой совокупность взаимосвязанных энергоустановок, осуществляет электроснабжение потребителей комплекса, получая электроэнергию от СЭС сетевой организации (энергосистемы). Обе системы неразрывно связаны друг с другом единством процесса производства и передачи электроэнергии, также тесно связаны друг с другом режимы работы (нормальные и аварийные) энергосистемы и системы электроснабжения специального комплекса.

Процесс обеспечения надежности систем электроснабжения представляет комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, направленных на снижение ущерба от нарушения нормального режима работы потребителей электроэнергии.

Основными способами обеспечения надежности систем электроснабжения являются следующие:

- использование достижений в различных областях науки и техники (применение современных материалов и технологий, оборудования с улучшенными эксплуатационными характеристиками) для повышения надежности оборудования СЭС;
- введение структурной избыточности СЭС при их создании с учетом технико-экономической обоснованности;
- обоснованный выбор и внедрение эффективной в сложившихся условиях эксплуатации стратегии технического обслуживания и ремонта (планово-предупредительной или на основе контроля технического состояния);
- рациональная организация мероприятий по реконструкции и модернизации оборудования СЭС на основе их технико-экономического обоснования;
- широкое применение эффективных методов контроля и технической диагностики оборудования СЭС с целью оценки его текущего состояния и прогнозирования остаточного ресурса;
- переход к созданию и внедрению элементов интеллектуальных систем электроснабжения с активно-адаптивной сетью, обеспечивающих экономичность и управляемость электрической сети на основе использования современных информационных технологий и новых технических средств управления на микропроцессорной элементной базе;
- повышение уровня профессиональной компетентности эксплуатирующего персонала на основе оптимизации образовательных программ, широкого применения эффективной системы тренажерной подготовки.

Современные достижения в различных областях науки и техники привели к появлению новых технологий, применение которых может существенно повлиять на обеспечение надежности СЭС.

Так, например, возможность использования коммутационной аппаратуры нового поколения для всех классов напряжения с практически неограниченным ресурсом позволит повысить надежность электрических подстанций путем рационального упрощения схем распределительных устройств, изменения конфигурации электрической сети в зависимости от режима работы, повышения степени автоматизации оперативных переключений. Значительно увеличилось быстродействие работы релейной защиты и автоматики. Внедрение современных цифровых систем управления оборудованием СЭС позволит существенно повысить качество регулирования напряжения в электрических сетях и в целом управляемость, надежность и живучесть СЭС. Установка регулируемых компенсирующих установок позволяет уменьшить составляющую реактивной нагрузки.

Вывод. При ужесточающихся в настоящее время требованиях к количеству и качеству электрической энергии проблему надежности электроснабжения современных наземных комплексов необходимо рассматривать как комплексную проблему, при решении которой необходимо, с одной стороны, не ухудшить структурную (аппаратную) надежность наземных комплексов, с другой стороны, улучшить их функциональную (режимную) надежность.

Список используемых источников

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136419> (дата обращения: 15.02.2018).
2. *Манов Н.А.* Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем. – URL: <http://www.twirpx.com/file/345534> (дата обращения: 12.02.2018).
3. Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. – М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – 90 с.
4. *Пешехонов Н.Е.* Электроснабжение специальных комплексов: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 187 с.

В.В. Карагодин,
доктор техн. наук, профессор;
Д.В. Рыбаков,
кандидат техн. наук;
Н.В. Рыжий

ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Проведен анализ технического состояния оборудования систем электроснабжения технических комплексов и средств наземного базирования, показана объективная необходимость проведения реконструкции и модернизации этих систем с целью повышения надежности и энергоэффективности их функционирования. На базе основных направлений технической политики РФ в области электроэнергетики рассмотрены возможные подходы к повышению энергоэффективности и технического уровня СЭС на основе применения новых эффективных инновационных технологий.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, электрические сети, потери электроэнергии, активно-адаптивная система.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современной военно-политической обстановки к числу основных задач развития систем Воздушно-космических сил (ВКС) Российской Федерации относятся повышение их живучести и боевой устойчивости. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость обеспечения выполнения жестких требований к энерговооруженности, надежности систем электроснабжения (СЭС) технических комплексов и средств наземного базирования (далее наземные комплексы НК) и качеству электроэнергии в различных условиях оперативно-стратегической обстановки.

Однако системы электроснабжения ряда НК космических средств, созданных в 70–80-е годы прошлого века, за время эксплуатации практически не модернизировались, а подвергались лишь незначительным доработкам. Это привело к некоторому отставанию уровня развития существующих СЭС НК от качественно новой технологической и технической базы потребителей электроэнергии, а следовательно, к снижению надежности электроснабжения, что, в свою очередь, может привести к снижению готовности частей ВКС к выполнению задач по предназначению.

Так, например, на 1 Государственном испытательном космодроме Министерства обороны (1 ГИК МО) некоторые из трансформаторных подстанций построены в период создания космодрома и за время эксплуатации не реконструировались, а подвергались лишь незначительным доработкам (в основном в части расширения их распределительных устройств). Значительная часть оборудования (50–55%) находится в эксплуатации более 40 лет, наработки с начала эксплуатации значительно превосходят гарантийные сроки, установленные предприятиями-изготовителями и нормативными документами. Значительная часть элементов СЭС не обладает достаточной надежностью. Это подтверждается тенденцией увеличения количества отказов и неисправностей [1].

Всё сказанное выше полностью согласуется с изложенными в [2] основными современными проблемами российской электроэнергетики: недостаточная надежность схемных решений систем внешнего энергоснабжения; значительная часть действующего оборудования практически выработала свой расчетный ресурс, технологически и морально устарела; высокий уровень потерь в электрических сетях [3].

При сложившемся на сегодняшний день уровне технического состояния оборудования СЭС НК одним из основных направлений снижения риска невыполнения наземными комплексами задач по предназначению, а следовательно, и повышения надежности и эффективности функционирования СЭС является проведение реконструкции и модернизации систем электроснабжения.

Однако следует отметить, что в настоящее время проводимые мероприятия по реконструкции и модернизации электросетей отдельных объектов КВ не имеют единой стратегии развития, а имеют «точечный» характер. Как правило, реконструкция и модернизация СЭС проводится для отдельных объектов на уровне систем внутреннего электроснабжения вместе с реконструкцией зданий, сооружений. Создаваемые при этом информационные автоматизированные системы ориентированы на конкретный технологический процесс. Данные решения чаще всего не согласуются друг с другом, что приводит к усложнению создания единой системы управления и единой эксплуатационной базы. Иногда это приводит к расширению номенклатуры эксплуатируемых элементов сети, что требует дополнительных финансовых ресурсов на закупку дополнительного оборудования, запасных материалов, на обучение и/или устройство на работу персонала с требуемой квалификацией.

Несогласованный порядок развития в будущем может привести к созданию модернизированных СЭС, имеющих низкие показатели надежности и энергоэффективности функционирования, так как модернизация отдельного элемента сети не всегда приводит к повышению надежности системы электроснабжения потребителей, а внедряемые новые технологии иногда «не вписываются» в нормальный режим работы всей системы в целом и могут создавать новые проблемы при ее эксплуатации.

ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При решении поставленной проблемной ситуации (проведение реконструкции и модернизации систем электроснабжения) необходимо учитывать требования технической политики РФ [2, 4], в соответствии с которыми проведение реконструкции и модернизации систем электроснабжения должно сопровождаться, с одной стороны, выводом из эксплуатации как выработавшего технический ресурс, так и морально устаревшего и низкоэкономичного оборудования, с другой – разработкой и внедрением технических решений по построению электрических сетей на основе внедрения энергоэффективных инновационных технологий.

В соответствии с названными направлениями технической политики уже в ближайшие годы электрические сети должны характеризоваться высокой эффективностью электроснабжения; требуемой надежностью и качеством поставляемой электроэнергии; широким применением в системах автоматизации информационных технологий; возможностью применения различных источников электроэнергии; адаптивностью к изменяющимся условиям генерации и потребления электроэнергии; экологичностью и безопасностью; эксплуатационной технологичностью.

Учитывая основные положения приведенных выше государственных программ и специфику функционирования НК, в качестве первоочередных мер повышения энергоэффективности функционирования СЭС НК необходимо рассматривать организационные и технические мероприятия, направленные на снижение потерь электроэнергии и совершенствование системы учета (коммерческого и технического) электроэнергии, повышение технического уровня СЭС на основе применения новых эффективных инновационных технологий. В связи с этим актуальными являются вопросы разработки многокритериальных подходов к оптимизации параметров и режимов сетей СЭС НК с целью повышения надежности и эффективности их функционирования.

В современных условиях можно выделить два подхода к оптимизации режимов распределительных сетей:

- минимизация потерь в нормальном режиме функционирования за счет выбора оптимального потокораспределения;
- повышение эффективности функционирования за счет придания распределительным сетям СЭС характеристик активно-адаптивной системы передачи с управлением электроэнергией в режиме реального времени.

ПУТИ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Величина потерь электроэнергии и тенденции их изменения в электрических сетях являются показателями технического состояния и уровня эксплуатации электрических сетей.

СЭС НК с их значительной территорией [например, общая площадь 1 ГИК МО составляет 1762 км², протяженность с севера на юг – 46 км, с востока на запад – 82 км, расстояния между комплексами (военными городками) составляют десятки километров] и, соответственно, большими разветвленностью и протяженностью распределительных сетей характеризуются недопустимо высоким уровнем потерь электроэнергии. По оценкам специалистов потери электроэнергии в СЭС НК 1ГИК составляют около 20–30% от общего количества поставляемой электроэнергии, что существенно превышает среднероссийские показатели, которые составляют 12%, и тем более показатели наиболее развитых стран, составляющие 6–7%. В [2] ставится задача к 2030 году снизить потери электроэнергии в электрических сетях Российской Федерации до 8%.

Значительные потери электроэнергии в распределительных сетях СЭС НК в основном обусловлены резкопеременными графиками электрических нагрузок; широким диапазоном изменения активной и реактивной мощностей в различных режимах работы распределительных сетей; наличием отклонений напряжения в узлах распределительных сетей; недостаточным количеством регулирующих средств или вообще их отсутствием, как, например, полное отсутствие средств компенсации реактивной мощности; увеличением потерь электроэнергии, обусловленных постоянно возрастающей долей нелинейных электроприёмников в составе нагрузочных узлов электрической сети, вызывающих искажения токов и напряжений.

Всё сказанное свидетельствует о том, что принимаемые меры по экономии электроэнергии в распределительных сетях СЭС НК недостаточно эффективны и не приносят ожидаемых результатов. Поэтому проблема исследования и снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях СЭС НК остается одной из важных и актуальных задач обеспечения энергоэффективности передачи и распределения электрической энергии.

Первоочередной задачей на пути решения данной проблемы является *определение и анализ структуры потерь* электроэнергии в СЭС НК с целью получения о них достоверных данных.

При исследовании потерь электроэнергии в распределительных сетях целесообразно представить их в виде совокупности составляющих: потери в элементах сети; потери, зависящие от параметров режима; потери, обусловленные качеством исходной информации, потери, вызванные низким качеством электроэнергии; метрологические и коммерческие потери [4]. Такой подход позволяет структурировать потери электроэнергии, т. е. представлять их в виде некоторой структуры, элементами которой являются составляющие потерь, исходя из их физической природы, информационных потоков о параметрах режимов, условий эксплуатации электрических сетей. Такой подход к определению и анализу структуры потерь электроэнергии в СЭС НК приведет к повышению достоверности результатов.

Конечной целью анализа потерь электроэнергии является выявление элементов распределительной сети с повышенными техническими потерями, а также конкретных мест недоуче-

та электроэнергии, что позволит принять меры по снижению технических и коммерческих потерь.

Для обоснования величины потерь электроэнергии в процессе ее передачи и распределения в электрической сети применяются различные методы расчета (аналитически-расчетные, статистическо-вероятностные и экспериментальные), отличия и особенности применения которых для расчета потерь в электрических сетях различных уровней напряжения определяются в основном имеющейся исходной информацией.

Высокие темпы развития и применения вычислительной техники и информационных технологий, совершенствование на этой основе автоматизированных систем контроля учета электрической энергии способствуют развитию как самих методов расчета потерь электроэнергии, так и их информационного и программного обеспечения.

Учитывая специфику построения и функционирования СЭС НК, представляется необходимым обоснование возможности использования выбранного *метода расчета потерь электроэнергии* на основе определения вносимых им погрешностей, при необходимости требуется его адаптация к расчету потерь в конкретной электрической сети и/или разработка новых подходов к решению проблем, связанных с расчетом, нормированием и снижением потерь электроэнергии.

Учитывая достижения в развитии вычислительной техники, для проверки теоретических положений необходимо в полной мере использовать возможности информационных технологий, в частности, использовать имитационное моделирование режимов работы СЭС НК, которое требует разработки соответствующих математических моделей. Создание *математической модели для анализа режимов функционирования систем электроснабжения*, как правило, связано с составлением схемы замещения исследуемой системы. С помощью известных математических методов, используемых в электротехнике при анализе электрических цепей, определяются параметры модели и рассчитываются требуемые токи и напряжения.

Рассматриваемые задачи могут быть успешно решены с помощью широко используемого в настоящее время программного продукта MATLAB (и его расширений Simulink и SimPowerSystems), предназначенного для моделирования электроэнергетических и электротехнических устройств [6].

На основе имитационного моделирования может быть определена структура потерь электроэнергии, а его результаты могут использоваться для анализа и оценки эффективности функционирования электрических сетей при проектировании и эксплуатации.

Без получения достоверной информации о величине и структуре потерь электроэнергии невозможно добиться их эффективного снижения. В связи с этим весьма актуальна задача обоснования состава и внедрения автоматизированной *системы контроля учета электрической энергии* (АСКУЭ) с функциями прогнозирования и анализа состава нагрузок по каждому объекту наземного комплекса.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Необходимым условием решения задач по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике является повышение технического уровня СЭС НК.

Как было ранее отмечено, СЭС НК, находящиеся в эксплуатации более 40 лет, нуждаются в проведении реконструкции и модернизации систем электроснабжения с обновлением (заменой) почти 50–55% выработавшего технический ресурс и морально устаревшего оборудования, применением инновационных технологий, информационно-диагностических систем и систем управления, построенных на базе микропроцессорных устройств.

Опираясь на основные положения, изложенные в [2], можно определить ряд направлений повышения технического уровня распределительных сетей СЭС НК с учетом их особенностей построения и функционирования.

Одним из приоритетных направлений можно считать переход к качественно новым распределительным сетям, обладающим характеристиками *активно-адаптивной системы передачи с управлением электроэнергией* в режиме реального времени [7]. Для реализации такого перехода необходимо внедрение современных систем автоматизации управления нормальными и аварийными режимами работы. Системы управления и оценки состояния режимов работы должны строиться на базе современных компьютерных средств. Будучи пассивным устройством передачи и распределения электроэнергии электрическая сеть в этом случае приобретает функции *активного элемента системы*, параметры и характеристики которого изменяются в реальном времени в зависимости от режимов работы. Реализации этой новой функции сети должна осуществляться на базе современных быстродействующих устройств силовой электроники, которые должны обеспечивать возможность управления потоками активной и реактивной мощностей, поддерживать уровни напряжения в узлах электрической сети, обеспечивать устойчивость и повышать надежность работы СЭС НК, а также на базе систем, обеспечивающих получение информации о режимах работы сети и состоянии оборудования в режиме реального времени.

Внедрение в СЭС НК новых эффективных инновационных технологий требует применения нового энергоэффективного оборудования, обеспечивающего повышение управляемости, пропускной способности электрической сети, улучшение качества электрической энергии, повышение надежности и экономичности работы, включая и снижение уровня потерь при транспорте электрической энергии.

Первоочередными мерами, которые могут быть реализованы в ближайшем будущем при проведении реконструкции и модернизации существующих НК, являются:

- применение на электростанциях и в электрических сетях современных быстродействующих компенсирующих устройств;
- внедрение современных цифровых средств защиты, автоматики, управления, регулирования, контроля, связи и телемеханики, многоуровневых автоматизированных систем учета электроэнергии и др., построенных на базе микропроцессорных устройств;
- применение энергосберегающих силовых распределительных трансформаторов с низким уровнем потерь холостого хода и короткого замыкания;
- оптимизация компенсации реактивной мощности за счет установки компенсирующих устройств.

Проведение реконструкции и модернизации одновременно всех элементов СЭС НК требует, с одной стороны, прекращения выполнения задач по предназначению, что не всегда возможно, с другой – значительных капиталовложений со стороны государства и большое количество времени, так как такие мероприятия потребуют замены большей части оборудования. В связи с этим актуальной становится *задача планирования поэтапной реализации этих процессов* с учетом единой стратегии, направленной на внедрение новых энергоэффективных инновационных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ технического состояния оборудования СЭС НК объективно свидетельствует о необходимости проведения реконструкции и модернизации этих систем с целью повышению надежности и энергоэффективности их функционирования.

В основу программ реконструкции и модернизации СЭС НК должны быть положены основные положения технической политики РФ, которые направлены на внедрение новых энергоэффективных инновационных технологий.

Для успешного решения данной проблемы требуется решение ряда научных задач, направленных на разработку методик и алгоритмов расчета потерь электроэнергии, позволяющих проводить их комплексный анализ в распределительных сетях с достаточно высокой достоверностью; математических моделей и методики применения имитационного моделирования систем электроснабжения для анализа и оценки эффективности функционирования систем электроснабжения; методики планирования реализации мер, направленных на внедрение технических решений, разработанных на основе новых энергоэффективных инновационных технологий.

Список используемых источников

1. *Карагодин В.В., Горин В.А., Вишняков Е.П.* Системы автономного (резервного) электроснабжения объектов Войск воздушно-космической обороны и возможные пути их совершенствования / ВКА имени А.Ф. Можайского. – М., 2013. – Деп. в ЦСИФ МО РФ 20.06.13, №А31726.
2. Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г.– М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – 90 с.
3. *Карагодин В.В., Рыбаков Д.В.* Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях специальных объектов // Известия вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58, № 10. – С. 823–829.
4. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года: государственная программа Российской Федерации – М.: Министерство энергетики РФ, 2010. – 90 с.
5. *Савина Н.В., Мясоедов Ю. В.* Системные исследования потерь электроэнергии при функционировании распределительных электрических сетей // ВЕСТНИК ИрГТУ Энергетика. – 2012 – №1 (60). – С. 142–148.
6. *Джендубаев А.-З.Р., Алиев И.И.* MATLAB, Simulink и SimPowerSystems в электроэнергетике: учеб. пособие. – Черкесск: БИЦ СевКавГГТА, 2014. – 136 с.
7. Концепции развития интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. – М.: ОАО «НТЦ электроэнергетики», 2012. – 51 с.

С.Ю. Карасёв;
Р.А. Ситков,
кандидат техн. наук;
А.М. Шевчук,
кандидат техн. наук, доцент

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ МАСКИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МЕСТНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫХ ИЗЫСКАНИЙ МЕСТ ПРЕДПОЛАГАЕМОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКИХ ВОЙСК

В данной публикации представлена методика количественной оценки показателя «маскирующие свойства местности», разработанная в рамках общего квалиметрического подхода к оцениванию пригодности участков местности для строительства при проведении рекогносцировочных изысканий. Также приведен пример использования разработанной методики для оценивания маскировочных свойств местности шести произвольных участков в Ленинградской области.

Ключевые слова: качество, рекогносцировка, маскирующие свойства, участок местности, естественные маски.

ВВЕДЕНИЕ

Задачей рекогносцировочных изысканий является выбор участка местности для строительства объекта космических войск с учетом его соответствия тактико-техническим и экономическим требованиям. Комплексная оценка участка местности на предмет его пригодности для строительства объекта является сложной системной задачей. В соответствии с общим квалиметрическим подходом к оцениванию участков местности при проведении рекогносцировочных изысканий [1] по каждому показателю качества (ПК), характеризующему пригодность участка местности к размещению объекта, необходимо получать количественную оценку. Совокупная оценка по всем показателям позволяет получить интегральную оценку участка в целом, на основе которой в дальнейшем осуществляется сравнение всех рассматриваемых участков и выбор оптимального из них для строительства объекта. Одним из таких показателей, оцениваемых при проведении рекогносцировочных изысканий, является показатель «маскирующие свойства местности». Методика его количественного оценивания представлена в данной публикации.

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ МАСКИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МЕСТНОСТИ

Показатель «маскирующие свойства местности» входит в состав группового показателя безопасности участка, так как живучесть объекта напрямую зависит от маскирующих свойств местности, где он расположен. В зависимости от этих свойств может затрудняться (или облегчаться) обнаружение и идентификация объекта, что, соответственно, повышает (или понижает) его живучесть. Кроме того, нормативные документы Министерства обороны Российской Федерации [2] требуют оценивать маскирующие свойства местности при выборе мест для размещения военных объектов.

Место показателя «маскирующие свойства местности» в дереве показателей качества участка, характеризующих его пригодность для размещения объекта, показано на рис. 1 (дерево представлено в усеченном варианте, где нерассматриваемые показатели качества не развернуты).

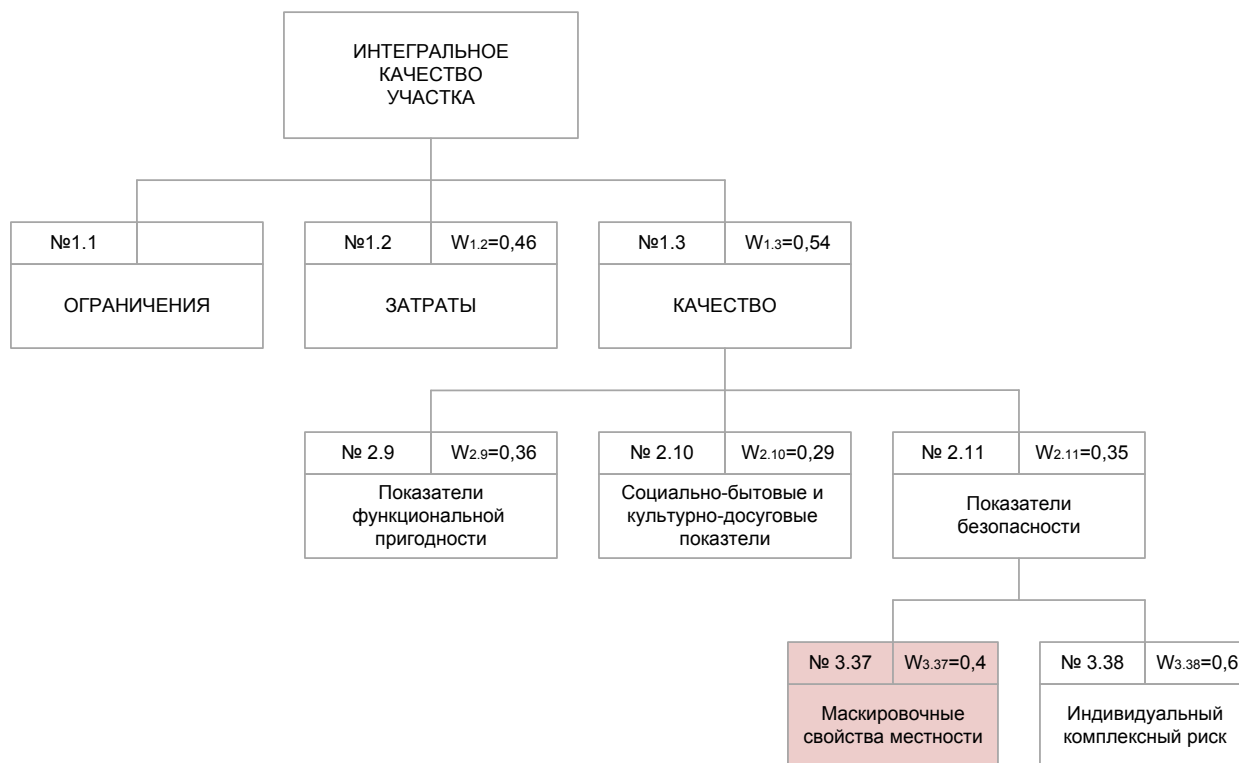


Рис. 1. Дерево показателей качества участка, характеризующих его пригодность для размещения объектов космических войск

Маскирующие свойства местности характеризуются главным образом наличием естественных масок [3, 4]. Естественные маски – это элементы местности, способствующие маскировке объектов от наблюдения противника с поверхности земли или воздуха. Основными естественными масками служат:

- леса, кустарники, сады;
- населенные пункты;
- глубокие складки рельефа (овраги, балки и др.);
- водоемы (озера, реки, болота и др.).

При проведении рекогносцировочных изысканий упрощенное оценивание маскирующих свойств местности производится по наличию естественных масок, снижающих эффективность применения разведывательных средств противника. Количество естественных масок, имеющих на местности, характеризуют коэффициентом закрытости местности K_{3M} , который определяется по формуле

$$K_{3M} = \frac{S_M}{S_{UM}^*}, \quad (1)$$

где S_M – общая площадь масок на участке местности, км²;
 S_{UM}^* – площадь участка местности, пригодная для строительства, км².

В зависимости от значения K_{3M} местность подразделяется на открытую, полузакрытую и закрытую. К *открытой* местности относится равнинная или слегка всхолмленная местность, лишенная значительных естественных масок ($K_{3M} \leq 0,2$). Открытой является пустынно-степная местность (пустыни, полупустыни и степи). На открытой безлесной местности маскировка затруднена. На такой местности хорошо видны не только сами объекты, транспортные машины, но и передвижение личного состава, обеспечивающего функционирование объекта.

Полузакрытой местностью называется местность, на которой закрытые участки составляют около половины всей площади ($0,2 < K_{3M} \leq 0,5$). По условиям маскировки они занимают промежуточное положение между открытой и закрытой местностью.

Закрытой местностью считается местность, на которой большая часть площади ($K_{3M} > 0,5$) занята естественными масками. Это лесная, горно-лесная и горная местность, а также местность с густой сетью населенных пунктов. На такой местности облегчается скрывание войск и объектов от всех видов разведки противника.

При оценивании площади естественных масок участка местности рассматривается территория в радиусе 10 км от того земельного участка, на котором предполагается строительство объекта. Площадь естественных масок определяется как сумма всех естественных масок на рассматриваемом участке местности, вносящих вклад в снижение заметности объекта и определяется выражением (2)

$$S_M = S_L C_k + S_{НП} + S_{УКЛ}, \quad (2)$$

где S_L – площадь лесов, км²;
 C_k – сомкнутость крон леса;
 $S_{НП}$ – площадь населенных пунктов, км²;
 $S_{УКЛ}$ – площадь уклонов (положительных и отрицательных форм рельефа – холмов, оврагов и т.п.), км².

Важным условием при выборе масок является их совместимость с особенностями функционирования объекта, так как не все маски одинаково хорошо подходят для всех типов объектов. Каждому виду естественных масок присущи определенные маскирующие способности.

Леса являются лучшим видом естественных масок от космической, воздушной и наземной разведок противника. Даже в солнечную погоду в лесах образуются многочисленные тени, затрудняющие обнаружение или дешифрирование расположенных в них объектов.

Основными характеристиками леса, влияющими на его маскирующие свойства, являются ярусность и густота леса, сомкнутость крон деревьев, состав древесных пород и другие свойства. По ярусности леса делятся на одноярусные (не имеющие подлеска) и многоярусные, в которых кроны деревьев и кустарников образуют два, три, а иногда четыре яруса. По маскирующим свойствам многоярусные леса лучше одноярусных. Густые леса скрывают расположенные в них объекты от всех современных способов воздушной разведки. В редких лесах местность хорошо просматривается с воздуха. Кроме того, редкие леса способствуют идентификации тени от объекта при разведке местности с воздуха и с использованием спутниковой разведки [3].

Сомкнутость крон (C_k) – это отношение площади проекций крон ко всей площади рассматриваемого участка леса. Она выражается в долях единицы или процентах и находится по формуле

$$C_k = \frac{\pi d_k^2 N}{40000}, \quad (3)$$

где d_k – средний диаметр кроны, м;
 N – число деревьев на один гектар.

Средний диаметр кроны, в свою очередь, определяется по аэрофотоснимкам или непосредственно на местности с использованием оптических приборов. Сомкнутость крон определяется для установления визуальной контрастности объекта на фоне лесистой местности и должна стремиться к максимальному значению. При малой сомкнутости крон объект приобретает высокую визуальную контрастность на местности и приводит к его идентификации противником при проведении визуальной разведки. Визуальная контрастность при идентификации объекта с воздуха определяется следующим образом:

- высокая контрастность – $C_k = 0,3-0,2$;
- средняя контрастность – $C_k = 0,5-0,7$;
- низкая контрастность – $C_k = 0,85-0,9$.

Важно отметить, что состав древесных пород значительно влияет на маскирующие свойства леса. Хвойные леса сохраняют маскирующие свойства в любое время года, лиственные – только весной, летом и в начале осени. Из лиственных пород наилучшими маскирующими свойствами обладают дуб, клен, липа, бук.

Населенные пункты, как и леса, способствуют скрытому размещению объектов в них или в непосредственной близости с ними. Сочетание строений разного типа с различного вида древесными насаждениями создает в населенном пункте обилие естественных вертикальных и горизонтальных масок, которые могут быть использованы для скрытия военных объектов от наземной и воздушной разведки. При изучении населенных пунктов определяют их плотность – количество населенных пунктов на каждые 100 км^2 территории (или среднее расстояние между ними), число домов и хозяйственных строений в населенных пунктах, размеры построек в плане и по высоте, наличие и характер садов, изгородей и других местных предметов [5].

Использование *рельефа местности* для скрытия объектов эффективно от наземной, и в меньшей степени от воздушной и космической разведок противника. Неровности рельефа и местные предметы, возвышающиеся над поверхностью земли, являются экранами для световых лучей и радиоволн, излучаемых РЛС. Поэтому при наблюдении противника за обратными скатами высот, за местными предметами, а также в оврагах и балках образуются поля невидимости, в которых следует располагать объекты, прокладывать пути, выполнять инженерные работы. При использовании полей невидимости необходимо учитывать высоту маскируемых объектов.

Большая концентрация *водоемов* на участке местности и *болотистая местность* также вносят вклад в маскировку объектов от оптических средств разведки. При высокой концентрации водоемов на участке местности при обработке снимков с воздуха затрудняется идентификация объекта. Однако данная естественная маска пригодна только для скрытия мобильных средств (военной техники), малогабаритных инженерных сооружений и личного состава. Для стационарных сооружений специальных объектов космических войск рассматриваемая маска не применима, и ее площадь необходимо исключать из геометрической площади участка местности $S_{\text{УМ}}^*$ при его оценивании. Таким образом, фактическая площадь участка местности определяется выражением

$$S_{\text{УМ}}^* = S_{\text{УМ}} - S_{\text{Б}} - S_{\text{В}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{УМ}}$ – геометрическая площадь участка местности, км^2 ;

$S_{\text{Б}}$ – площадь болот, км^2 ;

$S_{\text{В}}$ – площадь водоемов (рек, озер, прудов и т.п.), км^2 .

ПРИМЕР ОЦЕНИВАНИЯ МАСКИРУЮЩИХ СВОЙСТВ УЧАСТКОВ МЕСТНОСТИ

Рассмотрим представленную методику на примере сравнения шести участков местности в Ленинградской области (рис. 2), при этом один из участков местности будет рассмотрен более подробно на рис. 3 (участок № 3). Одной из задач при оценивании участка местности является измерение площадей естественных масок. Данная задача может быть решена различными способами, но в настоящее время наиболее эффективным способом является компьютерная обработка фотоснимков местности с использованием соответствующих программных средств. Данный способ имеет достаточную точность и исключает необходимость выезда рабочей группы на рассматриваемые участки местности.



Рис. 2. Участки местности, предполагаемые к строительству (Ленинградская область)

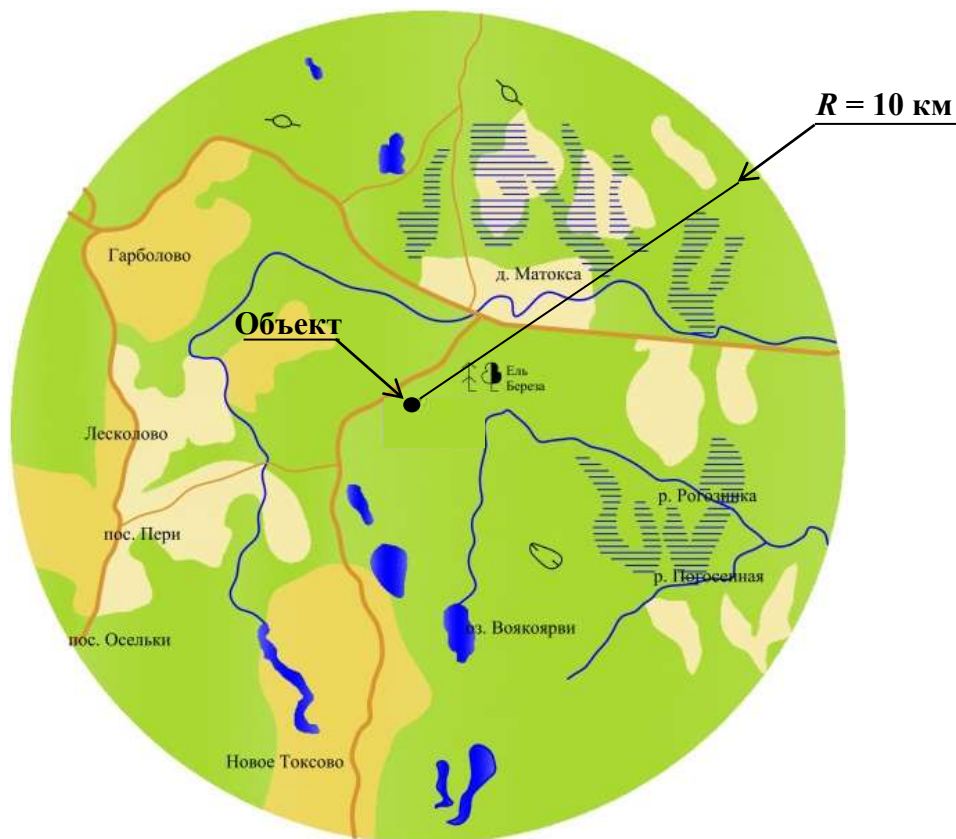


Рис. 3. Расположение естественных масок на участке местности № 3

В результате графического вычисления площадей естественных масок на участке карты (на основе аэрофотоснимка) с использованием пригодного для данных целей программного обеспечения (ГИС «Панорама», «Интеграция», «Карты», или Autocad SPDS) получим площадь естественных масок участка:

- площадь лесов – $S_{Л(3)} = 212,3 \text{ км}^2$;
- площадь болот – $S_{Б(3)} = 57,3 \text{ км}^2$;
- площадь водоемов – $S_{В(3)} = 11,2 \text{ км}^2$;
- площадь населенных пунктов – $S_{НП(3)} = 30,8 \text{ км}^2$;
- площадь уклонов – $S_{УКЛ(3)} = 0 \text{ км}^2$;
- геометрическая площадь участка местности – $S_{УМ(3)} = 314 \text{ км}^2$.

Используя изображение участка местности, полученное со спутника (или аэрофотоснимок), определим количество деревьев ($N = 150$) на один гектар участка и средний диаметр деревьев ($d = 8 \text{ м}$) на рассматриваемом участке. Применяя зависимость (3), получим сомкнутость крон на интересующем нас участке местности:

$$C_{к(3)} = \frac{3,14 \cdot 8^2 \cdot 150}{40000} = 0,75.$$

По формуле (2) определяем площадь естественных масок участка:

$$S_{М(3)} = 212,3 \cdot 0,75 + 30,8 + 0 = 190 \text{ м}^2.$$

Коэффициент закрытости местности $K_{ЗМ}$ находим по формуле (1):

$$K_{ЗМ(3)} = \frac{190}{314 - 11,2 - 57,3} = 0,774.$$

Аналогичный расчет производим для остальных участков, его результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение маскирующих свойств рассматриваемых участков местности

№ Участка местности	Площадь участка местности, км ²	Площадь лесов, км ²	Сомкнутость крон	Площадь болот, км ²	Площадь водоемов, км ²	Площадь населенных пунктов, км ²	Площадь уклонов, км ²	Площадь масок (общая) км ²	Коэффициент закрытости местности
	$S_{УМ}$	$S_{Л}$							
1	314	121,8	0,65	116,3	18,9	29,3	0	108,5	0,607
2	314	31,2	0,58	40,6	5,4	188,6	3,2	209,9	0,783
3	314	212,3	0,75	57,3	11,2	30,8	0	190,0	0,774
4	314	60,3	0,42	90,8	4,1	126,3	3,6	155,2	0,708
5	314	176,3	0,71	86,5	6,6	19,6	2,8	147,6	0,668
6	314	103,6	0,42	112,8	7,6	38,5	0	82,0	0,424

Результаты расчета показывают, что все рассмотренные участки местности имеют достаточно высокие (за исключением участка № 6), хотя и несколько отличающиеся друг от друга, значения коэффициента закрытости местности, лучшим из них при этом является участок № 2.

Конечно, в общем случае выбор участка для строительства объекта не определяется только его маскировочными свойствами (во всяком случае для объектов космических войск).

Однако в русле общего, квалиметрического подхода к количественному оцениванию качества участков (их пригодности для размещения объекта) данный показатель качества также вносит свой вклад в соответствии со своим весовым коэффициентом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика позволяет получить приближенную количественную оценку маскирующих свойств местности при выборе участка для строительства объекта. Она проста в использовании и в то же время достаточно точна для того, чтобы ее можно было применять в рамках квалиметрического подхода к оцениванию качества земельных участков, рассматриваемых при проведении рекогносцировочных изысканий. Повышение точности данной методики возможно путем введения весовых коэффициентов, характеризующих вклад каждого отдельного вида естественных масок в общую скрытость объекта от средств разведки противника.

Список используемых источников

1. *Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садовов В.В.* Квалиметрия для всех. – М.: ИД ИнформЗнание, 2012. – 165 с.
2. ВСН 34–94. Планировка и застройка военных городков. – Введ. 1995–01–01. – М.: МО РФ, 1994. – 102 с.
3. *Королёв А.Ю., Королёва А.А., Яковлев А.Д.* Маскировка вооружения, техники и объектов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 155 с.
4. *Смирнов В.П., Калашиникова Н.М., Смолин С.И.* Маскировка подвижных наземных объектов в современных условиях. – М.: Изд-во ИП «Радиософт», 2015. – 82 с.
5. *Левыкин В.И.* Фортификация: прошлое и современность. – М.: Воениздат, 1987. – 159 с.

Ю.В. Козлов,
кандидат военных наук;
И.М. Непша

ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЖИВУЧЕСТИ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Представлен подход к обеспечению устойчивости управления отечественной ОГ КА за счет резервирования основных его элементов – центров управления полетом КА. Предлагается порядок формирования способов перевода управления группировкой на запасные центры (пункты) управления.

Ключевые слова: повышение живучести системы, способ перевода управления, орбитальная группировка космических аппаратов, распределенный центр управления.

Анализ хода и исхода вооруженных конфликтов последних лет (Ирак, Ливия, Сирийская Арабская Республика) подтвердил, что уничтожение или подавление основных объектов систем управления войсками и оружием (систем связи) противника является первоочередной задачей, а сами объекты – наиболее приоритетными целями для поражения. Важнейшей же составляющей любых систем управления войсками и систем связи армий развитых государств является космическая компонента, образуемая орбитальными группировками космических аппаратов (ОГ КА), поэтому задача обеспечения живучести соответствующих космических систем (КС) приобретает особую важность.

Наряду с ракетно-космическим комплексом (РКК) наземный комплекс управления (НКУ) – совокупность взаимосвязанных технических средств с информационным и математическим обеспечением, сооружений, предназначенных для управления КА определенного назначения с момента его вывода на орбиту [1] – является важнейшей составной частью космической системы. Его образуют центры управления полетами (ЦУП) и командно-измерительные системы (КИС), являющиеся основными техническими средствами отдельных командно-измерительных комплексов (ОКИК) и отдельных измерительных пунктов (ОИП), распределенных по всей территории страны.

Данная публикация посвящена обоснованию предложений по повышению живучести наземного комплекса управления КС в условиях воздействия на него вероятного противника. Под живучестью военно-технической системы [2] понимается ее способность сохранять некоторое требуемое свойство процесса функционирования в условиях действия возмущений. Основным источником дестабилизирующих воздействий, влияющих на нормальное функционирование НКУ, будут средства вооруженного нападения агрессора (вероятного противника). Основным способом обеспечения живучести системы без задействования внешних ресурсов является структурная избыточность (дублирование) ее элементов, причем коэффициент избыточности может достаточно серьезно варьироваться в зависимости от важности, стоимости и других атрибутов элементов системы.

В составе НКУ выделяются ЦУП и периферийные (исполнительные) средства; каналы связи ввиду их специфичности, с одной стороны, и универсальности – с другой, можно не рассматривать, ограничившись требованием достаточности.

Дублирование центров (пунктов) управления – обязательное требование к военно-техническим системам, однако финансовые и другие соображения ограничивают, как правило, их число двумя – основным и запасным. Дублирование (повышение избыточности) периферийных средств тоже не может продолжаться до бесконечности. Поэтому целесообразно рассмотреть и другие пути повышения живучести НКУ.

Центр управления полетами КА – это сооружения с техническими системами и технологическими средствами командно-программного, телеметрического и баллистико-навигационного обеспечения, внешних информационных обменов, магистральных и специальных связей, отображения, предназначенные для обеспечения деятельности обслуживающего персонала по формированию, передаче, приему, обработке, хранению, документированию информации при непрерывном процессе управления полетами космических аппаратов в период проведения летных испытаний и эксплуатации КС [1]. По определению, ЦУП достаточно сложен и имеет высокую стоимость, запасный же пункт управления (ЗПУ), малоиспользуемый в нормальных условиях эксплуатации космической системы, более прост и дешев, но должен обладать потенциалом наращивания своих возможностей.

Основной причиной перевода ОГ КА на управление из резервного центра (ЗПУ) является не маловероятный технический сбой, а высокая опасность уже начавшегося или ожидаемого воздействия противника. Размещение ЦУП в Московской области обеспечивает достаточную защищенность в системе ПВО столицы, но не дает полной гарантии даже от воздействия средств воздушного нападения, тем более – от сил специальных операций, поскольку в настоящее время технические здания центра практически окружены жилыми домами высокой этажности. В случае отсутствия ЗПУ при имеющейся централизованной схеме организации управления ОГ КА налицо закономерный вопрос о несоответствии существующей живучести НКУ заданным требованиям.

При реализации перевода ОГ КА на управление из резервного ЦУП необходимо осуществить [3]:

- определение и согласование даты и времени перевода управления;
- проверку готовности сил и средств к переводу;
- выравнивание баз данных;
- проверку соответствия ТЦУ текущих суток плану;
- проверку каналов связи;
- выдачу заключения о готовности резервного ЦУП.

Сложность процесса перевода управления ОГ КА на управление из резервного центра определяется необходимостью поддержания непрерывного взаимодействия ЦУП с подразделениями НКУ в соответствии с определенной схемой, формированиями ВС и учреждениями РФ, участвующими в испытаниях и применении по назначению КС. Также необходимо соблюдать порядок работы всех должностных лиц боевого расчета ЦУП при планировании и проведении сеансов управления, проведении комплексного анализа состояния бортовой аппаратуры космического аппарата.

