

ISSN 2617-1848



СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (7) ИЮНЬ 2019



НАШИ ПАРТНЕРЫ:



Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства ДНР



Министерство образования
и науки ДНР

ПОЛИГОН ИСПЫТАНИЙ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

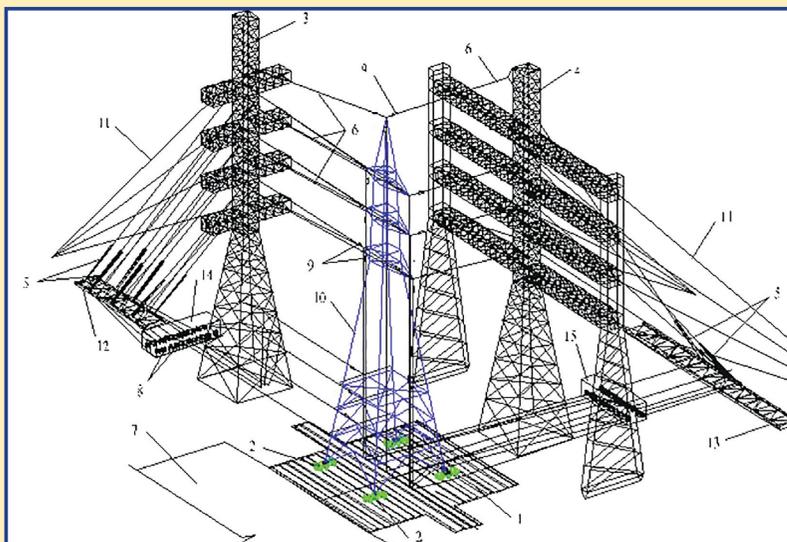


СХЕМА ПОЛИГОНА: 1 – силовой пол; 2 – опорные силовые балки; 3, 4 – силовые башни нормального и аварийного режима; 5 – полиспасты; 6 – натяжные тросы; 7 – сборочная площадка; 8 – ручные лебедки; 9 – электрические динамометры; 10 – испытываемая опора; 11 – оттяжки силовых башен; 12, 13 – силовые фермы нормального и аварийного режима; 14 – силовая площадка нормального и аварийного режима



ПОЛИГОН ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

РАЗМЕЩЕНИЕ

Полигон размещен на территории Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Силовой пол имеет размеры в плане 24×24 метра и два расширения по 8 метров вдоль оси башни. Испытываемая конструкция крепится к силовому полу через специальные распределительные балки, которые рассчитаны на опорные реакции ± 2500 кН.

СИЛОВЫЕ БАШНИ. Полигон оборудован силовыми башнями высотой 55 (нормальный режим) и 62 метра (аварийный режим), которые обеспечивают нужное направление тяговых тросов в трех направлениях. Ширина башни аварийного режима 40 метров.

ТЯГОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. В качестве тяговых элементов используются 40 полиспастов грузоподъемностью 25 тонн, нагружаемых ручными лебедками.

ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ НАГРУЗОК. Управление испытаниями осуществляется автоматизированной системой на базе ЭВМ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ. В состав Полигона входит универсальный испытательный зал с силовым полом 8×24 м, предназначенный для испытаний отдельных строительных и специальных конструкций из металла, железобетона и древесины, и их фрагментов. Для механических испытаний используется прессы и разрывные машины усилием от 5 до 10000 кН.

Научный руководитель Полигона:

д.т.н., профессор,
Горохов Евгений Васильевич

Начальник Полигона:

к.т.н., профессор,
Васылев Владимир Николаевич

mailbox@donnasa.ru

+38(062) 343 70 33, +38(071) 416 65 61

ISSN 2617-1848

Научно-практический журнал

СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

Издаётся с ноября 2017 года

Выходит один раз в три месяца

№ 2 (7),
Июнь 2019 г.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор	Е.В. ГОРОХОВ, д. т. н., профессор
Зам. главного редактора (научный редактор)	Н.М. ЗАЙЧЕНКО, д. т. н., профессор
Ответственная за выпуск (выпускающий редактор)	Н.Х. ДМИТРИЕВА
Ответственный редактор	Б.В. КЛЯУС