Кроме того, подготовка к сеансу и тем более сам сеанс управления КА, как правило, является реализацией жестко заданной последовательности действий в соответствии с установленным эксплуатационной документацией технологическим циклом управления (ТЦУ) – повторяющейся совокупности операций управления на определенном интервале времени, предусмотренной эксплуатационной документацией для нормально функционирующего КА, и обеспечивающей решение целевых задач с требуемым качеством [1].

Реализация мероприятий перевода и продолжение управления ОГ КА без потери качества требует от боевого расчета ЗПУ очень высокой квалификации, которой данные должностные лица, как правило, не обладают в силу как объективных, так и субъективных причин. Поэтому стандартным приемом [3] является заблаговременная отправка одной смены боевого расчета ЦУП для несения дежурства на ЗПУ, что связано в военное время с достаточным риском, тем более, что доставка личного состава может быть связана с перемещением на значительные расстояния, поскольку пространственные характеристики космической системы определяются орбитами КА и расположением входящих в систему комплексов: НКУ, РКК и пр. Потери же данной категории должностных лиц сделают продолжение управления ОГ КА на прежнем уровне практически невозможным.

Сам процесс управления КА достаточно архаичен, его усовершенствование идет медленными темпами, эволюционируя относительно процесса перевооружения с некоторой временной задержкой. Между тем развитие информационных технологий предоставляет возможности нахождения инновационных решений, даже в условиях высокой динамики перемещения должностных лиц в процессе выполнения ими служебных обязанностей.

Создание распределенного центра (пункта) управления [4] может обеспечить возможность дистанционного доступа к информационным ресурсам и взаимодействие должностных лиц, а его виртуализация позволит значительно повысить живучесть НКУ в целом. Адаптация концепции «распределенного офиса», реализованного средствами на основе платформы Windows или Linux (МС ВС), к военным условиям позволит оперативно восстанавливать данные, обеспечит работу боевого расчета ЦУП–ЗПУ без необходимости физического перемещения, более того, позволит сократить количество личного состава.

Самих же серверов может быть более двух, причем их местонахождение (при достаточном развитии системы связи) перестает быть определяющим условием. Закрытие от несанкционированного доступа информационных потоков достигается методами кодирования, а запасные серверы (в том числе и мобильные), почти не участвующие в информационном обмене, практически невозможно обнаружить. А в случае запуска нового сервера установка всего необходимого программного обеспечения и настройка работоспособности, ввод пользователей и настройка их прав, занимающая продолжительное время при традиционной схеме управления (от суток до недели), при работе с виртуальными серверами занимает всего несколько часов.

Вывод. Формирование рациональных способов перевода ОГ КА на управление из резервного ЦУП является востребованным в настоящее время и не потеряет актуальность в ближайшей перспективе, а реализация концепции виртуального распределенного пункта управления позволит значительно повысить живучесть НКУ космической системы. Исследования в данном направлении необходимо продолжать и далее.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 53802 - 2010. СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ КОСМИЧЕСКИЕ. Термины и определения. – Введ. 2010 – 06 – 29. – М.: Стандартинформ, 2011.
2. Основы военно-научного исследования: учеб. пособие / под ред. Б.Д. Казахова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016.
3. Панасенко Е.А., Козлов Ю.В., Никулин В.В. Методический подход к оценке устойчивости системы управления ОГ КА связи и ретрансляции // Материалы III Всеармейской ВНК «Проблемы применения космических сил и средств в системе операций ВС РФ». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016.
4. Семёнов С.С., Гусев А.П., Андреев С.Н. Виртуализация распределенного пункта управления // Материалы XII всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва 16–19 июня 2014 г. – М., 2014.

И.В. Колесник
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва;
Е.В. Курьяков
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва;
А.М. Павленок
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва;
Э.Н. Фоминич
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва;

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В статье рассматриваются современные специальные устройства защиты от импульсных перенапряжений, предназначенные для защиты систем автономного электроснабжения на номинальное напряжение до 1000 В от электромагнитных воздействий, генерируемых мощными источниками естественного и искусственного происхождения. Приведены технические характеристики данных устройств и результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: система автономного электроснабжения; электромагнитное воздействие; устройство защиты от импульсных перенапряжений; ограничитель перенапряжений нелинейный; вентильный разрядник.

В настоящее время произошел значительный прорыв в создании технических средств, способных генерировать мощные электромагнитные импульсы (ЭМИ). В этой связи проблема защиты электрооборудования от воздействий мощных ЭМИ становится все более острой и актуальной. Основным методом защиты электрооборудования систем автономного электроснабжения (САЭ) от мощных ЭМИ является применение устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

До конца 90-х годов прошлого века защита электрооборудования на номинальное напряжение до 1000 В от воздействий мощных ЭМИ осуществлялась с помощью специальных УЗИП – нелинейных ограничителей перенапряжений Джоуль-28, БОН-1(4) и БОН-20(40), нелинейных ограничителей перенапряжений с управляемыми тиристорами 15Р 169, а также с помощью молниевых вентильных разрядников РВН-0,5. Указанные типы УЗИП были разработаны в 80-е годы и к настоящему времени физически и морально устарели, а по своим тактико-техническим характеристикам не позволяют в полной мере обеспечить надежную и эффективную защиту от воздействий мощных ЭМИ, задаваемых современными стандартами.

Перед научно-исследовательскими организациями Министерства обороны и оборонно-промышленного комплекса России встала задача по разработке и созданию на основе современных технологий принципиально новых типов УЗИП, которые должны удовлетворять установленным современным требованиям по защите САЭ от воздействий мощных электромагнитных импульсов искусственного происхождения.

Министерством обороны Российской Федерации была поставлена опытно-конструкторская работа по разработке и созданию новых УЗИП специального исполнения, удовлетворяющих требованиям действующих ГОСТ и военных стандартов. Организационными ВИ (ИТ) и НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) Военной академии МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва были разработаны научно-обоснованные тактико-технические требования к новым типам УЗИП. В соответствии с данными требованиями организациями ОАО «Авангард», Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина и Всероссийский электротехнический институт имени

В.И. Ленина для САЭ на номинальные напряжения до 1000 В разработан и запущен в серийное производство арсенал специальных устройств защиты от мощных ЭМВ [1, 2, 3].

При разработке требований к УЗИП реализована зонавая концепция защиты, приведенная в Стандарте МЭК 62305-1 «Защита от удара молнии. Часть 1. Основные принципы», которая определяет зоны молниезащиты с точки зрения прямого и непрямого воздействия молнии [1, 2].

Для гарантированной защиты объекта от воздействия мощных импульсов тока и напряжения документом «Зонавая концепция защиты» предусмотрена *трехступенчатая схема* включения УЗИП.

Основные классы УЗИП для низковольтных электрических сетей, методики их испытаний и принципы применения приведены в стандартах МЭК и отечественных ГОСТ [1, 2, 3].

Согласно требованиям данных стандартов УЗИП, в зависимости от способности отводить импульсные токи места установки делятся на три класса: I, II, III. Основные требования к ограничителям перенапряжения разных классов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к ограничителям перенапряжения разных классов защиты

Класс устройства	Назначение устройства
I	Предназначены для защиты от прямых ударов молнии в систему молниезащиты здания (объекта) или воздушную линию электропередач (ЛЭП). Устанавливаются на вводе в здание во вводно-распределительном устройстве (ВРУ) или главном распределительном щите (ГРЩ). Нормируются импульсным током I_{imp} с формой волны 10/350 мкс
II	Предназначены для защиты токораспределительной сети объекта от коммутационных помех или как вторая ступень защиты при ударе молнии. Устанавливаются в распределительные щиты. Нормируются импульсным током с формой волны 8/20 мкс
III	Предназначены для защиты потребителей от остаточных бросков напряжений, защиты от дифференциальных (несимметричных) перенапряжений (например, между фазой и нулевым рабочим проводником в системе TN-S), фильтрации высокочастотных помех. Устанавливаются непосредственно возле потребителя. Нормируются комбинированной волной напряжения (1,2/50) мкс и тока (8/20) мкс

В соответствии с данной концепцией на вводах питающих линий в сооружения, где размещается электрооборудование, устанавливаются УЗИП класса защиты I, на сборных шинах главных распределительных щитов устанавливаются УЗИП класса II, а на распределительных щитах (щитах питания) или на входах в электрооборудование устанавливаются УЗИП класса III.

В соответствии с данной концепцией в ОКР разработаны УЗИП трех классов защиты:

- УЗИП класса защиты I, тип I и тип II;
- УЗИП класса защиты II;
- УЗИП класса защиты III.

УЗИП I класса защиты является устройством комбинированного типа, а УЗИП II и III классов защиты устройствами ограничивающего типа. Требования к УЗИП заданы для двух видов воздействующих токов и напряжений:

- параметры токов и напряжений при воздействиях мощных ЭМИ искусственного происхождения, задаваемые действующими нормативными документами;
 - параметры токов и напряжений при прямых ударах молнии.
- Технические характеристики УЗИП-0,4 кВ класса защиты I приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики УЗИП-0,4 кВ класса защиты I

Наименование параметра	Количественные значения
Номинальное рабочее напряжение (постоянное и переменное частотой до 400 Гц), кВ, не более	0,22 / 0,38
Максимальное длительное рабочее напряжение, кВ, не более	0,24 / 0,42
Остаточное напряжение, (пиковое значение напряжения, появляющееся на выводах УЗИП, вследствие прохождения разрядного тока) кВ, не более	
Тип УЗИП 1	4
Тип УЗИП 2	2,5
Ожидаемый ток короткого замыкания источника питания, кА	30
<i>Параметры токов и напряжений при воздействиях мощных ЭМИ</i>	
Номинальный (многократный) разрядный ток ЭМИ, выдерживаемый каждым полюсом, кА	50
Максимальный (однократный) разрядный ток ЭМИ, выдерживаемый каждым полюсом, кА	75
Длительность фронта импульсов тока ЭМИ на входе УЗИП на уровне 0,1-0,9 амплитуды, с, не более	$0,5 \cdot 10^{-6}$
Длительность импульсов тока ЭМИ на входе УЗИП на уровне 0,5 амплитуды, с, не менее	$5 \cdot 10^{-3}$
Скорость нарастания воздействующего импульса напряжения, кВ/мкс, не менее	100
<i>Параметры токов и напряжений при воздействиях молнии и коммутационных перенапряжений</i>	
Импульсный ток, (10/350 мкс), кА	150
Номинальный разрядный ток, (8/20 мкс), кА	75
Коммутационные перенапряжения, кВ	4,5

Принципиальная электрическая схема фазного модуля УЗИП I класса защиты изображена на рис. 1. УЗИП класса защиты I является наиболее энергоемким устройством защиты и не имеет аналогов по величине и энергии воздействующих токов ни в России, ни за рубежом.

В состав фазного модуля УЗИП входят:

- блок фильтра низких частот A_1 ;
- блок ограничения напряжения A_2 ;
- блок коммутации A_3 ;
- блок запуска РВУ A_4 .

Защитные функции устройства выполняются в четыре этапа. На первом этапе работает блок фильтра низких частот. При поступлении импульса перенапряжения на вход ХА индуктивность L и емкость C сглаживают фронт импульса и обеспечивают включение блока ограничения напряжения (рис. 1).

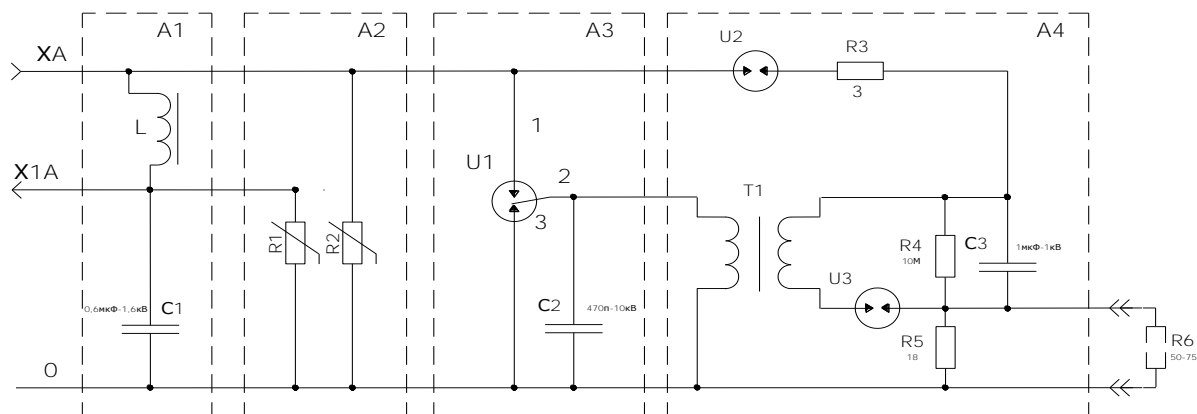


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема фазного модуля защитного устройства I класса

На втором этапе блоком варисторов $R1$, $R2$ осуществляется ограничение перенапряжения до заданного уровня, не превышающего 1500 В. Длительность работы блока варисторов определяется временем включения вакуумного разрядника (блока коммутации).

На третьем этапе включается вакуумный разрядник U_1 (блок коммутации), закорачивает линию электропередачи на землю и шунтирует блок ограничения напряжения, снимая с него нагрузку. Момент включения вакуумного разрядника определяется временем подачи запускающего импульса, формируемого блоком запуска, на управляющий электрод 2 вакуумного разрядника. Время подачи запускающего импульса задается выбором параметров интегрирующей цепочки $R_3C_3R_5$.

На четвертом этапе, по окончании воздействия помех, обеспечивается восстановление всех защитных функций УЗИП и подготовка к ограничению последующих воздействий.

Внешний вид УЗИП-0,4 I класса без внешнего корпуса показан на рис. 2.

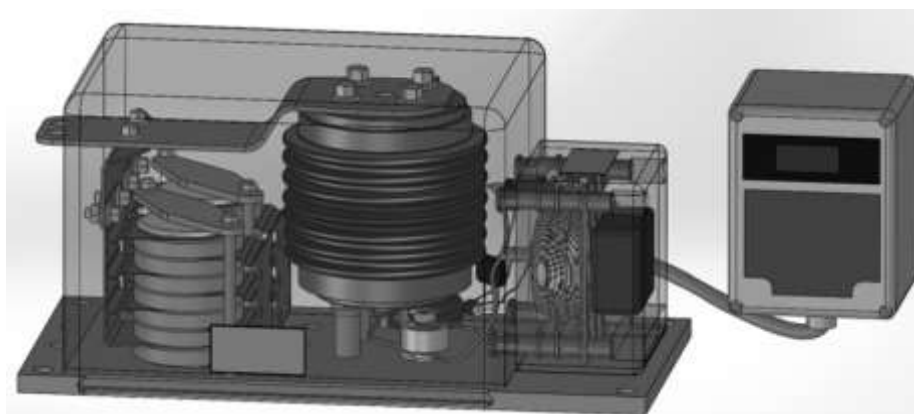


Рис. 2. Внешний вид одной фазы УЗИП I класса

УЗИП II и III классов защиты ограничивающего типа выполнены на основе высоко нелинейных резисторов. Принципиальная электрическая схема фазного модуля УЗИП II и III классов защиты изображена на рис. 3,а, а внешний вид – на рис. 3,б.

Технические характеристики УЗИП-0,4 класса защиты I и II приводятся в табл. 3. Принципиальная электрическая схема фазного модуля УЗИП-3 аналогична УЗИП- 2.

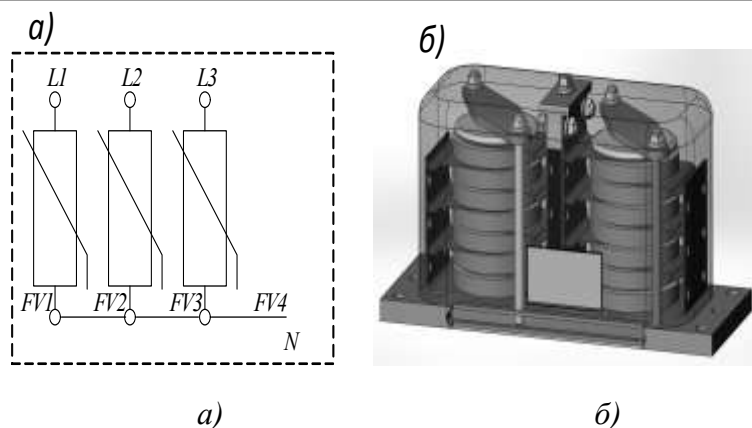


Рис. 3. УЗИП II класса:

а – принципиальная электрическая схема фазного модуля защиты;
б – внешний вид

Таблица 3

Технические характеристики УЗИП-0,4 класса защиты II и III

Наименование параметра	Количественные значения параметров	
	УЗИП класса защиты II	УЗИП класса защиты III
Номинальное рабочее напряжение (постоянное и переменное частотой до 400 Гц), кВ, не более	0,22 / 0,38	0,22 / 0,38
Максимальное длительно рабочее напряжение, U_c , кВ, не более	0,25 / 0,44	0,25 / 0,44
Ожидаемый ток короткого замыкания источника питания, I_p , кА	20	10
Токи утечки в каждом полюсе относительно корпуса при напряжении переменного тока 220 В, частотой 50 Гц, А, не более	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Уровень напряжения защиты U_p , кВ	2,5 кВ	1,5 кВ
Принцип действия	Ограничивающего типа	Ограничивающего типа
<i>Параметры токов и напряжений ЭМИ</i>		
Номинальный (многократный) разрядный ток ЭМИ, выдерживаемый каждым полюсом, кА	5	1
Максимальный (однократный) разрядный ток ЭМИ, выдерживаемый каждым полюсом, кА	10	5
Длительность фронта импульсов тока ЭМИ на входе УЗИП на уровне 0,1–0,9 амплитуды, с, не более	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$
Длительность импульсов тока ЭМИ на входе УЗИП на уровне 0,5 амплитуды, с, не менее	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Скорость нарастания воздействующего импульса напряжения, кВ/мкс, не менее	50	10
Количество импульсов напряжения и тока, выдерживаемых устройством без нарушения функциональных способностей, не менее	10	10
<i>Параметры токов и напряжений молнии и коммутационных перенапряжений</i>		
Максимальный разрядный ток*, I_m (8/20 мкс), кА	75	50
Номинальный разрядный ток*, I_n (8/20 мкс), кА	50	10
Коммутационные перенапряжения, кВ	4,5	

В соответствии с требованиями действующих нормативов по разработке технических средств, ГОСТ и военных стандартов были проведены Государственные испытания опытных образцов УЗИП. Целью испытаний являлась проверка соответствия состава и характеристик УЗИП техническим требованиям, необходимым для принятия решения о возможности их постановки на производство и использования по назначению.

Испытания проводились на стендах-имитаторах экспериментально-испытательных баз организаций ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина», Высоковольтный научно-исследовательский Центр (ВНИЦ) 900 и ВИ (ИТ) ВА МТО. В качестве средств испытаний УЗИП токами и напряжениями ЭМИ, молниями и коммутационными перенапряжениями использовались установки ГИТ-50/5-М и ГИТ-Л.

Технические характеристики ГИТ-Л приводятся в табл. 4. Функционально каждая секция ГИТ-Л содержит зарядное устройство, емкостный накопитель энергии (ЕНЭ), блок коммутаторов, формирующий блок, систему управления и контроля, систему поджига (запуска) и систему заземления. Принцип работы обеих секций аналогичен: конденсаторы ЕНЭ заряжаются от зарядного устройства до заданного напряжения. В процессе заряда ЕНЭ отделяются от нагрузки блоком коммутаторов. При поступлении на коммутаторы запускающих импульсов от системы поджига происходит разряд ЕНЭ на нагрузку через формирующий блок, задающий требуемую амплитуду и форму импульса в нагрузке.

Таблица 4

Технические характеристики генератора импульсных токов ГИТ-Л

Наименование характеристик	Количественное значение	
	Секция 1	Секция 2
Запасаемая энергия, МДж	до 2	до 4
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	50	10 (5)
Номинальное напряжение, кВ	40 ± 4	$8 \pm 0,8$
Диапазон регулирования напряжения, кВ	25...50	0,5... 10
Максимальный ток в нагрузке, кА	400	100
Ток короткого замыкания, кА	1000	1000
Время заряда, мин	3	6
Пределы изменения тока в нагрузке:		
– по амплитуде, кА	15...400	3...100
– по длительности фронта, мкс	1...40	30...770
– по длительности полуспада, мс	0,05...3	0,1...100
Тип конденсаторов	ИК-50-3	ИС 5-200

В качестве примера на рис. 4 приводятся осциллограммы импульса тока и остающегося напряжения на УЗИП класса защиты I при воздействии токов ЭМИ.

Результаты государственных испытаний опытных образцов УЗИП на моделирующих комплексах, воспроизводящих мощные ЭМВ, подтвердили соответствие тактико-технических характеристик УЗИП предъявляемым к ним требованиям действующими ГОСТ и военными стандартами.

Вывод. Разработанные в ОКР типы УЗИП удовлетворяют современным требованиям ГОСТ и военных стандартов в части защиты электрооборудования от воздействий мощных ЭМИ, генерируемых источниками естественного и искусственного происхождения. Наличие арсенала данных УЗИП позволяет реализовать регламентируемые современными нормативными документами требования по защите электрооборудования на основе «Зоновой» концепции.

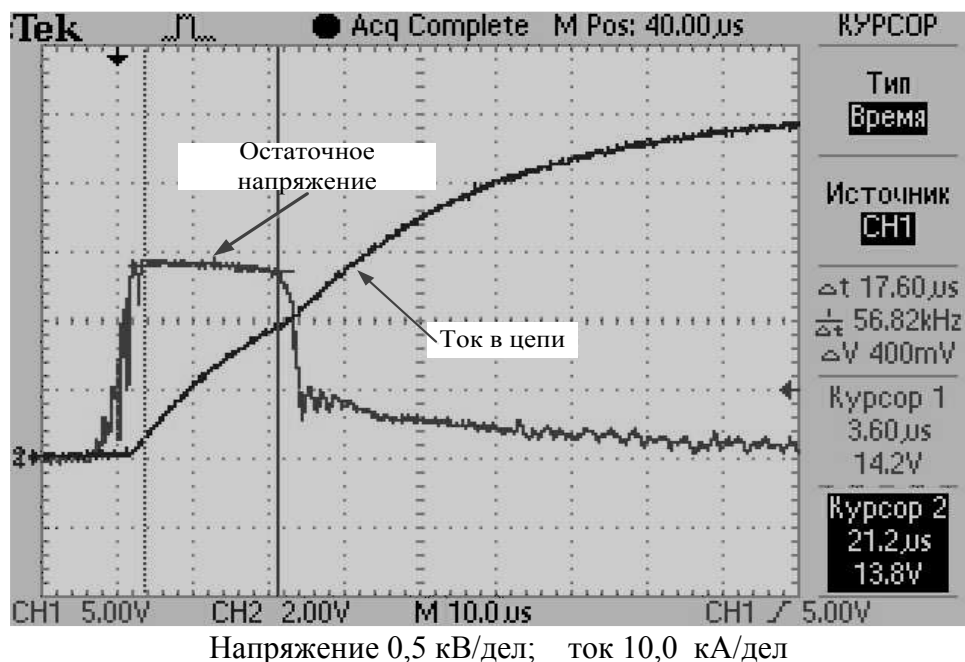


Рис. 4. Осциллограммы импульсов тока и остающегося напряжения на УЗИП класса защиты I при воздействиях токов ЭМИ ($U_{ост} = 1420 \text{ В}$, ток 50 кА)

Список используемых источников

1. МЭК-61643-12 (2002). Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Ч. 12. Выбор и принципы применения. – URL: <http://www.twirpx.com/file/1089062/> (дата обращения: 11.01.18).
2. IEC-61024-1 (1990). Молниезащита строительных конструкций. Ч.1. Общие принципы. – URL: http://studbooks.net/2135315/matematika_himiya_fizika/molniezaschita_trebovaniya_standartov (дата обращения: 20.02.18).
3. ГОСТ Р 51992-2002 (IEC-61643-1,1998-02). Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Ч. 1. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200031294> (дата обращения: 21.01.18).
4. ГОСТ Р 50571.19-2000. Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности; гл. 44. Защита от перенапряжений; подразд. 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008260> (дата обращения: 25.01.18).
5. ГОСТ Р 50571.20-2000 Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности; гл. 44. Защита от перенапряжений; подразд. 444. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными помехами. – URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/9/9468/> (дата обращения: 17.02.18).
6. Фоминич Э.Н., Хромов В.В. Устройства защиты систем автономного электроснабжения от мощных электромагнитных воздействий // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. – СПб.: ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва, 2016. – С. 474–476.

7. *Фоминич Э.Н., Филиппов В.Г., Исаков А.В.* Универсальное комбинированное устройство для защиты систем электроснабжения 6(10) кВ от мощных электромагнитных воздействий // Технологии электромагнитной совместимости. – 2013. – № 1 (44). – С. 18–22.
8. *Алфёров Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А.* Управляемые вакуумные разрядники: основные свойства и применение // Электро. – 2002. – №2. – С. 31–37.
9. *Зоричев А.* Молниезащита. Зоновая концепция // Новости электротехники. – 2004. – №3(27). – С. 48–53.

О.В. Кофнов,
кандидат техн. наук;
А.М. Шелудяков,
кандидат военных наук

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА GRAPHVIZ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассмотрена возможность применения в учебном процессе пакета визуализации графов Graphviz для построения структурных схем технических систем на примере распределительных электрических сетей напряжением 10кВ/0,4кВ по хранимой в базе данных таблице соединений. Предложено использование алгоритма Флойда – Уоршелла для перестроения иерархической схемы передачи мощности в распределительной сети при изменении состояния коммутационных аппаратов.

Ключевые слова: Graphviz, схема, электрическая сеть, компьютерная графика, ERP, Флойд, Уоршелл.

Задачи автоматизации процесса учета комплексов оборудования, используемых различными организационными структурами, требуют разработки больших по размеру электронных хранилищ данных. В связи с необходимостью оптимизации работы пользователей с хранимыми данными, внесения и редактирования информации, построения необходимых аналитических отчетов и связи с другими информационными системами СУБД интегрируются с прикладными программными продуктами учета и управления ресурсами, производством и планированием, так называемыми ERP-системами (Enterprise Resource Planning) [1]. В качестве примера таких систем можно привести различные отраслевые решения на базе Java Enterprise Edition, а также немецкую систему SAP [2], американскую Microsoft Dynamics NAV, а также российские «Компас», «Галактика», «1С:Управление производственным предприятием» и «1С:Управление предприятием (ERP)».

Информация о соединениях между отдельными единицами оборудования хранится в таблицах баз данных. Для конечного пользователя представляет интерес отображение этих соединений в виде графических структурных либо принципиальных схем. Если в качестве конечного пользователя выступает курсант, то система визуализации схемы оборудования должна давать ему наглядное представление о связях и взаимодействии отдельных единиц оборудования, формировать у него навыки построения сложных структурных схем и применения для этих целей различных программных продуктов.

Существуют различные способы хранения схем оборудования в электронном виде. Это могут быть растровые или векторные изображения, описания графического представления на специальном языке моделирования (например, UML), использование примитивов, запись последовательности построения и пр. При этом для нужд систем учета оборудования необходимо иметь возможность не только обеспечивать создание, отображение и редактирование схемы, но и связь между элементами схемы и записями в базе данных, хранящими информацию о соответствующих объектах оборудования. Это позволяет производить расчеты на основании данных схемы и параметров оборудования, формировать отчеты по оборудованию и осуществлять прочую деятельность, для которой предназначена учетная система.

Подавляющая масса существующих учетных систем построена на основе реляционных СУБД. Такие системы обеспечивают удобство хранения информации, простоту разработки, высокую скорость поиска и изменения данных. Они представляют собой множество плоских таблиц, хранящих записи об объектах учета. Таблицы состоят из наборов столбцов и строк. В одном из столбцов содержатся ключи (уникальные идентификаторы) записей таблицы, а в прочих – информация об объекте учета в числовом, текстовом или ином виде, а также ключи связей с записями в других таблицах.

Один из вариантов отображения связей между объектами оборудования в комплексе представлен в виде иерархической структуры [3, 4]. В частности, район электрических сетей состоит из трансформаторных и распределительных подстанций и воздушных и кабельных линий. Трансформаторная подстанция, в свою очередь, состоит из распределительных устройств (РУ) и силовых трансформаторов. В состав РУ входят секции шин (СШ), линейные разъединители (ЛР) и выключатели, а также связывающие их токопроводы и измерительные устройства. Вся эта структура оборудования может быть отображена в виде дерева. Для хранения информации о таком дереве может быть использована плоская таблица, каждая запись которой содержит колонку с ключом записи родительского объекта, хранящегося в той же таблице. Пример таких иерархических записей приведен в табл. 1.

Таблица 1

Таблица иерархии оборудования

ID	Name	ParentID	Type
000000000000002587	ТП 10/0,4 кВ		ТП
000000000000002588	РУ 10 кВ	000000000000002587	РУ 10 кВ
000000000000002592	I сек. 10 кВ	000000000000002588	Секция шин
...
000000000000002603	Присоединение Т-2 0,4	000000000000002602	Присоединение трансформатора
000000000000002590	Т-1	000000000000002587	Силовой трансформатор
...

Поле ParentID каждой записи таблицы ссылается на идентификатор ID родительской записи в той же таблице. В частности, для «РУ 10 кВ» родительской записью будет «ТП 10/0,4 кВ». На рис. 1 изображена древовидная структура ТП 10 кВ/0,4 кВ, построенная по данным табл. 1.

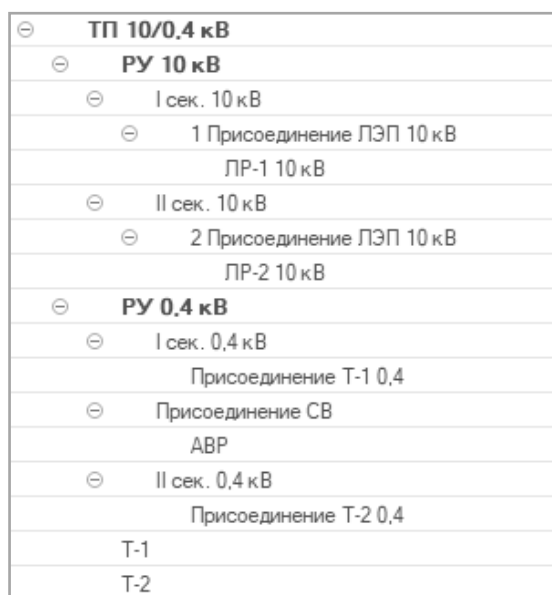


Рис. 1. Структура трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ

Иерархическое дерево, изображенное на рис. 1, отображает конструктивное построение трансформаторной подстанции, но не показывает электрические соединения между ее элементами. Необходима визуализация с использованием принципиальной электрической либо структурной схемы, приближенной к принципиальной. При этом к программному обеспечению, реализующему такие схемы, должны предъявляться следующие требования:

- должна обеспечиваться однозначная связь между элементами на схеме и объектами оборудования в базе данных;
- при изменении информации об объекте в базе данных (добавление, редактирование, удаление) аналогичное изменение должно синхронно отображаться и на схеме;
- аналогично изменение схемы должно отображаться на данных об оборудовании, хранимых в информационной базе;
- хранение данных схемы должно поддерживать быстрый доступ к ним: схема должна занимать мало места в памяти компьютера, быстро отображаться и масштабироваться, также быстро должны выполняться расчеты с использованием ее данных, например построение пути между двумя элементами схемы.

Пример схемы двухтрансформаторной подстанции, подключенной к воздушным линиям 10 и 0,4 кВ, приведен на рис. 2.

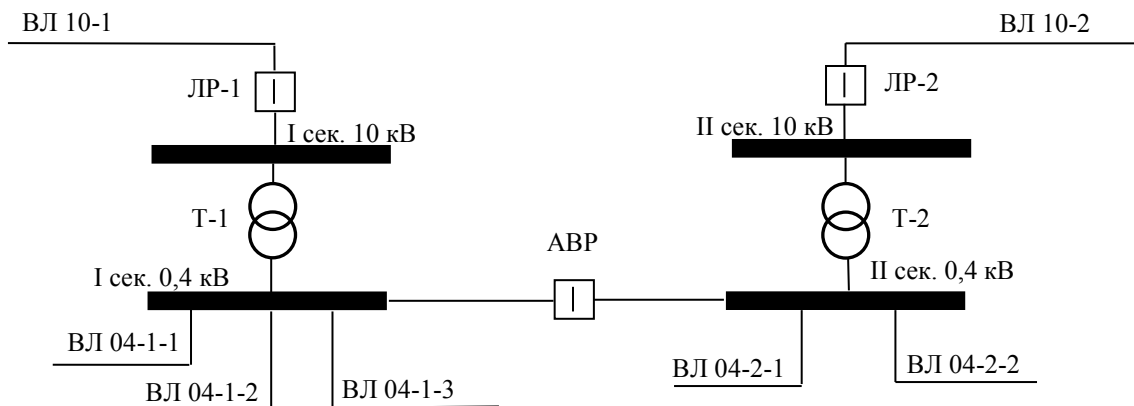


Рис. 2. Схема ТП 10/0,4 кВ

Для хранения информации о соединении объектов оборудования предлагается использовать таблицу, каждая запись которой содержит идентификаторы двух элементов, соединенных между собой. Такая таблица позволяет хранить любой набор возможных соединений «многие ко многим». С целью экономии места в памяти компьютера вся остальная информация об объектах оборудования хранится в других таблицах. Новое соединение получается добавлением записи в таблицу, а разрыв соединения – удалением соответствующей записи. При этом нет необходимости вносить изменения в прочие записи таблицы соединений. Пример записей соединений приведен в табл. 2.

Таблица 2

Таблица соединений оборудования

Id1	Name1	Id2	Name2
000000000000002590	Т-1	000000000000002598	I сек. 0,4 кВ
000000000000002591	Т-2	000000000000002602	II сек. 0,4 кВ
...
000000000000002606	Пролет N	000000000000002594	ЛР-1 10 кВ
...

Для визуализации связей табл. 2 предлагается использовать программный пакет Graphviz [5]. Структурная схема любого комплекса оборудования по своей сути представляет собой такой же граф. В качестве узлов используются элементы, а соединения между ними представляют собой ребра графа. Визуализируемый граф первоначально должен быть описан на специальном языке DOT. Пример текста на этом языке для формирования данной схемы приведен на рис. 3.


```

graph G {
/* настройки свойств графа */
splines = ortho; // соединительные линии под прямым углом
node [shape="box"] // форма узлов - прямоугольник
/* описание узлов */
"000000000000002590" [label="Т-1"];
"000000000000002598" [label="I сек. 0,4 кВ"];
"000000000000002591" [label="Т-2"];
...
"000000000000002597" [label="ЛР-2 10 кВ"];
/* описание соединений */
"000000000000002590"--"000000000000002598" [label="" style="solid"];
"000000000000002591"--"000000000000002602" [label="" style="solid"];
...
"000000000000002609"--"000000000000002597" [label="" style="solid"];
/* описание внешних присоединенных ВЛ */
subgraph cluster000000000000002598 {
style=dotted;
"000000000000002612" [label="Пролет 0" shape=box];
label="ВЛ 04-1-1";
}
...
}

```

Рис. 3. Описание схемы ТП 10/0,4 кВ на языке DOT

При программном построении описания графа на языке DOT строки, описывающие соединения, берутся из таблицы соединений, а описания узлов – из таблиц данных оборудования. Результирующий файл изображения схемы может быть выполнен в различных графических форматах: растровых (bmp, jpeg, gif, tiff, png) и векторных (PDF, PostScript, json, SVG, vml, xlib и пр). Пример схемы ТП 10/0,4 кВ приведен на рис. 4.

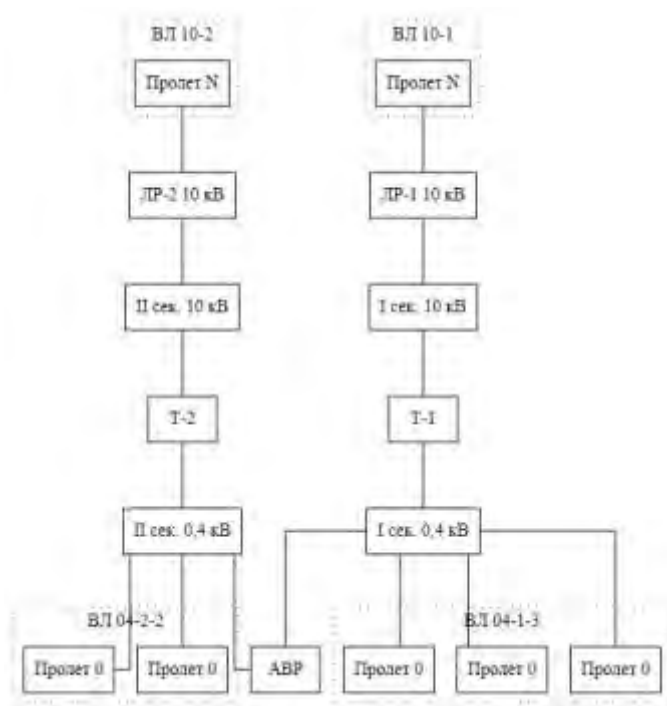


Рис. 4. Схема ТП 10/0,4 кВ, построенная Graphviz

Возможно автоматическое построение схем оборудования по его иерархии на основании [4]. При изменении состояния коммутационных аппаратов может возникнуть изменение направленности питания. Для построения новой схемы распределения энергии может быть использован алгоритм Флойда – Уоршелла.

Шаг 1. Соединения группируются по структурным группам.

Шаг 2. Строится матрица доступности узлов.

Шаг 3. Рассчитываются кратчайшие пути из i -го узла в j -й узел, где $i, j \in$ [индексы узлов структурной группы].

Шаг 4. Таблица путей упорядочивается по колонке «Расстояние». В первой колонке i – индексы элементов-источников энергии. Обратные пути из j в i отбрасываются. Отбрасываются короткие пути в конце таблицы между узлами, уже посещенными.

Шаг 5. Записывается новая таблица соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, свободно распространяемый программный продукт Graphviz с открытым исходным кодом может быть использован для построения структурных схем в программных системах и базах данных учета оборудования. Достоинствами предлагаемого подхода являются: простота и удобство хранения данных о соединениях; широкий спектр форматов отображения построенных схем; отсутствие необходимости хранить изображение схемы и вносить в него изменения при изменении данных об оборудовании; возможность при отображении схемы скрывать отдельные элементы, укрупнять блоки и таким образом осуществлять масштабирование визуализируемой схемы. К недостаткам следует отнести: сложность автоматического построения схемы с помощью Graphviz в точном соответствии с требованиями государственных стандартов; сложность задания точного размещения элементов на поле схемы; отсутствие государственной сертификации в РФ.

Пакет Graphviz может быть успешно применен в учебном курсе как по дисциплинам, связанным с инженерной и компьютерной графикой, так и в дисциплинах проектирования и обслуживания энергообъектов наземной инфраструктуры.

Список используемых источников

1. Федяев А. А., Федяева Е. М. К вопросу о развитии современных ERP-систем // Молодой ученый. – 2015. – №17. – С. 26–30.
2. Степанов Д.Ю. Перспективные направления развития корпоративных информационных систем на примере программных решений компании SAP // Аспирант и соискатель. – 2013. – Т.78, №6. – С. 168–172.
3. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
4. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. Типовые решения. СО ОАО «ФСК ЕЭС» № 56947007-29.240.010–2008. [Введены 20.12.2007]. – URL: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf> (дата обращения: 02.04.2018).
5. Graphviz – Graph Visualization Software. – URL: <https://www.graphviz.org> (дата обращения: 02.04.2018).

И.Н. Кужекин;
Д.В. Сурин,
доктор техн. наук, профессор;
С.А. Толмачёв,
кандидат военных наук, доцент

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРОТИВНИКА НА ОБЪЕКТЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ

Авторами описан математический аппарат, который демонстрирует аналитическую модель в виде системы инженерных формул, позволяющих с достаточной точностью прогнозировать формирование расчетного воздействия авиационных обычных средств поражения по наземным комплексам систем вооружения.

Ключевые слова: прогнозирование, расчетное воздействие, живучесть, военная важность объекта-цели.

Прогнозирование расчетного воздействия средств поражения (СП) на объекты-цели наземных комплексов систем вооружения (НК СВ) является необходимым компонентом для оценки живучести и боевой эффективности функционирования объектов в условиях ведения современной войны. Исследования по данной проблеме применительно к ядерным средствам поражения (ЯСП) противника проводились в период 70–80-х годов. В результате в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского была разработана теория оптимального целераспределения ЯСП по объектам-целям боевых ракетных комплексов РВСН, основой которой стала аналитическая модель расчетного воздействия ЯСП.

С появлением высокоточных авиационных обычных средств поражения (ОСП) и значительным повышением их вклада в боевой потенциал стратегических средств нападения возникла необходимость разработки аналогичной модели применительно к новым средствам поражения. Решение указанной проблемы в отношении объектов НК СВ последовательно осуществляется, начиная с 2000-х годов по настоящее время, в рамках научной школы «Безопасность и живучесть критически важных военных объектов».

Под расчетным воздействием СП противника (модель расчетного воздействия СП) понимается способ воздействия и наряд (количество ударов) расчетных СП противника по соответствующему объекту-цели.

Применительно к авиационным ОСП под расчетный способ воздействия по объектам-целям в виде специальных сооружений или отдельно стоящих единиц ВВСТ понимается прицеливание по центру их плановой проекции с нанесением физического ущерба по местному действию (удара и взрыва) боеприпасов ОСП.

В качестве расчетного ОСП принимается боеприпас, который способен при попадании в объект-цель нанести ему физическое поражение с вероятностью не менее 0,5.

Расчетный наряд ОСП представляет собой количество оптимальных ударов расчетных ОСП на основе теории оптимального целераспределения [1, 2]:

$$ij(\text{опт}) = \frac{\ln(\beta_{ij} W_{ij})}{\beta_{ij}}, \quad (1)$$

где β_{ij} – показатель уязвимости объекта-цели j -го типа при воздействии ОСП i -го типа;
 W_{ij} – военная важность объекта-цели j -го типа при воздействии ОСП i -го типа, измеряется в единицах ударов расчетного ОСП.

Уязвимость β_{ij} определяется по следующей формуле:

$$\beta_{ij} = -\ln Q_{ij(1)}, \quad (2)$$

где $Q_{ij(1)}$ – живучесть (вероятность сохранения функциональной способности) объекта-цели j -го типа при одном воздействии ОСП i -го типа.

Военная важность W_{ij} определяется оценкой долевого вклада боевого функционирования объекта-цели в составе НК СВ, который является мерой измерения потенциального ущерба для противника при оценке боевой эффективности функционирования объекта-цели j -го типа.

Обоснование военной важности осуществляется с использованием следующего методического подхода [3]. Предположим, что на основе теории ранжирования по военной важности объектов и инфраструктуры объектов военного потенциала удастся определить военную важность НК СВ φ -го типа, в котором объект-цель j -го типа является топологическим элементом выполнения боевой задачи по предназначению, то есть получаем параметр W_{φ} .

Тогда в результате анализа топологии функционирования НК СВ φ -го типа будет определена доля выполнения боевой задачи для объекта-цели j -го типа – параметр $\rho_{j\varphi}$.

При переводе военной важности W_{φ} в единицы расчетного ОСП i -го типа получим расчетную формулу следующего вида:

$$W_{ij} = \rho_{j\varphi} W_{\varphi(i)}, \quad (3)$$

где $W_{\varphi(i)}$ – расчетное значение военной важности НК СВ φ -го типа в единицах ударов расчетных ОСП i -го типа.