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»
Министерства образования и науки
Донецкой Народной Республики
при поддержке Министерства строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Донецкой Народной Республики

АДРЕС РЕДАКЦИИ

86123, Донецкая Народная Республика,
г. Макеевка, ул. Державина, дом 2. ГОУ ВПО «ДОННАСА»
Web: strdon.donnasa.ru
Электронная почта: strdon@donnasa.ru
Контактный телефон: (071) 363-74-63

Печатается по решению Ученого Совета
ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»
Протокол № 10 от 24.06.2019

Перепечатка, копирование и воспроизведение всех
материалов журнала возможны только с письменного
разрешения редакционной коллегии

«Свободная цена»

Свидетельство о регистрации средства массовой
информации № 000217, выдано 18.03.2019 года
Министерством информации
Донецкой Народной Республики

Подписано в печать 25.06.2019. Формат 60 × 90^{1/8}.
Бум. мелов. Усл. печ. л. 8,0. Тираж 300 экз. Заказ № 120.

ООО «Издательско-полиграфическое
предприятие «Проминь»
83059, г. Донецк, пр. Ильича, 109а

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Агеев В.Г. – НИИГД «Респиратор», ДНР
Бенаи Х.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Большаков А.Г. – ИрННТУ, РФ
Братчун В.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Брюханов А.М. – ГУ МакНИИ, ДНР
Бумага А.Д. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Высоцкий С.П. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Гайворонский Е.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Горожанкин С.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Горохов Е.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Дорофиенко В.В. – ГОУ ВПО «ДонАУиГС при Главе ДНР»
Долженков А.Ф. – ГУ МакНИИ, ДНР
Дрозд Г.Я. – ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. Даля»
Ефремов А.Н. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Зайченко Н.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Иванов М.Ф. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Куликов М.М. – ЮРГПУ (НПИ), РФ
Левин В.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Левченко В.Н. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Лобов И.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Лобов М.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Лукьянов А.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Мамаев В.В. – НИИГД «Респиратор», ДНР
Муксинов Р.М. – КРСУ, Кыргызстан
Мушанов В.Ф. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Нагаева З.С. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
Назим Я.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Найманов А.Я. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Насонкина Н.Г. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Наумец С.С. – МИНСТРОЙ ДНР
Нездойминов В.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Нечпаев В.Г. – ГОУ ВПО «ДонНТУ», ДНР
Олексюк А.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Пенчук В.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Петраков А.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Пономоренко Е.В. – СамГТУ, РФ
Радионов Т.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Севка В.Г. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Семченков Л.В. – МИНСТРОЙ ДНР
Сердюк А.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Тищенко В.П. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Шаленный В.Т. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ
Шолух Н.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР
Югов А.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ МИНИСТЕРСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖКХ

С.С. Наумец

НАДЕЖНОСТЬ — ДОЛГОВЕЧНОСТЬ —
ЖИВУЧЕСТЬ4

НАУКА В СФЕРЕ АРХИТЕКТУРЫ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

В.Ф. Муцанов

УНИКАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
В ПРИОРИТЕТАХ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ
Е.В. ГОРОХОВА6

Е.В. Горохов, А.М. Югов

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ 15

В.В. Губанов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ В НАУЧНОЙ ШКОЛЕ
ДОННАСА 26

*Е.В. Горохов, Я.В. Назим, В.Н. Васылев,
С.Н. Бакаев*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ
И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА 33

*В.В. Зверев, К.Е. Жидков, Н.В. Капырин,
И.В. Карманов*

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ БЕСКАРКАСНЫХ
АРЧНЫХ ЗДАНИЙ 45

А.А. Свентиков, М.Л. Кикаа

ОЦЕНКА СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ
СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК 49

АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Р.Г. Абакумов, А.Е. Тартыгина

ВОПРОСЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 53

В.А. Пшеничкина, А.В. Глухов, С.Г. Глухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ
ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗОК В ЗАДАЧАХ
ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ И РЕСУРСА
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 58

SUMMARY

V.P. Mushchanov.