Военная важность W_{φ} является результатом декомпозиции боевого потенциала Вооруженных сил по долевному вкладу соответствующих компонентов. Поэтому определение военной важности осуществляется на основе принятия базового расчетного СП, которое в разработанной теории принимается как один удар стратегического ядерного боеприпаса по объекту-цели типа гражданской застройки городов, обладающей одинаковой степенью защищенности. Такой удар нами называется «эквивалентный стратегический удар» (ЭСУ). Мощность ЭСУ принимается $q_{эсу} = 10^6$ тс по тротиловому эквиваленту.

Поскольку для городской застройки принимается ее площадь, то имеется перевод боевой эффективности ЭСУ на расчетные ОСП i -го типа в виде зависимости

$$W_{\varphi(i)} = W_{\varphi(эсу)} \left(\frac{q_i}{q_{эсу}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (4)$$

где $q_{эсу}$, q_i – соответственно мощность взрыва ЭСУ и расчетного ОСП в тротиловом эквиваленте.

Далее остановимся на особенностях расчета живучести объекта-цели при одном ударе ($n_i=1$) $Q_{(1)ij}$. В теории живучести установлено, что справедлива формула [4]

$$Q_{(1)ij} = 1 - P_{(1)ij} = e^{-\beta_{ij}}, \quad (5)$$

где $P_{(1)ij}$ – вероятность поражения объекта-цели j -го типа расчетным СП i -го типа при одном ударе.

Кроме того, для инженерного расчета также будет справедлива формула живучести объекта-цели при воздействии расчетного наряда средств поражения:

$$Q_{ij} = Q_{(1)ij}^{n_i} = e^{-\beta_{ij} n_i}. \quad (6)$$

Формула (6) теоретически абсолютно точна, если выполняется одновременно две предпосылки:

- 1) удары средств поражения являются независимыми по своим поражающим факторам;
- 2) объект-цель при многократном воздействии не накапливает физический ущерб от удара к удару.

В представленной теории живучести принимается постулат о независимости вероятности физического поражения объекта-цели и вероятности попадания средства поражения в уязвимую зону поражения объекта-цели. В этом случае для оценки вероятности поражения объекта-цели применяется следующая формула:

$$P_{(1)ij} = G_{п(1)ij} P_{п(1)ij}, \quad (7)$$

где $G_{п(1)ij}$ – закон физического поражения объекта-цели j -го типа основным поражающим фактором СП i -го типа (вероятность физического поражения) при одном ударе;

$P_{п(1)ij}$ – вероятность одного попадания СП в уязвимую область объекта-цели j -го типа.

Таким образом, в целом для оценки живучести объекта-цели используется формула в следующем виде:

$$Q_{ij} = 1 - G_{п(1)ij} P_{(1)ij}. \quad (8)$$

Законы поражения при механическом воздействии ЯСП и ОСП получаем в виде:

а) ЯСП:

$$G_{п(1)ij} = 0,5^{(\bar{R}_{ij}^*)}, \quad \bar{R}_{ij}^* = \frac{R_i^*}{R_{п(1)}}; \quad (9)$$

б) ОСП:

$$G_{п(1)ij} = 0,5^{(\bar{h}_{з(ij)})}, \quad \bar{h}_{з(ij)} = \frac{h_{з(j)}}{R_{мд(ij)}}, \quad (10)$$

где R_i^* – наиболее вероятное расстояние попадания ЯСП, м;
 $R_{п(1)}$ – радиус механического поражения объекта-цели ЯСП, м;
 $h_{з(j)}$ – толщина защитной конструкции покрытия объекта-цели j -го типа, м;
 $R_{мд(ij)}$ – радиус поражения при местном действии (удара и взрыва) ОСП, м.

В теории живучести принято, что все объекты-цели площадного типа следует приводить к эквивалентным по площади круговым объектам-целям по формуле

$$R_{ц(ij)} = \sqrt{\frac{F_{(j)}}{\pi}}, \quad (11)$$

где $F_{(j)}$ – фактическая площадь круговой проекции объекта-цели j -го типа, м².

Наиболее вероятное расстояние попадания ЯСП от центра круговой проекции объекта-цели (параметр R_i^*) определяется в соответствии с законом распределения Релея для круговых целей по формуле

$$R_i^* = \frac{E_i}{\rho\sqrt{2}}, \quad (12)$$

где E_i – круговое вероятное отклонение ЯСП, м;
 ρ – постоянная функции Лапласа нормального закона поражения ($\rho = 0,4679$).

В теории фортификационной защиты [5] радиус поражения объекта-цели, имеющей проектную степень защиты $\Delta P_{сз}$ (кгс/см²) для стандартного ЯВ, определяют по одной из двух формул:

$$R_{п(ij)} = \frac{23,24q_i^{1/3}}{\Delta p_{сз(j)}^{0,369}}, \text{ при } \Delta p_{сз(j)} \geq 0,5 \text{ кгс/см}^2; \quad (13)$$

$$R_{п(ij)} = \frac{31,62q_i^{1/3}}{\Delta p_{сз(j)}^{0,621}}, \text{ при } \Delta p_{сз(j)} < 0,5 \text{ кгс/см}^2, \quad (14)$$

где q_i – мощность стандартного ЯВ в тротиловом эквиваленте, тс (принимается для ЭСУ $q_i = q_{эсу} = 10^6$ тс).

Отметим, что вероятность попадания СП в уязвимую область круговых объектов-целей при отсутствии противодействия определяется по формуле Релея:

$$P_{(1)ij} = 1 - e^{-\alpha_{ij}}, \quad (15)$$

где α_{ij} – показатель попадаемости СП i -го типа в уязвимую область объекта-цели j -го типа:

$$\alpha_{ij} = \left(\rho \frac{R_{ij(yз)}}{E_i} \right)^2 \approx 0,2274 \left(\frac{R_{ij(yз)}}{E_i} \right), \quad (16)$$

где $R_{ij(yз)}$ – радиус уязвимой области объекта-цели j -го типа при воздействии СП i -го типа, м, определяемого по формулам:

– для ЯСП:

$$R_{ij(yз)} = R_{п(ij)}; \quad (17)$$

– для ОСП:

$$R_{ij(yз)} = \rho_{ij(yз)} R_{ц(ij)}, \quad (18)$$

где $\rho_{ij(yз)}$ – доля радиуса плановой проекции объекта-цели j -го типа при местном действии ОСП i -го типа (принимается: $\rho_{ij(yз)} = 1$ для ВВСТ и $\rho_{ij(yз)} = 0,9$ для специальных сооружений).

Вследствие того, что при воздействии ЯСП $R_{п(ij)} \gg E_i$ вероятность попадания ЯСП в уязвимую зону объекта-цели принимается $P_{(1)ij} = 1$.

При воздействии ОСП по специальным сооружениям и образцам ВВСТ принимается:

$$\begin{cases} P_{(1)ij} = 1, \text{ СС;} \\ P_{ij} = 0,85, \text{ ВВСТ.} \end{cases} \quad (19)$$

Отметим чрезвычайно важный принцип оптимального целераспределения СП – это получение формулы достоверных вероятностей сохранения функционирования (живучести объекта-цели) в виде расчетной зависимости:

$$Q_{ij(1)} = \frac{1}{\beta_{ij} W_{ij}}, \quad (20)$$

где W_{ij} – военная важность объекта-цели;

β_{ij} – уязвимость объекта-цели.

Вывод. Представленный выше метод прогнозирования расчетного воздействия СП по объектам-целям НК СВ является эффективным средством решения данной задачи, а также решения задачи более высокого масштаба – оценки боевой эффективности применения НК СВ по своему предназначению.

Список используемых источников

1. Шевчук А.М. Основы теории прогнозирования расчетного воздействия средств поражения противника на наземные комплексы Космических войск в альтернативных вариантах стратегической войны // Сб. статей НТС ВИТУ. – 2009. – Вып. 12. – С. 16–21.

2. *Лунис И.В.* Методика обоснования расчетных нарядов обычных средств поражения противника на объекты-цели ОКИК // Сб. научных трудов ВКА. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – Вып. № 644. – С. 23–29.
3. *Стахно Р.В.* Теория моделирования расчетного воздействия обычных средств поражения противника на объекты наземных комплексов // Сб. научных трудов АВН регионального отделения. – 2005. – № 5. – С 43–50.
4. *Сурин Д.В.* Аналитические методы оценки защищенности и живучести объектов и комплексов. – МО РФ, 1997. – 145 с.
5. *Сурин Д.В.* Специальные фортификационные сооружения: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 429 с.

В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор;
В.М. Моторин,
кандидат техн. наук, доцент;
А.Д. Фомичёв

ДИНАМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Эффективность применения вооружения и военной техники непосредственно зависит от психофизиологического состояния военнослужащих. Разработка методик и технических средств контроля за состоянием оператора боевой техники с целью повышения надежности деятельности представляет собой задачу чрезвычайной важности. Эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости разработки системы контроля за функциональным состоянием оператора технических систем в динамике профессиональной деятельности. Такой контроль возможен только при выявлении объективных признаков, оценка которых, не нарушая деятельности специалиста, позволяют определить состояние военнослужащих и разработать предложения по совершенствованию системы контроля оператора и боевой техники.

Ключевые слова: надежность, напряженность, оператор, работоспособность, системы контроля, утомление.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что важнейшей составляющей любого вида деятельности являются физиологические реакции человека, выполняющего свои профессиональные обязанности. Несмотря на имеющееся сейчас большое многообразие психофизиологических методик, показатели вегетативных функций остаются одними из самых достоверных индикаторов неспецифических проявлений функционального состояния человека [1]. Вегетативные проявления эмоциональной напряженности отражают процессы, обеспечивающие мобилизацию организма. Они имеют адаптивное значение в реакциях переключения его функционального состояния на различные уровни активности.

Как уже было отмечено, эффективность деятельности операторов как основного звена в контуре управления различных автоматических и полуавтоматических систем в значительной мере определяется степенью психоэмоционального напряжения, вызываемого действием различных как внутренних, так и внешних факторов, осложняющих успешность выполнения операторской деятельности [2]. У этих специалистов в процессе работы может возникать утомление, чаще умственное и эмоциональное.

Состояния оператора при его непрерывной готовности к действию и длительной концентрации внимания могут быть охарактеризованы как работоспособность. При ее снижении увеличивается вероятность ошибочных действий. Для предотвращения последствий этого необходим постоянный контроль психофизиологических параметров человека.

ПРЕДПОСЫЛКИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Интегральными показателями состояния оператора могут служить работоспособность и стоимость ресурсов, затраченных на ту или иную работу. Без этих показателей не может быть проведено научное нормирование работоспособности, разработка режимов труда и отдыха и других факторов, обеспечивающих высокую эффективность труда [3]. Выходными показателями деятельности оператора могут быть точностные, временные и надежностные

показатели. Проведенные исследования по влиянию степени утомления на безотказность работы оператора в условиях высокой психоэмоциональной напряженности дают основание предполагать, что вероятность отказа или ошибки оператора будет тем больше, чем больше степень утомления [4]. Для определения степени утомления специалистов-операторов в процессе работы за пультом управления применяют комплексный подход. Он состоит в одновременном динамическом исследовании физиологических и психологических показателей в их субъективных и объективных проявлениях [5].

Состояние оператора в процессе профессиональной деятельности, определяющее физиологическую надежность и безошибочность, зависит от воздействия таких факторов, как его индивидуальные психофизиологические качества, особенности его нервной системы, интеллектуальные возможности, состояние здоровья [7].

Важным для специалиста-оператора являются условия обитаемости (температура и влажность, подвижность воздуха, давление, шум, вибрации, аэрозоли, радиация, содержание кислорода, углекислого газа, микробная флора воздуха); организация труда (продолжительность работы, характер отдыха и питания); степень обученности оператора (уровень теоретических знаний, опыт практической работы); характер трудовой деятельности (степени умственной и физической нагрузки, монотонности, психоэмоциональной напряженности). Для эффективного прогнозирования успешности деятельности операторов целесообразно учитывать весь комплекс приведенных факторов.

Необходимость обеспечения высокой надежности профессиональной деятельности операторов придает особенную актуальность изысканию наиболее информативных методов оценки их индивидуальных психофизиологических качеств и работоспособности [6]. Не менее важной является задача изыскания путей повышения эффективности системы «человек – машина». Ее решение предполагает прежде всего анализ влияния различных факторов на характеристики системы, определяющие ее эффективность.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Многообразие задач, в ходе решения которых необходимо осуществлять контроль за состоянием оператора, создает определенные трудности для четкой постановки проблемы. Это усугубляется еще и тем, что сам объект контроля – состояние человека – является весьма сложным. Целью исследования является разработка и обоснование системы динамического контроля функционального состояния оператора. В задачах медицинского контроля за операторами дежурных смен можно выделить три направления: первое имеет целью повышение качества профессиональной подготовки; второе направлено на совершенствование медицинского обследования для выявления неадекватных реакций организма специалиста-оператора на дежурство; третье позволяет в известной мере оценить общее состояние его здоровья при периодических медицинских обследованиях.

Работоспособность оператора является сложной функцией его психофизиологического состояния. При его ухудшении увеличивается вероятность ошибочных действий и решений. Для предотвращения последствий этого необходим контроль психофизиологических параметров человека со стороны его непосредственных и прямых начальников, активное вмешательство в процесс подготовки и применения боевой техники при критических отклонениях этих параметров, своевременная замена оператора другим специалистом или переход на автоматическое управление процессом.

Создание стандартного режима работы еще не решает задачу сохранения уровня работоспособности данного конкретного оператора боевого расчета в течение установленного времени. Необходимы непрерывный контроль работоспособности, обнаружение ее изменений и соответственно управление условиями работы. Контроль должен отличаться высоким быст-

родействием, т.е. проводиться в истинном масштабе времени, быть непрерывным и дистанционным. Датчики состояния не должны стеснять действия оператора.

Недостаточно отмечать и классифицировать состояние специалиста, нужно еще и прогнозировать его динамику. Это требует более сложного комплекса исходных параметров, чем при простой фиксации. Сложные системы обслуживаются группами людей, поэтому необходимо учитывать информационные связи между ними и их роль в формировании психического состояния каждого из них.

Необходимо также учитывать, что человек имеет свойство рефлексии (осознание своего состояния), потому его поведение в той или иной форме включает моменты самооценки, которая не всегда бывает адекватной, но тем не менее оказывает влияние на поведение. Целесообразно создать в структурной схеме системы контроля объекта боевой техники канал самоконтроля оператора. С его помощью специалист должен самовнушением настраивать себя на оптимистический лад, учиться так называемой «аутогенной нейтрализации» негативных эмоций. В процессе операторской деятельности полезен самонастрой. Положительные эмоции способствуют созданию должного психологического климата. При этом доброжелательность оптимизирует труд операторов.

В зависимости от применяемых методов динамический контроль может вестись по изменению физиологических, психологических и биохимических показателей. Большое значение приобретают исследования, связанные с изучением возможности вывода на пульт оператора тех или иных важнейших показателей его состояния. Это позволило бы осуществлять объективный контроль за своим состоянием и сознательно изменять поведение с целью сохранения или изменения этих состояний.

Процесс контроля возможен только при объективных признаках, которые, не нарушая деятельности оператора боевого расчета, не отвлекая его внимания, позволяют различать состояния, интересующие командира. Для этого необходимо, чтобы разным субъективным состояниям соответствовали и разные объективные признаки. В психофизиологических исследованиях часто трудно провести точное измерение наблюдаемых переменных. Целесообразно представлять их с помощью небольшого числа градаций, т.е. квантования психофизиологического состояния по уровням. Для их измерения лучше всего использовать систему допускового контроля, обобщенная структурная схема которой представлена на рис. 1. Под воздействием внешних условий F_0 и режима работы изменяется состояние оператора от установленного экспериментальным методом уровня работоспособности. Сигнал ψ , несущий информацию об этом состоянии через схему допускового контроля, подается на систему отображения, предназначенную для командира (сигнал ψ_1), и на устройство самоконтроля оператора (сигнал ψ_2). Специалист, воспринимая сигнал о своем состоянии Y_1 , сознательно изменяет поведение, используя резервы организма.

При недопустимом изменении состояния через систему отображения состоянием сигналом ψ_1 включается реле Р и размыкает цепь основного контроля объекта боевой техники, переводя его в автоматический режим, что обозначено на схеме пунктиром и сигналом Y_{1A} . Это решение и его реализацию может выполнять и командир. Если такой вариант не предусмотрен в данной конкретной системе, то он может принять решение о замене оператора другим в ходе боевого дежурства.

Под символами ψ подразумеваются как медленно изменяющиеся параметры состояния (частота пульса, дыхания, температура тела, давление крови), так и быстро меняющиеся процессы (электрокардиограмма, электроэнцефалограмма).

Можно выделить типические разновидности социально-личностной компенсации при оценке функционального состояния и работоспособности специалистов в системе медицинского контроля: компенсированный, декомпенсированный и неустойчивый тип.

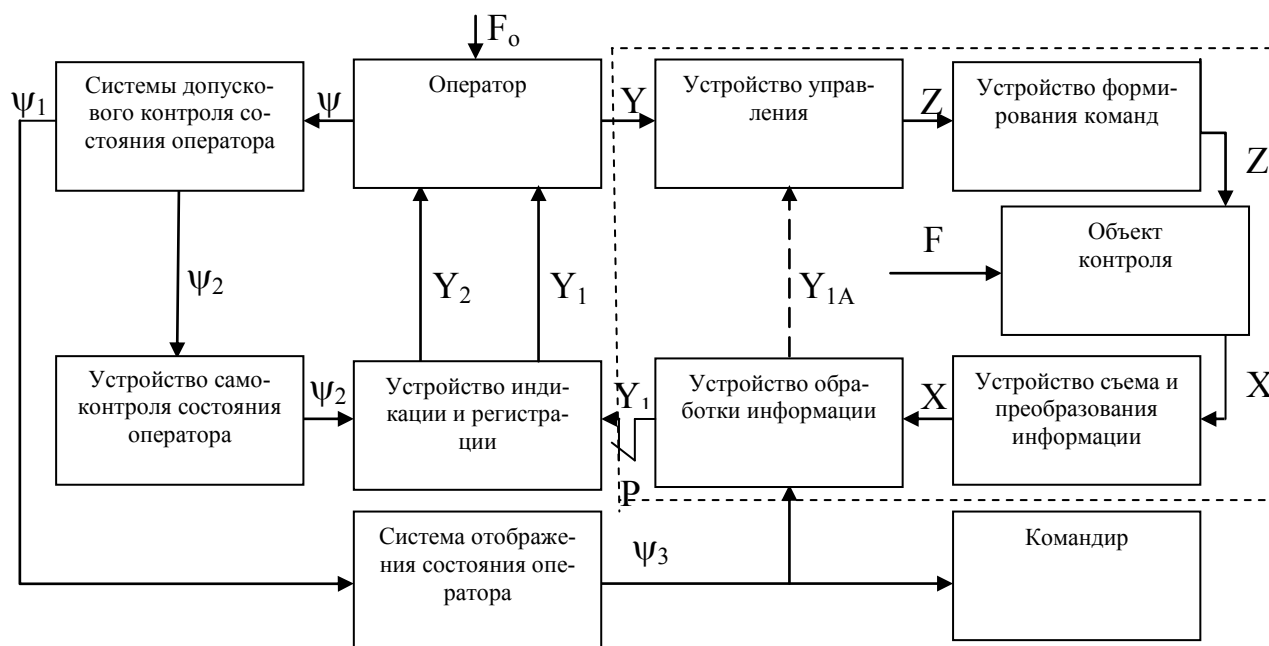


Рис. 1. Структурная схема системы контроля оператора и боевой техники:
 F – воздействие внешних условий; ψ – сигнал изменения параметров состояния;
 Y – сигнал своего состояния; P – реле контроля объекта; Z – сигнал управления;
 X – сигнал информации

Люди компенсированного типа по всем медицинским и психофизиологическим параметрам укладываются в нормальные границы. Декомпенсированный тип – это операторы, имеющие отклонения в функциональном состоянии здоровья при обследовании. У людей неустойчивого типа имеются отдельные незначительные отклонения функционального состояния при обследовании. Такие случаи для оценки более сложны, но благотворное влияние медицинского работника может здесь оказаться весьма эффективным. При этом необходима продуманная система медико-педагогических, воспитательных приемов. Этим специалистам нужно правильно организовать режим труда и отдыха, грамотно заниматься физической и психологической тренировками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение динамического контроля функционального состояния оператора технических систем позволит обеспечить высокий уровень надежности эксплуатации и применения вышеуказанных систем.

Разработанные модели динамического контроля и прогнозирования состояния оператора при выполнении профессиональных обязанностей в сложных, экстремальных условиях деятельности позволят качественно изменить место и роль человека в системах «человек – техника».

Список используемых источников

1. Крачко Э.А. Психофизиологические критерии распределения курсантов военного авиационного образовательного учреждения по родам авиации: автореф. дис...канд. мед. наук. – СПб., 2013. – 26 с.

2. *Кулганов В.А., Гильванов П.Р.* Функциональное состояние и работоспособность операторов ракетно-космических комплексов при моделировании экстремальных ситуаций // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 647. – С. 147–155.
3. *Кулганов В.А., Гильванов П.Р.* Функциональное состояние и работоспособность операторов ракетно-космических комплексов при моделировании режима ожидания // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 647. – С. 156–164.
4. *Кулганов В.А., Гильванов П.Р.* Деятельность операторов в условиях выполнения учебно-боевых задач на тренажерах и пусков ракет // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 648. – С. 139–145.
5. *Кулганов В.А., Гильванов П.Р.* Оценка эффективности деятельности операторов с учетом состояния здоровья и физического развития // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 648. – С. 146–152.
6. *Михеева Г.Ф.* Психофизиологическое обоснование применения гипоксической тренировки для коррекции пограничных функциональных состояний авиационных специалистов: автореф. дис... канд. мед. наук. – СПб., 2012. – 25 с.
7. *Старостин О.А.* Обоснование сочетанного применения полимодальных физических факторов в реабилитации лиц, подвергшихся стрессогенным воздействиям чрезвычайных ситуаций: автореф. дис... канд. мед. наук. – Архангельск, 2012. – 19 с.

В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор;
В.М. Моторин,
кандидат техн. наук, доцент;
А.Д. Фомичёв

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

К числу важнейших причин снижения надежности человека-оператора относятся высокие уровни психоэмоционального напряжения, состояния утомления и снижение бдительности, возникающие в процессе управления автоматизированными системами.

Анализ методов контроля показал, что не один из них не свободен от недостатков. В связи с этим представляется целесообразным поиск новых методов. К их числу может быть отнесен комбинированный способ динамического слежения за состоянием оператора, разрабатываемый в наших исследованиях.

Ключевые слова: напряжение, управление, функциональное состояние, эргатический комплекс.

Успехи точных наук и высокий уровень технологий привели к тому, что надежность технических звеньев оказалась более высокой по сравнению с аналогичным показателем у «человеческого звена» в заданных условиях функционирования эргатических комплексов. Так, например, по сведениям авиационно-космической медицинской ассоциации США, более 80% всех летных происшествий происходит по вине человека-оператора при исправных технических устройствах системы. Задача, таким образом, заключается в том, чтобы, используя положительные, уникальные свойства человека, предупредить или компенсировать проявление тех его качеств, которые отрицательно влияют на характеристики процесса управления.

Одним из важнейших элементов объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ) ВКС являются технические системы (ТС), предназначенные для создания и поддержания условий нормального функционирования технологического оборудования, зданий и сооружений и жизнедеятельности обслуживающего персонала [6].

К ТС ОНКИ принято относить системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, холодоснабжения, хозяйственно-питьевого водоснабжения, производственного и оборотного водоснабжения, противопожарного водоснабжения, хозяйственно-бытовой и производственной канализации, ливневой канализации, автономного электроснабжения [7].

С учетом того, что большинство ТС работают непрерывно круглосуточно и круглогодично, вопрос поддержания работоспособности и заданных режимов функционирования систем приобретает особую актуальность.

Важная роль в управлении ТС принадлежит системе дистанционного автоматического управления (СДАУ). Данная система осуществляет дистанционный контроль входных и выходных параметров, обработку полученных данных и выдачу команд управления через рабочее место оператора системы.

Человек-оператор в зависимости от степени сложности решаемых задач подвергается различным воздействиям внешних и внутренних факторов, что отражается на эффективности его управления системой.

Для контроля «человеческого звена» предлагается комбинированный способ динамического слежения за функциональным состоянием человека-оператора.

Функциональное состояние S человека-оператора характеризуется совокупностью ряда показателей психофизических свойств (температурой тела, частотой сердечных импульсов и т. д.) s_i ($i=0, \dots, n$):

$$S = f(s_i). \quad (1)$$

Состояние S позволяет установить определенное соответствие между множеством входных сигналов (возмущающих воздействий) X и рабочей реакцией (управляющим сигналом) оператора Y :

$$Y = F(S, X). \quad (2)$$

Очевидно, что психофизическое состояние S оператора зависит от входных сигналов (возмущающих воздействий) X внешней среды, самой профессиональной деятельности и от факторов F внутренней среды на временном интервале T адаптивной деятельности (поведения). Таким образом,

$$S = \varphi(X, F, T). \quad (3)$$

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что комплекс мероприятий, направленных на повышение надежности и эффективности «человеческого звена», можно разделить на две группы. В первую группу входят методы, используемые на этапах подготовки оператора и разработки эргатического комплекса в целом.

В основе второй группы методов, предназначенных для использования в процессе самой деятельности человека-оператора, лежат результаты динамического слежения за функциональным состоянием и связанными с ним рабочими характеристиками «человеческого звена» системы управления [5].

Приведенные выше рассуждения и выражения (1), (2), (3) свидетельствуют о том, что для заданного вида деятельности функциональное состояние «человеческого звена» можно оценить либо с помощью рабочих реакций оператора, либо определяя тем или иным способом свойства анализируемой совокупности функций.

Под свойством будем понимать характеристику, выражаемую информативным набором измеримых величин таким образом, чтобы в той или иной мере удовлетворялись уравнения (1), (2), (3). В зависимости от уровня исследований и сложности самого объекта анализа выражения (1), (2), (3) могут быть представлены в различном виде.

Ниже описан комбинированный способ динамического слежения за функциональным состоянием человека-оператора, разрабатываемый в наших исследованиях [2]. Он сочетает в себе положительные свойства тестирования и физиологического контроля и в значительной степени свободен от недостатков этих методов. Такое сочетание является важным, так как в общем случае не известны зависимости между качеством рабочих действий человека и изменениями его функционального состояния. Кроме того, этот метод позволяет уменьшить размерность требуемого электрофизиологического сигнала и понизить частоту тестирования за счет совместного анализа данных, полученных этими способами.

Типичная структура эргатического комплекса может быть представлена в виде схемы, изображенной на рис. 1, где ТС – это технические системы, являющиеся объектом управления (ОУ); СДАУ – управляющая система с человеком-оператором.

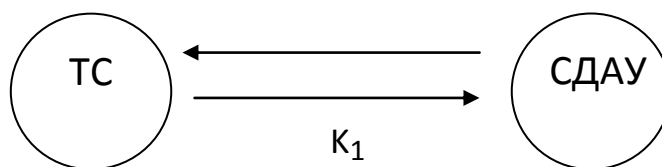


Рис. 1. Структурная схема трехконтурной эргатической системы

Эргатическая система функционирует в соответствии с целевой функцией W , находясь под влиянием факторов внешней и внутренней среды F . Параллельными разнонаправленными стрелками обозначена передача информации о состояниях и управлении между ТС и СДАУ в контуре K_1 . Рассматриваемый комплекс может быть связан с системами более высоких уровней иерархии или аналогичными.

Однако в приведенном однокольцевом комплексе не учитывается влияние функционального состояния «человеческого звена» на рабочие характеристики оператора в процессе самой деятельности, что приводит к снижению адаптивных свойств эргатической системы [4]. Это ухудшает динамические характеристики всего комплекса и уменьшает возможности их совершенствования. В работе приведены результаты анализа психофизиологических предпосылок к отказам ТС. Оказалось, что около 30% из них возникает из-за снижения надежности «человеческого звена», включенного в процесс управления ТС. В подавляющем большинстве отмеченных случаев активное воздействие на оператора могло бы помочь в ликвидации периодов снижения его надежности, но для этого прежде всего необходима система динамического слежения за данным показателем во время самой деятельности.

Анализ эмоционально осложненных ситуаций, которые являются типичными для работы любого оператора, показал, что в данных случаях возникает задача двоякого рода [1]. Эргатическую систему управления необходимо обезопасить и от сильного эмоционального возбуждения человека, которое свидетельствует о состоянии большого информационного дефицита, о недостаточности его производственных навыков и чрезмерном уровне мотивации, и от падения эмоционального тонуса в результате малой потребности и полноты информированности оператора, что, как правило, связано с потерей бдительности, утомлением и дремотой. Вместе с этим оптимальная величина психоэмоционального напряжения способствует сосредоточению внимания, превращая его в бдительность, что приводит, в частности, к минимизации ошибок в процессе деятельности человека-оператора.

Для повышения надежности и эффективности «человеческого звена», а следовательно, и всей системы в целом ее структура была дополнена двумя специальными контурами K_2 , K_3 , необходимыми для осуществления динамического слежения за функциональным состоянием оператора и реализации способов управления в эргатическом комплексе по данным такого контроля [3]. Структурная схема преобразованной эргатической системы приведена на рис. 2, где СКУ – система динамического контроля и управления; СКУ \rightleftharpoons СДАУ – контур K_2 ; СКУ \rightleftharpoons ТС – контур K_3 . Остальные обозначения соответствуют ранее введенным.

Человек-оператор совместно с техническими устройствами осуществляет управление объектом ОУ. Распределение функций между человеком и автоматами корректируется в общем случае по данным обмена информацией между СКУ и СДАУ о состояниях и рабочих алгоритмах. Выбору оптимальных стратегий система обучается во время тренировок и в штатном режиме.

При отклонении функционального состояния оператора от некоторой нормы, что фиксируется схемой СКУ, последняя реализует в контурах K_2 и K_3 управляющие воздействия, которые либо приводят состояние оператора к норме (удерживают в заданных пределах), либо так меняют рабочий режим в системе, чтобы он соответствовал наличным психофизиологическим характеристикам оператора.

В том случае, когда состояние человека выходит за пределы допустимой нормы, схема СКУ исключает оператора из кольца ТС \rightleftharpoons СДАУ и передает его функции дублеру или страхующему автомату, если иные меры не предотвращают серьезных последствий. При автоматической реализации страхующей программы контуром K_3 возможны сокращение объема и ухудшение качества управления либо прекращение функционирования системы для исключения аварийной ситуации. Так, например, система СКУ осуществляет торможение поезда, если машинист потерял сознание, заснул, т. е. не может управлять составом.

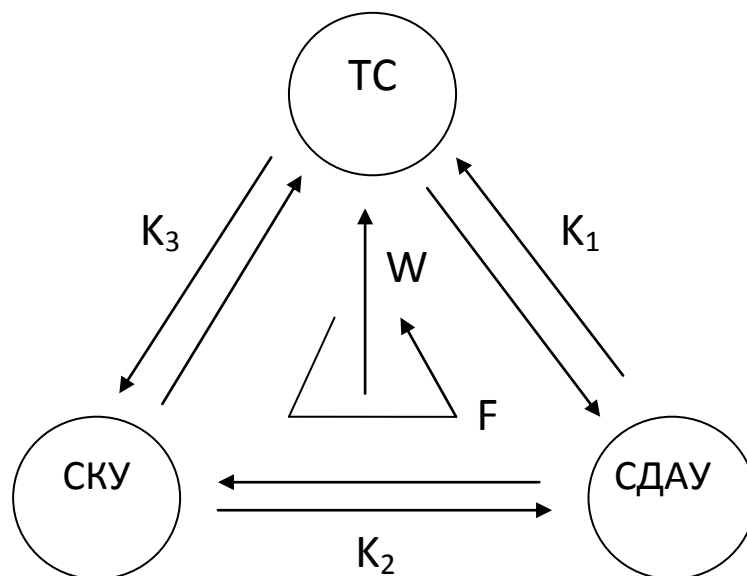


Рис. 2. Структурная схема преобразованной трехконтурной эргатической системы

Среди режимов трехконтурного эргатического комплекса следует отметить режим, разрушающий монотонность деятельности, и режим «активного оператора» [3]. Они могут быть осуществлены как при текущей работе, так и в режимах ожидания. В последнем случае с помощью колец K_2 , K_3 в контуре K_1 имитируется в течение определенного времени операторская задача (или ее элементы), автоматически снимаемая при появлении и инструментальном обнаружении человеком реальных сигналов или служащая для них фоном с меньшим приоритетом анализа. Режим «активного оператора» требует оптимального взаимодействия человека и автоматов во времени и пространстве операций. Переход от пассивного наблюдения к активным действиям лишь в критических ситуациях, без предварительной подготовки, сопровождается определенной перестройкой внутреннего плана деятельности у оператора и часто – на излишнем эмоциональном фоне. Это приводит к снижению качества управления ТС.

Необходимо также указать, что трехкольцевая эргатическая система может использоваться в режимах тренировки, обучения и моделирования состояний. Так, например, осуществляя текущую оценку степени эмоционального напряжения, блок SKU позволит выявить те звенья процесса управления, которые особенно сложны для оператора. В ряде случаев диагностирующая система способна указать самому человеку на действия, реализуемые ценой большого напряжения, где, следовательно, не достигнута еще достаточная тренированность и уверенность. Одному и тому же качеству деятельности u могут соответствовать два различных уровня напряженности, оцениваемой показателем W , что и фиксируется схемой SKU. При заданной величине u задача тренировок и обучения заключается в уменьшении характеристики W до приемлемого уровня. В рассматриваемом случае человек-оператор работает наиболее продуктивно в зоне максимальных значений u , чему соответствуют оптимальные значения эмоционального напряжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что эффективность выделения «уязвимых звеньев», о которых говорилось выше, возрастает при использовании в комплексе сенсорных положительных обратных связей, приводящих к увеличению эмоциональных реакций. Это особенно интересно

в тех случаях, когда человек склонен к маскировке своей неуверенности, своего эмоционального напряжения.

Изложенное выше свидетельствует о том, что анализируемая трехконтурная схема эргатического комплекса является в принципе более эффективной, чем одноконтурная. Под эффективностью понимается степень соответствия системы ее целевому назначению в заданных условиях функционирования. Она зависит от многих факторов, в том числе и от надежности элементов комплекса. Известно, что теория надежности изучает процессы возникновения отказов и способы борьбы с этими отказами (нарушениями работоспособности). Для оценки надежности могут использоваться несколько показателей, выбор которых производится в результате анализа модели функционирования системы. Однако основным должен быть выбран тот показатель, который входит в формулу определения эффективности.

Список используемых источников

1. Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики / под ред. А.А. Обознова, А.Л. Журавлёва. – М.: Когито-Центр, 2013. – Вып. 5. – 426 с.
2. Грудинин И.В., Суровикин С.В. Обоснование структуры метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в Воздушно-космической сфере // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 95–108.
3. Кулганов В.А., Гильванов П.Р. Функциональное состояние и работоспособность операторов ракетно-космических комплексов при моделировании экстремальных ситуаций // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 647. – С. 147–155.
4. Кулганов В.А., Гильванов П.Р. Оценка эффективности деятельности операторов с учетом состояния здоровья и физического развития // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 648. – С. 146–152.
5. Кулганов В.А. Интегральная оценка функционального состояния и работоспособности операторов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 192–198.
6. Е.М. Росляков Специальные технические системы: учебник. – МО РФ, 2003. – С. 113–130.
7. ГОСТ Р 53802–2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2011. – С. 7–9.

Д.В. Курлапов,
кандидат техн. наук, доцент;
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва;
Е.А. Тюрин,
кандидат техн. наук;
А.В. Хабарков
ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва

УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНЪЕКТИРОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ РЕМОНТНЫХ СОСТАВОВ

В результате обследования монолитных железобетонных конструкций фундаментных плит специальных объектов были обнаружены дефекты, связанные с нарушением правил производства бетонных работ при отрицательных температурах. Дефектами обследованных конструкций являются трещины глубиной свыше защитного слоя бетона.

Ключевые слова: композитная арматура; фундаментная плита; техническое обследование; дефекты; инъектирование; трещины.

ВВЕДЕНИЕ

В августе-сентябре 2015 года было проведено техническое обследование фундаментных плит специальных объектов. На момент обследования были выполнены фундаментные плиты, выставлены стальные каркасы армирования колонн и стен строящихся сооружений. Работы по устройству фундаментных плит специальных объектов были произведены в феврале-апреле 2015 года. С целью уточнения геометрических размеров фундаментных плит и определения их состояния осуществлялись визуальный осмотр и необходимые обмеры, проводились инструментальные измерения. Было установлено, что толщина плит составляет 0,7 м. Плиты прямоугольные в плане и имеют размер 30,6×40,6 м.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Для определения технического состояния конструкций в необходимых местах были произведены вскрытия и выполнена оценка физико-механических характеристик по существующим методикам [1, 2, 3].

Для уточнения прочности бетона фундаментных плит были отобраны образцы (керны). Обследование грунтов основания и фундаментов производилось с помощью шурфов.

Обследуемые фундаментные плиты специальных объектов располагались на северо-западе Российской Федерации [4]. Согласно [5] район по снеговой нагрузке – V, по ветровой – IV.

В геологическом строении района отмечаются пять генетических типов грунтов:

- современные техногенные насыпные грунты (tQIV);
- торфяно-болотные отложения (bQIV);
- современные морские отложения (mQIV);
- верхнеплейстоценовые ледниковые отложения (qQIII);
- кристаллические горные породы архей-протерозойского возраста (γAR).

Для выявления фактического состояния фундаментной плиты специального объекта были отрыты четыре шурфа, за границами плиты глубиной 2,0 м от уровня верха фундаментной плиты и в центре плиты выбурен керн. На основании результатов лабораторных исследований грунтов основания фундаментных плит специальных объектов было установлено, что

гранулометрический состав песчано-гравийной смеси соответствует проекту. На основании результатов динамического зондирования коэффициент уплотнения грунтов основания фундаментных плит специальных объектов соответствует требованиям проектной документации.

Для определения армирования, обнаружения дефектов и повреждений был произведен натурный осмотр фундаментной плиты специальных объектов, выполнены необходимые обмеры, местные вскрытия и зондирование конструкций фундаментов для выявления их фактического состава и технического состояния скрытых элементов. В ходе обследования производилась фотофиксация дефектов. Разбивка выработок осуществлялась на основании плана фундаментной плиты специальных объектов, представленного заказчиком, результатов визуального осмотра фундаментной плиты с дефектами. Планово-высотная привязка выработок была произведена инструментально от существующих пунктов геодезической сети и отнесена к верху фундаментной плиты специальных объектов. Система высот – Балтийская. За отметку 0,000 м принималась отметка чистого пола первого этажа специальных объектов.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

В процессе обследования фундаментных плит специальных объектов установлено следующее. Фундаментная плита специальных объектов выполнена на искусственном основании, состоящем из слоя песчано-гравийной смеси и уплотненного щебня, подстилающим грунтом является природный скальный грунт (ИГЭ-5а, ИГЭ-5б). Мощность слоя песчано-гравийной смеси 0,15–0,68 м. Мощность слоя уплотненного щебня 0,5–0,6 м. По результатам испытания песчано-гравийной смеси содержание песка в ПГС составляет 77,1 %, содержание гравия 22,9 %.

В результате динамического зондирования удалось установить, что по условному сопротивлению динамическому зондированию (p_d) грунт по глубине основания однороден и относится к песчано-гравийной смеси. Обследуемая толща грунта основания составила $h = 1,6...2,3$ м. Коэффициент уплотнения соответствует проектному коэффициенту уплотнения $K_y = 0,96$.

В процессе обследования удалось установить, что фундаментная плита имеет двойное армирование сетками из стержней диаметром 18 АСК-18-800/50. Размер ячейки сеток нижнего и верхнего армирования 200×200 мм. В местах опирания колонн для нижней сетки шаг уменьшен за счет дополнительных стержней диаметром 18 АСК-18-800/50 и размер ячейки составляет 100×100 мм [6]. Защитный слой бетона для стержней верхнего армирования составляет 30 мм, для стержней нижнего армирования – 45 мм. В соответствии с проектом класс бетона по прочности на сжатие фундаментной плиты специальных объектов – В25. По результатам испытания отобранных кернов прочность бетона фундаментной плиты на сжатие – В25. Выполнена обмазочная гидроизоляция по периметру фундаментной плиты.

По результатам проверочных расчетов фундаментная плита специальных объектов имеет существенный запас прочности. Момент трещинообразования фундаментной плиты специальных объектов значительно превышает момент в фундаментной плите от внешней нагрузки. Осадка фундаментной плиты специального объекта составляет 0,4 мм.

В ходе обследования фундаментной плиты специальных объектов выявлены трещины с шириной раскрытия до 0,6 мм на глубину до 500 мм (рис. 1). Трещины в фундаментной плите специального объекта не силового характера и не связаны с неравномерной осадкой основания. Причиной появления трещин является нарушение технологии производства бетонных работ при отрицательных температурах, а именно, неравномерная усадка бетона во время прогрева при бетонировании с отрицательной температурой наружного воздуха.

Обнаруженные дефекты при обследовании фундаментных плит специальных объектов необходимо ремонтировать с помощью инъектирования под давлением специальных ремонтных составов.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПОСОБА ИНЪЕКТИРОВАНИЯ

В состав работ по инъектированию, рассматриваемых технологической картой, входят: подготовка поверхности; установка пакеров; устройство герметизации трещины; устройство заполнения трещины составом; удаление пакеров и зачистка поверхности стен [7].

Подготовка поверхности в зонах инъектирования и лечения трещин заключается в очистке бетона до неразрушенного слоя бетона. Трещины с общим раскрытием до 1 мм могут быть очищены с помощью механизированного инструмента. После очистки трещин их следует инъектировать. Трещина, находящаяся между пакерами, герметизируется для блокирования выхода инъекционной смолы во время инъектирования (например, материалом Sikadur®31, HILTI CC 412-1 или HIT-RE 500).

Инъекции проводятся двумя способами:

- с установкой внутренних пакеров в пробуренные отверстия;
- с наклейкой пакеров на трещину.

Инъекционные отверстия пробуривают с подсечением плоскости трещины под углом 30–45° к поверхности фундаментной плиты или непосредственно в трещину. Угол наклона и глубина отверстий зависят от конкретной ситуации, однако для качественного заполнения полости трещины предпочтительнее попасть в ее середину. Для производства инъекционных работ в пробуренные отверстия устанавливаются пакеры, снабженные обратным клапаном (пакеры). Пакеры закрепляют в отверстиях специальными резиновыми уплотнителями. В качестве пакеров рекомендуется применять металлические разжимные пакеры диаметром 12–13 мм, с глубиной заделки до 50–80 мм. Расстояние между пакерами (пакерами) составляет 250–400 мм (меньшее расстояние для трещин с меньшей шириной раскрытия) (рис. 2).



Рис. 1. Трещина в фундаментной плите специальных объектов (маяк над трещиной)

Для ограничения расхода инъекционного раствора трещину между пакерами зачеканивают (заклеивают) специальными растворами в соответствии с инструкцией производителя инъекционного раствора.