UNIQUE STRUCTURES AND BUILDINGS AS A RESEARCH PRIORITY OF YE.V. GOROKHOV SCIENTIFIC SCHOOL

The article deals with the basic stages of scientific research concerning the providing of reliability and durability of bearing metal structures of the unique structures and buildings, which was realized within the scientific school created by Doctor of Engineering of Sciences, Prof. Ye.V. Gorokhov. Basic works have been presented, and, also, the scientific results have been obtained for the spatial metal constructions of long-span coverages, unique systems providing the troposphere connection, constructions of vertical cylindrical tanks for storage of oil and oil products.

Ye.V. Gorokhov, A.M. Yugov

EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION AND TECHNICAL DIAGNOSTICS OF METAL STRUCTURES OF INDUSTRIAL BUILDINGS AND STRUCTURES

Research teams of the Department of Metal Structures, the Department of Theoretical and Applied Mechanics and the Department of Technology and Management of Construction of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture under the guidance of Doctor of Engineering Sciences, Professor Ye.V. Gorokhov for 50 years has actively been involved in the problem of assessing the technical condition and technical diagnostics of operating metal structures of industrial buildings and structures. The conducted theoretic and experimental studies resulted in the development of methodological basis for improving the reliability of the operated metal structures of buildings and structures based on the use of methods of system analysis of the behavior of structures in operation, inspection, assessment of technical condition, technical diagnosis, monitoring and forecasting of the bearing capacity.

Gubanov V.V.

RESEARCH OF SHIGH-RISE STRUCTURES IN SCIENTIFIC SCHOOL OF DONNACEA

The paper deals with the main stages of scientific research concerning design and durability provision for load carrying steel structures of high-rise construction, which was realized within the scientific school created by Doctor of Engineering Sciences, Prof. Ye.V. Gorokhov. The main completed theoretical and experimental works and applications have been outlined for exhaust towers, shells of steel chimneys, cooling towers, mobile net guyed masts, steel mine headframes.

Ye.V. Gorokhov, Ya.V. Nazim, V.N. Vasylev, S.N. Bakayev

IMPROVING THE RELIABILITY AND DURABILITY OF POWER NETWORK CONSTRUCTION

The scientific team of the Department of Metal Structures of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture under the guidance of prof. Ye.V. Gorokhov for more than 25 years has been actively engaged in the problem of increasing the reliability and durability of building structures of power network construction. As a result, the complex of studies of theoretical and applied nature, significant scientific results has been achieved in improving the reliability and durability of structures, through the use of optimal design methods, probabilistic methods for calculating structures, field tests and experimental modeling, monitoring, forecasting operational loads and impacts.

S U M M A R Y

V.V. Zverev, K.E. Zhidkov, N.V. Kapyrin, I.V. Karmanov
**REVISITING THE ENSURING OF RELIABILITY
OF FRAMELESS ARCHED BUILDINGS**

The advantages of frameless arched buildings from thin-rolled products compared to traditional frame buildings and structures made from pivotal light metal structures have been noted. The typical examples of collapses have been given. The causes of accidents of buildings and structures of this type at various stages of the life cycle have been analyzed.

It is shown that increasing of the reliability of facilities is possible only under proper control at all stages: designing, manufacturing, installation and operation.

Based on the analysis of regulatory documents valid in the Russian Federation, it is concluded that the issue of control for the structures under consideration, taking into account their peculiarities, is still unsolved.

A.A. Sventikov, M.L. Kikaa
**ASSESSMENT OF OPERATION OF STEEL
CRANE GIRDER**

The article describes the probabilistic evaluation of the operation life of crane steel girders. Technical failure is used as a probabilistic criterion of the stress-strain state. The method of two moments is used for its calculation. The proposed method of assessment of reliability is tested on the example of calculating the steel crane girder with a span of 6 m and under medium and heavy mode of operation. The criteria were the limit and acceptable value of risk. On the basis of technical risk assessment, the limits of the crane girder life with medium and heavy operating conditions are determined.

Abakumov R.G., Tartygina A.E.
**ISSUES OF DURABILITY OF BUILDINGS AND
STRUCTURES**

Recently, designers tend to face the problem of sustainable architecture and ensuring the necessary durability of buildings. The lifetime of buildings depends on the collision of interests to ensure the high commercial value of the object and its strength, which seems to be a contradiction in investment and construction projects. The paper discusses the main aspects of the durability of buildings, such as their technical strength, functional durability, aesthetic longevity and operational life. An overview of factors affecting the average life expectancy of construction objects is presented. The exposure of groups of residential buildings, depending on the life of the main structural elements has been given. The analysis of the properties recommended for recycled or processed materials has been made.