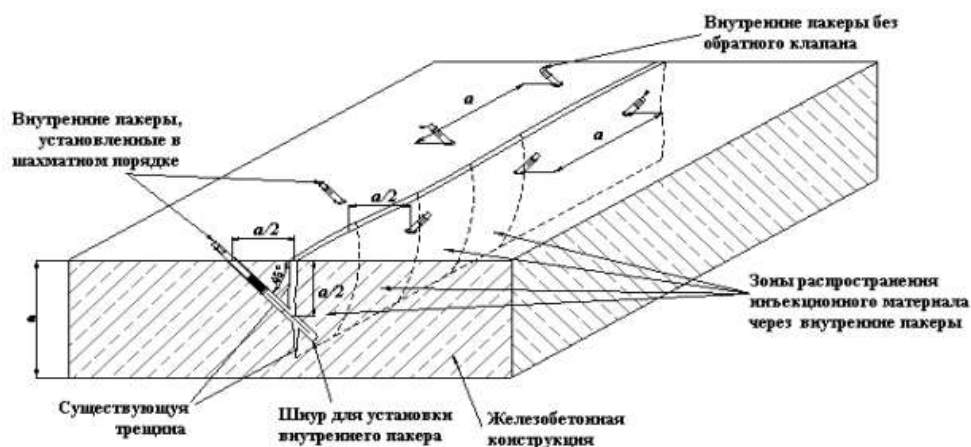


Рис. 2. Схема санации железобетонной конструкции

Вертикальные трещины всегда должны инъекцироваться снизу вверх. Как только инъекционная смола начинает просачиваться из следующего (соседнего) пакера, инъекцию в первый пакер следует прекратить, а пакер загерметизировать. Далее переходят к следующему пакеру. По завершении инъектирования сами инъекционные каналы/пакеры, а также герметизирующий материал между каналами удаляются.

Схема технического решения санации железобетонной конструкции в зоне трещины с использованием наружных (наклеенных) пакеров представлена на рис. 3.

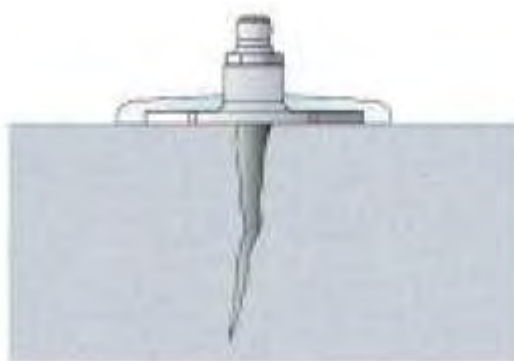


Рис. 3. Установка наклеиваемого пакера

Поверхность бетона вдоль трещины должна быть прочной, сухой, чистой, без масла и смазки. Весь сыпучий материал и цементное молоко вдоль трещины следует убрать ручными инструментами. Продувать трещину следует сухим воздухом без смазки.

Основные работы по заделке трещин выполняют в следующем порядке:

- 1) подготавливают герметизирующий материал для заделки поверхности трещин;
- 2) с помощью герметизирующего материала на трещину устанавливают пакеры, оставляя отверстие для заливки полимерного состава;
- 3) все трещины полностью заделывают герметизирующим материалом в виде полос толщиной не менее 50×2 мм, после чего герметизирующему материалу дают застыть в течение заданного времени;

– после заливки смолы пакеры и герметизирующий материал снимают плоской стамеской. При необходимости шлифуют поверхность бетона шлифовальной машиной.

При использовании состава на основе микроцемента после закрепления инъекторов производится контрольное нагнетание в отверстие воды для увлажнения бетонной поверхности. Контрольное нагнетание покажет наличие гидравлической связи между пробуренными отверстиями и имеющимися трещинами, а также ориентировочный расход инъекционного состава.

Во время инъектирования часть воды будет вытесняться из порового пространства через трещины подаваемым составом. Нагнетание производят до появления состава из соседнего инъектора, после чего нагнетание производят в него.

Наблюдения ведут за каждым отверстием и результаты заносят в журнал.

При нагнетании ремонтных составов на базе полиуретановых смол должна соблюдаться следующая очередность:

– инъектирование производят общедоступными одноканальными насосами с низким, средним или высоким давлением;

– предварительное назначение предельно допустимого давления инъектирования сделано лишь приближенно и должно обязательно проверяться пробным нагнетанием и наблюдением за раскрытием трещин по гипсовым маякам и трещиномерам. При этом необходимо особое внимание обратить на недопустимость высоких давлений, которые представляют опасность в отношении раскрытия имеющихся трещин, особенно при нагнетании составов густой консистенции на базе микроцементов.

Результаты работ по «лечению» трещин считают удовлетворительными в случае, если:

– при визуальном осмотре отсутствуют незаполненные ремонтным составом участки трещин;

– при проверке ультразвуковым прибором отсутствует наличие трещины.

В противном случае производят бурение дополнительных инъекционных отверстий и нагнетание в них ремонтных составов.

При производстве ремонтных работ выбор способов устранения дефектов в конструкции фундамента осуществляем на основании изучения и установления причин их возникновения, а также оценки их влияния на эксплуатационные показатели конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе обследования фундаментных плит специальных объектов, было установлено, что имеющиеся дефекты и повреждения не приводят к уменьшению несущей способности фундаментной плиты специального объекта, поэтому техническое состояние фундаментной плиты специального объекта следует признать работоспособным. Рекомендуются произвести заделку трещин, инъектированием полимерными ремонтными составами после выполнения работ по возведению конструкций надземной части специального объекта. При бетонировании стен специального объекта следует избегать технологических швов в створе трещин фундаментной плиты специальных объектов. На период возведения конструкций надземной части сооружения необходимо производить мониторинг состояния фундаментной плиты специальных объектов.

Список используемых источников

1. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. – СПб.: Издательский Дом KN+, 2004. – 140 с.

2. Колчунов В.И., Кащавцев А.А., Андросова Н.Б. Исследование деформирования и разрушения составных железобетонных балок в запредельных состояниях // Строительство и техногенная безопасность.– 2016. – №4(56). – С. 76–79.
3. СП 13-102-203. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: ФГУП ЦПП. 2004.
4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М.: Стандартинформ, 2012.
5. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Стандартинформ, 2014.
6. ГОСТ 31938-2011. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. – М.: Стандартинформ, 2012.
7. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. – М.: ГУП НИИЖБ, ООО ИнтерАква, 2006.

Н.Б. Литвинова,
доктор педагогических наук;
Н.В. Миклашевский,
кандидат техн. наук, доцент
ГАУ, г. Санкт-Петербург;
И.Е. Петрушин,
кандидат техн. наук, доцент

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ И БИОГЕННАЯ НАГРУЗКИ НА ЛОКАЛЬНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ОТ ОТДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Представлен анализ особенностей определения расчетных расходов и концентраций загрязнений хозяйственно-бытовых сточных вод от отдельных объектов водоотведения, работа некоторых организована по сменам.

Предложена методика расчета гидравлической и биогенной нагрузки на локальные очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод от отдельных административно-бытовых зданий, а также от отдельных предприятий производственного или сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: сточные воды, расчет очистных сооружений, концентрация загрязнений, гидравлическая нагрузка, биогенная нагрузка, концентрация загрязнений.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение деятельности предприятий различного назначения неразрывно связано с образованием и очисткой хозяйственно-бытовых сточных вод. Нормативными документами в области охраны окружающей среды предусмотрено использование водоемов в качестве приемника очищенных сточных вод. При этом законодательно запрещено сбрасывать в водные объекты недостаточно очищенные и неочищенные сточные воды от водопользователей.

Нормативной базой оценки степени очистки сточных вод служат предельно допустимые концентрации загрязнений (ПДК загрязнений) в водоемах различного значения. Для водоемов рекреационного и хозяйственно-питьевого значения эти значения определены общими требованиями к охране водоемов, для водоемов рыбохозяйственного значения ПДК определены приказом №20 Федерального агентства по рыболовству. При этом значения ПДК загрязнителей в водоемах рыбохозяйственного значения, как правило, выше (более жесткие), чем значения ПДК загрязнителей в водоемах рекреационного или хозяйственно-питьевого значения.

Соответственно, отведение очищенных сточных вод в водоемы требует очистки сточных вод, как правило, до норм ПДК таких водоемов.

Для расчета очистных сооружений по очистке сточных вод до норм отведения в водоем, помимо требований к качеству очистки, необходимы данные по расходам сточных вод, а также концентрации загрязнений в исходных сточных водах, поступающих на очистку.

В данной статье рассмотрены особенности расчета расходов хозяйственно-бытовых сточных вод и концентрации загрязнений в них от отдельно-стоящих административно-бытовых зданий предприятий, работа на которых организована по сменам.

ОСОБЕННОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ЛОКАЛЬНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

При отведении хозяйственно-бытовых сточных вод от небольших населенных пунктов, вахтовых поселков, отдельных воинских частей, отдельно стоящих административно-бытовых зданий, предприятий промышленности и сельского хозяйства на локальные очистные сооружения расчет этих сооружений основан:

- на гидравлической нагрузке;
- на биогенной нагрузке;
- на требованиях к качеству очистки сточных вод.

Особенностями очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от небольших объектов водоотведения являются высокая неравномерность водоотведения и необходимость усреднения расхода сточных вод, поступающих на очистку.

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА НА ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

К числу гидравлических характеристик водоотведения сточных вод относятся:

- суточный объем сточных вод, отводимых на очистку в сутки, максимального водоотведения, $Q_{сут}^{max}$ (м³/сутки);
- объем сточных вод, отводимых на очистку за каждую смену i работы предприятия, $Q_{смi}^{max}$ (м³/смену);
- максимальный (пиковый) объем сточных вод, отводимых на очистку в час $T_{пик}$ максимального водоотведения в смену с максимальным количеством работающих, $Q_{часi}^{max}$ (м³/час);
- часовая расчетная производительность очистных сооружений, $Q_{ос}^{расч}$ (м³/час).

Водоотведение отдельно стоящих административно-бытовых зданий предприятий, работа на которых организована по сменам, характеризуется максимальным водоотведением в смену с максимальным количеством людей и одним пиком (в часы работы душевых кабин после окончания работы в смену).

Общий объем водоотведения за сутки $Q_{сут}^{max}$ складывается из объема водоотведения за каждую смену $Q_{смi}^{max}$:

$$Q_{сут}^{max} = \sum Q_{смi}, \quad (1)$$

где $Q_{сут}^{max}$ – суточный объем сточных вод, отводимых на очистку в сутки максимального водоотведения, м³/сутки;

$Q_{смi}^{max}$ – объем водоотведения за i -тую смену, м³/смену.

В случае односменной работы предприятия или работы предприятия с максимальным количеством работающих в одну смену объем отводимых сточных вод за смену $\sum Q_{смi}^{max}$ является приоритетным для определения регулирующего объема $V_{рег}^{PY}$ резервуара-усреднителя.

Объем резервуара-усреднителя определяется в зависимости от пикового объема сточных вод в смену с максимальным количеством работающих $Q_{часi}^{max}$, а также от расчетной производительности очистных сооружений $Q_{ос}^{расч}$:

$$V_{рег}^{PY} = \{Q_{часi}^{max} - Q_{ос}^{расч}\} \cdot T_{пик}, \quad (2)$$

где $V_{рег}^{PY}$ – объем резервуара-усреднителя, м³;

$T_{пик}$ – время пикового поступления сточных вод в резервуар-усреднитель, час.

Для большинства промышленных предприятий продолжительность пикового поступления сточных вод на очистку может быть принята 1 ч. В этом случае объем резервуара-усреднителя

принимается равным максимальному расходу сточных вод за 1 ч в смену с максимальным количеством работающих за минусом объема за час работы очистных сооружений.

БИОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Концентрация биогенных загрязнений в хозяйственно-бытовых сточных водах может быть определена для проектируемых объектов расчетным путем либо на основании аналогов. Расчетный путь определения концентраций загрязнений для объектов, полных аналогов которым найти нельзя, представляется более обоснованным.

Общее количество органических загрязнений M_j по каждому j -му показателю поступающих на очистные сооружения определяется эквивалентным (условным) числом жителей ЭЧЖ и загрязняющих веществ m_j , приходящихся на одного жителя в сутки (путем умножения ЭЧЖ на количество загрязняющих веществ, приходящихся на одного жителя).

Таким образом, общее количество загрязнений биогенной природы для каждого показателя j , поступающее для очистки на очистные сооружения, определяется выражением

$$M_j = \text{ЭЧЖ} \cdot m_j, \quad (3)$$

где M_j – количество загрязнений биогенной природы, поступающее на очистку от отдельного объекта водоотведения, г/сутки;

ЭЧЖ – эквивалентное число жителей на объекте водоотведения, чел;

m_j – количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/чел·сутки.

Концентрация загрязнений в сточных водах, поступающих на очистку, определяется расчетным методом путем деления количества M_j j -го загрязняющего компонента к суточному объему сточных вод, отводимых на очистку в сутки максимального водоотведения, $Q_{\text{сут}}^{\text{max}}$:

$$C_j = M_j / Q_{\text{сут}}^{\text{max}} = \text{ЭЧЖ} \cdot m_j / Q_{\text{сут}}^{\text{max}}, \quad (4)$$

где C_j – концентрация загрязнений биогенной природы (взвешенные вещества, БПК₅, азот общий и аммонийных солей, фосфор общий и фосфаты по табл. 1) в сточных водах, поступающих на очистку от объекта водоотведения, мг/л, г/м³.

Таблица 1

Количество загрязняющих веществ, приходящихся на одного жителя [1]

Показатель	Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сутки
Взвешенные вещества	65
БПК ₅ неосветленной жидкости	60
Азот общий	13
Азот аммонийных солей	10,5
Фосфор общий	2,5
Фосфор фосфатов P-PO ₄	1,5

Если для небольших населенных пунктов ЭЧЖ может быть определено на основании фактически проживающих жителей, то для промышленных предприятий ЭЧЖ должно определяться в соответствии с фактическим временем нахождения на объекте.

Нормами технологического проектирования ВНТП 3-85[2] (п. 3.23, табл. 10) предложен подход, при котором общее количество загрязнений биогенной природы на одного работающего принято в размере одной трети от суточного количества загрязнений от одного жителя при 8-часовом рабочем дне:

$$m_j^* = m_j \cdot 8/24, \quad (5)$$

где m_j^* – количество загрязнений от одного работающего за смену продолжительностью 8 ч;
 m_j – количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/чел·сутки.

Для предприятий, рассчитанных на сменную работу, установление эквивалентного числа жителей определяется путем суммирования эквивалентного числа жителей для каждой смены:

$$\text{ЭЧЖ} = \sum (N_i * T_i / 24), \quad (6)$$

где ЭЧЖ – эквивалентное число жителей на предприятии, где работа организована по сменам, чел.;

N_i – число работающих в i -тую смену, чел.,

T_i – продолжительность i -й смены, час.

Таким образом, на основании представленного подхода предложена методика концентрации загрязнений биогенной природы в хозяйственно-бытовых сточных водах, поступающих на очистку от предприятий, работа на которых организована по сменам. Концентрация загрязнений биогенной природы в хозяйственно-бытовых сточных водах определяется следующим выражением:

$$C_j = \sum (N_i * T_i / 24) * m_j / Q_{\text{сут}}^{\text{max}}, \quad (7)$$

где C_j – концентрация загрязнений биогенной природы (взвешенные вещества, БПК5, азот общий и аммонийных солей, фосфор общий и фосфатов по табл. 1) в сточных водах, поступающих на очистку от объекта водоотведения, мг/л, г/м³;

N_i – число работающих в i -тую смену, чел.;

T_i – продолжительность i -й смены, час.,

$Q_{\text{сут}}^{\text{max}}$ – суточный объем сточных вод, отводимых на очистку в сутки максимального водоотведения, м³/сутки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа особенностей водоотведения от отдельных объектов водоотведения, работа которых организована по сменам, предложен расчетный метод определения гидравлических характеристик и концентраций сточных вод, поступающих на локальные очистные сооружения.

Список используемых источников

1. СП 31.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 29 декабря 2011 г.; № 635/14). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094155> (дата обращения: 17.03.2018).

2. ВНТП 3-85. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений. – М.: Министерство нефтяной промышленности, 1985.

И.В. Лунис;
А.В. Федоренко,
кандидат военных наук

АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

В публикации рассматривается алгоритм обеспечения живучести стационарных объектов при применении комплексной защиты объектов и предлагаются основные мероприятия пассивной защиты для увеличения ошибок наведения высокоточного оружия.

Ключевые слова: стационарные объекты, высокоточное оружие, крылатые ракеты, уязвимость объектов, маскировка, радиометрическая и оптико-электронная системы наведения.

ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие космической группировки требует определения и проведения мероприятий живучести, как самой космической группировки, так и наземной составляющей, которая осуществляет ее подготовку, запуск и управление.

Анализ объектов, которые осуществляют подготовку, запуск и управление космическими аппаратами, позволяет определить их основные характерные особенности [1, 2]:

- стационарность местонахождения систем и средств;
- крупные геометрические размеры в плане и по высоте значительной части наземных сооружений;
- длительную работу радиоэлектронных средств на излучение.

В вооруженных силах США разработана и активно внедряется концепция Быстрого глобального удара (*англ.* Prompt Global Strike, PGS), которая представляет собой комплекс мероприятий по разработке системы, позволяющей нанести массированный разоружающий удар обычным (неядерным) вооружением по любой стране в течение часа. Его идея заключается в том, чтобы неядерными средствами поражения вывести из строя на территории потенциального противника центры государственного и военного управления, узлы связи, нанести неприемлемый ущерб ядерной триаде противника [3].

В идеале концепция глобального молниеносного удара предполагает не дать противнику ни одного шанса воспользоваться своим ядерным и стратегическим неядерным оружием. При этом на объекты, осуществляющие управление всеми видами космических аппаратов, выделяется наряд сил, который должен обеспечить вывод из строя объектов на время, в течение которого должны будут решаться задачи «молниеносной» войны. В этих целях Пентагон предполагает задействовать все силы и средства армии, авиации и флота. В ходе первых массированных ударов предусматривается нанесение ударов по заранее и тщательно разведанным стационарным и квазистационарным объектам противника средствами поражения, в первую очередь высокоточным оружием (ВТО) [3, 4].

Под ВТО подразумевают оружие, эффективность которого достигается главным образом за счет точного попадания средств поражения (СП) в цель. На сегодняшний день при определении наряда сил противника, который будет действовать по стационарным, крупногабаритным объектам, необходимо рассматривать крылатые ракеты всех видов базирования и боевые беспилотные аппараты.

Внезапное и массированное применение высокоточного оружия, снаряженного обычным взрывчатым веществом повышенной мощности или объемного взрыва, наносит ущерб объ-

екту на длительное время, что может обеспечить вероятному противнику решение тех же задач, которые ранее возлагались на ядерное оружие, пилотируемую авиацию или сухопутные войска.

Учитывая сказанное, необходимо предусмотреть комплекс мероприятий, обеспечивающий снижение эффективности применения высокоточного оружия, и разработать алгоритм обеспечения живучести крупногабаритных, стационарных объектов.

РАСЧЕТ ЗАЩИЩЕННОСТИ СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Под защищенностью объекта понимается свойство пространственно расположенных отдельных элементов, объединенных едиными связями, сохранять свою функциональность в условиях воздействия поражающих факторов средств поражения противника.

Для повышения живучести стационарных сооружений предлагается применять алгоритм обеспечения живучести стационарных объектов при воздействии обычных средств поражения, который позволит оптимизировать проводимые мероприятия (рис. 1).

На первом этапе при оценке обстановки производим оценку своего объекта и противостоящей группировки противника. Этот анализ позволяет определить вероятный наряд сил и средств противника, назначенный для нанесения удара по объекту.

Наиболее вероятными средствами для нанесения ударов по крупногабаритным, стационарным объектам в первую фазу боевых действий будут крылатые ракеты большой дальности и боевые беспилотные аппараты [1, 3, 4].

Вероятность поражения объекта нарядом из n средств поражения определяется по формуле [5, 6]

$$P_n = 1 - e^{-\alpha n}, \quad (1)$$

где α – уязвимость объекта.

Информация о наряде сил дает возможность определить исходную уязвимость конкретного объекта (3) и выработать мероприятия по повышению живучести своих объектов.

В общем виде степень уязвимости объекта можно определить выражением

$$\alpha_{об} = \left(\rho \frac{R_{п}}{\sigma} \right)^2 \quad (2)$$

где $R_{п}$ – радиус поражения боеприпаса для данного объекта, м;

σ – круговое вероятное отклонение средства поражения от центра прицеливания;

ρ – постоянная Лапласа, $\rho=0,476$.

Из анализа формулы (2) следует, что для снижения уязвимости обороняемого объекта необходимо или уменьшить радиус поражения боеприпаса, или увеличить круговое вероятное отклонение. Первую задачу можно решить за счет «усиления» объекта, т.е. проведением фортификационных мероприятий. Выполнение этих мероприятий имеет конечное ограничение, и дальнейшее усиление фортификационных свойств объектов будет связано с разработкой новых композитных материалов. Что касается второй задачи, то увеличение отклонения боеприпаса может быть связано с ухудшением качества разведывательной информации или влиянием на систему наведения оружия на конечном участке полета средства поражения.

Таким образом, комплекс мероприятий, направленных на увеличение величины ошибки наведения ВТО на поражаемый объект, будет приводить к повышению живучести объекта и напрямую зависит от правильно выбранного варианта использования средств защиты этого объекта, адекватного применяемому противником способу использования ВТО.

Из анализа наряда сил также необходимо определить тип боевой части, которую будет применять противник. Современные крылатые ракеты оснащаются различными типами головных частей: осколочно-фугасными, бетонобойными, кассетными, объемно-детонирующими и др.

Наиболее вероятным оснащением исходя из особенностей построения и функционирования стационарных объектов будут боевые части бетонобойные (проникающего типа) и осколочно-фугасные.

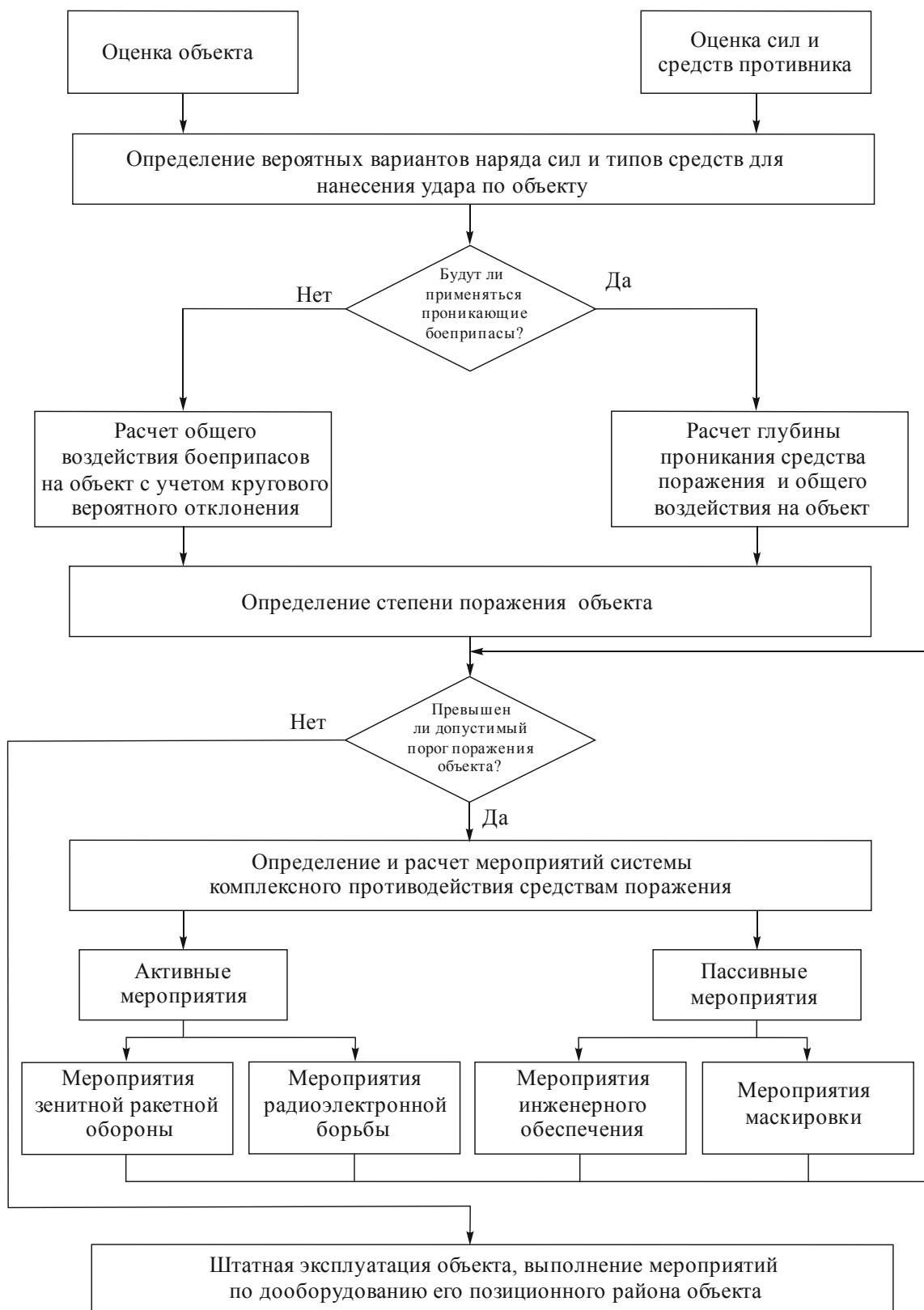


Рис. 1. Алгоритм обеспечения живучести стационарных объектов при воздействии обычных средств поражения

В целом вероятность поражения объекта $P_{об}$ является зависимостью от вероятности поражения объекта нарядом сил (1) и закона поражения объекта G_n [5]:

$$P_{об} = P_n G_n. \quad (3)$$

Определение степени поражения стационарного объекта наиболее точно описывает закон поражения, который можно представить в следующем виде [6, 7]:

$$G_n = 0,5^{\overline{h_{сз}}^{-3}}, \quad (4)$$

где $\overline{h_{сз}}$ – приведенная степень защиты объекта.

В зависимости от типа применяемого средства поражения приведенная степень защиты объекта определяется по соответствующим формулам. Для проникающего средства поражения имеем:

$$\overline{h_{сз}} = \frac{h_{зк}}{r_p}, \quad (5)$$

где $h_{зк}$ – приведенная толщина защитной конструкции, м;
 r_p – радиус разрушения средства поражения, м.

При этом радиус разрушения защитной конструкции объекта средством поражения определяется по формуле [6, 7]

$$r_p = 10 k_p m_3 \sqrt[3]{q}, \quad (6)$$

где k_p – коэффициент податливости среды разрушению, зависящий от прочностных свойств;
 m_3 – коэффициент «забивки», характеризующий усиление механической энергии взрыва при заглублении средства поражения в защитную конструкцию объекта;
 q – мощность взрыва средства поражения в тротиловом эквиваленте, тс.

В случае, когда средство поражения оснащено осколочно-фугасной боевой частью, расчеты степени защиты объекта [6, 7] выполняются по выражению

$$\overline{h_{сз}} = \frac{\Delta P_{сз}}{\Delta P_{\phi}}, \quad (7)$$

где $\Delta P_{сз}$ – степень защиты объекта, кгс/см²;

ΔP_{ϕ} – избыточное давление во фронте ударной волны, кгс/см² [6, 7].

Проведенные расчеты позволяют определить степень поражения (4) объекта и определить превышен или нет допустимый уровень его повреждения. Для стационарных, крупногабаритных объектов необходимо рассматривать три степени поражения: А, Б и В [8, 9]. При этом при получении объектами повреждений со степенями А и Б (4), с учетом невозможности их восстановления в течение длительности первой фазы Глобального (Быстрого) молниеносного удара (до 3-х суток). Приемлемыми повреждениями для стационарных объектов принимаем поражения со степенью В и ниже.

Анализ возможностей средств поражения по нанесению ущерба объектам и расчет области их поражения [1] показывает, что основная группа объектов получит повреждения со степенью поражения В и ниже при промахе основными типами высокоточного оружия более чем на 40 м [1, 9].

В том случае, если повреждения объекта оцениваются как степень А или Б необходимо рассчитать и применить мероприятия комплексного противодействия средствам поражения противника (см. рис. 1).

КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ, ПРОВОДИМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Снижение воздействия высокоточного оружия по стационарным объектам можно обеспечить применением активных мероприятий (построение системы зенитной ракетной обороны и РЭБ вокруг объектов) и пассивных мероприятий (дополнительное фортификационное оборудование позиций и маскировка объекта). В статье рассмотрим обеспечение снижения эффективности применения ВТО только за счет проведения мероприятий маскировки.

В ВС РФ в противовес комплексу разведывательных мероприятий вероятного противника адаптивно совершенствуется система маскировки, предусматривающая решение задач скрытия от противника войск (сил), объектов и введение его в заблуждение относительно наличия, расположения, состава, действия войск (сил), а также планов командования [10, 11].

Комплекс мероприятий маскировки для крупногабаритных стационарных объектов включает две основные группы: мероприятия противодействия средствам разведки противника и мероприятия противодействия системам наведения средств поражения.

Высокоточное оружие требует серьезного навигационного обеспечения, для этого созданы радионавигационные системы на базе искусственных спутников Земли. Подобные системы уже прошли апробацию в последних военных конфликтах на Ближнем Востоке, в Югославии и Африке.

В ряде стран уже разработана и успешно применяется общеземная система координат, в которой взаимное расположение различных объектов, разнесенных на десятки тысяч километров, определяется с точностью 10–20 см. Сейчас, например, это позволяют обеспечить спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС и НАВСТАР. Разработаны оригинальные методики, технологии, фотограмметрические и другие приборы высокоточной обработки космических снимков, которые открыли перспективу создания геоинформационных систем, проектирования трехмерных моделей местности, создания и обновления топографических карт, планов городов, отдельных объектов экономики, цифровых моделей местности и электронных карт, формирования банков данных, прежде всего в военных целях.

Применяемое навигационное обеспечение позволяет значительно повысить точность стрельбы обычными неядерными ракетами различной дальности действия. Повышение точности стрельбы является наиболее экономичным способом повышения эффективности их применения.

При выборе целей для определения их точных координат будет использоваться вся имеющаяся разведывательная информация, включающая разведывательные данные спутников, самолетов, а также радиоразведки. Все расчеты при планировании такой операции будут вестись с широким применением вычислительной техники и специального программного обеспечения, что позволит быстро, точно и экономно поражать цели в течение всей операции.

Для снижения эффективности системы разведки противника необходимо проводить такие мероприятия, как:

- изменение портрета местности за счет установки ложных контрастных радиолокационных и оптических ориентиров местности (использование маскировочных комплектов типа МКТ-4Л (С, П), МРКП-1Л, комплектов радиолокационных уголкового отражателей «Угол» [11, 12] с выносом в направлении ожидаемых ударов крылатых ракет на расстояние согласно произведенным расчетам (6);
- деформирующее и имитирующее окрашивание местности и характерных элементов объ-

екта с применением 3D технологий;

– создание системы ложных позиций подразделений с высоким уровнем правдоподобия, который должен обеспечивать комплекс средств имитации и маскировки. Этот комплекс должен включать в себя активные и пассивные излучатели сигналов, замаскированный и выстроенный в определенный боевой порядок комплект пневматических или войскового изготовления макетов техники, комплекты угловых отражателей, тепловых имитаторов и ловушек;

– применение пневматических (при поступлении на вооружение) и войсковых комплектов макетов техники.

Для противодействия системам наведения средств поражения необходимо выполнить ряд мероприятий, которые можно разбить на три последовательных этапа.

На первом этапе при оценке районов, где развернуты стационарные объекты, необходимо определить наиболее контрастные элементы позиции, характерные для радиометрической и оптической корреляционно-экстремальной систем наведения. Это могут быть крупногабаритные сооружения и техника, различные выделяющиеся местные предметы (складки местности и рельефа).

На втором этапе определяют радиус поражения обороняемых объектов боевой частью средства поражения [1, 9] и рассчитывают величину $\overline{h_{сз}}$ (5, 7). На основе анализа результатов получаем, что все элементы имитации объектов должны быть удалены на расстояние, при котором выполняется условие $\overline{h_{сз}} \geq 1$, при этом вооружение и сооружения получают повреждения умеренной степени, что не приведет к снижению эффективности работы комплексов более требуемого.

На третьем этапе делаются расчеты и вырабатывается ряд необходимых мероприятий маскировки элементов стационарных объектов, которые должны обеспечить требуемый уровень живучести.

Учитывая то, что все современные системы наведения ВТО оснащены устройствами глобального позиционирования, необходимо организовать подавление системы «Навстар» с применением средств подразделений РЭБ. Это обеспечит набег ошибки наведения от последней точки коррекции при использовании инерционной системы до 15–20 м. При этом применение сложных помех, которые обеспечивают введение ошибки позиционирования любых устройств, позволяет полностью исключить систему «Навстар» из алгоритма работы системы наведения ракет или обеспечить отвод крылатых ракет от точки прицеливания на безопасное расстояние.

Для снижения эффективности применения противником ВТО необходимо произвести маскировку контрастных элементов позиции стационарных объектов. Для борьбы с ВТО, применяющей радиометрическую систему наведения, необходимо снизить градиент контрастных предметов [1] до уровня $\epsilon_p < 0,005$ с использованием маскировочных комплектов типа МРКП и угловых отражателей различного типа. Одновременно с этим в предполагаемой зоне предпоследней коррекции необходимо разместить 1–2 «ярких» оптико-радиолокационных объекта, которые обеспечат искажение оптико-радиолокационного портрета местности. Это приведет к срыву предпоследней коррекции полета и увеличению ошибки на конечном участке полета. К аналогичному результату может привести заблаговременное размещение и включение излучающих средств в диапазоне работы системы наведения КР, что станет причиной ее «ослепления».

Для борьбы с ВТО, применяющей оптическую корреляционно-экстремальную систему наведения, необходимо снизить коэффициенты различимости наиболее контрастных элементов объекта до уровня $\nu < 4$ (или необходимо изменить общую визуальную конфигурацию наиболее характерных элементов) с использованием маскировочных комплектов типа МКП. Одновременно с этим необходимо организовать задымление позиции объекта с использованием штатных или подручных средств. При этом также необходимо организовать оборудо-

вание ложных позиций (или ложных контрастных элементов) в позиционном районе стационарных объектов со смещением в сторону от основных элементов на расчетные расстояния (5, 7). Расчеты показывают [1], что все мероприятия имитации должны обеспечить падение крылатых ракет на удалении, при котором выполняется условие $\bar{h}_{cs} \geq 1$. Кроме того, необходимо учесть, что «точка прицеливания» ВТО имеет ограниченные размеры, максимальные удаления ложных объектов не должны превышать максимальные размеры конечной зоны коррекции средства поражения. При этом каркасы ложных объектов должны устанавливаться при заблаговременной подготовке или в угрожаемый период. Их развертывание необходимо осуществить непосредственно перед ударом противника. В противном случае в полетные задания крылатых ракет будут внесены поправки и эффективность проводимых мероприятий сведется к нулю. Ложные контрастные объекты [1] с уровнем $\varepsilon_p > 0,005$ организуются для ВТО, применяющего радиометрическую систему наведения, и с уровнем коэффициента различимости [1] $\nu > 5$ – для ВТО, применяющего оптическую корреляционно-экстремальную систему наведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты показывают, что проведение указанных мероприятий приведет к ошибке наведения ВТО, которая обеспечит требуемый уровень живучести элементов стационарных объектов и их работоспособность.

Таким образом, для повышения живучести стационарных объектов необходимо помимо создания многоуровневой системы комплексного противодействия противнику активно применять систему ложных объектов, позиций и позиционных районов, оснащенных широким спектром комплексов как табельных и войсковых средств маскировки и имитации, так и подручных материалов.

Список используемых источников

1. *Бурмистров С.К.* Справочник офицера ВКО. – Тверь: ВА ВКО, 2005. – 564 с.
2. *Калгин А.В., Калинин П.А., Тетерин Ю.А.* Наземные комплексы и сооружения ракетно-космических систем: учебник. – МО СССР, 1988. – С. 534.
3. *Орленко Л.П.* Главная угроза для России // Стратегия России. – 2015. – № 4. – С. 15–17.
4. *Макаров К.В., Ченцов А.Е.* Крылатые ракеты противника – фактор изменения в соотношении сил воюющих сторон // Военная мысль. – 2017. – № 10. – С. 52–57.
5. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: учебник. – М: Наука, 1969. – 576 с.
6. *Сурин Д.В.* Специальные фортификационные сооружения: учебник. – МО РФ, 2010. – 429 с.
7. *Сурин Д.В.* Аналитические методы оценки защищенности и живучести объектов и комплексов: монография. – МО РФ, 1996. – 145 с.
8. *Дульцев П.А., Литвиненко В.И.* Предлагаемые подходы к обобщенной оценке эффективности средств поражения, в том числе на новых физических принципах // Вестник Академии военных наук. – 2015. – № 2(51). – С. 147–151.
9. *Гельфанд Б.Е., Сильников М.В.* Фугасное действие взрывов: монография. – СПб.: Астерион, 2007. – 250 с.
10. Военный энциклопедический словарь. – М.: ВИ, 2007. – 1024 с.
11. Маскировка: учебник / В.В. Княжев, М.Ф. Крысанов, О.Р. Сайфулин и др. – М.: ВУНЦ СВ ОВА ВС РФ, 2016. – 149 с.
12. *Васильев В.В., Донсков Ю.Е., Кернов В.Г.* Снижение заметности вооружения и военной техники и пути ее решения // Военная мысль. – 2006. – № 10. – С. 34–40.

Д.П. Мандрица,
кандидат техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОСЛЕ АВАРИЙНЫХ НАГРУЗОК

Представлены исследования остаточных перемещений и деформаций в железобетонных балках после импульсных нагрузок взрыва. На основании полученных результатов построены графики приведенных эквивалентных нагрузок, зависимости для максимальных нагрузок, соответствующих максимальной несущей способности при импульсном нагружении, предложена зависимость для эквивалентной прочности железобетонных балок.

Ключевые слова: железобетонная балка, импульсная нагрузка, прочность балки.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость исследования фактической прочности несущих конструкций специальных сооружения ракетно-космических комплексов обусловлена следующими причинами. В процессе эксплуатации специальные сооружения ракетно-космических комплексов и расположенное в них оборудование находятся под воздействием широкого спектра статических и динамических нагрузок, которые при определенных условиях вследствие деградации прочностных и деформационных характеристик материалов и конструкций приводят к снижению их несущей способности.

Важно отметить, что основные сооружения стартовых комплексов, стартовые сооружения СК РКК относятся к промышленно опасным объектам и в соответствии с ГОСТ 31937-2011 требуется периодически производить оценку категории технического состояния сооружения с определением фактической прочности несущих элементов конструкций.

Опыт проектирования и эксплуатации стартовых комплексов показывает, что весьма вероятно аварийная ситуация, приводящая в ряде случаев к аварийным взрывам компонентов ракетных топлив. Последствиями таких аварийных взрывов является полная непригодность к дальнейшей эксплуатации стартовых комплексов и прекращение программы запусков РКН.

В связи с необходимостью обеспечения живучести стартовых комплексов, появлением новых нормативных документов РФ, а также требований по обеспечению безопасной эксплуатации строительных конструкций оценка фактической прочности железобетонных конструкций специальных сооружений СК РКК становится актуальной задачей.

АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Вопросам разработки способов оценки фактической прочности железобетонных балок, обеспечения безопасной эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений посвящено значительное количество научных работ [1–4].

К экспериментально-теоретическим работам по оценке фактической прочности железобетонных конструкций зданий и сооружений в условиях воздействия динамических нагрузок относится работа [4]. В ней описаны экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных балок пролетов 2,2 м с различными схемами армирования, в том числе предварительно напряженных при действии различных динамических нагрузок.

Способ оценки фактической прочности железобетонной балки по критерию прочности арматуры и бетона был рассмотрен в работе [7]. В работе [9] предложено оценивать остаточную прочность железобетонных балок по величине прогиба с использованием вероятностного подхода.

Анализ представленных работ показывает, что основным показателем несущей способности железобетонных балок с различными схемами армирования является предельная нагрузка, не приводящая балку в предельное состояние. Однако в данных работах отсутствует количественная оценка влияния деформаций и прогибов изгибаемых железобетонных конструкций при различных динамических воздействиях (в том числе импульсных нагрузках) на их остаточную прочность.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Под *фактической прочностью* железобетонной (бетонной) конструкции будем понимать предельную нагрузку, воспринимаемую конструкцией до ее разрушения после воздействия аварийных нагрузок. Основной задачей исследований является оценка влияния остаточных деформаций и прогибов изгибаемых железобетонных балок при различных импульсных нагрузках на их остаточную прочность.

В работе [1] описаны экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных балок на воздействия ударной волны взрыва в ближней зоне действия. Железобетонные балки после воздействия импульсных нагрузок показаны на рис. 1.



Рис. 1. Железобетонные балки после испытаний импульсной нагрузкой

Испытывались железобетонные балки из бетона классов В20, В30, В40 размерами 400×400×100. По результатам испытаний построены схемы остаточных прогибов железобетонных балок по длине пролета для классов бетона В20, В30 (рис. 2).

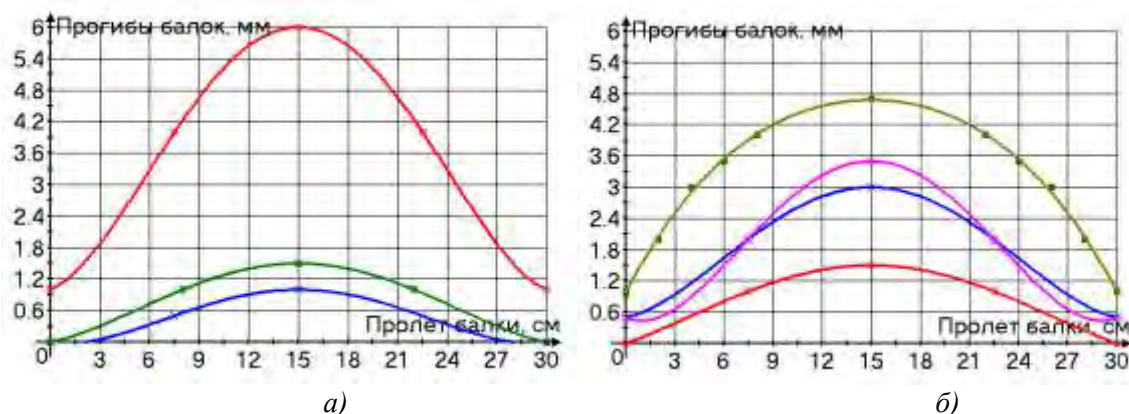


Рис. 2. Остаточные прогибы железобетонных балок:
а – бетон В20; б – бетон В30

Определим параметры ударной волны взрыва в ближней зоне взрыва с использованием результатов экспериментальных исследований, представленных в работе [1]. Графики для ударной волны взрыва и времени действия показаны на рис. 3.

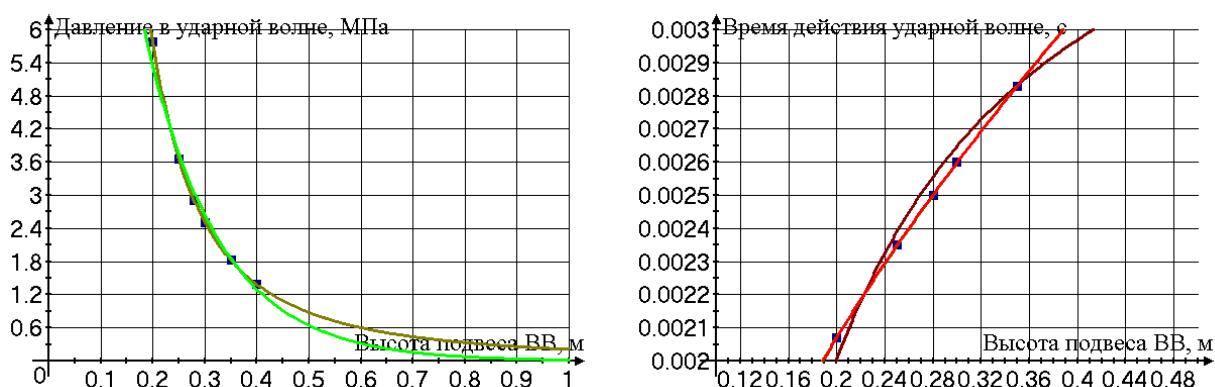


Рис. 3. Избыточное давление и время действия ударной волны в зависимости от высоты подвеса ВВ

Избыточное давление в ударной волне взрыва может быть аппроксимировано следующими зависимостями:

$$p_{\phi} = 0,211 \cdot h^{-2,057}; \Delta p_{\phi} = 21,89 \cdot (8,69 \cdot 10^{-4})^h.$$

При известных остаточных перемещениях конструкций с использованием дифференциального уравнения изогнутой оси балки определим эквивалентную статическую нагрузку на железобетонные балки после воздействия ударной волны взрыва с помощью выражения

$$EI\ddot{y} = -M(x) = -\frac{q_{\text{эkv}}l^2}{8}.$$

Воспользуемся математическими зависимостями, полученными для определения остаточных прогибов после воздействия импульсной нагрузки взрыва ВВ. Для определения предельного изгибающего момента M произведем двойное дифференцирование прогибов по длинам железобетонных балок.

1. Для балок из бетона В20:

$$\text{№2 } y(x) = 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,0072 \cdot x + 0,032;$$

$$\text{№3 } y(x) = 9,5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,028 \cdot x + 0,134;$$

$$\text{№4 } y(x) = 3,16 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,01 \cdot x + 0,05.$$

2. Для балок из бетона В30:

$$\text{№1 } y(x) = 1,58 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 4,74 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0,016;$$

$$\text{№2 } y(x) = 4,74 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,0144 \cdot x + 0,066;$$

$$\text{№3 } y(x) = 9,48 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,0284 \cdot x + 0,152;$$

$$\text{№4 } y(x) = 1,99 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,006 \cdot x + 0,07.$$

Тогда приведенная эквивалентная нагрузка на железобетонную балку $q_{\text{эkv,прив}}$ представится следующим выражением:

$$q_{\text{эkv,прив}} = \frac{q_{\text{эkv}}}{(8EI)/l^2}.$$

Результаты расчетов для приведенной эквивалентной нагрузки на железобетонную балку приведены на рис. 4. Для бетонов В20:

$$\text{№2 } q_{\text{эkv,прив}} = 2,412 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,0072 \cdot x + 0,032,$$

$$\text{№3 } q_{\text{эkv,прив}} = 9,48 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,028 \cdot x + 0,133,$$

$$\text{№4 } q_{\text{эkv,прив}} = 3,16 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,0094 \cdot x + 0,05.$$

Для бетонов В30

$$\text{№1 } q_{\text{эkv,прив}} = 1,58 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,0047 \cdot x + 0,163,$$

$$\text{№2 } q_{\text{экв,прив}} = 4,74 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,0072 \cdot x + 0,067,$$

$$\text{№3 } q_{\text{экв,прив}} = 9,48 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,028 \cdot x + 0,151,$$

$$\text{№4 } q_{\text{экв,прив}} = -1,99 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0,006 \cdot x - 0,07.$$

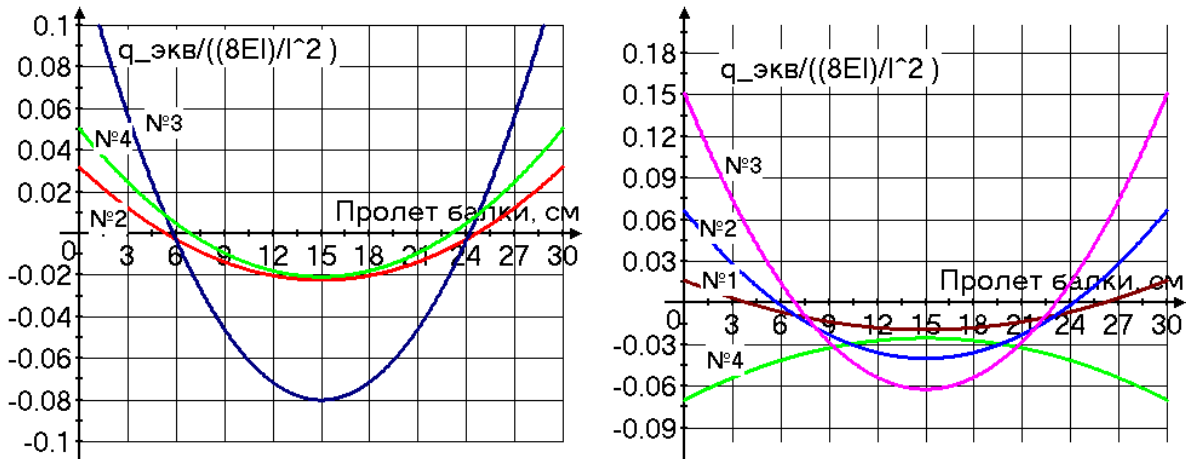


Рис. 4. Графики для приведенных эквивалентных нагрузок на железобетонные балки классов бетона:
а – бетон В20; б – бетон В30

Для определения фактической прочности необходимо использовать нелинейную деформационную модель, рекомендуемую в СНиП 51-01-2003 «Условие расчета нормальных сечений по прочности» [5]:

$$|\varepsilon_{b,\max}| \leq \varepsilon_{b,ult}, \quad |\varepsilon_{s,\max}| \leq \varepsilon_{s,ult}.$$

Здесь $\varepsilon_{b,\max}$ – относительная деформация наиболее сжатой зоны бетона в нормальном сечении от действия внешней нагрузки;

$\varepsilon_{b,ult}$ – допустимая деформация сжатой зоны бетона;

$\varepsilon_{s,\max}$ – относительная деформация наиболее растянутой арматуры в нормальном сечении от действия внешней нагрузки;

$\varepsilon_{s,ult}$ – допустимая деформация растянутой арматуры.

Тогда максимальные значения деформаций в бетоне сжатой зоны и в наиболее растянутой арматуре с учетом полученных деформаций от действия импульсной нагрузки взрыва определяются по формулам с учетом рекомендаций [5]:

$$\varepsilon_{b,\text{прив}} = \varepsilon_{\text{ост}} + \frac{1}{r_x} \cdot \frac{h}{2}; \quad \varepsilon_{s,\text{прив}} = \varepsilon_{\text{ост}} + \frac{1}{r_x} \cdot \frac{h_0}{2}.$$

Полученным максимальным значениям деформаций в бетоне сжатой зоны и в наиболее растянутой арматуре будут соответствовать значения максимальных остаточных изгибающих моментов $M_{b,\text{прив}}$, $M_{s,\text{прив}}$. Данные значения $M_{b,\text{прив}}$, $M_{s,\text{прив}}$ вычисляются на основе нелинейной деформационной модели и могут быть использованы в качестве фактической прочности железобетонных (бетонных) балок, подвергнутых воздействию импульсных нагрузок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам описанных в статье исследований построены графики для приведенных эквивалентных нагрузок на железобетонные балки классов бетона В20, В30; зависимость для максимальных значений деформаций в бетоне сжатой зоны и в наиболее растянутой армату-

ре. Предложены в качестве значений фактической прочности железобетонных (бетонных) балок, подвергнутых воздействию импульсных нагрузок, значения $M_{b,прив}$, $M_{с,прив}$, которые вычисляются на основе нелинейной деформационной модели.

Список используемых источников

1. Мандрица Д.П., Мачнев С.А., Загруднинова Ю.А. Исследование напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов на действие ударной волны взрыва // Вопросы оборонной техники. Технические средства противодействия терроризму. – 2017. – Вып. (15-106). – С. 79–82.
2. Убежища гражданской обороны: конструкции и расчет / В.А. Котляревский, В.И. Ганушкин, А.А. Костин и др.; под ред. В. А. Котляревского. – М.: Стройиздат, 1989. – 606 с.
3. Котляревский В.А. Энциклопедия безопасности: в 3 т. / под ред. В. А. Котляревского. – СПб., 2008. – Т. 2: Законы поражения. – 632 с.
4. Попов Г.И. Железобетонные конструкции, подверженные действию импульсных нагрузок. – М.: Стройиздат, 1986. – 128 с.
5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция. СНиП 52.01-2003. – М., 2012.
6. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М., 2011.
7. Уткин В.С. Определение несущей способности железобетонных балок на стадии эксплуатации по критерию прочности арматуры и бетона // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – №1 (53). – С. 15–23.
8. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Трекин Д.Н. Анализ деформативности изгибаемых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №6. – С. 59–61.
9. Уткин В.С., Соловьёв В.А. Определение остаточной несущей способности железобетонных балок по критерию жесткости (прогиба) // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – №4. – С. 45–53.

А.Н. Миронов,
доктор техн. наук, профессор;
В.С. Солдатенко,
кандидат техн. наук, доцент;
Т.Н. Солдатенко

МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА НЕЧЕТКОГО РАНЖИРОВАНИЯ ФАКТОРОВ ДЕЛОВОЙ РЕПУТАЦИИ ПОДРЯДЧИКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Известные методы выбора организации для обеспечения эффективной эксплуатации объектов инфраструктуры наземных комплексов не в полной мере учитывают ее деловую репутацию. Предложено оценивать уровень данного показателя подрядчика с помощью математической модели комплексного показателя этого свойства. Особенностью предлагаемого подхода является применение математического аппарата нечеткой логики для ранжирования значимости факторов, влияющих на оценку деловой репутации.

Ключевые слова: нечеткая логика, деловая репутация, функция принадлежности, ранжирование факторов.

ВВЕДЕНИЕ

Важным условием принятия решения заказчиком по выбору подрядчика для обеспечения эффективной эксплуатации объектов инфраструктуры наземных комплексов (ИНК) может выступать наличие положительной деловой репутации (ДР) у претендента на выполнение данного заказа. Однако в условиях российской действительности имеется значительный уровень неопределенности при оценивании реального уровня компонентов, составляющих достаточно сложное понятие указанного показателя [1–5].

Проблемы достоверного оценивания технических и экономических показателей, влияющих на оценку деловой репутации подрядчика, разработаны недостаточно полно [6–8]. Решение задачи определения фактического уровня ДР – в настоящее время одна из ключевых проблем для российских строительных предприятий, в том числе участвующих в реализации Государственного оборонного заказа (ГОЗ) [9–10].

Одним из современных направлений оценивания фактического уровня деловой репутации подрядчика является использование экспертной информации [11–15]. Такой подход позволяет существенно упростить процессы принятия решений о выборе организации для обеспечения работоспособности объектов ИНК [16, 17].

Актуальность разработки заключается в том, что в ней описано математическое моделирование уровня деловой репутации возможного исполнителя ГОЗ по обеспечению работоспособности объектов ИНК на основе привлечения знаний и опыта специалистов-экспертов с использованием аппарата нечеткой логики.

Практическая значимость получаемых результатов состоит в том, что при рассматриваемом подходе может быть повышена обоснованность выбора потенциальных подрядчиков для ГОЗ по обеспечению работоспособности объектов ИНК. В статье поставлены и решены следующие задачи:

- уточнено понятие деловой репутации при выборе подрядчика;
- сформулированы и систематизированы факторы, оказывающие влияние на деловую репутацию предприятий сферы строительства;
- разработана математическая модель и методика нечеткого оценивания значимости факторов, определяющих уровень деловой репутации подрядчика.

АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ ДЕЛОВОЙ РЕПУТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Возможность участия организаций строительной отрасли в ГОЗ во многом зависит от истинной, правдивой информации об их профессиональном и деловом потенциале [11, 16]. В настоящее время выделяют три основных подхода к современному определению понятия деловой репутации: юридический, финансовый и комплексный [13, 15, 16]. В рамках настоящей разработки исследуется только комплексный подход.

При указанном подходе деловая репутация понимается как характеристика качества предприятия строительной отрасли, определяемая его добрым именем, деловыми связями, известностью фирменного названия, положительными результатами предыдущей деятельности и др. Например, в качестве критериев оценки деловой репутации предприятия используются следующие: финансовая устойчивость, репутация первых лиц предприятия; профессионализм менеджмента; политика в отношении персонала и некоторые другие. При этом показатели, характеризующие частные свойства, составляющие комплексное свойство «деловая репутация», имеют различный физический смысл и различную размерность. Поэтому используются относительные значения используемых показателей. Задача существенно упрощается, поскольку в выражении для обобщенного показателя уровня деловой репутации предприятия могут быть использованы показатели всех частных свойств, принимаемые во внимание при его анализе [15, 16].

Однако при этом необходимо решить еще одну задачу, непосредственно связанную с рассмотренной. Значимость анализируемых свойств деловой репутации подрядчика может быть различной для заказчика в рамках ГОЗ. Наиболее приемлемым путем оценивания важности каждого из частных свойств в условиях существенной неопределенности является экспертный, с использованием аппарата нечеткой логики.

Таким образом, решение задачи количественного оценивания уровня деловой репутации участников ГОЗ включает последовательность следующих этапов.

1. Формирование множества частных свойств деловой репутации предприятия, принимаемых во внимание при принятии решения о выборе подрядчика для ГОЗ.
2. Определение относительных значений показателей анализируемых частных свойств.
3. Формирование комплексного показателя уровня деловой репутации, учитывающего относительные значения каждого из показателей и их значимость для принятия решения об участии предприятия в ГОЗ.
4. Нечеткое оценивание «важности» каждого из рассматриваемых частных свойств для принятия решения о выборе подрядчика.
5. Получение расчетных значений комплексных показателей деловой репутации для каждого из претендентов на выполнение ГОЗ.
6. Сравнение полученных значений показателей и выбор подрядчика с наибольшим значением комплексного показателя деловой репутации.

Рассмотрим теперь математическую постановку представленной выше задачи.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЛОВОЙ РЕПУТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Пусть для характеристики деловой репутации организации при проведении конкурса по выполнению ГОЗ приняты во внимание K факторов X_i ($i = 1(1)K$). Для каждого из факторов известны их относительные значения x_i ($i = 1(1)K$).

Необходимо построить математическую модель, позволяющую определять величину интегрального показателя G деловой репутации подрядчика на основе данных о значениях факторов x_i ($i = 1(1)K$) деловой репутации строительной организации (подрядчика).

Пусть функциональная зависимость между факторами x_1, x_2, \dots, x_K и интегральным показателем G является линейной. В этом случае модель деловой репутации можно представить в виде соотношения [11, 15]

$$G = \sum_{i=1}^K x_i \cdot v_i, \quad (1)$$

где v_i – уровень «важности» i -го ($i = 1(1)K$) фактора в деловой репутации строительной организации при выполнении ГОЗ.

Уровни v_i ($i = 1(1)K$), как правило, соответствуют порядковым номерам фактора в их рейтинговой последовательности. Следовательно, необходимо осуществить ранжирование уровней v_i ($i = 1(1)K$). Рассмотрим решение сформулированной задачи.

МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО РЕЙТИНГА ФАКТОРОВ ДЕЛОВОЙ РЕПУТАЦИИ ПОДРЯДЧИКА

Для построения модели рейтинга факторов деловой репутации потенциальных подрядчиков воспользуемся математическим аппаратом нечеткой логики. Представим уровни «важности» факторов в форме нечетких чисел \underline{v}_i ($i = 1(1)K$). Будем полагать, что указанные нечеткие числа имеют трапециевидную функцию принадлежности (ФП) $\mu_{\underline{v}_i}(G)$. Отметим, что этот тип ФП определяется четырьмя параметрами и может быть представлен следующим образом [17]:

$$\mu_{\underline{v}_i}(G) = \langle a_0^l, a_1^l, a_1^r, a_0^r \rangle. \quad (2)$$

Переменные в правой части выражения (2) представляют собой характерные точки данной функции принадлежности. Таким образом, необходимо осуществить операцию упорядочивания по величине нечетких чисел \underline{v}_i ($i = 1(1)K$).

Известно несколько методов решения указанной задачи. К ним, в частности, относятся методы Чью-Парка, Чанга, Кауфмана – Гупты, Джейна и некоторые другие [17]. Следует отметить, что известные методы ранжирования нечетких чисел в общем случае могут давать различные результаты. Поэтому окончательный вывод о рейтинге факторов деловой репутации необходимо осуществлять на основе результатов, полученных различными методами ранжирования. В настоящей работе проведен соответствующий анализ с использованием метода Чанга и Кауфмана – Гупты. При использовании первого из указанных методов ранг $R(\underline{v}_i)$ нечеткого числа \underline{v}_i определяется по следующей формуле:

$$R(\underline{v}_i) = \frac{(a_1^r)^2 + a_1^r \cdot a_0^r + (a_0^r)^2 - (a_0^l)^2 - a_0^l \cdot a_1^l - (a_1^l)^2}{4}. \quad (3)$$

При применении метода Кауфмана – Гупты ранг $R(\underline{v}_i)$ нечеткого числа \underline{v}_i определяется в ходе следующих действий. Необходимо вычислить три частных ранговых показателя $R^1(\underline{v}_i)$, $R^2(\underline{v}_i)$ и $R^3(\underline{v}_i)$ для нечеткого числа \underline{v}_i с помощью следующих соотношений:

$$R^1(\underline{v}_i) = \frac{a_0^l + 2a_1^l + 2a_1^r + a_0^r}{6}; \quad (4)$$

$$R^2(\underline{v}_i) = \frac{a_1^r + a_0^r}{2}; \quad (5)$$

$$R^3(\underline{v}_i) = a_0^r + a_0^l. \quad (6)$$

В рамках метода полагают, что $y_i \geq y_j$ ($i=1(1)K$, $j \neq i$), если выполняются следующие условия: или $R^1(y_i) > R^1(y_j)$; или $R^1(y_i) = R^1(y_j)$ и $R^2(y_i) > R^2(y_j)$; или $R^1(y_i) = R^1(y_j)$ и $R^2(y_i) = R^2(y_j)$ и $R^3(y_i) > R^3(y_j)$.

Рассмотрим расчетный пример применения разработанной модели рейтинга значимости факторов ДР участников ГОЗ.

РАСЧЕТНЫЙ ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЧЕТКОГО РЕЙТИНГА ФАКТОРОВ ДЕЛОВОЙ РЕПУТАЦИИ

Пусть необходимо провести ранжирование трех факторов $\langle x_1, x_2, x_3 \rangle$. Экспертным способом получены трапециевидные функции принадлежности для уровней рейтинга, которые рассматриваются как нечеткие числа $\langle y_1, y_2, y_3 \rangle$. Их описание приведено в табл. 1.

Таблица 1

Описание ФП факторов

Номер фактора	Значения характерных точек функции принадлежности			
	a'_0	a'_1	a''_1	a''_0
1	10,00	11,00	12,00	13,00
2	15,00	16,00	18,00	20,00
3	8,00	11,00	13,00	17,00

Расчетные значения нечетких рангов уровней значимости факторов, полученные по методу Чанга, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения нечетких рангов уровней важности факторов

Ранг фактора	y_1	y_2	y_3
$R(y_i)$	2,505	0,518	2,904

Из табл. 2 следует, что на первом месте находится фактор 3, на втором – фактор 1, на третьем – фактор 2.

Расчетные значения нечетких рангов уровней значимости факторов, полученные по методу Кауфмана – Гупты, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения рангов нечетких уровней важности факторов

Ранг фактора	y_1	y_2	y_3
$R^1(y_i)$	1,083	0,697	1,233
$R^2(y_i)$	1,850	0,930	2,025
$R^3(y_i)$	2,700	1,040	2,700

Анализ данных табл. 3 приводит к результатам, аналогичным для метода Чанга.

Для определения оценки уровня деловой репутации каждого из претендентов необходимо подставить полученные уровни важности в соотношение (1) для них. Наиболее предпочтительным будет претендент с наибольшим значением интегрального показателя G .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ работ, посвященных обоснованию выбора организаций в строительной сфере, показал, что в рассматриваемых методах и моделях не в полной мере учитывается неопределенность фактических данных о возможных претендентах.

В статье обоснована актуальность разработки модели нечеткого рейтинга факторов, формирующих понятие деловой репутации строительной организации.

С помощью предлагаемого подхода снижается уровень неопределенности при выборе подрядчиков для обеспечения эффективной эксплуатации объектов инфраструктуры наземных комплексов при реализации Государственного оборонного заказа. Данный подход может найти практическое применение при проведении соответствующих конкурсных процедур и обоснованном выборе подрядчиков с использованием ограниченных сведений о деловой репутации претендентов.

Список используемых источников

1. *Валдайцев С.В.* Оценка бизнеса. – М.: Проспект, 2004. – 324 с.
2. *Гинсбург А.И.* Экономический анализ. – СПб.: Питер, 2004. – 480 с.
3. *Ковалев В.В.* Финансовый анализ: методы и процедуры. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 560 с.
4. *Sarker S., Sahaym A., Bjørn-Andersen N.* Exploring value correation in relationships between an erp vendor and its partners: a revelatory case study // *MIS Quarterly*. – 2012. – Т. 36, № 1. – P. 317–338.
5. *Financial Management, Principles and Applications / A.J. Keon, J.D. Martin, J.W. Pretty, Jr. D.F. Scott // 9-th edition Prentice Hall. – New Jersey/ – 2002. – 795 p.*
6. *Соклакова И.В.* Формирование деловой репутации организации // *Вестник Университета (Государственный университет управления)*. – 2013. – № 22. – С. 173–178.
7. *Кислинская М.В., Тихонов Ю.А.* Особенности формирования деловой репутации организаций // *Вестник Университета (Государственный университет управления)*. – 2013. – № 9. – С. 123–131.
8. *Дьяконова С.Н., Шугина Н.С.* Деловая репутация строительных предприятий // *В мире научных открытий*. – 2012. – № 6. – С. 193–203.
9. *Цветков А.Н.* Комплексный подход к оценке конкурентоспособности строительных организаций // *Транспортное дело России*. – 2011. – № 1. – С. 13–16.
10. *Солдатова Е.В.* Идентификация и оценка деловой репутации компании // *Известия Академии управления: теория, стратегии, инновации*. – 2012. – № 1. – С. 3–10.
11. *Ким Ю.К.* Методы управления и оценка деловой репутации // *Качество. Инновации. Образование*. – 2012. – № 10 (89). – С. 91–93.
12. *Важенина И.С., Копанцев Д.В.* Деловая репутация – стратегическая составляющая жизнестойкости компаний // *Журнал экономической теории*. – 2009. – № 2. – С. 10.
13. *Барнгольц С.Б.* Экономический анализ хозяйственной деятельности на современном этапе развития. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 200 с.
14. *Stancu A., Grigore G.F., Rosea M.* Consumers perceptions towards corporate social responsibility initiatives – a qualitative approach // *Transformations in Business & Economics*. – 2011. – Т. 10, № 2 В. – P. 754–764.
15. *Николаевская О.А.* Оценка деловой репутации предприятия // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2013. – № 1 (19). – С. 068–073.
16. *Черняк В.З.* Оценка бизнеса. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 463 с.
17. *Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова*. – М.: Наука, 1986. – 312 с.

Д.А. Панкин,
кандидат техн. наук
ФГКВОУ «ВА РВСН имени Петра Великого» МО РФ, г. Балашиха;
В.В. Спирягин
ФГКВОУ «ВА РВСН имени Петра Великого» МО РФ, г. Балашиха;
А.И. Чмыхало
ФГКВОУ «ВА РВСН имени Петра Великого» МО РФ, г. Балашиха

МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ СВЕРХГАРАНТИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В статье рассмотрено влияние хладагента нитрита натрия на возникновение коррозионных повреждений теплообменных труб, выполненных из стали марки 12Х18Н10Т. Выдвинута гипотеза, что основной причиной коррозионного растрескивания стали 12Х18Н10Т является изменение концентрации хладагента. Приведены результаты эксперимента по оценке влияния концентрации хладоносителя на коррозионное растрескивание стали 12Х18Н10Т, подтверждающие достоверность выдвинутой гипотезы.

Ключевые слова: коррозионные повреждения, хладагент, поверхностные дефекты, теплообменные аппараты.

Проведенный анализ методик оценки технического состояния теплообменного аппарата (ТА) позволяет прийти к выводу, что они предназначены для определения сквозных дефектов металлических конструкций (МК) ТА, но не оценивают наличие и опасность поверхностных дефектов. Ряд случаев выхода из строя ТА в межрегламентный период предположительно связан с развитием дефектов до критических размеров. В связи с этим для предотвращения разрушения трубок ТА в период эксплуатации существует объективная необходимость разработки модели разрушения металлоконструкции ТА при развитии поверхностных дефектов до критических размеров.

Материал трубок ТА – сталь 12Х18Н10Т, которая является коррозионностойким материалом по отношению к большинству видов агрессивной среды, в том числе к соответствующим компонентам ракетных топлив (КРТ). Несмотря на это, в трубках ТА был выявлен ряд дефектов: местные коррозионные повреждения глубиной до 0,3 мм, а также сеть микротрещин в районе крепления трубок в трубной решетке [1].

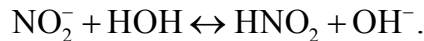
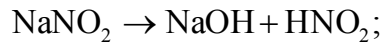
Основная масса повреждений находится с внутренней стороны трубок ТА, это позволяет сделать вывод, что наибольшее влияние на развитие трещин оказывает коррозионная активность хладагента.

Хладагентом является раствор соли NaNO_2 (нитрит натрия), образованный сильным основанием и слабой кислотой, которая при диссоциации образует слабую щелочную среду. Он, помимо хорошей теплоотдачи, обладает дополнительным свойством, заключающимся в образовании защитной пленки на поверхности металла [2].

Нормативными документами [3] предусмотрена концентрация нитрита натрия, равная 28 %. На объектах регулярный контроль концентрации нитрита натрия в хладоносителе как правило не проводится (контроль концентрации предусматривается технической документацией только в случае полной замены хладоносителя в системе). Поэтому концентрация NaNO_2 в ряде случаев за время эксплуатации может существенно отличаться от требуемой.

Была выдвинута гипотеза, что основной причиной коррозионного растрескивания стали 12Х18Н10Т является изменение в хладагенте концентрации нитрита натрия.

Хладагент можно представить через уравнение реакции гидролиза:



В соответствии с принципом Ле Шателье при разбавлении нитрита натрия в растворе хладагента равновесие гидролиза смещается в сторону протекания этой реакции вправо, степень гидролиза возрастает (рис. 1).

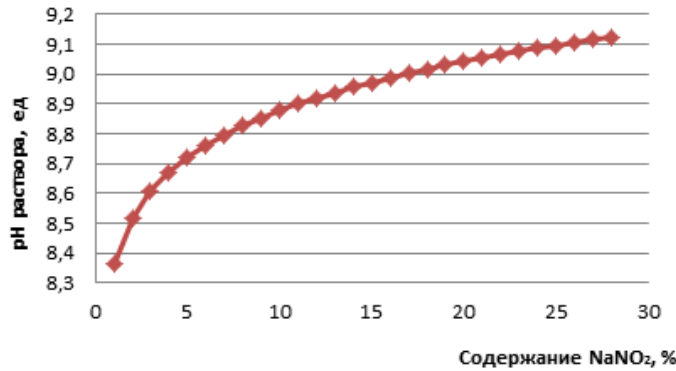


Рис. 1. График зависимости pH раствора от процентного содержания нитрита натрия в растворе

Соответственно с уменьшением концентрации NaNO_2 происходят следующие изменения [4]. Во-первых, для растворов, окисленная форма которых содержит кислород (например, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} и др.), при уменьшении pH раствора окислительно-восстановительный потенциал возрастает, т.е. потенциал растет с ростом H^+ . И наоборот, окислительно-восстановительный потенциал падает с уменьшением H^+ .

Во-вторых, величина pH оказывает на процесс коррозии косвенное влияние, заключающееся в изменении растворимости продуктов коррозии и возможности образования защитных пленок. Это косвенное влияние во многих случаях является решающим.

Для оценки термодинамической стойкости фаз окисей и гидроокисей в зависимости от электродного потенциала и pH среды были использованы диаграммы Пурбэ [2] и Тюрина А.Г. Сводная диаграмма с учетом данных о растворимости солей и константах равновесия реакций пленкообразования на многокомпонентных сплавах (а именно на Cr) представлена на рис. 2 [5, 6].

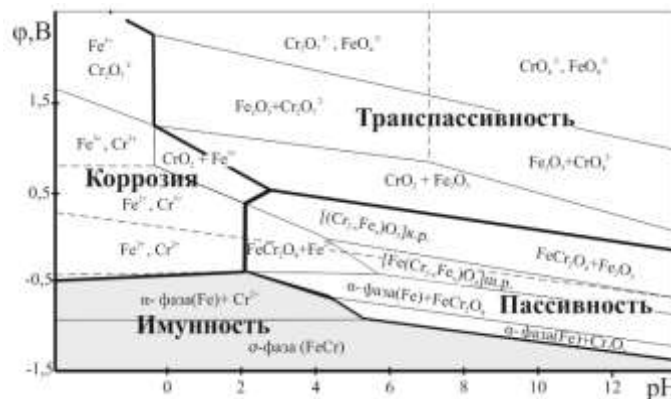
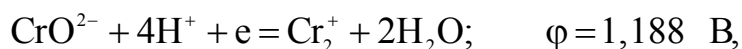
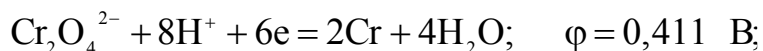


Рис. 2. Диаграмма термодинамически стойких фаз хрома в зависимости от электродного потенциала и pH среды сплава 12X18H10T

Изменение рН раствора (как катализатор) влияет не только на направление окислительно-восстановительной реакции, но и на образование конечного продукта реакции:



что приводит к изменению валентности хрома и смещает электродный потенциал стали 12Х18Н10Т. Увеличение электродного потенциала приводит к переходу пленки из пассивного состояния в транспассивное. Следовательно, пленка становится растворимой, в результате чего развивается коррозионное растрескивание [2]. Это отображено на диаграмме (рис. 3) при переходе из точки 1 в точку 2.



Рис. 3. Переход из пассивного в транспассивное состояние защитной пленки при уменьшении рН и увеличении электродного потенциала

Достоверность выдвинутой гипотезы была проверена проведением эксперимента по оценке влияния концентрации хладаносителя на коррозионное растрескивание стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 9.903-81 [7].

При проведении эксперимента использовался метод выдержки образцов с нанесенной трещиной при постоянной нагрузке. Он заключается в испытании серии образцов при коэффициенте интенсивности напряжений (КИН) от 0,7 до 0,95 от K_c при плоской деформации, постоянной нагрузке на образец и продолжительности испытаний 40 суток.

Из стали 12Х18Н10Т толщиной 2 мм в состоянии поставки были изготовлены образцы в соответствии с ГОСТ 9.903-81 [7]. В качестве испытательной среды в эксперименте использовался раствор нитрита натрия различных концентраций. Образцы были поделены на три группы. Каждую из групп образцов с нанесенной трещиной поместили в индивидуальный эксикатор, заполненный раствором NaNO_2 определенной концентрации (28 %, 14 %, 7 %).

В ходе проведения эксперимента ни один из испытательных образцов не разрушился. Но после разрушения образцов на испытательной машине TIRAtest 2300 и оценки конечной длины трещины ряд образцов имели коррозионную трещину более 0,1 мм и, соответственно, были отнесены к разрушившимся образцам [7]. Необходимо отметить, что ТА в системе термостатирования эксплуатируются в несколько раз дольше заявленных заводом-изготовителем сроков, поэтому при длительной эксплуатации возможно развитие трещин при меньших КИН.

Результаты испытаний показаны на рис. 4. Установлено снижение $K_{кр}$ относительно $K_{1с}$ до 13 %, которое проявляется при понижении концентрации NaNO_2 , и подтверждается, что

снижение концентрации хладоносителя приводит к понижению стойкости стали 12X18H10T и к коррозионному растрескиванию.

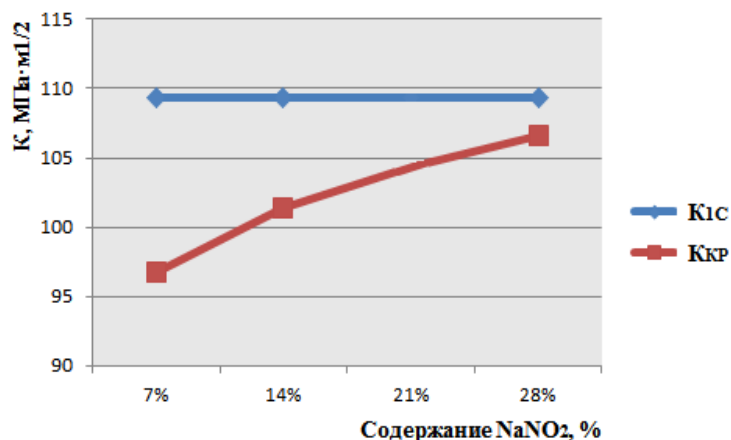


Рис. 4. Результаты оценки коррозионного растрескивания образцов из стали 12X18H10T толщиной 2 мм при различной концентрации NaNO₂

Используя полученные экспериментальные данные, методами линейной механики разрушения была рассчитана критическая длина и глубина трещины в трубке толщиной 2 мм, которые превышают толщину стенки трубки и длину возможной сквозной трещины. В результате выполняется условие «течь перед разрушением», и критерием потери работоспособности будет являться разгерметизация без хрупкого разрушения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований подтверждают предложенную модель разрушения металлоконструкций ТА и согласуются с имеющимися на практике случаями потери герметичности трубок ТА.

Необходимо отметить, что предложенная модель имеет ряд ограничений и рассматривает развитие коррозионной трещины при статической нагрузке. Между тем циклические нагрузки также влияют на процесс накопления и развития повреждений, но эти вопросы будут рассматриваться в дальнейших исследованиях.

Список используемых источников

1. Оценка влияния длительной эксплуатации стали 12X18H10T в коррозионной среде на развитие специфических коррозионных повреждений / А.И. Чмыхало, Т.С. Солина, И.А. Медеяев, Д.А. Панкин // Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем: сб. статей. – Серпухов, 2017. – С.107–111.
2. Скалли Дж. Основы учения о коррозии и защите металлов / пер. с англ. А.В. Шрейдера. – М.: Мир, 1978. – 223 с.
3. Система термостатирования 15В25П: формуляр на систему. – М., 1985. – 23 с.
4. Электрохимические методы исследования локальной коррозии пассивирующихся сплавов и многослойных систем: монография / Р.А. Кайдриков, Б.Л. Журавлёв, С.С. Виноградова и др. – Казань: КНИТУ, 2013. – 144 с.
5. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Коррозия и коррозионностойкие сплавы. – М.: Металлургия, 1973 – 232 с.

6. *Тюрин А.Г.* Термодинамика химической и электрохимической устойчивости сплавов: дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.04. – Челябинск, 2008.– 497 с.

7. ГОСТ 9.903-81. Единая система защиты от коррозии и старения. Стали и сплавы высокопрочные. Методы ускоренных испытаний на коррозионное растрескивание. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 21 с.

В.В. Пудиков,
кандидат техн. наук

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ПЕРВОГО КЛАССА НАГРУЗОК СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Современное направление развития автоматизации характеризуется устойчивой тенденцией к созданию специальных управляющих вычислительных комплексов на основе использования микроЭВМ, программируемых логических контроллеров, что требует совершенствования алгоритмов работы систем управления системами кондиционирования воздуха (СКВ).

Статья посвящена разработке системы автоматического управления СКВ на основе организации энергосберегающих режимов обработки воздуха. Приведен краткий анализ энергосберегающих режимов обработки воздуха.

Ключевые слова: система вентиляции и кондиционирования воздуха, система автоматического управления, энергосберегающие режимы обработки воздуха

ВВЕДЕНИЕ

В начале 90-х годов прошлого века доктором технических наук, профессором А. Рымкевичем были разработаны управляемые технологические процессы в системах кондиционирования воздуха, обеспечивающие минимизацию потребления тепловой и электрической энергии (рис. 1) [1, 2]. Полученные А. Рымкевичем результаты, как правило, находятся в полном противоречии с теми решениями по организации технологических процессов, которые используются в современной практике проектирования систем [4, 5].

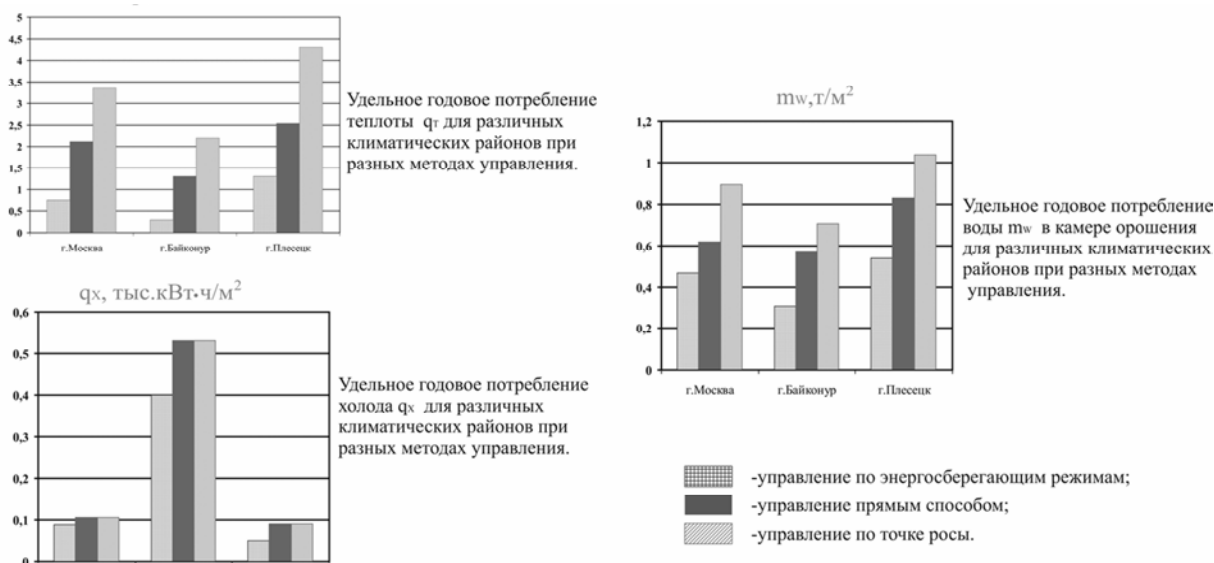


Рис. 1. Сравнительная характеристика удельных переменных годовых эксплуатационных затрат при различных методах управления СКВ

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА ДЛЯ ПЕРВОГО КЛАССА НАГРУЗОК

Согласно методу, разработанному А. Рымкевичем, термодинамическую модель обработки воздуха (ТДМ) в системах кондиционирования воздуха (СКВ) можно привести к одному из четырех классов нагрузок.

Для реализации ТДМ, обеспечивающей энергосберегающие режимы, необходимо учитывать тепло- и влагоизбытки и газовый состав воздуха в обслуживаемом объекте. Данное положение реализует принцип управления СКВ по отклонению и возмущению. Суть принципа заключается в том, что любые возмущения, происходящие внутри обслуживаемого объекта, должны учитываться САУ СКВ при построении ТДМ в каждый момент времени.

На рис. 2 изображена ТДМ с первым классом нагрузок. Подробное описание построения ТДМ с первым классом нагрузок представлено в [1]. К его особенностям следует отнести отсутствие первой рециркуляции, что упрощает задачу по регулированию наружного и приточного воздуха. Реализация энергосберегающих режимов обработки воздуха делает необходимым применение цифровых вычислительных устройств [программируемых логических контроллеров (ПЛК)], в которых будет скомпилирован алгоритм расчета ТДМ. Такой программный продукт разработан кандидатом технических наук доцентом Н. Коченковым под руководством А. Рымкевича [2], [4].

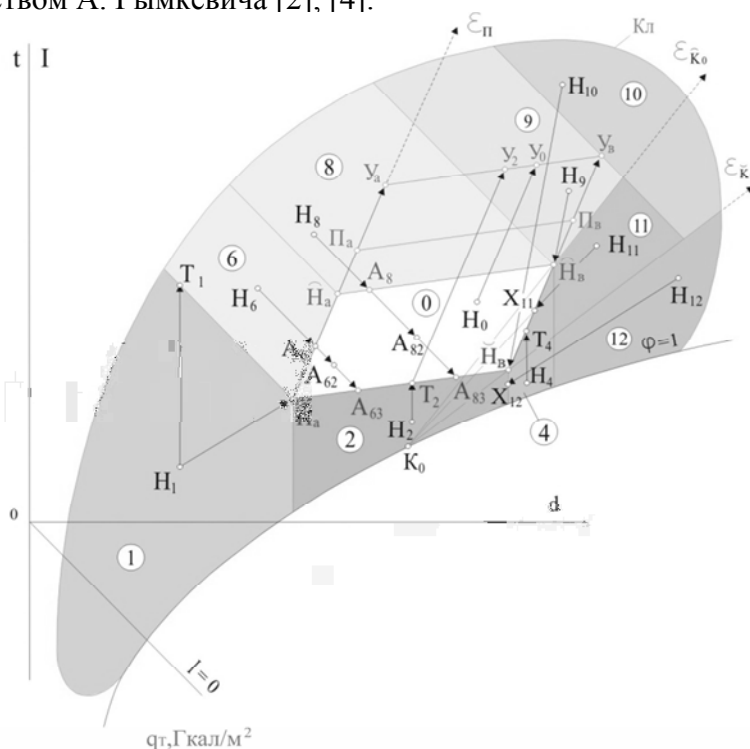


Рис. 2. Термодинамическая модель для первого класса нагрузок

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ПЕРВОГО КЛАССА НАГРУЗОК

На рис. 3 представлена функциональная схема САУ СКВ для первого класса нагрузок, обслуживающей помещения первого типа [2]. Условные обозначения схемы соответствуют сокращениям, принятым в [3]: $F_{нар}$, $F_{рец}$ – расход наружного воздуха и рециркуляционного воздуха; $t_{нар}$ – температура наружного воздуха; ВН1, ВН2 – калориферы первого и второго подогрева; КО – камера орошения; В1, В2 – вентиляторы; КЗ – регулирующий клапан наружно-

го и рециркуляционного воздуха; К2, К6 – регулирующие клапаны теплоносителя; К4, К5 – регулирующие клапаны подачи отепленной и холодной воды в камеру орошения; К7 – регулирующий клапан приточного и рециркуляционного воздуха; F_1 , F_2 – расход теплоносителя через калориферы 1-го и 2-го подогрева; $t_{ко}$ – температура после камеры орошения; TE1...TE7 – датчики температуры; PE1 – датчик давления; TSC1...TSC3 – регуляторы температуры; FSC1 – регулятор расхода воздуха; $t_{пр}$ – температура приточного воздуха; $t_{раб}$ – температура воздуха в рабочей зоне; ME1...ME4 – датчики влажности.