V.A. Pshenichkina, A.V. Glukhov, S.G. Glukhova
**PROBABILISTIC LOAD PARAMETER MODELING IN
RESOLVING THE SAFETY AND LIFETIME ASSESSMENT
PROBLEMS FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS**

The article is devoted to the evaluation of the statistical characteristics of the total generalized load, including a constant, temporary long-term, snow and wind ones. Based on the known distribution laws of each of the component loads, their central statistical moments and the approximate distribution law for the generalized load have been obtained. The obtained results should be applied for the practical solution of problems of safety assessment and residual life of buildings and structures.

C O N T E N T S

NEWS OF THE MINISTRY OF CONSTRUCTION AND HPU

S.S. Naumets
RELIABILITY – DURABILITY –
LIVELIHOOD..... 4

SCIENCE IN THE FIELD OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

V.P. Mushchanov
UNIQUE STRUCTURES AND BUILDING
IN AS A RESEARCH PRIORITY
OF YE.V. GOROKHOV SCIENTIFIC SCHOOL..... 6

E.V. Gorokhov, A.M. Yugov
EVALUATION OF TECHNICAL
CONDITION AND TECHNICAL
DIAGNOSTICS OF METAL
STRUCTURES OF INDUSTRIAL
BUILDINGS AND STRUCTURES 15

V.V. Gubanov
RESEARCH OF SHIGH-RISE
STRUCTURES IN SCIENTIFIC
SCHOOL OF DONNACEA..... 26

*Ye.V. Gorokhov, Ya.V. Nazim,
V.N. Vasylev, S.N. Bakayev*
IMPROVING THE RELIABILITY
AND DURABILITY OF POWER
NETWORK CONSTRUCTION 33

*V.V. Zverev, K.E. Zhidkov,
N.V. Kapyrin, I.V. Karmanov*
REVISITING THE ENSURING
OF RELIABILITY OF FRAMELESS
ARCHED BUILDINGS..... 45

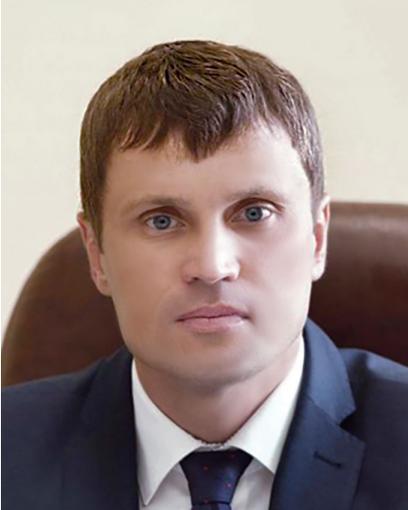
A.A. Sventikov, M.L. Kikaa
ASSESSMENT OF OPERATION
OF STEEL CRANE GIRDER..... 49

ACTUAL INFORMATION

R.G. Abakumov, A.E. Tartygina
ISSUES OF DURABILITY
OF BUILDINGS AND STRUCTURES 53

V.A. Pshenichkina, A.V. Glukhov, S.G. Glukhova
PROBABILISTIC LOAD PARAMETER
MODELING IN RESOLVING
THE SAFETY AND LIFETIME
ASSESSMENT PROBLEMS FOR
BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS..... 58

НАДЕЖНОСТЬ — ДОЛГОВЕЧНОСТЬ — ЖИВУЧЕСТЬ



Министр строительства
и жилищно-коммунального
хозяйства ДНР
Сергей НАУМЕЦ

Основной задачей расчета и проектирования строительных конструкций является необходимость обеспечения возможности их безотказной эксплуатации в течение всего жизненного цикла конструкции. Большинство норм проектирования, основанных на базовых постулатах теории надежности, определяют цель строительного проектирования как «достижение приемлемой вероятности того, что проектируемая конструкция не окажется непригодной для использования по назначению в течение некоторого условного периода, установленного с учетом ее расчетного срока службы».