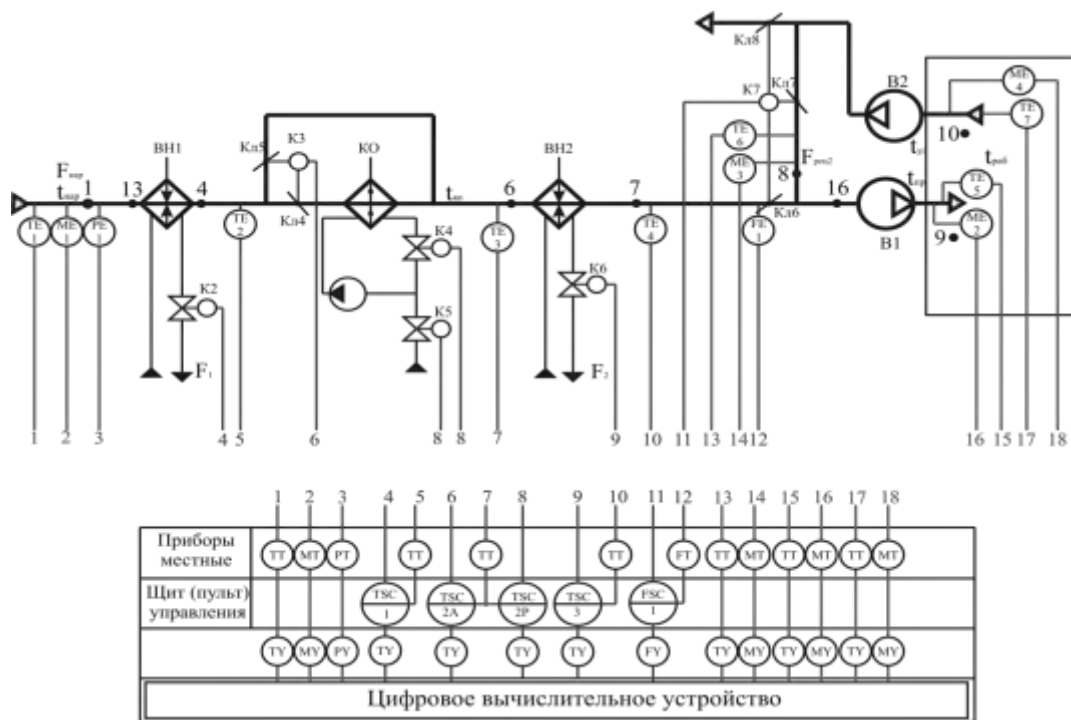


Рис. 3. Функциональная схема САУ СКВ для первого класса нагрузок

Система имеет два воздухонагревателя ВН1, ВН2, камеру орошения КО, способную осуществлять адиабатный или политропный процессы обработки воздуха, приточный вентилятор В1, вытяжной вентилятор В2, три регулятора температуры TSC1...TSC3, регулятор расхода воздуха FSC1, семь датчиков температуры TE2...TE7, четыре датчика влажности (влагомера) ME1...ME4, шесть регулирующих клапанов К2...К6, цифровое вычислительное устройство, роль которого выполняет ПЛК.

Информация о термодинамическом состоянии наружного воздуха (давление – от датчика PE1, температура – от датчика TE1, влажность – от датчика ME1), о состоянии воздуха в рабочей зоне (температура – от датчиков Т5, Т7, влажность – от датчиков ME3, ME4) и состоянии воздуха в воздуховоде второй рециркуляции (температура – от датчика TE6, влажность – от датчика ME2) поступает в ПЛК, в котором предварительно указывается рабочая область, внутри которой необходимо поддерживать термодинамические параметры воздуха, перепад температур Δt приточного воздуха $t_{пр}$ и температуры воздуха в рабочей зоне $t_{раб}$. ПЛК, выполнив соответствующие вычисления, передает на регуляторы температуры TSC1...TSC3 и регулятор расхода воздуха FSC1 требуемые значения температур, которые необходимо обеспечивать после каждого этапа обработки воздуха.

Регулятор температуры TSC1 путем сравнения действительного значения температуры, поступающего от датчика TE2, и заданного ПЛК настраивает клапан К2 так, чтобы действующее значение стало равным расчетному. Аналогично работает регулятор TSC3 для воздухонагревателя ВН2. Регулятор расхода воздуха FSC1 регулирует положение клапанов К3,

К4, К5 таким образом, чтобы действующее значение температуры (поступающее от датчика ТЕ7) выровнялось с расчетным значением, поступающим на регулятор от ПЛК.

В режиме адиабатной обработки воздуха камерой орошения управляет регулятор ТSCA2, для приведения значения, поступающего от датчика ТЕ3, к требуемому он регулирует положение воздушных заслонок через клапан К3. В режиме политропного охлаждения воздуха камерой орошения управляет регулятор ТSCP2, который при помощи клапанов К4 и К5 изменяет подачу охлажденной воды в камеру орошения.

Регулятор расхода воздуха FCS2 настраивает регулирующий клапан К7 на воздуховоде наружного воздуха согласно численному значению расхода воздуха через него, полученному от ПЛК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен вариант построения САУ СКВ на основе организации энергосберегающих режимов обработки воздуха, рассмотрен алгоритм работы САУ СКВ.

Реализация предложенной в статье системы управления позволит снизить стоимость годовых эксплуатационных затрат на СКВ на 35–40 % [4, 5].

Список используемых источников

1. *Рымкевич А. А.* Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – СПб.: Арктика, 2003. – 272 с.
2. *Коченков Н. В.* Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 399 с.
3. *Сеньченков В. И.* Проектная документация систем автоматизации: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 68с.
4. *Пудиков В. В.* Структура основных операций оптимального алгоритма управления СКВ // Сб. трудов военно-научной конференции космических войск. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005. – Т. 1. – С. 32–35.
5. *Пудиков В. В., Глуханов А. С.* Организация совместного функционирования центральной СКВ и смежных систем микроклимата // Сборник статей и тезисов докладов постоянно действующего межвузовского НПС. – СПб.: ВИТУ, 2009. – Вып. 12. – С. 43–49.

В.В.Пудиков,
кандидат техн. наук;
С.Р. Шулика

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Публикация посвящена анализу существующих методов регулирования современных центральных систем кондиционирования воздуха. Рассмотрены термодинамические модели каждого из методов. Указаны недостатки и достоинства существующих методов.

Ключевые слова: система вентиляции и кондиционирования воздуха, система автоматического управления, энергосберегающие режимы обработки воздуха, регулирование по точке росы.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ методов регулирования центральных систем кондиционирования воздуха (СКВ) показывает, что наиболее широкое распространение из них получили следующие [1, 2, 4, 5]:

- 1) метод точки росы;
- 2) метод прямого регулирования (по влажности воздуха в помещении);
- 3) смешанный метод регулирования (сочетает в себе метод точки росы и прямое регулирование).

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПО МЕТОДУ ТОЧКИ РОСЫ

Наибольшую известность приобрело регулирование по методу точки росы. Такой метод управления был разработан и научно обоснован в середине прошлого столетия. Следует отметить, что он не претерпел значительных изменений и в наши дни. Главным его достоинством является простота управления. Однако главным недостатком такого метода регулирования является перерасход переменной составляющей эксплуатационных затрат [1, 2, 5] (рис. 1 и 2).

Различают регулирование прямоточных СКВ и регулирование с первой рециркуляцией. Термодинамическая модель (ТДМ) прямоточной СКВ показана на рис. 1.

С точки зрения энергосбережения СКВ с первой рециркуляцией более экономичны по сравнению с прямоточными СКВ [4, 5]. Поэтому подробнее остановимся именно на них.

Термодинамическая схема СКВ с первой рециркуляцией изображена на рис. 2.

Из схемы видно, что всю область наружного климата условно можно разбить на 5 периодов: зимний (1-й и 2-й), переходный, летний (1-й и 2-й). В настоящее время данная термодинамическая модель нашла широчайшее применение в практике проектирования СКВ.

Функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) СКВ с первой рециркуляцией представлена на рис. 3.

Как видно из схемы, в САР СКВ по методу точки росы используются всего лишь два датчика температуры и два терморегулятора. Управляющими параметрами для всей САР является температура t_p точки росы после камеры орошения и температура t внутри обслуживаемого помещения.

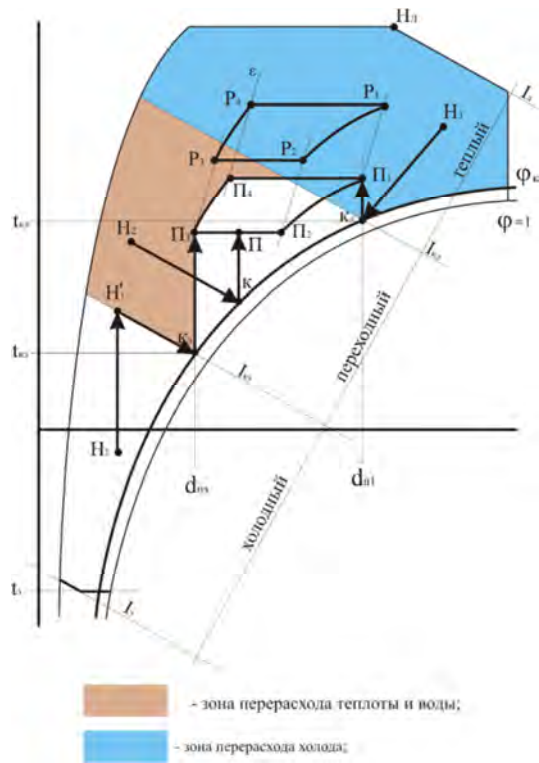


Рис. 1. Термодинамическая модель обработки воздуха в прямоточных СКВ по методу точки росы: $П_1, П_2, П_3, П_4$ – область приточного воздуха; P_1, P_2, P_3, P_4 – рабочая область; H_1, H_2, H_3 – характерные точки наружного климата

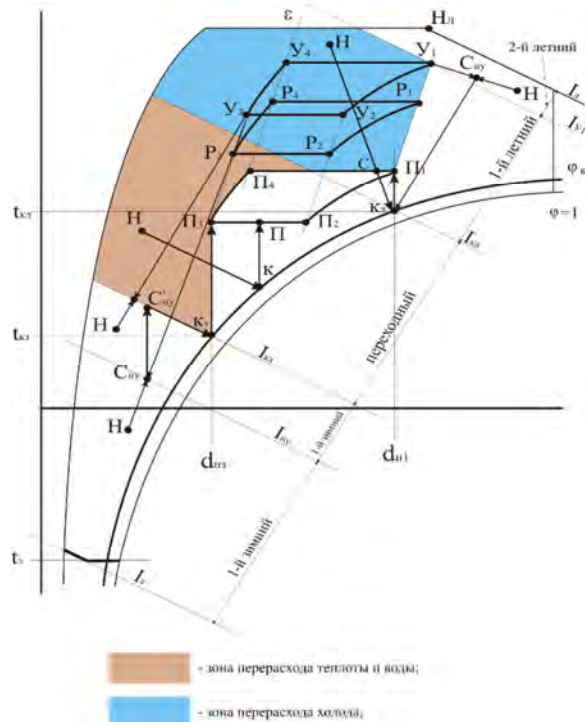


Рис. 2. Термодинамическая модель обработки воздуха в СКВ с первой рециркуляцией по методу точки росы: $П_1, П_2, П_3, П_4$ – область приточного воздуха; P_1, P_2, P_3, P_4 – рабочая область; $У_1, У_2, У_3, У_4$ – область удаляемого воздуха; H – характерные точки наружного климата

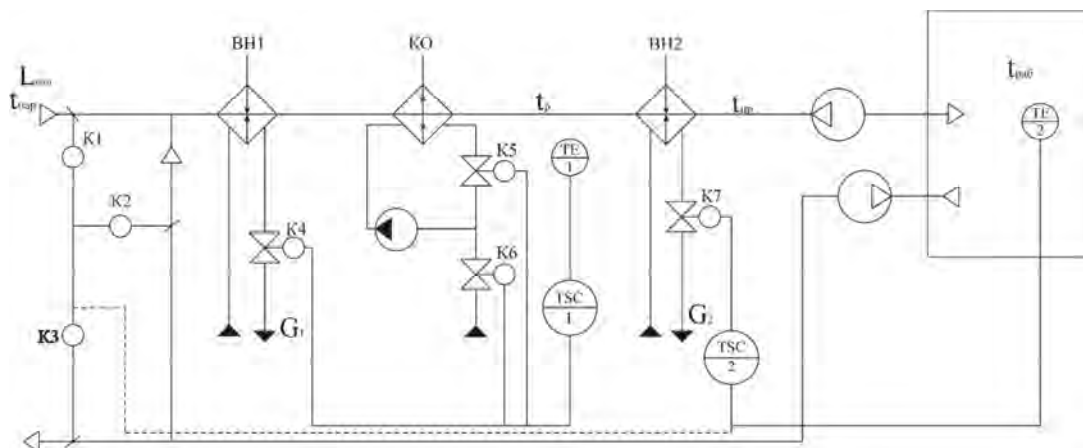


Рис. 3. Функциональная схема САР СКВ с первой рециркуляцией:
 ВН1, ВН2 – воздухонагреватели первого и второго подогревов; КО – камера орошения;
 к1, к2, к3 – регулирующие клапаны наружного и рециркуляционного воздуха;
 к4, к7 – регулирующие клапаны теплоносителя; к4, к5 – клапаны подачи отепленной
 и холодной воды в камеру орошения; TSC1, TSC2 – терморегуляторы

Простота управления – вот главное достоинство САР СКВ по методу точки росы.

Однако существует целый ряд недостатков, присущих этому методу, к которым можно отнести следующие:

- 1) отсутствие «гибкости» термодинамической схемы, т.е. система недостаточно эффективно реагирует на изменение значения вектора тепловлажностного отношения ε (вследствие изначального построения термодинамической схемы);
- 2) значительный перерасход энергии и ресурсов;
- 3) зачастую необоснованное габаритное увеличение применяемого оборудования (в ТДМ не рассматривается применение второй рециркуляции, позволяющей снизить расход воздуха, проходящего через кондиционер и, как следствие, габариты применяемого оборудования);
- 4) не используется термодинамический потенциал наружного воздуха.

ПРЯМОЙ МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ

Прямой метод регулирования подразумевает наличие в обслуживаемом помещении датчика влагосодержания. Характерным для этого метода является также наличие регулируемого байпаса через камеру орошения (с целью достижения определенной влажности после камеры орошения). Термодинамическая модель обработки воздуха прямым методом регулирования показана на рис. 4, а функциональная схема системы автоматического регулирования – на рис. 5.

Главным отличием от предыдущего метода регулирования является обязательное наличие датчиков влажности и влагорегуляторов. Управление прямым способом является более экономичным (рис. 2 и 4), чем регулирование по методу точки росы, однако такого же широкого распространения этот метод не получил вследствие длительного отсутствия стабильно работающих датчиков относительной влажности (влагосодержания) [1, 2, 5]. В этом случае регулирующими параметрами в системе будут показания температуры и относительной влажности в обслуживаемом помещении. Однако и этот метод регулирования обладает существенным недостатком – он не может использовать весь термодинамический потенциал наружного воздуха, использование которого является главным компонентом энергосберегающих режимов обработки воздуха.

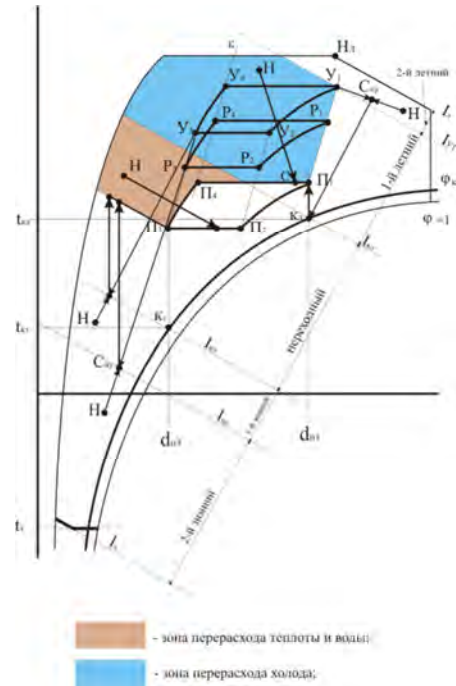


Рис. 4. Термодинамическая модель обработки воздуха прямым способом регулирования

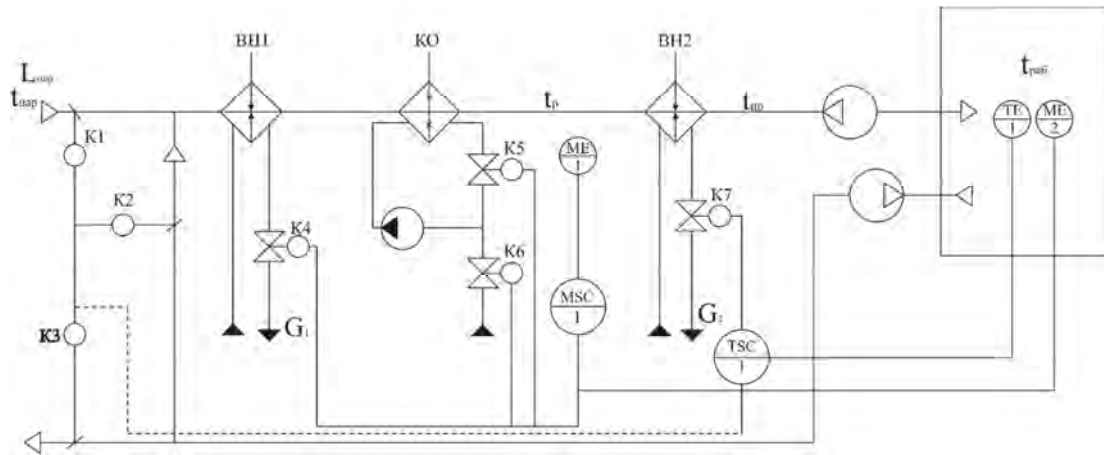


Рис. 5. Функциональная схема САП СКВ по прямому способу регулирования

СМЕШАННЫЙ МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ

Смешанный метод управления сочетает в себе признаки как управления по методу точки росы, так и прямого регулирования. Он обладает преимуществами и недостатками вышеречисленных методов управления.

Несмотря на то, что современный уровень развития оборудования элементов СКВ, приборов автоматизации достиг высокого развития, существующие методы регулирования центральными СКВ значительных изменений не претерпели. В настоящее время создаются реальные предпосылки для качественного улучшения систем управления СКВ с целью значительного снижения энергопотребления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены существующие методы управления центральными СКВ.

В результате проведенного анализа указано, что ни один из методов регулирования не позволяет в полной мере реализовать термодинамический потенциал наружного воздуха, а значит, реализовать энергосберегающие режимы обработки воздуха.

Список используемых источников

1. *Рымкевич А. А.* Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – СПб.: Арктика, 2003. – 272 с.
2. *Коченков Н. В.* Энергосберегающие режимы систем кондиционирования воздуха: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 399 с.
3. *Сеньченков В. И.* Проектная документация систем автоматизации: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 68 с.
4. *Карпис Е.Е.* Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986.
5. *Новгородский Е.Е.* Энергосберегающие установки теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие. – Ростов н/Д.: РИСИ, 1991. – 124 с.

Л.Б. Сватовская,
доктор техн. наук, профессор
ПГУПС Императора Александра I, г. Санкт-Петербург;
Д.С. Старчуков,
кандидат техн. наук;
Р.Б. Шмаков,
кандидат техн. наук

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА ЗОЛЬСОДЕРЖАЩИМИ СОСТАВАМИ

Приведена математическая модель описания поверхностного упрочнения высокопрочного бетона при использовании зольсодержащих составов, которая позволяет предопределять (предвычислять) будущие физико-химические характеристики получаемого бетона и в случае необходимости использовать их для своевременной корректировки этого процесса путем вычисления величины управляющих воздействий с дифференцированным выбором сочетаний каналов управления с учетом строгих технологических ограничений. Решена комплексная оптимизационная задача при поверхностном упрочнении бетона зольсодержащими составами, что дало возможность получить бетон с улучшенными показателями качества материала.

Ключевые слова: комплексная оптимизационная задача, физико-химические характеристики, технологические параметры и показатели качества, модифицированный высокопрочный бетон, зольсодержащие составы.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость повышения целевых показателей высокопрочного бетона обусловила выполнение анализа технологических факторов процесса поверхностного упрочнения бетона в условиях операционного управления и обеспечения при этом технологически рекомендуемых режимов [1].

Анализ технологических факторов выполнен с учетом оценки уровня их влияния на формирование качественных показателей бетона и соответственно их контролируемости, потенциальной и оперативной управляемости, а также минимальной вероятности их дестабилизирующего влияния на процесс упрочнения бетона при внесении управляющих воздействий [2].

При выборе уровня влияния факторов на формирование качественных показателей бетона для предварительной оценки были приняты во внимание теоретические положения модифицирования высокопрочных бетонов с учетом требуемых свойств, описанные ранее [3–4].

По результатам выполненного анализа в соответствии с приведенными требованиями на стадии твердения бетона установлены факторы, наиболее значимые по уровню влияния на формирование качественных показателей бетона:

- x_1 – время выдержки образцов до распалубки;
- x_2 – время пропитки образцов;
- x_6 – размер частиц;
- x_7 – концентрация золя;
- x_9 – масса поглощенного золя.

Контролируемость и управляемость этих факторов конструктивно обеспечена в структуре формирования бетона, а использование их различных сочетаний может быть применимо при выборе режимов технологического процесса.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗОЛЬСОДЕРЖАЩИХ СОСТАВОВ

Многофункциональная задача оптимизации показателей качества в процессе поверхностного упрочнения высокопрочного бетона обусловила необходимость разработки математической модели процесса.

К значимым физико-химическим характеристикам следует отнести следующие:

x_5 (ΔG_{298}^0) – изменение энергии Гиббса, кДж/моль;

x_3 ($\mu_{\text{крист.}}$) – количество воды в кристаллической фазе, %;

x_4 ($\mu_{\text{Ca(OH)}_2}$) – количество гидроксида кальция, %.

К показателям качества высокопрочного бетона относятся:

y_1 ($HМ$) – твердость, единицы;

y_2 ($R_{\text{сж}}$) – прочность при сжатии, МПа;

y_3 ($k_{\text{корр}}$) – коэффициент коррозионной устойчивости.

На основании имеющихся материалов научных исследований, связанных с математическим представлением зависимости качественных показателей бетона от технологических факторов процесса, а также анализа их совместного влияния с учетом допустимого диапазона влияния и аппаратурной обеспеченности, для математического моделирования приняты следующие факторы:

x_1 – время выдержки образцов до распалубки, ч;

x_2 – время пропитки образцов, сутки;

x_6 – размер частиц, мкм;

x_7 – концентрация золя, %;

x_9 – масса поглощенного золя, г.

При математическом описании ниже применены методы регрессионного анализа. С учетом технологических ограничений зависимость для физико-химических показателей принята в следующем виде:

$$x_5(x_1, x_2, x_6) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_6 + a_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_5 \cdot x_1 \cdot x_6 + a_6 \cdot x_2 \cdot x_6 + a_7 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_6; \quad (1)$$

$$x_3(x_1, x_2, x_7) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_7 + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + b_5 \cdot x_1 \cdot x_7 + b_6 \cdot x_2 \cdot x_7 + b_7 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_7; \quad (2)$$

$$x_4(x_1, x_2, x_7) = c_0 + c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + c_3 \cdot x_7 + c_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + c_5 \cdot x_1 \cdot x_7 + c_6 \cdot x_2 \cdot x_7 + c_7 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_7. \quad (3)$$

В процессе исследования процесса формирования высокопрочного бетона осуществлялся сбор, обработка и анализ данных, полученных в результате пассивного эксперимента. Для обеспечения возможности сравнения значимости коэффициентов уравнения регрессии результаты представлены в относительных единицах, определяемых в соответствии с выражением

$$\delta x(i) = x(i)_{\text{отн}} = 2 \frac{x(i) - x(i)_{\text{ном}}}{x(i)_{\text{max}} - x(i)_{\text{min}}}, \quad (4)$$

где $\delta x(i) = x(i)_{\text{отн}}$ – относительное значение отклонения параметра $x(i)$ от номинального значения;

$$x(i)_{\text{ном}} – \text{номинальное значение параметра, } x(i)_{\text{ном}} = \frac{x(i)_{\text{min}} + x(i)_{\text{max}}}{2};$$

$x(i)_{\text{max}}, x(i)_{\text{min}}$ – максимальное и минимальное значения параметра соответственно.

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

После обработки экспериментальных данных, полученных при проведении пассивного эксперимента, были вычислены значения коэффициентов регрессии (в относительных единицах) для расчета физико-химических параметров качества бетона.

Таблица 1

**Результаты экспериментальных исследований физико-химических факторов
(в относительных единицах)**

δx_1	δx_2	δx_6	δx_7	δx_5	δx_3	δx_4
-1,0000	0,8929	-0,9329	0,3174	-0,7810	0,7778	-0,7143
-1,0000	0,8929	-0,9329	0,3174	-0,7810	0,7778	-0,7143
-1,0000	0,8929	-0,9329	0,3174	-0,7810	0,7778	-0,7143
-1,0000	0,8929	-0,9329	0,3174	-0,7810	0,7778	-0,7143
-1,0000	0,8929	0,0067	1,0000	-0,6598	1,0000	-0,7143
-0,9310	-1,0000	0,0000	-0,3652	0,7112	-0,7778	-1,0000
-0,9310	0,5357	-0,7987	0,3174	-0,8616	0,3333	-0,9429
-0,9310	0,5357	-0,7987	0,3174	-0,8616	0,4222	-0,9429
-0,9310	0,5357	-0,7987	0,3174	-0,8616	0,5556	-0,8286
-0,9310	0,5357	-0,7987	-0,9113	-0,8616	-0,3333	-0,8286
-0,9310	1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-0,6444	-0,7143
-0,3793	-0,5357	-0,4631	-0,9590	-0,0381	-0,8667	-0,4286
0,0345	-1,0000	1,0000	-0,8430	1,0000	-1,0000	-0,1429
0,0345	-1,0000	1,0000	-0,8430	1,0000	-0,9111	-0,0286
0,0345	-1,0000	1,0000	-0,8430	1,0000	-0,9556	0,0286
0,0345	-1,0000	1,0000	-0,8430	1,0000	-1,0000	0,0857
0,0345	0,0000	0,0000	-0,9249	-0,2700	-0,6444	0,1429
0,0345	1,0000	-1,0000	0,3174	-0,2587	-0,1111	0,2000
0,0345	1,0000	1,0000	-0,9113	0,4946	-0,2000	0,3143
0,3103	0,5357	-0,4631	-0,9249	-0,4224	-0,6889	0,4286
1,0000	-1,0000	-1,0000	1,0000	0,9278	-0,4222	-0,1429
1,0000	1,0000	-1,0000	1,0000	0,2298	-0,2000	1,0000
1,0000	1,0000	-1,0000	1,0000	0,2298	0,2000	1,0000
1,0000	1,0000	-1,0000	-0,9113	0,2298	-0,6444	1,0000

Уравнения могут быть представлены в следующем виде:

$$\delta x_5(\delta x_1, \delta x_2, \delta x_6) = 0,1279 + 0,0574 \cdot \delta x_1 - 0,1619 \cdot \delta x_2 + 0,5303 \cdot \delta x_6 + 0,5620 \cdot \delta x_1 \delta x_2 - 0,8611 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_6 - 0,2331 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_6 + 0,9791 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_6; \quad (5)$$

$$\delta x_3(\delta x_1, \delta x_2, \delta x_7) = -0,311 - 0,241 \cdot \delta x_1 + 0,3771 \cdot \delta x_2 + 0,4404 \cdot \delta x_7 - 0,1617 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 - 0,1271 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_7 + 0,1148 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_7 - 0,1405 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_7; \quad (6)$$

$$\delta x_4(\delta x_1, \delta x_2, \delta x_7) = -0,1315 + 0,8913 \cdot \delta x_1 + 0,3227 \cdot \delta x_2 - 0,2467 \cdot \delta x_7 + 0,0474 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 - 0,0852 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_7 + 0,2199 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_7 - 0,0207 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_7. \quad (7)$$

Проверка по критерию Фишера показала следующие результаты:

– для уравнения (5)

$$51,49 > 2,24;$$

– для уравнения (6):

$$47,43 > 2,24;$$

– для уравнения (7):

$$218,95 > 2,24.$$

Проверка адекватности, проведенная по критерию Фишера, подтвердила статистическую значимость моделей для значения доверительной вероятности $\beta = 95\%$ при изменении параметров в пределах границ эксперимента:

$$\begin{aligned}
 -1 \leq \delta x_1 \leq 1, & \quad -1 \leq \delta x_6 \leq 1, & \quad 1 \leq \delta x_5 \leq 1, \\
 -1 \leq \delta x_2 \leq 1, & \quad -1 \leq \delta x_7 \leq 1, & \quad -1 \leq \delta x_3 \leq 1, \\
 & & \quad -1 \leq \delta x_4 \leq 1.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ УПРОЧНЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА ЗОЛИРОВАНИЕМ

При разработке технологии упрочнения бетона возникает множество вариантов решения поставленной задачи. Однако необходимо остановить свой выбор на тех из них, которые отвечают определенным критериям. С этой целью предстоит решить следующую оптимизационную задачу. Необходимо найти оптимальные значения технологических факторов процесса поверхностного упрочнения высокопрочного бетона ($\delta x_1, \delta x_2, \delta x_6, \delta x_7, \delta x_9$) в области допустимых значений в соответствии со следующими критериями оптимизации:

- 1) изменение энергии Гиббса $\delta x_5 \rightarrow \min$;
- 2) количество воды в кристаллической фазе $\delta x_3 \rightarrow \max$;
- 3) количество гидроксида кальция $\delta x_4 \rightarrow \min$.

На рис. 1 представлена исходная структурная схема формирования физико-химических показателей высокопрочного бетона при поверхностном упрочнении.

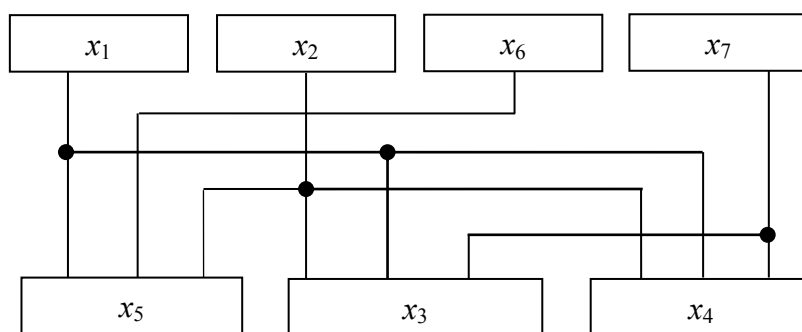


Рис. 1. Структурная схема формирования физико-химических показателей (микроуровень) в процессе поверхностного упрочнения высокопрочного бетона

Технологически допустимые пределы изменения параметров процесса поверхностного упрочнения высокопрочного бетона приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технологически допустимые пределы изменения параметров процесса поверхностного упрочнения высокопрочного бетона

№ п/п	Наименование	Единица измерения	В натуральных единицах			В относительных единицах		
			$x_{(i)\min}$	$x_{(i)\text{nom}}$	$x_{(i)\max}$	$\delta x_{(i)\min}$	$\delta x_{(i)\text{nom}}$	$\delta x_{(i)\max}$
Наименование технологических факторов								
x_1	Время выдержки образцов до распалубки	ч	22,0	51,0	80,0	-1	0	1
x_2	Время пропитки образцов	сутки	3,4	9,0	14,6	-1	0	1
x_6	Размер частиц	мкм	0,005	0,0795	0,154	-1	0	1
x_7	Концентрация золя	%	0,070	1,535	3,000	-1	0	1

Окончание табл. 2

№ п/п	Наименование	Единица измерения	В натуральных единицах			В относительных единицах		
			$x_{(i)min}$	$x_{(i)nom}$	$x_{(i)max}$	$\delta x_{(i)min}$	$\delta x_{(i)nom}$	$\delta x_{(i)max}$
x_9	Масса поглощенного золя	г	400	500	600	-1	0	1
Наименование физико-химических показателей								
x_5 (ΔG^0_{298})	Изменение энергии Гиббса	кДж/моль	-585	-336	-86	-1	0	1
x_3 ($\mu_{крисст}$)	Количество воды в кристаллической фазе	%	10,0	32,5	55,0	-1	0	1
x_4 ($\mu Ca(OH)_2$)	Количество гидроксида кальция	%	1,50	3,25	5,00	-1	0	1
Наименование физико-механических показателей								
y_1 (HM)	Твердость	единицы	100	170	240	-1	0	1
y_2 ($R_{сж}$)	Прочность при сжатии	МПа	393	687	980	-1	0	1
y_3 ($k_{кор}$)	Коэффициент коррозионной устойчивости	–	20	60	100	-1	0	1

Регрессионные модели формирования физико-химических показателей (1)–(3), а также технологически допустимые ограничения приведены в табл. 2.

Значимости показателей (весовые коэффициенты), определенные методом экспертных оценок, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Весовые коэффициенты показателей

Обозначение показателя	Весовые коэффициенты	
	обозначение	значение
δx_5	Cx_5	0,50
δx_3	Cx_3	0,25
δx_4	Cx_4	0,25

РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Для нахождения решения необходимо с учетом требований критериев оптимизации сформировать целевую функцию:

$$L_{1-1} = Cx_5 \cdot \delta x_5 - Cx_3 \cdot \delta x_3 + Cx_4 \cdot \delta x_4 \rightarrow \min, \quad (9)$$

где L_{1-1} – целевая функция.

Подставив в формулу (5) соответствующие выражения для x_5 , x_3 и x_4 , а также значения весовых коэффициентов, получим выражение для целевой функции:

$$L_{1-1} = 0,1088 + 0,3118 \cdot \delta x_1 - 0,0946 \cdot \delta x_2 + 0,2652 \cdot \delta x_6 - 0,1718 \cdot \delta x_7 + 0,3348 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 - \\ - 0,4306 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_6 + 0,0105 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_7 - 0,1166 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_6 + 0,0263 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_7 + 0,4896 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_6 + \\ + 0,03 \cdot \delta x_1 \cdot \delta x_2 \cdot \delta x_7 \rightarrow \min.$$

Для расчета значений параметров процесса, обеспечивающих требуемое минимальное значение целевой функции в пределах границ эксперимента, определяющих область поиска оптимального сочетания параметров, использована процедура *Solver Parameters*, являющаяся стандартным приложением *Microsoft Excel*. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты расчета оптимальных значений параметров
технологического процесса**

δx_1	δx_2	δx_6	δx_7	δx_5	δx_3	δx_4	L_{1-1}
-1,000	0,6281	-0,9775	1,000	-0,7810	0,7778	-0,7143	-0,9651

Анализ полученных результатов показывает, что найдено оптимальное сочетание параметров, при которых значение целевой функции L_{1-1} принимает минимальное значение и при этом выполняются все ограничения как для самих параметров (x_1, x_2, x_6, x_7), так и для функций (x_5, x_3, x_4).

Для преобразования относительных значений в натуральные воспользуемся следующей зависимостью:

$$x_{(i)} = x_{(i)\text{ном}} + \frac{\delta x_{(i)\text{отн}} (x_{(i)\text{макс}} - x_{(i)\text{мин}})}{2}. \quad (10)$$

Искомые значения параметров приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Результаты расчета оптимальных значений параметров технологического процесса
поверхностного упрочнения высокопрочного бетона золированием**

Значения параметров	x_1	x_2	x_6	x_7	x_5	x_3	x_4
В относит. ед.	-1,000	0,6281	-0,9775	1,000	-0,7810	0,7778	-0,7143
В натур. ед.	22,0	12,5	0,0067	3,000	-530	50,0	2,00
Ед. измерения	ч	сутки	мкм	%	кДж/моль	%	%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель описания поверхностного упрочнения высокопрочного бетона при использовании зольсодержащих составов. Предложенная математическая модель, в отличие от известных, является двухуровневой и устанавливает взаимосвязи микроуровня с макроуровнем материала, описывает глубокие взаимосвязи энергетических, технологических и физико-химических характеристик бетона, обеспечивающих получение сверхпрочного поверхностного слоя в высокопрочном бетоне и получение неорганической минеральной сверхпрочной обоймы за счет этого слоя.

Предложенная математическая модель описания поверхностного упрочнения позволяет предопределять (предвычислять) будущие физико-химические характеристики синтезируемого бетона и в случае необходимости использовать их для своевременной корректировки этого процесса путем вычисления величины управляющих воздействий с дифференцированным выбором сочетаний каналов управления с учетом строгих технологических ограничений.

Решена комплексная оптимизационная задача при поверхностном упрочнении бетона зольсодержащими составами, что дало возможность получить бетон с улучшенными показателями качества материала. Комплексная оптимизационная задача решена на основе разработанных математических моделей с учетом критериев оценки и их значимости.

Список используемых источников

1. *Балюбаш В.А., Алешичев С.Е.* Исследование и практика определения (расчета) состава многокомпонентных смесей // Научный журнал. – 2015. – № 3. – С. 54–59.
2. Руководство по подбору составов тяжелого бетона / НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 103 с.
3. Термодинамические параметры твердых гидратных фаз и качество строительных композиционных материалов / Л.Б. Сватовская, Д.С. Старчуков, М. Хаммади и др. // Транспортное строительство. – 2015. – № 6. – С. 24–25.
4. Управление качеством искусственных гидросиликатных материалов с помощью изменения термодинамических характеристик твердых гидратных фаз / Д.С. Старчуков, Л.Б. Сватовская, О.В. Юров и др. // Бетон и железобетон. – 2015. – № 5. – С. 15–17.

Д.С. Старчуков,
кандидат техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОВЕРХНОСТНОГО И ОБЪЕМНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ ЗОЛЬСОДЕРЖАЩИМИ РАСТВОРАМИ

Приведены математические модели описания физико-химических процессов модифицирования высокопрочных бетонов на основе поверхностного и объемного упрочнения зольсодержащими растворами, которые описывают различные организационные уровни при получении высокопрочного бетона. Предложенные модели являются двухуровневыми и устанавливают взаимосвязи микроуровня бетона с его макроуровнем, а также описывают сложные взаимосвязи физико-химических, технологических и физико-механических характеристик.

Ключевые слова: математические модели, физико-химические показатели, модифицированный высокопрочный бетон, зольсодержащие составы, зольсодержащие добавки.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость повышения целевых показателей качества сооружений, возводимых из высокопрочного бетона, обусловила выполнение анализа технологических факторов процесса упрочнения бетона в условиях операционного управления и обеспечения при этом технологически рекомендуемых режимов [1, 2].

Для упрочнения бетона существуют два пути: объемное и поверхностное упрочнение. Объемное упрочнение бетона является традиционным и представляет собой использование добавок в процессе приготовления бетонной смеси. Поверхностное упрочнение производят сразу, когда произошло схватывание бетонной смеси, при этом процессы гидратации цемента только начались, но уже имеется капиллярно-поровая структура искусственного камня. Особенностью поверхностного упрочнения является то, что оно позволяет значительно повысить прочность поверхностного слоя бетона по сравнению с упрочняемым ядром, что невозможно при традиционном объемном упрочнении.

Процесс изменения химического состава бетона при поверхностном (внешняя пропитка зольсодержащими составами) и объемном (использование зольсодержащих добавок внутри бетонной смеси) упрочнении был назван модифицированием.

Рассмотрим математическое описание процессов модифицирования высокопрочного бетона зольсодержащими растворами при поверхностном и объемном упрочнении с применением регрессионного анализа на основе предварительных экспериментальных данных.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ ЗОЛЬСОДЕРЖАЩИМИ СОСТАВАМИ

В случае поверхностной обработки бетона активаторами твердения возможно создание монолитной минеральной высокопрочной обоймы, которая будет обеспечивать бетону ряд новых физико-механических свойств, а именно: высокую твердость поверхности, высокую прочность в результате механического упрочнения ядра бетона такой поверхностью, а также высокую коррозионную устойчивость, то есть сохранит полученные физико-механические свойства во времени при воздействии агрессивных сред, что особенно актуально для заглубленных сооружений.

На рис. 1 показана схема построения регрессионных зависимостей физико-химических процессов модифицирования высокопрочного бетона золями при поверхностном и объемном упрочнении. Далее более подробно рассмотрим каждый из этих процессов.



Рис. 1. Схема построения математических моделей описания физико-химических процессов модифицирования высокопрочных бетонов на основе поверхностного и объемного упрочнения зольсодержащими растворами

В табл. 1 приведены свойства получаемого высокопрочного бетона при его модифицировании кремнезолом (поверхностное упрочнение).

Таблица 1

Показатели и факторы, используемые при построении двухуровневой системы уравнений (поверхностное модифицирование)

Физико-химические характеристики	Технологические параметры	Показатели качества высокопрочного бетона
Энергия Гиббса, кДж/моль	Время выдержки образцов до распалубки, ч	Твердость HB , единицы по шкале Мооса
Суммарные потери массы образцом, мг	Время пропитки, сутки	Прочность на сжатие R , МПа
	Размер частиц, мкм	
Количество воды в кристаллической фазе, мг	Концентрация золя, %	Коэффициент коррозионной защиты $k_{кор}$
	Масса поглощенного золя, г	

Первый уровень моделей отражает взаимосвязь глубоких физико-химических и энергетических характеристик процессов твердения, таких как энергия Гиббса, ΔG^0_{298} , (кДж/моль), количество воды в кристаллической фазе, а также суммарные потери массы образцом с важными технологическими факторами: x_1 – время выдержки образцов до распалубки, ч; x_2 – время пропитки образцов, сутки; x_6 – размер частиц, мкм; x_7 – концентрация золя, %; x_9 – масса поглощенного золя, г.

Регрессионные зависимости первого физико-химического уровня (микроуровень).

На первом уровне были построены регрессионные зависимости с семью факторами, учитывающие суммарный вклад выбранных технологических факторов, поскольку процессы твердения цемента в присутствии золя и процессы преобразования поверхностной энергии в энергию химических реакций с получением высокопрочной неорганической обоймы достаточно сложны и учитывают множество взаимосвязей.

Ниже представлены данные регрессионные зависимости.

1. Регрессионная зависимость энергии Гиббса ΔG^0_{298} (кДж/моль) основных твердых фаз неорганической обоймы от выбранных технологических параметров:

$$\Delta G^0_{298} = 0,1 + 0,1 \cdot x_1 - 0,2 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_6 + 0,6 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,9 \cdot x_1 \cdot x_6 - 0,2 \cdot x_2 \cdot x_6 + 1,0 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_6. \quad (1)$$

Критерий Фишера 52,26 (расчетное) > 2,24 (табличное).

2. Регрессионная зависимость количества воды в кристаллической фазе в неорганической обойме, $\mu_{крист}$ (%) от выбранных технологических параметров:

$$\mu_{крист} = -0,3 - 0,2 \cdot x_1 + 0,4 \cdot x_2 + 0,4 \cdot x_7 - 0,2 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,1 \cdot x_1 \cdot x_7 + 0,1 \cdot x_2 \cdot x_7 - 0,1 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_7. \quad (2)$$

Критерий Фишера 47,43 (расчетное) > 2,24 (табличное).