Расчет строительных конструкций производят для обеспечения их безотказной эксплуатации при заданных условиях в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации при соблюдении принципов минимальной стоимости, технологичности в изготовлении и монтаже и удобстве в эксплуатации.

Можно выделить два основных направления обеспечения надежности строительных конструкций, обусловленные историческим опытом строительства:

— *эмпирические методы*, использовавшиеся на ранних стадиях, начиная с первобытного и рабовладельческого строя вплоть до промышленной революции;

— *научно обоснованные расчетные методы*, основы которых сформировались в основном в период промышленной революции в предпосылке к интенсивному применению научных познаний в строительстве.

Ответственность строителя за надежность проектируемых им сооружений практиковалась с древних времен, причем довольно суровыми методами. Древнейшим примером может служить строительный устав, вырезанный на колонне, хранящейся в Лувре. Этот кодекс был составлен в царствование Хаммурапи — царя Вавилона в XVIII в. до н.э. Одна из надписей гласит: «...если строитель построил дом для человека, и работа его не крепка, и дом, построенный им, обвалился и убил владельца, то строитель сей должен быть казнен».

Естественно, что на современном этапе вопрос обеспечения надежности решается иными методами, но ответственность строителя перед обществом от этого не становится меньше. В этом плане ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» является одним из ведущих вузов Донецкого края. Уже долгие годы вуз занимается подготовкой специалистов для сферы строительства и жилищно-коммунального хозяйства. А если вспомнить, что наш край возник буквально посреди голой степи, то значение ДОННАСА трудно переоценить. Без выпускаемых в стенах академии специалистов не было бы того уровня уюта и комфорта, который нас окружает в наших домах и является достижением цивилизации (свет, газ, вода, отопление).

В тяжелые военные годы ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» продолжает сохранять свой высокий научный потенциал и на высоком научном уровне решать вопросы надежности, долговечности, живучести строительных металлоконструкций. И это заслуга как всего научно-преподавательского коллектива, так и руководителя научной школы, в рамках которой на протяжении 40 лет

исследуются вопросы надежности и долговечности строительных металлоконструкций, — Министра образования и науки Донецкой Народной Республики, Президента Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, иностранного члена Российской академии архитектурно-строительных наук, заведующего кафедрой металлических конструкций и сооружений, доктора технических наук, профессора Е. В. Горохова.

Базируясь на прочном фундаменте научных достижений ученых академии и, в первую очередь, научной школы, созданной Е. В. Гороховым, ДОННАСА сегодня выпускает лучших специалистов в сфере строительства и архитектуры, которые востребованы как в Донецкой Народной Республике, так и зарубежом. Многие сотрудники Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики в свое время прошли обучение в стенах ДОННАСА, получили путевку в жизнь и работают в самых разных сферах строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства. Могу с уверенностью сказать, что это образовательное учреждение является не просто базовой организацией Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики в вопросах научно-технической политики, но и фундаментообразующей силой нашего региона. И нам с вами важно сберечь и преумножить этот потенциал во имя Республики! Свидетельством этого высокого уровня стали результаты завершенной в конце 2018 г. научно-исследовательской работы «Разработка концепции создания социального жилья и восстановления объектов инфраструктуры на территориях, пострадавших от военных действий», выполненной специалистами академии при тесном взаимодействии с Минстроем ДНР. Результаты исследований одобрены решением Градостроительного Совета Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики и стали научной и методической основой разрабатываемой «Программы жилищного строительства в Донецкой Народной Республике». Естественно, что одними из важнейших вопросов, разработанных в рамках данной НИР, стали проблемы обеспечения надежности,

долговечности, живучести, резервы несущей способности конструкций зданий и сооружений, новые подходы к расчетам и усилению конструкций, получившим повреждения в ходе боевых действий.