3. Регрессионная зависимость суммарной потери массы образцом (мг) в неорганической обойме от выбранных технологических параметров:

$$\mu = -0,1 + 0,9 \cdot x_1 + 0,3 \cdot x_2 - 0,2 \cdot x_7 + 0,05 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,09 \cdot x_1 \cdot x_7 + 0,2 \cdot x_2 \cdot x_7 - 0,02 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_7. \quad (3)$$

Критерий Фишера 218,95 (расчетное) > 2,24 (табличное).

Затем была отдельно построена результирующая регрессионная зависимость, показывающая, как зависит прочность полученной неорганической монолитной сверхпрочной обоймы $R_{\text{обоймы}}$ (МПа) от энергии Гиббса ее основных твердых фаз, размера частиц и концентрации вводимого зольа:

$$R_{\text{обоймы}} = -0,07 - 0,36 \cdot \Delta G_{298}^0 - 0,24 \cdot x_6 + 0,25 \cdot x_7. \quad (4)$$

Критерий Фишера 48,67 (расчетное) > 2,08 (табличное).

На втором уровне были построены модели для описания взаимосвязей уже выбранных технологических факторов с заданными физико-механическими характеристиками, такими как твердость, прочность и коррозионная устойчивость бетона. Для удобства сравнения значимости коэффициентов при факторах они представлены в абсолютных единицах [1]. Проверка по критерию Фишера показала, что модели адекватны.

Регрессионные зависимости второго физико-механического уровня (макроуровень).

На втором уровне для описания взаимосвязей параметров технологического процесса с показателями качества высокопрочного бетона и с целью использования построенных уравнений и результатов работы в других технологических условиях были построены регрессионные зависимости с тремя факторами, учитывающие как их индивидуальный, так и суммарный вклад.

1. Регрессионная зависимость твердости бетона $HВ$ (единицы) от выбранных технологических параметров:

$$HВ = -0,3 - 0,7 \cdot x_1 + 0,5 \cdot x_2 - 0,2 \cdot x_9. \quad (5)$$

Критерий Фишера 44,36 (расчетное) > 2,09 (табличное).

2. Регрессионная зависимость прочности при сжатии бетона $R_{\text{сж}}$ (МПа) от выбранных технологических параметров:

$$R_{\text{сж}} = -0,2 - 0,5 \cdot x_1 + 0,5 \cdot x_2 - 0,03 \cdot x_9. \quad (6)$$

Критерий Фишера 155,81 (расчетное) > 2,43 (табличное).

3. Регрессионная зависимость коэффициента коррозионной устойчивости $k_{\text{корр}}$ бетона от выбранных технологических параметров:

$$k_{\text{корр}} = -0,2 - 0,8 \cdot x_1 + 0,6 \cdot x_2 - 0,2 \cdot x_9. \quad (7)$$

Критерий Фишера 146,93 (расчетное) > 2,09 (табличное).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЪЕМНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ ЗОЛЬСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ

В случае объемного упрочнения высокопрочного бетона зольсодержащими добавками у модифицируемого высокопрочного бетона также будет появляться ряд новых физико-механических свойств, а именно: повышенная прочность на сжатие, повышенная морозостойкость и высокая водонепроницаемость.

Далее рассматривается вопрос математического описания процессов получения высокопрочного бетона с использованием зольсодержащих добавок, включающих частицы наноразмера, характеризующиеся высокой избыточной поверхностной энергией.

Математическое описание процесса модифицирования высокопрочного бетона зольсодержащими составами при объемном упрочнении было выполнено с применением регрессионного анализа на основе предварительных экспериментальных данных.

Введение зольсодержащих добавок можно отнести к энергосберегающим технологиям получения высокопрочных бетонов, поскольку при их использовании качество высокопрочных бетонов повышается без привлечения дополнительной тепловой и эклектической энергии. Вследствие своей неустойчивости такие вещества сбрасывают свою избыточную энергию при попадании в цементную систему, активируя ее таким образом и заставляя совершать дополнительную полезную работу, которая выразится в повышении физико-механических свойств бетона. Это повышение возможно за счет получения в каменной прослойке твердых фаз с низкими значениями энергии Гиббса, ΔG^0_{298} [кДж/моль], понижение которой в соответствии с третьим законом термодинамики и отражает избыточную работу, которую совершает система при упрочнении [3].

С целью описания сложных физико-химических процессов синтеза такого бетона, при которых идет преобразование поверхностной энергии вводимых наночастиц в химическую энергию реакций твердения цемента, а затем в механическую энергию прочности бетона, а также для оценки значимости факторов, влияющих на результирующие эксплуатационные характеристики бетона, предлагается идея создания двухуровневой системы уравнений с применением математического аппарата регрессионного анализа (рис. 1).

В табл. 2 показаны свойства получаемого высокопрочного бетона при использовании в качестве активирующей добавки комплексной добавки на основе золя гидроксида железа в сочетании со стабилизатором и суперпластификатором (объемное упрочнение) [4, 5].

Таблица 2

Показатели и факторы, используемые при построении двухуровневой системы уравнений (объемное модифицирование)

Физико-химические характеристики	Технологические параметры	Показатели качества высокопрочного бетона
Энергия Гиббса, кДж/моль	Размер частиц вводимого золя, нм	Прочность на сжатие R , МПа
Количество гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, мг	Количество цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$	Морозостойкость F , циклы
	Концентрация вводимого золя, %	
Количество воды в кристаллической фазе, мг	Температура ТВО, $^{\circ}\text{C}$	Водонепроницаемость W , МПа
	Количество добавки от массы цемента, %	

Регрессионные зависимости первого физико-химического уровня (микроуровень).

На первом уровне уравнения описывают взаимосвязь принципиальных энергетических и физико-химических факторов, таких как энергия Гиббса, количество гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и количество воды в кристаллической фазе (y_1 – y_3) с химико-технологическими факторами, такими как размер вводимых наночастиц и концентрация вводимого золя, а также количество расходуемого цемента (x_1 – x_5). На следующем, втором уровне система уравнений связывает химико-технологические факторы (x_1 – x_5) с показателями качества бетона – прочностью при сжатии, морозостойкостью и водонепроницаемостью (y_4 – y_6). Таким образом, в общей системе уравнений математически описана глубокая взаимосвязь показателей качества высокопрочного бетона с технологическими параметрами и физико-химическими характеристиками (табл. 2).

При построении моделей выбирались различные классы функций, описывающие взаимосвязь между независимыми факторами и случайной величиной y , а именно, были построены трехфакторные, семифакторные и десятифакторные уравнения регрессии. При этом, по-

скольку размерность значений выбранных факторов различна, то сравнивать значимость коэффициентов в уравнении регрессии, полученных в результате расчетов, не совсем корректно.

С целью удобства сравнения коэффициентов была использована процедура вычисления относительного отклонения значения факторов от номинального с получением их значений в относительных единицах:

$$x_{i,\text{отн.ед}} = (x_i - \text{ном})/\text{ном}. \quad (8)$$

Далее представлены полученные регрессионные модели различного класса с коэффициентами при факторах в натуральных и относительных единицах, а также графики, иллюстрирующие, насколько адекватно полученные уравнения регрессии описывают экспериментальные данные. Для каждого вида уравнения приведено сравнение расчетного и табличного значения критерия Фишера, с помощью этого оценивается адекватность полученных зависимостей.

Ниже представлены данные регрессионные зависимости.

1. Регрессионные зависимости, описывающие взаимосвязь содержания воды в кристаллической фазе полученных твердых фаз бетона, мг (y_1), с выбранными технологическими параметрами:

$$y_1 = 53,1 - 7,5x_1 + 0,01x_2 - 41,8x_3 \text{ (натуральные единицы);} \quad (9)$$

$$y_1 = 0,2 - 0,06x_1 + 0,1x_2 - 1,2x_3 \text{ (относительные единицы).} \quad (10)$$

Критерий Фишера расчетный $\sigma^2/\sigma_1^2 = 647,39$, где σ^2 – общая дисперсия результатов наблюдений (дисперсия выходной переменной); σ_1^2 – дисперсия, характеризующая рассеивание результатов наблюдений относительно регрессионной зависимости (остаточная дисперсия).

Критерий Фишера табличный $F(23,13) = 2,43$.

Поскольку $647,39 > 2,43$, следовательно, модель адекватно описывает экспериментальные данные.

2. Регрессионные зависимости, описывающие взаимосвязь количества $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердых фазах бетона, % (y_2) с выбранными технологическими параметрами:

$$y_2 = -3,5 + 3,3x_1 + 0,01x_2 - 3,4x_3 \text{ (натуральные единицы);} \quad (11)$$

$$y_2 = -0,4 + 0,5x_6 + 1,8x_0 - 1,7x_7 \text{ (относительные единицы).} \quad (12)$$

Критерий Фишера расчетный $\sigma^2/\sigma_1^2 = 13,38$.

Критерий Фишера табличный $F(23,13) = 2,43$.

Поскольку $13,38 > 2,43$, следовательно, модель адекватно описывает экспериментальные данные.

3. Регрессионные зависимости, описывающие взаимосвязь изменения энергии Гиббса получения новых твердых фаз бетона, ΔG , кДж/моль (y_3) с выбранными технологическими параметрами:

$$y_3 = 39,2 + 79,5x_1 - 0,2x_2 - 695,1x_3 \text{ (в натуральных единицах);} \quad (13)$$

$$y_3 = 0,01 + 0,03 x_1 - 0,08 x_2 - 0,9 x_3 \text{ (в относительных единицах).} \quad (14)$$

Критерий Фишера расчетный $\sigma^2/\sigma_1^2 = 354,42$.

Критерий Фишера табличный $F(23,13) = 2,43$.

Поскольку $354,42 > 2,43$, следовательно, модель адекватна и хорошо описывает экспериментальные данные.

Как видно из построенных уравнений, наименее значимым является коэффициент при факторе x_1 – размер частиц золя, нм. Поскольку он является важным с точки зрения повышения прочности бетона и оказывающим существенное влияние на образующуюся кристаллическую фазу (y_1), то предполагалось, что регрессионная зависимость с семью факторами,

учитывающая как их независимое влияние, так и их суммарный эффект, должна лучше отражать физико-химические процессы, происходящие при твердении [зависимости (4) и (5)].

Самыми значимыми коэффициентами в построенной модели оказались значения при факторах, отражающих производство количества вводимого цемента и концентрации вводимого зольа, производство факторов $x_1x_2x_3$, а также концентрация вводимого зольа x_3^2 . Последнее можно, вероятно, объяснить тем, что характер кривой, описывающей влияния концентрации вводимого зольа на количество воды в кристаллической фазе, имеет вид параболы, т.е. в заданном диапазоне значений, сначала увеличение концентрации будет увеличивать прочность бетона и количество новой кристаллической фазы, а затем она будет понижаться.

В следующей части работы были построены модели второго уровня, устанавливающие взаимосвязь между параметрами качества бетона и химико-технологическими факторами.

Регрессионные зависимости второго физико-механического уровня (макроуровень).

1. Регрессионные зависимости, описывающие взаимосвязь прочности на сжатие полученного высокопрочного бетона R (МПа) с выбранными технологическими параметрами:

$$y_4 = 34,7 + 0,03x_4 + 0,1x_5 + 2,7x_6 \text{ (в натуральных единицах);} \quad (15)$$

$$y_4 = 0,06 + 0,2x_4 + 0,1x_5 + 0,4x_6 \text{ (в относительных единицах).} \quad (16)$$

Критерий Фишера расчетный $\sigma^2/\sigma_1^2 = 15,66$.

Критерий Фишера табличный $F(23, 13) = 2,43$.

Так как $15,66 > 2,43$, следовательно, модель адекватно описывает экспериментальные данные.

2. Регрессионные зависимости, описывающие взаимосвязь водонепроницаемости полученного высокопрочного бетона W , (МПа) с выбранными технологическими параметрами:

$$y_5 = 48,7 + 0,07x_4 + 0,5x_5 + 2,8x_6 \text{ (в натуральных единицах);} \quad (17)$$

$$y_5 = 0,1 + 0,3x_4 + 0,3x_5 + 0,3x_6 \text{ (в относительных единицах).} \quad (18)$$

Критерий Фишера расчетный $\sigma^2/\sigma_1^2 = 51,4$.

Критерий Фишера табличный $F(23, 13) = 2,43$.

Так как $51,4 > 2,43$, следовательно, модель адекватно описывает экспериментальные данные.

3. Регрессионные зависимости, описывающие взаимосвязь морозостойкости полученного высокопрочного бетона F (циклы) с выбранными технологическими параметрами:

$$y_6 = 85,3 + 0,2x_4 + 1,7x_5 + 10,6x_6 \text{ (в натуральных единицах);} \quad (19)$$

$$y_6 = 0,01 + 0,2x_4 + 0,3x_5 + 0,3x_6 \text{ (в относительных единицах).} \quad (20)$$

Критерий Фишера расчетный $\sigma^2/\sigma_1^2 = 68,6$.

Критерий Фишера табличный $F(23, 13) = 2,43$.

Так как $68,6 > 2,43$, следовательно, модель адекватно описывает экспериментальные данные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны математические модели описания физико-химических процессов модифицирования высокопрочных бетонов на основе поверхностного и объемного упрочнения зольсодержащими растворами. Предложенные математические модели, в отличие от известных, являются двухуровневыми и устанавливают взаимосвязи микроуровня с макроуровнем материала, описывают глубокие взаимосвязи энергетических, технологических и физико-механических свойств модифицируемого высокопрочного бетона.

Предложенные физико-химические модели поверхностного и объемного упрочнения позволяют предопределять (предвычислять) будущие физико-механические характеристики модифицируемого высокопрочного бетона и в случае необходимости использовать их для своевременной корректировки этого процесса путем вычисления величины управляющих воздействий с дифференцированным выбором сочетаний каналов управления с учетом строгих технологических ограничений.

Список используемых источников

1. *Балюбаш В.А., Алешичев С.Е.* Исследование и практика определения (расчета) состава многокомпонентных смесей // Научный журнал. – 2015. – № 3. – С. 54–59.
2. Руководство по подбору составов тяжелого бетона / НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 103 с.
3. Термодинамические параметры твердых гидратных фаз и качество строительных композиционных материалов / Л.Б. Сватовская, Д.С. Старчуков, М. Хаммади и др. // Транспортное строительство. – 2015. – № 6. – С. 24–25.
4. Управление качеством искусственных гидросиликатных материалов с помощью изменения термодинамических характеристик твердых гидратных фаз / Д.С. Старчуков, Л.Б. Сватовская, О.В. Юров и др. // Бетон и железобетон. – 2015. – № 5. – С. 15–17.
5. *Старчуков Д.С.* Разработка комплексной добавки на основе золя гидроксида железа, отличающейся повышенным активирующим и пластифицирующим эффектами действия // Бетон и железобетон. – 2012. – № 3. – С. 11–12.

Д.В. Сурин,
доктор техн. наук, профессор;
А.М. Шевчук,
кандидат техн. наук, доцент

КОНЦЕПЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАСКИРОВКИ НА НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

В статье рассматривается развернутое представление авторов о концепции и принципах применения маскировки в развитие общих положений руководящих документов применительно к особенностям функционирования наземных комплексов систем вооружения в условиях ведения современной войны с противником при воздействии авиационных обычных средств поражения.

Ключевые слова: принципы маскировки, наземные системы вооружения.

Современные обычные средства поражения (ОСП) [1], использующие химические бризантные взрывчатые вещества в боеприпасах, представляют собой наряду с ядерными средствами поражения (ЯСП) один из основных видов современного оружия, планируемого потенциальным противником в условиях ведения современной войны для поражения различных объектов военной инфраструктуры наземных комплексов (НК) систем вооружения (СВ) видов и родов войск Вооруженных сил РФ. Номенклатура современных ОСП чрезвычайно велика. Применительно к НК СВ наиболее предпочтительными являются ОСП воздушного нападения: авиационные ОСП (авиационные бомбы и авиационные ракеты различного калибра по весу, крылатые ракеты воздушного базирования), крылатые ракеты морского и наземного базирования, баллистические ракеты стратегической и большой дальности наземного и морского базирования, а также стратегическое гиперзвуковое оружие на новых физических принципах поражения.

Отметим, что в настоящее время и в ближайшей перспективе доминирующее применение для поражения НК СВ и объектов их структуры занимают авиационные ОСП воздушного нападения противника.

Наземный комплекс системы вооружения (стационарный) представляет собой обобщенный объект-цель (ООЦ) для совокупного воздействия по ним ОСП противника, а его элементы топологической структуры по совместному выполнению функционально-боевых задач представляют собой соответственно совокупность объектов-целей (ОЦ) индивидуального (прицельного) воздействия ОСП противника.

Живучесть военных объектов, классифицируемых как ООЦ и ОЦ, формулируется как сохранение функциональной способности выполнения своих задач по предназначению при воздействии расчетных средств поражения противника. При этом живучесть, как и поражение объекта, измеряется вероятностью соответствующего события. Обеспечение живучести критически важных военных объектов является важнейшим тактико-техническим требованием, которое предъявляется ко всем системам и средствам вооружений и ко всем обеспечивающим их функционирование военным объектам.

Повышение живучести НК СВ при воздействии авиационных ОСП противника может быть осуществлено как на основе применения различных инженерных средств и способов противодействия, например фортификационной защиты (ФЗ) и маскировки (М), так и активных – мобильных зенитно-ракетных комплексов и комплексов радиоэлектронного подавления систем информационно-разведывательного обеспечения, управления и наведения ВТО.

Применение указанных средств и способов представляет собой систему комплексного противодействия (СКП) [4, 10].

Отметим, что применение СКП ударам обычных средств поражения противника в целях повышения живучести даже слабо защищенных наземных комплексов является чрезвычайно эффективным, так как позволяет достигнуть уровня живучести с вероятностью значения 0,9 и выше. При этом маскировка, как показали проведенные исследования [10], способна внести значительный индивидуальный вклад в повышение живучести НК СВ (в пределах 18–25%), по сравнению с другими подсистемами противодействия она имеет высокий уровень оперативности развертывания средств в полную боевую готовность и самые низкие показатели технико-экономических затрат на реализацию мероприятий по ее применению.

Анализ наземных комплексов систем вооружения как объектов маскировки позволяет выделить их следующие особенности:

- 1) стационарность местонахождения боевых систем и средств;
- 2) уникальные геометрические размеры в плане и по высоте значительной части наземных сооружений;
- 3) наличие работающих встроенных радиоэлектронных систем на излучение (практически постоянная радиоэлектронная обстановка);
- 4) недостаточная оснащенность наземных комплексов современными техническими средствами маскировки, а также полное отсутствие средств имитации.

Концепция применения маскировки на наземных комплексах стационарных систем вооружения с учетом особенностей сводится к ряду следующих положений.

1. Маскировка рассматривается как системный обман противника (введение его в заблуждение) относительно целей и задач, боевых возможностей, тактико-технических характеристик (ТТХ) средств вооружения, местоположения, защищенности и фактического количества объектов-целей военной инфраструктуры наземных комплексов с конечной целью помешать противнику в оптимизации целераспределения его средств поражения, что объективно приведет к снижению наносимого ущерба и повышению живучести наземных комплексов систем вооружения [3, 9].

2. Маскировка осуществляется на четырех уровнях по масштабу соответствующих мероприятий и применяемых способов их проведения: стратегическая маскировка, проводимая в масштабе ВС РФ, видов и родов войск центрального подчинения; оперативно-стратегическая маскировка, проводимая в масштабе родов и видов войск; оперативно-тактическая маскировка, проводимая в масштабе объединений и соединений войск; тактическая маскировка, проводимая в масштабе войсковых частей и подразделений.

3. Маскировка на наземных комплексах систем вооружения соответствует по масштабу оперативно-тактической маскировке, а маскировка боевых позиций и технических позиций соответствует масштабу тактической маскировки.

4. Оперативно-тактическая маскировка НК СВ включает следующие способы: скрытие, имитацию, дезинформацию и демонстративные действия [2, 4]. Для повышения живучести наземных комплексов первые два способа маскировки являются основными, а последние два – дополнительными.

5. Скрытие [9] представляет собой комплекс мероприятий по устранению (ослаблению) демаскирующих признаков наземных комплексов с применением штатных и подручных средств, которые направлены на снижение заметности объектов-целей на естественном фоне окружающей местности при ведении противником космической и воздушной разведки с помощью технических средств. Сущность скрытия состоит в снижении вероятности обнаружения местоположения (координат) центров плановой проекции объектов-целей и вероятности распознавания их назначения по военной принадлежности, размеров и тактико-технических характеристик.

6. Имитация [9] представляет собой комплекс мероприятий по воспроизведению характерных демаскирующих признаков наземных комплексов с применением средств имитации,

направленных на создание ложных объектов военной инфраструктуры и особенно на создание ложных объектов-целей в составе боевых объектов. Сущность имитации состоит в искажении видовой, оптико-электронной и радиолокационной обстановки – структуры инженерного оборудования позиций наземных комплексов и создании избыточности обнаруживаемых объектов-целей ТСР противника, что в итоге вынуждает противника к перераспределению расчетных нарядов ОСП и снижению количества ударов по боевым объектам-целям.

7. Вероятность обнаружения техническими средствами разведки противника местоположения центров объектов-целей связана прежде всего с противодействием техническим средствам разведки противника средств скрытия и формированием при воздействии его ОСП по объектам-целям систематической ошибки прицеливания относительно центра плановой проекции объекта-цели, что приводит к снижению вероятности попадания в плановую проекцию объекта-цели и повышению его живучести.

8. Вероятность распознавания объекта-цели при проведении противником разведки оказывает в целом влияние на оптимальное целераспределение его ОСП, что в итоге приводит к повышению их живучести (вероятности сохранения). Например, в частности, ошибочное распознавание боевого объекта-цели по назначению и принадлежности к определенному его типу как военного объекта приводит к ошибке определения его военной значимости – важнейшей тактико-технической характеристики (ТТХ), формирующей расчетный наряд (количество расчетных ударов) на объект-цель. Аналогично обстоит дело с вероятностью распознавания другой важной ТТХ боевого объекта-цели – его уязвимости. Кроме того, вероятность распознавания ложных объектов-целей как боевых при применении противником ТСР и при атаке ОСП, имеющих систему самонаведения (ССН), вынуждает противника проводить удары средств поражения, распределяя их по группе боевых и ложных объектов-целей.

9. Средства скрытия разделяются на общие и индивидуальные. Общие средства скрытия (ОСС) маскировки, такие как: аэрозольные, дымовые завесы и искусственные туманы, применяются для скрытия в целом боевых или технических позиций, а также и для скрытия НК СВ в целом. Индивидуальные средства скрытия маскировки, такие как: защитно-деформирующее (защитное, имитирующее) окрашивание, маскировочные сети (покрытия) и маскировочные комплекты, применяются для непосредственного скрытия боевых объектов-целей. Отметим, что совместно применяются одно ОСС и одно ИСС. Кроме того, маскировочные комплекты применяются только для малогабаритных ОЦ [8].

10. Применение имитации как способа маскировки НК СВ подразделяется на два направления – общая и индивидуальная имитация. Общая имитация предполагает создание ложных позиционных районов (ЛПР) для НК СВ в целом или создание ложных боевых позиций (ЛБП) и ложных технических позиций (ЛТП). Индивидуальная имитация предполагает создание ложных объектов-целей и создание дополнительно ложных элементов инженерного оборудования боевых и технических позиций. В качестве ложных объектов-целей для ВВСТ применяются макеты с тепловыми имитаторами или радиолокационные уголкового отражатели совместно с тепловыми имитаторами. Для имитации специальных сооружений, представляющих для противника критически важные объекты для воздействия его ОСП, применяются в качестве ложных объектов-целей технические средства имитации – радиолокационные уголкового отражатели совместно с тепловыми имитаторами. Количество ложных объектов-целей при индивидуальной имитации целесообразно применять для ВВТ не менее двух, а для имитации специальных сооружений – не менее четырех комплектов.

11. Маскировка НК СВ, применяемая на основе средств скрытия и имитации, с одной стороны, и применяемые противником системы разведки, оснащенные соответствующими видами ТСР, с другой стороны, ведут между собой противоборство в виде своеобразной «дуэли» маскировки и демаскировки во времени и в пространстве своих возможностей. Эта «дуэль» первоначально происходит в мирное время при функционировании НК СВ, а заканчивается в период ведения военных и боевых действий между сторонами непосредствен-

но перед атакой и воздействием ОСП противника на боевой объект-цель. В мирное время конечным результатом указанной «дуэли» является предварительное определение вероятностей обнаружения и распознавания боевого объекта-цели. На втором временном этапе происходит уточнение предварительных значений упомянутых выше вероятностей. Главным результатом «дуэли» будет определение окончательных значений вероятностей обнаружения и распознавания боевого объекта-цели. Логика расчетных операций по определению вероятности обнаружения боевого объекта-цели осуществляется как для системной «дуэли» между противниками: один против одного, затем один против всех и в заключение все против всех. При этом вероятность распознавания боевого объекта-цели определяется как некоторая функция предварительно определенной вероятности обнаружения.

12. Маскировка НК СВ должна противодействовать комплексно всем системам и видам ТСР противника [7]. Системы ТСР противника, способные осуществлять разведку НК СВ, подразделяются по способу базирования: космическая, воздушная и наземная системы ТСР. Первые две системы разведки являются основными при маскировке таких комплексов, а третья система разведки, основанная на использовании противником своей агентуры, должна быть нейтрализована деятельностью специальных служб, а также системой защиты государственной тайны и системой защиты информации.

Системы разведки противника [7], принимающие участие в демаскировке боевых объектов-целей на НК СВ, представлены следующими системами: космическая разведка, дальняя воздушная разведка, воздушная разведка авиационно-разведывательных ударных групп (АРУГ), система обнаружения и прицеливания (СОП) ударных самолетов АРУГ и система самонаведения (ССН) ОСП.

14. Космическая разведка на основе применения противником разведывательных космических аппаратов является основной и постоянно действующей во времени, включая период мирного времени и период военных и боевых действий. Воздушная дальняя разведка на основе применения противником специальных самолетов дальней разведки является дополнительной и применяемой противником периодически в мирное время. Эта система разведки активизируется противником в период обострения военно-политической обстановки, использует специальные воздушные разведывательные самолеты типа «Авакс».

15. Воздушная разведка в составе АРУГ является основной и применяется противником непосредственно перед атакой и в момент атаки авиационных ОСП противника на боевой объект-цель НК СВ. Эта разведка проводится противником с использованием воздушных разведывательных самолетов, находящихся в составе АРУГ. Кроме того, ударные самолеты АРУГ имеют в бортовой системе наведения и прицеливания ОСП собственную аппаратуру для обнаружения боевых объектов-целей. Следует особо отметить, что большинство современных авиационных ОСП противника оснащены системами самонаведения, которые работают на активном участке полета к ОЦ и корректируют свое прицеливание с использованием собственных «разведывательных устройств» в оптическом и инфракрасном диапазоне отраженных сигналов.

16. Космическая и дальняя воздушная разведка совместно формируют условия и позволяют с использованием изложенной ранее логики выполнения расчетных операций предварительно определить вероятности обнаружения соответствующих боевых объектов-целей на НК СВ в период мирного времени до начала военных и боевых действий с противником непосредственно перед атакой и воздействием его ОСП.

17. Воздушная и бортовая разведки АРУГ и ССН ОСП совместно формируют условия и на основе логики расчетных операций позволяют определить вероятность обнаружения соответствующих боевых объектов-целей на НК СВ в условиях ведения военных и боевых действий с противником.

18. Вероятности обнаружения соответствующих боевых объектов-целей на НК СВ, определенные предварительно и в условиях ведения военных и боевых действий, рассматриваются как совместные и зависимые вероятности двух событий, то есть предполагается, что если

из-за противодействия маскировки боевые объекты-цели не были обнаружены как на первом, так и на втором этапе противодействия маскировки, то демаскировка обнуляется и итоговая вероятность обнаружения цели становится нулевой.

19. Вероятность распознавания назначения и состояния боевого объекта-цели методически определяется нами как функция соответствующей вероятности обнаружения с учетом особенностей наличия естественной маскировки, например нахождения образцов ВВТ в укрытиях или создания специальных фортификационных сооружений (СФС), имеющих мощные защитные железобетонные конструкции покрытий и находящихся под толщей защитного слоя грунта, которые естественно маскируют СФС с высокой эффективностью от всех видов ТСР противника.

20. Маскировка посредством средств скрытия и имитации достигает своей максимальной возможной эффективности при условии применения таких средств, которые создают условия, при которых излучения электромагнитных волн от замаскированных (скрытых) объектов-целей и от поверхности окружающего естественного фона становятся слабо различимыми, а в идеале – не различимыми [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение сформулируем основные принципы применения маскировки на НК СВ, неразрывно связанные с приведенными выше концепциями.

Маскировка должна быть:

- непрерывной на весь период как мирного, так и военного времени;
- скрытной, т.е. сохранять в тайне основы (цели, задачи, меры обеспечения скрытности, идеи обмана противника и замысел предстоящих действий) [5];
- нарастающей по объему и боевой готовности штатных средств к моменту предполагаемой атаки АРУГ и нанесения ударов ОСП противника;
- комплексной с приоритетом применения наиболее эффективных средств скрытия и имитации;
- обеспеченной силами специальных маскировочных подразделений, оснащенных средствами механизации работ по маскировке боевых объектов целей и других элементов военной инфраструктуры НК СВ, а также запасом средств маскировки и укрытиями этих запасов и местами их обслуживания при хранении;
- проводимой в комплексе с мероприятиями по дезинформации противника, защите государственной тайны и информации;
- непрерывно контролируемой по оценке эффективности маскировки с помощью проведения летно-экспериментальных исследований (включая космические) в условиях применения как штатных, так и подручных средств маскировки;
- оперативно пополняемой новейшими эффективными средствами маскировки в установленные нормативные сроки модернизации;
- развивающейся в отношении совершенствования научно-методического аппарата по ее оценке и эффективности применения.

Отметим, что изложенная в данной работе концепция маскировки наземных комплексов систем вооружения позволит в дальнейшем разработать корректный научно-методический аппарат по оценке эффективности применения маскировки как одного из элементов системы комплексного противодействия ударам обычных средств поражения противника в целях повышения живучести.

Список используемых источников

1. Военный энциклопедический словарь. – М: ВИ, 2007. – 1024 с.
2. Налетов Г.А. Методология эффективности оперативной маскировки / А.А. Антонов, Г.А. Налетов, И.Ф. Шапкин, С.Н. Якушев // Военная мысль. – 1997. – №1 (1-2). – С. 27–32.
3. Бойков Л.В. Повышение эффективности мер оперативной маскировки // Военная мысль. – 1993. – №3. – С. 47–51.
4. Орлянский В.И., Бойков Л.В. Оперативная маскировка или обман противника // Военная мысль. – 2007. – № 7. – С. 38–45.
5. Букин О.Н., Марущенко П.Н. Задачи по маскировке надо ставить в нужное время // Воздушно-космическая оборона. – 2015. – №1. – С. 46–55.
6. Смирнов В.П., Калашникова Н.М., Смолин С.И. Маскировка подвижных наземных объектов в современных условиях. – М.: ИП РадиоСофт, 2015. – 80 с.
7. Меньшаков Ю.А. Виды и средства иностранных технических разведок. – М.: МГТУ, 2009. – 656 с.
8. Королёв А.Ю., Королёва А.А., Яковлев А.Д. Маскировка вооружения техники и объектов: учеб. пособие. – СПб.: ИТМО, 2015. – 155 с.
9. Маскировка: учебник / В.В. Княжев, М.Ф. Крысанов, О.Р. Сайфулин и др. – М.: ВУНЦ СВ ОВА ВС РФ, 2016. – 149 с.
10. Лунис И.В., Сурин Д.В., Шевчук А.М. Оценка живучести отдельного командно-измерительного комплекса в условиях противодействия обычным средствам поражения противника // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2013. – № 639. – С.103–106.

Я.Е. Шепель

ВУНЦ ВВС ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж

РАСЧЕТ ТОРООБРАЗНЫХ ОБОЛОЧЕК НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Представлены результаты численного моделирования средствами Midas GTS NX взаимодействия «грунт – сооружение» при сейсмическом воздействии в виде случайной акселерограммы. Обосновано использование при задании исходных данных параметров двух волн – поперечной и продольной, с обязательным учетом свойств грунта, окружающего сооружение. Получены изополюса распределения напряжений в оболочке при различных глубинах заложения сооружения. Показана эффективность использования Midas GTS NX для динамического расчета заглубленных сооружений в сравнении с традиционными методиками

Ключевые слова: подземное сооружение, торообразная оболочка, сейсмические воздействия, напряжение.

ВВЕДЕНИЕ

В конструкциях заглубленных сооружений традиционно применялся как монолитный, так и сборный железобетон. Как правило, основной конструктивной схемой являлись однообъемные сооружения монолитного исполнения, что обуславливало их высокую инерционность и колоссальную трудоемкость изготовления. Монолитные железобетонные сооружения имеют большую инерционность, при соответствующем динамическом воздействии в них образуются трещины растяжения, поскольку скорость распространения сейсмической волны в грунте превышает скорость развития деформаций в сооружении. Традиционные методики повышения трещиностойкости за счет увеличения коэффициента армирования как показала практика, не эффективны [1].

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА РАСЧЕТА ТОРООБРАЗНЫХ ОБОЛОЧЕК

Снизить материалоемкость и повысить стойкость сооружения к динамическим воздействиям возможно за счет изменения расчетной схемы сооружения, то есть, по сути, необходимо изменить геометрию сооружения. В связи с этим проектировщиками рассматривались такие формы сооружений, как торообразные оболочки, конструктивно представляющие собой группу клиновидных колец [2]. К таким сооружениям можно отнести обделки тоннелей, шахтные колодцы, подземные участки метрополитена, залегающие на значительной глубине, зависящей от гидрогеологических условий района строительства. Традиционные методики расчета подразумевают использование коэффициентов динамичности для перехода от статических нагрузок к динамическим. Подобный подход существенно упрощает расчеты, но обуславливает завышение процента армирования в разы и, как следствие, ведет к общему удорожанию конструкции. Кроме того, указанный алгоритм расчета не учитывает специфику поведения грунта во времени и взаимодействие поверхности конструкции и грунта на границе раздела фаз. В связи с этим нами рассматривается развитие имеющихся методик [3], [9] в части использования динамических моделей деформирования системы «сооружение – грунт». В качестве расчетного инструмента использовали программный комплекс Midas GTS NX, одной из отличительных особенностей которого является возможность автоматического подсчета напряжений по теории Мизеса, в соответствии с которой необходим учет всех трех компонентов напряжений, то есть рассматривается исключительно объемное напряженно-деформированное состояние. Моделирование процесса сейсмического воздействия на заглубленное сооружение сопряжено со многими затруднениями, связанными как с постанов-

кой задачи вообще, так и с выбором вычислительного алгоритма в частности. Такая задача априори является многопараметрической, поскольку нагрузка на заглубленный объект зависит от его характеристик, геологии, свойств материалов объекта и грунтовой среды, параметров сейсмической волны. Наиболее значимым затруднением является проблема задания сейсмического воздействия. Многочисленными исследованиями установлено, что волна, распространяющаяся в грунте, является совокупностью волн, причем скорости их движения в грунтах различного типа весьма отличаются.

Так, в [1] утверждается, что «...заглубленные сооружения рассчитывают на действие волн сжатия в грунте. На больших расстояниях картина волнового нагружения становится столь сложной, что наиболее подходящей является статистическая трактовка нагрузки на основе представлений о нестационарном случайном процессе...». Доказано [4] что ключевым фактором, влияющим на динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах, является поглощение упругой энергии, приводящее к изменению как амплитуды, так и формы сейсмических импульсов. В то же время Вербицким [5] предложена математическая модель оценивания количественных характеристик связи между характеристиками трещиноватости среды и параметрами нелинейности волнового поля. В качестве модели среды принято однородное и изотропное тело с модулями упругости E_{ij} и плотностью ρ , в котором равномерно рассеяны и хаотически ориентированы пустоты сфероидальной формы. Моделируемая среда находится под воздействием статического давления P_0 и динамического p давления, создаваемого распространяющейся в ней упругой волной. В значимых источниках [6, 7] ударная волна рассматривается как совокупность R и P волн. Развитие указанных представлений получено в трудах [8], в которых установлены скорости распространения продольных волн для цемента, четырех фракций песка и гравия. Теоретически обосновано явление трансформации ударных волн в непрерывные импульсы сжатия в достаточно широком диапазоне деформаций. Обобщая представленные выше данные, можно утверждать, что при проведении геотехнических расчетов заглубленных сооружений на сейсмическое воздействие при помощи программного комплекса Midas GTS NX необходимо задавать параметры двух волн – поперечной и продольной, причем с учетом свойств грунта, окружающего сооружение. Поскольку в программе реализован метод конечных элементов (МКЭ), то трудоемкость расчетов напрямую зависит от заданных размеров области расчета, то есть от геометрических размеров массива грунта, в котором волна имеет значимую составляющую. При решении задачи о сейсмических колебаниях сооружения в двумерной или трехмерной постановке требуется безграничное полупространство заменить ограниченной областью. При этом расчетную область грунта можно сократить до размеров, при которых вклад волн, отраженных от сооружения, не оказывает существенного влияния на решения вблизи сооружения. Для обоснования выбора размеров расчетной области необходимо оценить влияние краевых эффектов на решение вблизи сооружения. В работе [9] показано, что отраженные от границ расчетной области волны не оказывают существенного влияния на решение, если размеры расчетной области составляют более 10 габаритных размеров сооружения.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

С учетом приведенных данных и возможностей Midas GTS NX проведен расчет торообразного сооружения на заданные динамические нагрузки при различной глубине заложения. Смоделирована оболочка с заданными характеристиками, заглубленная в гравелистый песок обсыпки. Остальной грунтовой массив задан суглинком средней пластичности. Характеристики грунтов определены согласно требованиям СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», выбраны средние значения для песков и суглинков.

Толщина стенки сооружения варьировалась от 20 до 30 см, глубина заложения составляла 3 и 5 м. Динамическая нагрузка изменялась от 0,5 до 1 МПа, с шагом 0,5 МПа. Область рас-

чета ограничена 30 м в трех плоскостях (X , Y , Z). Модельное представление оболочки с характерными сечениями и окружающего грунта представлено на рис. 1, а,б.

Связи по шести степеням свободы наложены на нижнюю грань всего пласта, они ограничивают воздействие ударной волны. Перемещения по боковым граням пласта ограничены боковым давлением грунта. Перемещения верхней грани не ограничены.

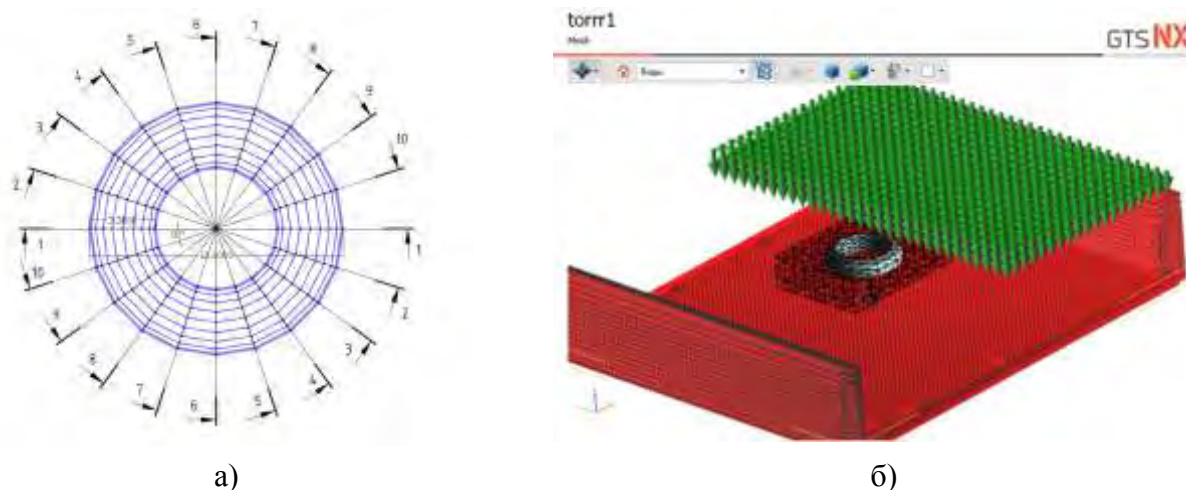


Рис. 1. Характерные сечения (а) и макет (б) заглубленной оболочки и окружающей среды в программном комплексе MIDAS GTS NX

Динамическая нагрузка разложена на две составляющие:

- гармоническая нагрузка под углом 30^0 приложена к верхней грани пласта грунта в направлении сооружения на расстоянии 30 м (вертикальная составляющая);
- гармоническая нагрузка, параллельная оси X в направлении сооружения, приложена на расстоянии 30 м (горизонтальная составляющая – волна Рэлея).

В расчете учитывали заданное количество форм собственных колебаний (KF). Результаты получены для KF/2 составляющих плюс составляющая от заданной частоты. Учитывали закон гармонического воздействия (по синусоиде/косинусоиде) и сдвиг фаз амплитуд гармонических сил. Кроме того, в расчете учитывали собственный вес грунта и податливость грунта обсыпки в зоне контакта «сооружение – грунт обсыпки» и «грунт обсыпки – коренной грунт». После проведенного численного эксперимента были получены схемы изополей перемещений по осям координат X , Y , Z . Предварительным анализом установлено, что наиболее значимым являлось перемещение в вертикальной плоскости по оси Z .

Полученные изополя напряжений показаны на рис. 2. В результате обобщения и анализа значений полученных напряжений установлено, что наиболее значимыми являются касательные напряжения, нормальные напряжения σ_1 и перемещения по оси Z . В связи с этим обсуждались именно эти результаты. В силу того, что нагрузка представлена случайной сейсмограммой и разложена на две составляющие, положение точек с критическими или близкими критическим напряжениями изменялось во времени. Тем не менее фильтрацией массива полученных данных выявлены наиболее характерные сечения, имеющие наибольший риск разрушения. Установлено, что со стороны набегающей волны отмечаются максимальные по величине смещения, а с противоположной стороны – минимальные. Подобное обстоятельство указывает на то, что всё сооружение будет поворачиваться относительно вертикальной оси из горизонтальной плоскости. Для сравнения результаты сведены в табл. 1.

Кроме того, установлено, что изменение характеристик окружающего грунта вызывало адекватное изменение состояния контактной зоны «грунт – сооружение», причем при увеличении толщи засыпки характер перемещений сохранялся.