Основу этого выпуска журнала составили материалы, представленные на прошедшей 20 – 21 марта 2019 г. Республиканской научно-практической конференции (с международным участием) «Повышение надёжности и долговечности строительных конструкций и сооружений: теория, исследования, практика» (к 80-летию иностранного члена РААСН, Министра образования и науки ДНР, Президента ГОУ ВПО «ДОННАСА», заведующего кафедрой металлических конструкций и сооружений, доктора технических наук, профессора Горохова Евгения Васильевича). Они охватывают ряд важнейших направлений исследований по данной проблеме:

- теоретические основы надежности конструкций зданий и сооружений;
- экспериментально-статистическое обоснование основных параметров расчета надежности зданий и сооружений;
- обеспечение и прогнозирование эксплуатационной надежности уникальных сооружений (большепролетные сооружения, высотные конструкции: башни, мачты, опоры ЛЭП);
- техническая диагностика и мониторинг конструкций зданий и сооружений;
- уточнение резервов остаточной несущей способности конструкций зданий и сооружений.

Учитывая, что сегодня мы начинаем новый этап развития строительного комплекса Республики, а именно формирование нормативной строительной базы (системы нормативно-правовых и нормативно-технических документов), опыт ведущих специалистов станет серьезным подспорьем в решении этого важнейшего и сложнейшего вопроса. Надеюсь, что результаты научных исследований, выполненных научными коллективами под руководством ведущих специалистов в данном направлении, внесут весомый вклад в обеспечение вопросов надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений, возводимых в нашей Республике, и будут интересны всем читателям нашего журнала: как маститым ученым, так и молодым специалистам, работающим в этом направлении.

УНИКАЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ В ПРИОРИТЕТАХ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ Е.В. ГОРОХОВА

В.Ф. Муцанов, доктор техн. наук, профессор

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. В статье рассмотрены основные этапы становления научных исследований в части обеспечения надежности и долговечности несущих металлоконструкций уникальных зданий и сооружений, реализованных в рамках научной школы д.т.н., проф. Е.В. Горохова. Представлены основные работы, а также полученные научные результаты для пространственных металлических конструкций большепролетных покрытий, уникальных систем обеспечения тропосферной связи, конструкций вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: большепролетные покрытия, антенные сооружения, вертикальные цилиндрические резервуары, надежность, долговечность.

ВВЕДЕНИЕ



*Муцанов
Владимир Филиппович*

Проблемой оценки технического состояния конструкций, повышения надежности и долговечности, разработки рекомендаций по эксплуатации уникальных зданий и сооружений, зачастую не имевших аналогов в мировой практике проектирования, научный коллектив под руководством Е.В. Горохова начал заниматься с середины 80-х годов прошлого столетия. На фундаменте исследований, выполненных в свое время проф. Я.М. Лихтарниковым и его учениками, сформировались, получили развитие и всесоюзное признание конструкторские школы академии, и в первую очередь, школы Е.В. Горохова – диагностики и обеспечения эксплуатационной надежности строительных металлоконструкций.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Первым шагом в этом направлении стали работы, связанные с вопросами эксплуатации конструкций павильонов Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ СССР), выполненные в рамках хозяйственных НИР, в частности № 86-5 «Разработать и внедрить мероприятия по повышению надежности и долговечности существующих конструкций павильона МОВ №3 ВДНХ СССР при его реконструкции».

Данный объект первоначально был запроектирован и сооружен для демонстрации советской экспозиции на Всемирной выставке ЭКСПО-67 в г. Монреале (Канада), а затем демонтирован и перевезен в СССР, где был вновь смонтирован на территории ВДНХ СССР, и эксплуатировался с 1977 г.

За период эксплуатации, предшествующей моменту начала работ по обследованию, встал ряд вопросов, связанных с низкими динамическими характеристиками междуэтажных перекрытий, недостаточными тепло-техническими характеристиками ограждающих конструкций, неудовлетворительными эксплуатационными свойствами покрытия полов перекрытий и состоянием несущих конструкций павильона.