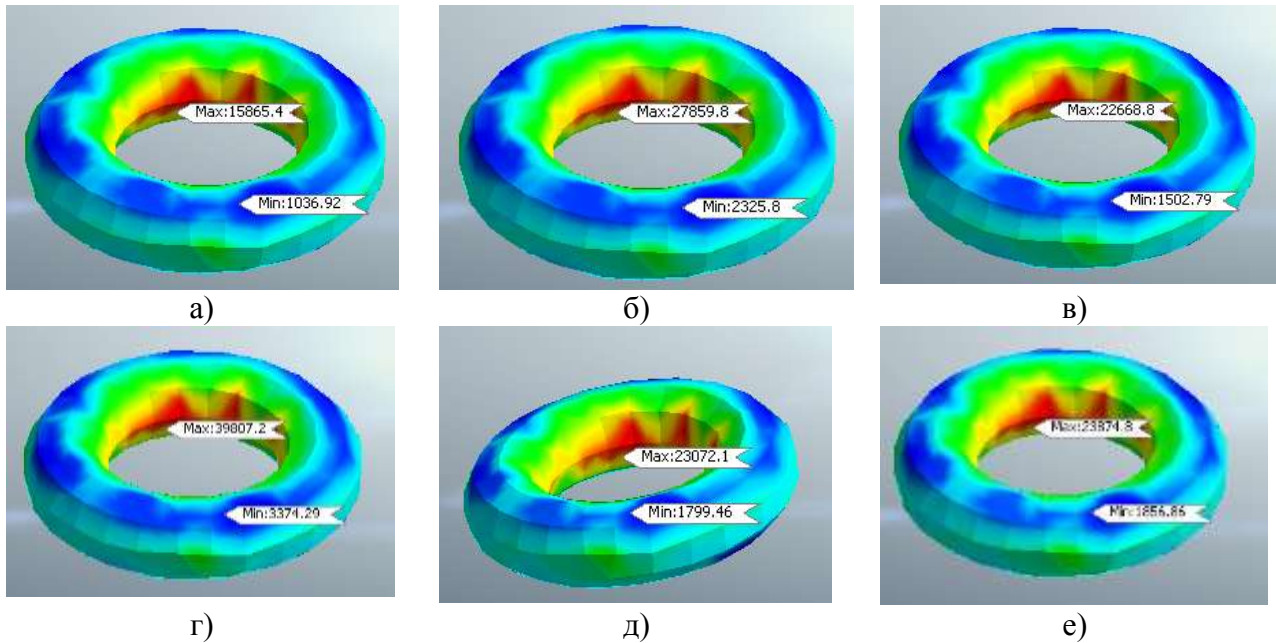


Рис. 2. Изополя напряжений в оболочке тора: касательных (а), по Мизесу (б) при нагрузке 0,5 МПа; касательных (в), по Мизесу (г) при нагрузке 0,75 МПа; касательных (д) при нагрузке 1 МПа; касательных (е) при нагрузке 1 МПа и глубине заложения 5 м

Таблица 1

Значения перемещений и напряжений при динамическом воздействии

Параметр	Значение параметра при величине динамического воздействия, МПа			
	0,5	0,75	1	1 при глубине 5 м
Перемещения, мм	37,3/26,5	51,6/36,2	64,9/46,4	66,9/47,6
σ_1 , МПа	1,19/2,79	1,7/минус 0,4	1,92/ минус 3,26	2,03/ минус 3,2
τ , МПа	1,58/1,04	2,27/1,5	2,31/1,79	2,38/1,86
σ_{vonMises} , МПа	2,79/2,33	3,98/3,37	4,04/3,65	4,18/3,76

Примечание. Над чертой указаны максимальные значения, под чертой – минимальные.

Для подтверждения влияния модуля упругости исследуемых грунтов на величину и характер перемещений сооружения провели отдельный вычислительный эксперимент по установлению перемещений в теле оболочки. Характерные точки оболочки рассматривали согласно схеме, представленной на рис. 1, а.

Для сокращения объемов вычислений оболочку разрезали горизонтальными сечениями с шагом 0,4 м от нижней плоскости до центра тяжести. Общее количество расчетных плоскостей – четыре, расчетных точек – 20.

Графически результаты расчета представлены на рис. 3, а-г. Перемещения указаны в миллиметрах.

Анализом результатов расчетов установлено, что в самом нижнем слое оболочки имеет место проскальзывание сооружения за счет продавливания грунта в центральное отверстие тора. Указанное отчетливо прослеживается на рис. 3, а, где имеет место резкий всплеск перемещений. При изменении высоты сечения наблюдается схожая картина внутренних перемещений, обуславливающая вытягивание оболочки в плоскости перпендикулярной вектору взрывного воздействия. Наибольшая разность перемещений 0,106 мм наблюдалась в слое оболочки, непосредственно прилегающем к грунтовому основанию. Тем не менее указанная

величина перемещений значительно меньше перемещений, полученных по традиционным методикам расчета для однообъемных заглубленных сооружений [9].

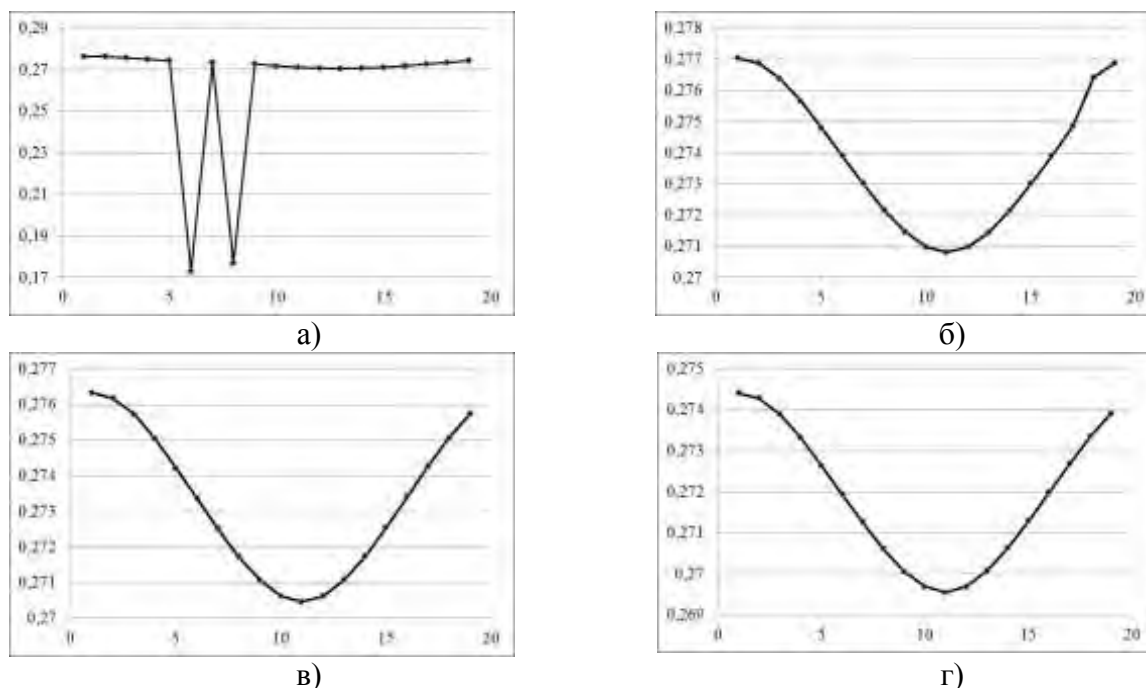


Рис. 3. Вертикальные перемещения в торообразной оболочке по слоям:
а – прилежащий к грунтовому основанию; б – на отметке +0,4 м от основания;
в – на отметке +0,8 м от основания; г – на отметке +1,2 м от основания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методика определения воздействия сейсмических волн на заглубленные сооружения с использованием Midas GTS NX повышает точность расчетов, дает возможность расчета просадки и деформации сооружения с точностью до миллиметров. Это обстоятельство подтверждает наше предположение о повышении точности расчета несущей способности сечения при использовании деформационной модели расчета. Один из плюсов используемой методики – наглядное представление распределения касательных и нормальных напряжений, обеспечивающее определение наиболее слабых мест в сооружении.

Список используемых источников

1. Жарницкий В.И. Расчет конструкций заглубленных сооружений на действие взрывных волн // Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 94–116.
2. Леденев В.В., Худяков А.В. Оболочечные конструкции в строительстве. Теория, проектирование, конструкции, примеры расчета. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО ТГТУ, 2016. – 272 с.
3. Чернуха Н.А. Особенности расчета сооружений на взрывные воздействия в среде SCAD // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 1. – С. 12–22.
4. Колесников Ю.И. Поглощение сейсмических волн в горных породах (обзор) // Геоакустические исследования по многоволновой сейсморазведке: сб. науч. тр. / АН СССР, Сиб. отделение, Институт геологии и геофизики. – Новосибирск: ИГиГ, 1987. – С. 42–72.

5. *Вербицкий Т.З.* Особенности распространения упругих волн в нелинейно-упругих пористых средах // Проблемы нелинейной сейсмологии. – М.: Наука, 1987. – С. 94–103.
6. *Гик Л.Д.* Аномальные эффекты распространения сейсмических волн в пористых и трещиноватых средах // Физическая мезомеханика. – 1998. – Вып. 2. – С. 101–106.
7. *Шахов А.И., Шишкин Н.И.* К задаче о сосредоточенном взрыве в упругом полупространстве // ПМТФ. – 1997. – Т. 38, № 5. – С. 3–15.
8. *Сибиряков Е.Б., Куликов В.А., Егоров Г.В.* Распространение сейсмических волн в песчаных отложениях // Физическая мезомеханика. – 2003. – Вып. 1. – С. 13–22.
9. *Баженов В.Г., Дюкина Н.С., Зефирова С.В.* Численное моделирование динамического взаимодействия сооружения с грунтом при сейсмических нагрузках // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. – 2007. – № 4(54). – С. 49–54.

Avsyukevich D.A., Mirgorodskiy A.N., Niezova S.E. The algorithm for solving the optimization problem energy consumption in the operation of the life support systems of radio-technical center buildings // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 7–11.

The article presents an algorithm for optimizing energy consumption (heat consumption) by the facilities of the command post of the unified space system, based on the thermo-economic method, which allows to reduce the cost of operation of facilities that take into account not only the cost of heat and electricity, but also the cost of equipment, materials, maintenance, personnel salaries, tariffs, depending on local conditions, etc. And allows to issue practical recommendations to reduce operating costs by optimizing energy consumption.

Key words: construction of the command post, operating costs, thermoeconomic, algorithm of optimization of energy consumption, the given costs, exergy, heating system, thermal protection.

Bakaeva L.N., Egarmin K.A. Seismo-insulating supports in metal framing buildings // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 12–16.

Dynamic characteristics obtained from 2 calculation models are investigated in the article: with seismic isolation and without seismic isolation. As an active seismic isolation rubber-metal supports are chosen as one of the most promising and modern methods. Calculations are made on a finite-element scheme, modeled in SCAD Office programs. The model is a metal frame building located in Sochi. The characteristics of both computational models are compared: acceleration, periods and frequencies of oscillations, longitudinal displacements. A comparative analysis is given and a conclusion is drawn about the effectiveness of using seismic insulating rubber mounts.

Key words: seismic ablation, rubber-metal seismic supports, SCAD modelling.

Biruzova E.A., Glushanov A.S. Performance study of insulation design of heat networks of ground space infrastructure // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 17–22.

Methods of carrying out operational researches of heat-insulating designs of the calorific nets which are in operation are considered and proved. Measures to improve the energy efficiency of heat networks based on the results of the research are analyzed. Considered thermal characteristics of the materials, and a comparative analysis.

Key words: pipelines of heat networks, thermal insulation, operational research, energy efficiency, thermal conductivity coefficient.

The methods of land area estimation when choosing the location of the object during the reconnaissance survey / S.I. Bogomolov, P.A. Grushkovskiy, B.P. Lebed, R.A. Sitkov, V.N. Schelnikov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 23–30.

The questions of a comprehensive estimation of the quality of land area during reconnaissance surveys are revealed. The procedure for selecting a land area for the construction of a space forces object using a qualimetric approach is presented. The method of evaluation of land area during reconnaissance surveys is proposed. The algorithm for determining the integral quality of the land area is designed and the method of determining the coefficient of the investment efficiency is proposed.

Key words: reconnaissance surveys, land area, quality, qualimetry, object dislocation, investment efficiency.

Borulev A.D., Erofeev M.N., Parhin S.M. Calculation method of water inflow into underground facilities destroyed // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 31–35.

The paper proposes an assessment of water inflow into the destroyed underground structures, on the basis of which recommendations and measures are developed to localize and eliminate the consequences of the impact of means of destruction, natural and man-made emergencies.

Key words: assessment of water inflow, underground structures (buried and collapsed objects, protective structures of civil defense), emergency situations

Voronin A.E., Kretuk D.A., Peshehonov N.E. Determination of confidence limits of regulatory indicators of reliability of special facilities // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 36–41.

The article considers the question of reliable assessment of compliance of the actual level of reliability to the normative value. The conclusion about the need to set requirements for the reliability of power supply taking into account the interval values of the reliability index is substantiated. The methods of determining the lower confidence limit of the regulatory reliability indicators, as well as the approach to the definition of confidence limits and the conditions of application of the proposed methods for determining the interval values of the regulatory reliability index are analyzed.

Key words: reliability index, confidence interval, lower confidence limit, acceptance and rejection levels of reliability.

Voronin A.E., Peshehonov N.E. Application of genetic algorithms in determining the best set of measures to ensure a given level of reliability of power supply // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 42–48.

The article discusses the possibility of using genetic algorithms to determine the best (by economic criterion) sets of measures to change the structure of power supply systems of special facilities to ensure the required level of reliability. The procedure of non-dominant sorting to select the best individuals from the current generation is shown.

Key words: genetic algorithm, individual, reliability of power supply, capital investments, viability function.

Gaivoronsky O.V., Kartunin D.N. Statement of the problem of the formation of Pareto-optimal according to the probability of task execution diagnostic systems and provision of spare instruments and accessories system component (unit) of the total cost // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 49–53.

This article presents the formulation of the problem of formation of Pareto-optimal dependence of the probability of performing the task of diagnostic systems and providing spare tools and accessories of the system element (unit) of the total cost. The presented model allows to calculate the probability of performing the task by systems of diagnosing and providing spare parts of the system (unit) in conditions of limited funding at the initial stage of operation (run-in period).

Key words: diagnostic system, the probability of task execution, the task of shaping the dependence of the system.

Glushanov A.S., Nekrasov I.N., Senichenkov V.I. Optimization of diagnostics of systems of ventilation and air-conditioning special objects // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace

Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 54–57.

The method of optimization of the program of diagnostics of systems of ventilation and air conditioning of special fortifications of a starting position of RSC by criterion of a maximum of average probability of correct determination of a technical condition is offered.

Key words: diagnosis, probability of failure, optimization of diagnosis, failure, malfunction.

Gorin V.A., Karagodin V.V., Smirnov S.V. Mathematical description of transition processes in the brushless synchronous generator // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 58–64.

It is shown that the task of developing mathematical models of synchronous generators, which are the most complex dynamic elements of autonomous power supply systems, is very relevant. In order to increase the reliability of the solution of the problem of synthesizing effective control laws for the excitation of a synchronous generator, it is necessary to ensure sufficient accuracy of the mathematical model. A simplified mathematical model of a synchronous generator is presented, an analysis of the degree of influence of the adopted assumptions is made and recommendations for improving the modeling accuracy are proposed.

Key words: autonomous power supply system, synchronous generator, mathematical model, of the Park-Gorev equation, damping circuit, saturation, sliding.

Gukov D.V., Sagalaev S.D., Prischepa D.N. Energy efficiency of power transformers by reducing magnetic losses // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 65–70.

When the transformer is operating under load, the scattering fields of individual windings lead to saturation of individual sections of the magnetic circuit or Vice versa they are unloaded. This affects the magnitude of the magnetic losses under load, and the location of the windings has a direct impact on this.

The study of the dependence of the mutual arrangement of the windings of the power transformer on the magnetizing current and magnetic losses. It is revealed that primary winding it is advisable to place further away from the magnetic core. In this case, the magnetic losses will be reduced, which will have a positive impact on the energy efficiency of power transformers in military systems.

Key words: transformer, energy efficiency, magnetizing current, the magnetic core, the voltage drop, the magnetic field.

Gusev N.N., Kucherenko A.O. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 71–75.

The article deals with the influence of vibration parameters acting on the starting structures at the time of emergency situations and the technical capabilities of test systems and long-term control. The ways of perfection of technical means of control of parameters of the stress-strain state of load-bearing constructions of launch facilities of rocket-space complexes directly at the moment of influence on them of extreme loadings and at once after the termination of such action are offered.

Key words: starting structures, testing and long-term monitoring systems, extreme natural and man-made impacts, string converters, vibration, accelerations.

Demidova N.S., Salnikov V.M., Shevchuk A.M. Formation of initial data for designing the basis of construction of special objects (information and analytical review) // Proceedings of the Mozhaisky

Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 76–79.

The review deals with the organization of preparation of initial data for the design and construction of special facilities. The analysis of the historical experience of settlements on the ground. The process of composition development and preparation of initial data is considered. The information about the modern approach to the composition of the initial data is presented. The main existing regulatory documents that determine the composition, as well as the rules of preparation, collection, approval and approval of the complex of initial data for design are given.

Key words: initial data, construction of special facilities.

Duga V.V., Mosin D.A, Chashchin I.V. Requirements analysis of universal technical complexes for the small space vehicles launch preparation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 80–85.

Trends in the development of the space industry are considered which relate to the miniaturization of spacecrafts for various special purposes, including spacecrafts based on unified space platforms. This circumstance leads to the necessity of creating universal technical complexes for the launch preparation small spacecrafts or creating universal launch preparation workplaces for already operated technical complexes. The features and problematic issues of modernizing the ground-based space infrastructure for the launch preparation of small spacecrafts are analyzed on the example of the Plesetsk cosmodrome. The necessity of equipping technical complexes for launch preparation of small spacecrafts with training simulators is substantiated.

Key words: small space vehicles, universal technical complexes and workplaces, training simulators, a complex of clean rooms, staff.

Zagrutdinov Y.A., Kazimirov A.V., Machnev S.A. Method of estimation of thermal effects on concrete structures under accidental ignition of the rocket fuel components // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 86–89.

The article deals with the main striking factors of possible emergencies associated with the preparation and launch of the launch vehicle. The main structural materials used in bearing and enclosing structures of the launch facility are considered. The calculated thermal effects on the launch facility obtained as a result of emergency leakage and ignition of various rocket fuels are presented.

Key words: emergency explosion, propellants, reinforced concrete, heat flow.

Zagrutdinov Y.A., Machnev S.A. Optimization. method of space-planning decisions of the special fortification structures in the conceptual design phase // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 90–94.

The article describes the features of the conceptual design stage of special fortification structures. The method of optimization of the space-planning decision of special fortifications is presented in which the indicator and criterion of efficiency of optimality of development of a basic option of placement of rooms in internal volume and the principles of their alternative formation are given.

Key words: special fortification structure, design stage, functional communication, room area.

Zalozhnysh S.D., Motorin V.M., Salnikov V.M. System heat utilization of exhaust gases diesel generator sets special constructions ground space infrastructure // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 95–98.

The article is devoted to the use of secondary energy resources in life support systems of special facilities. Proposals for the introduction of new structural elements with the composition of the gas-exhaust tract of the diesel generator set are considered. This allows to reduce the area and volume of the entire special structure as a whole.

Key words: special constructions; reserve source of power supply; utilization of thermal energy of exhaust gases of DGU.

Zarin S.V., Iskhakov Sh.Sh., Kovalev F.E. Consideration of concrete cracking in the vibration diagnostics of span reinforced concrete structures // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 99–104.

The article deals with the possibilities of improving the method of diagnosing the technical condition of buildings and structures on such characteristics as reducing the bearing capacity of span reinforced concrete structures in the concrete crack, the probability of an emergency condition (failure) of such structures and the category of their technical condition. The basis is the use of the test method vibration and static tests of reference structures beam type.

Key words: vibration diagnostics, span reinforced concrete structures, concrete cracking, flexural rigidity, the probability of failure.

Zarin S.V., Iskhakov Sh.Sh., Mohnatkin A.P. The issue of diagnostic change exploitation parameters of bearing elements launch facility of the «Angara» launch vehicle with the possible increase in seismic activity in the Arctic region // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 105–108.

The article deals with the factors that cause the risks of reducing the exploitation parameters of the building part of the unique launch facility of the «Angara» launch vehicle at the cosmodrome of «Plesetsk», including a possible increase in seismic activity in the North-West region of the Russian Federation. It causes expediency of increase of efficiency of use of system of test and long-term control on the given launch facility.

Key words: launch facility, construction, basis, technical condition, test and long-term monitoring system, vibration diagnostic system.

Kamenev Y.A., Solomahin A.S., Sychova A.M. Scientific and practical bases of application of non-autoclaved foam concrete in military and civil engineering // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 109–114.

The article is devoted to the problem of obtaining the design characteristics of foam concrete when transporting it through pipelines to the place of laying in the structure. The dependence of the change of the volumetric weight of the foam of the height of the transport mix. The approach to the correction of quantitative values of foam concrete components is specified.

Key words: foam concrete, stability, volumetric relaxation, thermal insulation.

Karagodin V.V., Polyanskiy K.A. Constructing method of a guaranteed power supply system of a special object on the basis of a static uninterruptible power supply // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 115–120.

The article presents a determining method the building variant a guaranteed power supply system, including static uninterruptible power supplies of double conversion and diesel generator sets and ensuring the given reliability indicator achievement of the power supply system of a special object while minimizing capital investments or operating costs.

Key words: guaranteed power supply system, uninterruptible power supply, autonomous source, optimization problem, objective function, structural-parametric optimization.

Karagodin V.V., Revyakov B.A., Rybakov D.V. Approach to determination of reliability of power supply systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 121–125.

An approach to the definition of the concept of reliability of power supply systems is considered. The conditional division of reliability of systems power supply on structural (hardware) and functional (regime) is offered. The indicators of functional reliability of power supply systems characterizing the modes of operation of electric networks are introduced. The methods of ensuring the reliability of power supply systems are given.

Key words: theory of reliability, performance, reliability, functional reliability, methods of ensuring.

Karagodin V.V., Rybakov D.V., Ryzhiy N.V. The ways to improve the effectiveness of the electrical power supply systems of ground-based complexes // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 126–131.

The technical conditions of the equipment of electrical power supply systems of technical complexes and of the ground-based aids were analyzed; the objective necessity of reconstruction works and modernization of these systems with the aim to improve reliability and energy saving of their operation was shown. Based on the main directions of technical policy of Russian Federation in the sphere of electrical power supply the were studied the possible ways to improve the effectiveness and the technical level of electrical power supply systems applying new effective and innovate technologies.

Key words: energy saving, energy supply, electrical network, electric loss, active adapting systems

Karasyov S.Y., Sitkov R.A., Shevchuk A.M. A technique for assessing the masking properties of the terrain when conducting reconnaissance surveys of the places where the Space Forces objects // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 132–138.

This article presents a methodology for quantitative evaluation of the indicator «Terrain masking properties», developed within the framework of the general qualimetric approach to assessing the suitability of terrain for construction during reconnaissance surveys. An example of the use developed methodology for assessing the terrain masking properties of six arbitrary sites in the Leningrad Region

Key words: quality, reconnaissance, masking properties, terrain, natural masks.

Kozlov Y.V., Nepsha I.M. Rationale proposal to improve the survivability of ground control complex space systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 139–141.

An approach is presented to ensure the sustainability of the management of the domestic spacecraft due to the redundancy of its main elements – spacecraft flight control centers. An order is proposed for the formation of methods for transferring grouping control to reserve centers or control posts.

Key words: increase system survivability, way to transfer management, orbital group of satellites, distributed control center.

Protection of electrical systems autonomous power supply from the impacts of powerful electromagnetic pulses of natural and artificial origin / I.V. Kolesnik, E.V. Kurakov, A.M. Pavlenok, E.N. Fominich // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 142–149.

The article deals with modern special protection devices against pulsed overvoltage, designed to protect the systems of Autonomous power supply at rated voltage up to 1000 V from electromagnetic effects generated by powerful sources of natural and artificial origin. The technical characteristics of these devices and the results of experimental studies are presented.

Key words: Autonomous system of power supply; electromagnetic interference; device surge protection; surge suppressor non-linear; valve discharge-nick.

Kofnov O.V., Sheludyakov A.M. Using GRAPHVIZ for developing of block diagrams of technical systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 150–154.

The possibility of using in study of GRAPHVIZ (graph visualization application) is considered in the article for developing of block diagrams of technical systems, for instance, in electrical distribution networks 10kV/0.4kV. The Floyd – Warshall algorithm for reconstructing the equipment scheme in case of changing of connection and the direction of energy transfer is also considered.

Key words: Graphviz, block diagram, electrical network, computer graphics, ERP, Floyd, Warshall.

Kuzhekin I.N., Surin D.V., Tolmachev S.A. The method of forecasting the design impact of the means of engaging a potential adversary on the infrastructure of ground systems of weapons systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 155–159.

The authors present in the article mathematical instrument that demonstrates the analytical model of the design impact of conventional means of engagement in the form of a system of engineering formulas that allow the forecasting of the design impact of enemy weapons against ground systems of weapons systems with sufficient accuracy.

Key words: prediction, design impact, the military importance of the target object.

Kulganov V.A., Motorin V.M., Fomichev A.D. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 160–164.

The effectiveness of the use of weapons and military equipment directly depends on the psychophysiological state of the servicemen. The development of techniques and technical means for monitoring the state of the operator of military equipment with the aim of increasing the reliability of operations is a task of extreme importance. These circumstances indicate the need to develop a system for monitoring the functional state of the operator of technical systems in the dynamics of professional activity. Such control is possible only if objective characteristics are revealed, the assessment of which, without violating the specialist's activity, allows to determine the state of servicemen and develop proposals for improving the control system for the operator and combat equipment.

Key words: reliability, tension, operator, working capacity, control systems, fatigue.

Kulganov V.A., Motorin V.M., Fomichev A.D. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA,

2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 165–169.

In the context of the general automation of all types of control in parts and divisions of aerospace forces of the relationship of man and military equipment has changed, it has become more complicated, more mediated by various factors. Proposed method allows the solution to the problem of choosing alternatives of acquisition of complex systems management groups. It does not restrict the set of estimated parameters of success of activity of operators management team that can effectively use it for a wide range of similar problems. Increasing the level of automation of technical systems, managed by a qualified operator, in most cases only leads to *dalneyshemuvozrastaniyu* role of the "human factor" as a result of a significant increase in the volume and complexity of the functions of equipment management process.

Key words: small group, a specialist operator, matrix number, efficiency.

Kurlapov D.V., Tyurin E.A., Khabarkov A.V. Strengthening of Foundation plates of special objects by injection of polymer compositions // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 170–175.

In a survey of monolithic reinforced concrete constructions bed plates storage was discovered the defects associated with shrinkage of concrete mixtures with nonuniform heating during concreting at low temperatures. Defects of the inspected structures are cracks deeper than the protective layer of concrete.

Key words: composite rebar; base plate; technical inspection; defects; injection; testing; calculations; cracks

Litvinova N.B., Miklashevskii N.V., Petrushin I.E. Hydraulic and nutrient load on the local sewage treatment plant from private drainage facilities // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 176–179.

Presents the analysis of peculiarities of determining design flows and concentrations of contaminants of household wastewater from individual waste disposal sites, some organized by CME.

The method of calculation of hydraulic and biogenic load on local treatment facilities of domestic wastewater from individual administrative buildings, as well as from individual industrial or agricultural enterprises is proposed.

Key words: waste water, calculation of treatment facilities, pollution concentration, hydraulic load, biogenic load, pollution concentration.

Lunis I.V., Fedorenko A.V. An algorithm for ensuring the survivability of stationary objects under the influence of conventional weapons // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 180–186.

The article deals with the algorithm of ensuring the survivability of stationary objects in the application of complex protection of objects, and the main measures of passive protection to increase the errors of precision weapons guidance.

Key words: stationary objects, high-precision weapon, cruise missile, the sensitivity of the object, disguise, radiometric and optical-electronic guidance system.

Mandritsa D.P. Experimentally-theoretical researches of residual durability of ferro-concrete beams of special constructions // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 187–191.

Materials of experimentally-theoretical research of movings and deformations in ferro-concrete beams are presented at pulse loadings of explosion. On the basis of the received results schedules of the resulted equivalent loadings, dependences for the maximum loadings corresponding to the maximum bearing ability at pulse нагружении are constructed, dependence for equivalent residual durability of ferro-concrete beams is offered.

Keywords: a ferro-concrete beam, pulse loading, durability of a beam.

Mironov A.N., Soldatenko V.S., Soldatenko T.N. Model and technique of indistinct ranging of factors of business reputation of the contractor at operation of infrastructure of land complexes // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 192–196.

The known methods of the choice of the organization for ensuring effective operation of infrastructure facilities of land complexes not fully consider her business reputation. It is offered to estimate the level of this indicator of the contractor by means of mathematical model of a complex indicator of this property. Feature of the offered approach is application of a mathematical apparatus of fuzzy logic for ranging of the importance of the factors influencing assessment of business reputation.

Key words: fuzzy logic, goodwill, function of accessory, ranging of factors.

Pankin D.A., Spiriyagin V.V., Chmihalo A.I. Model of the destruction of the metal heat exchanger given in excess of maintenance in terms of corrosion // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 197–201.

The article considers the effect of sodium nitrite refrigerant on the occurrence of corrosion damage of heat exchange pipes made of steel grade 12X18H10T. It is hypothesized that the main cause of corrosion cracking of steel 12X18H10T is a change in the concentration of the refrigerant. The results of the experiment to assess the effect of coolant concentration on corrosion cracking of 12X18H10T steel, confirming the validity of the proposed hypothesis, are presented.

Key words: corrosion damage, refrigerant, surface defects, heat exchangers.

Pudikov V.V. The system of automatic control of air conditioning systems for the first class of loads of special objects of ground space infrastructure // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 202–205..

The modern direction of development of automation is characterized by a stable tendency to the creation of special control computer systems based on the use of microcomputers, programmable logic controllers, which requires improvement of algorithms of control systems of air conditioning (SAC).

The article is devoted to the development of the system of automatic control of SAC based on the organization of energy-saving modes of air treatment. A brief analysis of energy-saving modes of air treatment is given.

Key words: ventilation and air conditioning system, automatic control system, energy-saving modes of air treatment.

Pudikov V.V., Shulika S.R. Analysis of existing methods of regulation of central air conditioning systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 206–210.

The publication is devoted to the analysis of existing methods of regulation of modern Central air conditioning systems. Thermodynamic models of each method are considered. The disadvantages and advantages of existing methods are indicated.

Key words: ventilation and air conditioning system, automatic control system, energy-saving modes of air treatment, dew point control.

Svatovskaya L.B., Starchukov D.S., Shmakov R.B. Complex optimization of technological indices in the process of modification of high-strength concrete by zolos containing compositions at surface strengthening // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 211–217.

A mathematical model of the description of surface hardening of high-strength concrete is presented using the composition containing sol, which allows predetermining (predicting) the future physico-chemical characteristics of the resulting concrete and, if necessary, using them for a timely correction of this process by calculating the magnitude of the control actions with differentiation a choice of combinations of control channels, taking into account the strict technological limitations. A complex optimization task was solved for surface hardening of concrete with ash-containing compositions, which made it possible to obtain concrete with improved material quality indicators.

Key words: complex optimization problem, technological, physical-chemical and physico-mechanical parameters, modified high-strength concrete, sol-containing compositions.

Starchukov D.S. Mathematical models of description of physico-chemical processes of modification of high-strength concrete based on surface and volume strengthening by zolos containing solutions // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 218–224.

Mathematical models for describing physico-chemical processes for modifying high-strength concretes on the basis of surface and bulk hardening by sol-containing solutions are described, which describe the various organizational levels in the production of high-strength concrete. The proposed models are two-level and establish the interrelations of the microlevel of concrete with its macrolevel, and also describe the complex interrelationships of physico-chemical, technological and physical-mechanical characteristics.

Key words: mathematical models, physicochemical parameters, modified high-strength concrete, ash-containing compositions, sol-containing additives.

Surin D.V., Shevchuk A.M. The concept and principles on the use of camouflage on land complexes when exposed to conventional weapons // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 225–230.

The article deals with the authors' detailed understanding of the concept and principles of the use of disguise in the development of the General provisions of the guidance documents in relation to the peculiarities of the functioning of ground-based systems of weapons in the conditions of modern warfare with the enemy under the influence of conventional aircraft weapons.

Key words: principles of disguise, ground weapons systems.

Shepel Y.E. Calculation cover toroid on the seismic influences // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 663: Problems of ensuring the functioning and development of ground infrastructure of weapons systems. – P. 231–236.

Results of numerical modeling by means Midas GTS NX of interaction «ground-construction» are presented at seismic influence in the form of casual curve of dynamic influence. Use is proved at the task of the initial given parameters of two waves - cross-section and longitudinal, with the

obligatory account of properties of the ground surrounding a construction. Isofields of distribution of pressure in a cover are received at various depths заложения constructions. Efficiency of use Midas GTS NX for dynamic calculation underground constructions in comparison with traditional techniques is shown.

Key words: underground constructions, cover toroid, seismic influences, pressure.

Авсюкевич Дмитрий Алексеевич, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: avsdim@mail.ru

Бакаева Любовь Николаевна, студентка кафедры строительной механики и строительных конструкций ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29); тел.: 8 (905) 276-51-34, e-mail: baki6lu@gmail.com

Бирюзова Елена Александровна, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Россия, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (967) 592-13-57, e-mail: biryuzova@rambler.ru

Богомолов Сергей Иванович, старший научный сотрудник 152-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-10.

Борулев Алексей Дмитриевич, ведущий научный сотрудник ЦНИИИ ИВ (143432, Россия, Московская обл., Красногорский район, гп. Нахабино, ул. Карбышева, 2); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (916) 131-66-13.

Воронин Алексей Евгеньевич, адъюнкт 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 023-30-88, e-mail: voroninalex87@yandex.ru

Гайворонский Олег Витальевич, адъюнкт 13-й кафедры ВА РВСН имени Петра Великого (143900, Россия, Московская обл., Балашиха, ул. Карбышева, 8); тел.: 8 (910) 089-46-86, e-mail: legorus12@yandex.ru

Глуханов Александр Сергеевич, доцент 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 252-56-17, e-mail: promo1978@mail.ru

Горин Вадим Александрович, начальник 543-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 793-93-70, e-mail: vadim044542010@mail.ru

Грушковский Павел Анатольевич, начальник 152-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-10.

Гуков Дмитрий Васильевич, доцент 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-44, e-mail: guokovdmitry@rambler.ru

Гусев Николай Николаевич, старший преподаватель 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (921) 958-42-90, e-mail: goussev_nn@mail.ru

Демидова Наталья Сергеевна, младший научный сотрудник 142-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 715-58-79.

Дуга Вадим Вадимович, инженер-испытатель научно-исследовательского центра войсковой части 13991 (164170, Россия, г. Мирный Архангельской обл., ул. Неделина, 17); тел.: 8 (964) 294-52-79.

Егармин Константин Александрович ГИП КБ «ВиПС» (191144, Россия, Санкт-Петербург, Дегтярный пер., 11 лит. Б); e-mail: kon.egarmin@mail.ru

Ерофеев Михаил Николаевич, старший преподаватель ВА РВСН имени Петра Великого (143900, Россия, Московская обл., Балашиха, ул. Карбышева, 8); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (919) 995-46-80, e-mail: varvsn@yandex.ru

Загрудинов Юрий Александрович, старший преподаватель 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 004-24-00.

Загуляев Сергей Дмитриевич, курсовой офицер Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); тел.: 8 (812) 578-82-02, e-mail: zagulyaev.sd@yandex.ru

Заложных Сергей Дмитриевич, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 160-85-56.

Зарин Сергей Владимирович, адъюнкт 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 900-97-98, e-mail: sergeyzarin27091989@gmail.ru

Исхаков Шавкат Шамильевич, доцент 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук, доцент; тел.: 8 (921) 643-55-41.

Казимиров Артём Витальевич, заместитель начальника 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 995-69-04, e-mail: kizim2003@rambler.ru

Каменев Юрий Александрович, адъюнкт 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-65-45, e-mail: vka@mil.ru

Карагодин Владимир Викторович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 227-36-79, e-mail: vladimirkar@rambler.ru

Карасёв Сергей Юрьевич, начальник 153-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-10.

Картунин Денис Николаевич, заместитель начальника 12-й кафедры ВА РВСН имени Петра Великого (143900, Россия, Московская обл., Балашиха, ул. Карбышева, 8); кандидат технических наук; тел.: 8 (916) 298-19-03, e-mail: dnk.1977@mail.ru

Ковалёв Фёдор Евгеньевич, старший преподаватель 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 028-09-69, e-mail: kovaleff81@mail.ru

Козлов Юрий Викторович, доцент 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (911) 115-52-95.

Колесник Иван Владимирович, адъюнкт Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); тел.: 8 (921) 306-31-38, e-mail: ivanelectric12@yandex.ru

Кофнов Олег Владимирович, старший преподаватель 110-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 941-32-88.

Кретюк Денис Александрович, старший преподаватель 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 821-95-42, e-mail: kretuk@yandex.ru

Кужекин Игорь Николаевич, старший преподаватель 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (931) 988-72-42, e-mail: kuzhekin@gmail.ru

Кулганов Владимир Александрович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор медицинских наук, профессор; тел.: 8 (921) 756-24-00, e-mail: kulganof@mail.ru

Курлапов Дмитрий Валерьевич, профессор кафедры гидротехнических сооружений, строительных конструкций и механики твердого тела Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); кандидат технических наук, доцент; тел.: (812)-578-82-20, e-mail: Kurlapovdv@mail.ru

Курьяков Евгений Владимирович, соискатель Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); тел.: 8 (921) 906-38-33, e-mail: efominich@mail.ru

Кучеренко Александр Олегович, адъюнкт 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 958-19-80, e-mail: kucher_90@bk.ru

Лебедь Богдан Петрович, преподаватель 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-10.

Литвинова Наталья Борисовна, доцент 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук; тел.: 8(921)592-87-88, e-mail: skarlet27@list.ru/

Лунис Илья Валерьевич, начальник 411-й лаборатории 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 199-26-24, e-mail: lunis@mail.ru

Мандрица Дмитрий Петрович, доцент 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197372, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-45, e-mail: Mandriza66@mail.ru

Мачнев Сергей Александрович, доцент 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 004-01-02.

Миклашевский Николай Владимирович, доцент кафедры строительства зданий и сооружений ФГБУ Высшего образования Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (196601, Россия, Санкт-Петербург, Петербургское шоссе, 2, лит. А); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 127-07-62, e-mail: mik11703@yandex.ru

Миргородский Александр Николаевич, начальник 432-й учебной лаборатории 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: mirgorodsky@nm.ru

Миронов Андрей Николаевич, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел: 8 (911) 275-08-00, e-mail: mironov-anik@yandex.ru

Мосин Дмитрий Александрович, докторант 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-01.

Моторин Виктор Михайлович, доцент 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 215-92-02 , e-mail: stmvm@yandex.ru

Мохнаткин Алексей Петрович, начальник 421-й учебной лаборатории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 940-45-36, e-mail: moxnatkin@mail.ru

Некрасов Игорь Николаевич, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (981) 824-22-40, e-mail: slepou_pilot@mail.ru

Ниёзова Светлана Евгеньевна, начальник отделения 432-й учебной лаборатории 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-43.

Непша Иван Михайлович, слушатель магистратуры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (925) 308-71-45.

Павленок Андрей Михайлович, начальник 4-й кафедры Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); кандидат технических наук; тел.: 8 (909) 582-65-43, e-mail: ruvitu@gmail.com

Панкин Дмитрий Анатольевич, старший преподаватель 12-й кафедры ВА РВСН имени Петра Великого (143900, Россия, Московская обл., Балашиха, ул. Карбышева, 8); кандидат технических наук; тел.: 8 (916) 943-68-98, e-mail: pankin816@gmail.ru

Паршин Сергей Михайлович, начальник Девятого управления МО РФ (119034, Россия, Москва, ул. Тимура Фрунзе, 18А); тел.: 8 (925) 532-80-81.

Петрушин Игорь Евгеньевич, доцент 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13.); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 338-32-64, e-mail: igor_petrostroy 7 @mail.ru

Пешехонов Николай Егорович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 224-59-48, 8 (812) 347-95-44, e-mail: peshehonov@bk.ru

Полянский Константин Аркадьевич, начальник лаборатории – старший научный сотрудник 533-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 779-69-13, e-mail: PolyanskiyKA.VKА@yandex.ru

Прищепа Денис Николаевич, старший преподаватель 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-44, e-mail: denisprischepa@yandex.ru

Пудиков Вячеслав Валентинович, старший преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: pudikov1@mail.ru

Ревяков Борис Александрович, доцент 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 773-19-48.

Рыбаков Дмитрий Вячеславович, преподаватель 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 914-98-02, e-mail: d_i_m_a_1_7@bk.ru

Рыжий Николай Витальевич, адъюнкт 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (931) 334-57-37, e-mail: nikolya.ryzhiy@mail.ru

Сальников Вадим Михайлович, доцент 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 988-09-36.

Сватовская Лариса Борисовна, заведующая кафедрой инженерной химии и естествознания Петербургского университета путей сообщения Императора Александра I (190031, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 9); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 315-17-25, e-mail: lbsvatovskaya@yandex.ru

Сеньченков Валентин Иванович, профессор 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 250-60-79.

Ситков Роман Александрович, начальник 15-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-10.

Смирнов Сергей Викторович, доцент 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 357-51-43.

Солдатенко Владимир Стальевич, доцент 96-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 925-68-41, e-mail: Soldatenko_VS@mail.ru

Солдатенко Тамара Николаевна, старший преподаватель 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 954-56-88, e-mail: Soldatenko-TN@bk.ru

Соломахин Андрей Сергеевич, доцент 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-65-45, e-mail: vka@mil.ru

Спирягин Валерий Викторович, адъюнкт 12-й кафедры ВА РВСН имени Петра Великого (143900, Россия, Московская обл., Балашиха, ул. Карбышева, 8); кандидат технических наук; тел.: 8 (977) 700-39-81, e-mail: v-spirit@mail.ru

Старчуков Дмитрий Сергеевич, докторант 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-65-45, e-mail: vka@mil.ru

Сурин Дмитрий Васильевич, профессор 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (963) 248-41-11, e-mail: surin_dv@mail.ru

Сычёва Анастасия Максимовна, профессор 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-65-45, e-mail: vka@mil.ru

Толмачёв Сергей Анатольевич, доцент 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (981)891-19-00, e-mail: tolmatchev.s.a@yandex.ru

Тюрин Евгений Анатольевич, заместитель начальника 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 099-09-95.

Федоренко Андрей Владимирович, заместитель начальника 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8(952) 226-20-14, e-mail: favspb@mail.ru

Фоминич Эдуард Николаевич, доцент 4-й кафедры Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (921) 906-38-33, e-mail: efominich@mail.ru

Фомичёв Андрей Дмитриевич, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 999-94-88, e-mail: vip.fomichev1979@mail.ru

Хабарков Андрей Владимирович, адъюнкт кафедры гидротехнических сооружений, строительных конструкций и механики твёрдого тела Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); тел.: (812)-578-82-20, e-mail: Nabarkov@inbox.ru

Чашин Игорь Вячеславович, начальник 412-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-77.

Чмыхало Александр Игоревич, младший научный сотрудник НИЦ ВА РВСН имени Петра Великого (143900, Россия, Московская обл., Балашиха, ул. Карбышева, 8); тел.: 8 (915) 213-04-04, e-mail: himoff2012@rambler.ru

Шевчук Андрей Михайлович, начальник 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-10.

Шелудяков Александр Михайлович, заведующий 110-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 325-84-64.

Шепель Ярослав Евгеньевич, адъюнкт 31-й кафедры изыскания и проектирования аэродромов Военно-учебного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Россия, Воронеж, ул. Старых большевиков, 54А); тел.: 8 (960)126-67-39, e-mail: yaroslav-shepel@rambler.ru

Шмаков Руслан Борисович, старший преподаватель 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-65-45, e-mail: vka@mil

Шулика Станислав Романович, курсант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: pudikov1@mail.ru

Щельников Валерий Николаевич, старший научный сотрудник 153-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-10.

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (964) 334-01-52, e-mail: vka@mil.ru