В связи с этим в рамках этой интересной работы были разработаны методика исследования динамических характеристик междуэтажных перекрытий павильона, способы и проектные решения по их повышению, проведены исследования по уточнению аэродинамических характеристик объекта

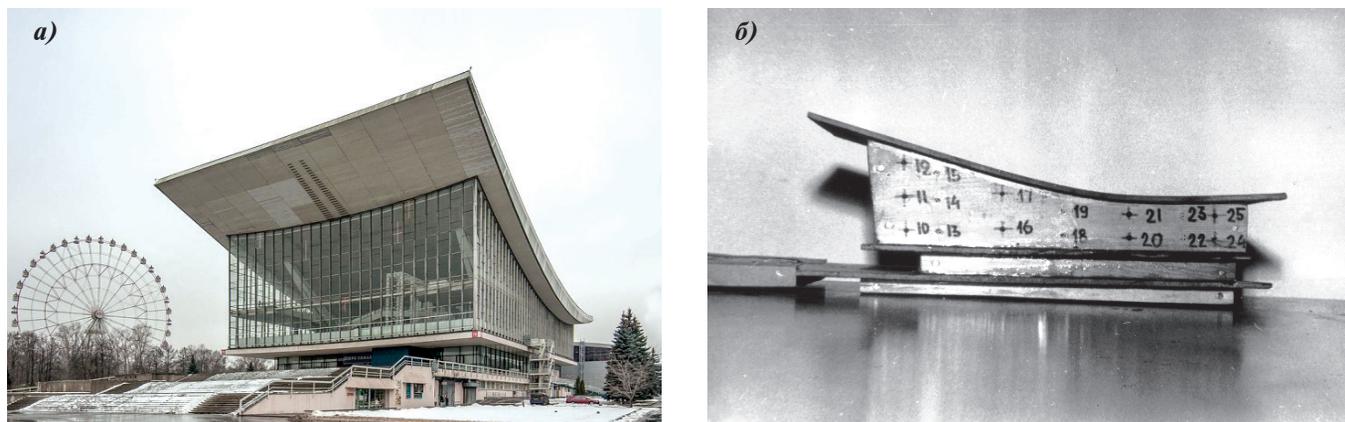


Рис. 1. Павильон МОВ № 3 ВДНХ СССР: а — общий вид объекта; б — модель объекта для исследований в аэродинамической трубе ЦНИИЭПсельстроя



Рис. 2. Большепролетные пространственные покрытия сооружений Олимпиады-80 в Москве: а — футбольно-легкоатлетический комплекс ЦСКА; б — универсальный спортивный зал «Измайлово»; в — Крытый стадион спорткомплекса «Олимпийский»; г — плавательный бассейн спорткомплекса «Олимпийский»

в аэродинамической трубе ЦНИИЭП сельстроя, а также разработана актуальная на тот момент методика перерасчета перекрестных ферм на ЭВМ с учетом их действительного состояния и даны рекомендации по устранению дефектов (рис. 1).

Одним из свидетельств высокого потенциала ученых тогдашнего МИСИ и его всесоюзного признания стали работы по технической диагностике и разработке комплекса мероприятий по обеспечению

надежной эксплуатации уникальных, сложнейших в инженерном плане объектов — мембранных покрытий сооружений, построенных к проведению Олимпиады-80 в Москве: крытого стадиона и бассейна спорткомплекса «Олимпийский», футбольно-легкоатлетического комплекса и спортзалов ЦСКА и «Измайлово» (рис. 2).

Работы выполнялись в рамках хозяйственных НИР:

— № 86-4: «Разработать методы оценки эксплуатационной надежности большепролетных

сооружений ЦСКА на основе технической диагностики коррозионного износа» (в рамках данной работы исследования в 1988 г. были продолжены на УСЗ «Измайлово»);

– № 88-1: «Оценка технического состояния и разработка мероприятий по обеспечению нормальной эксплуатации мембранного покрытия крытого стадиона спорткомплекса «Олимпийский»;

– № 89-51: «Оценка технического состояния и разработка мероприятий по обеспечению дальнейшей эксплуатации металлоконструкций покрытия плавательного бассейна спорткомплекса «Олимпийский».

Основным практическим итогом работ стало внедрение «Рекомендаций по технической эксплуатации строительных металлоконструкций большепролетных сооружений спортивных комплексов Олимпиады-80» для инженерно-технических работников службы эксплуатации, направленных на своевременное выявление, предупреждение развития и устранение дефектов и повреждений.

Накопленный опыт позволил воплотить результаты исследований на уникальных объектах Донбасса и Украины в период 1990...2013 гг. Методологической

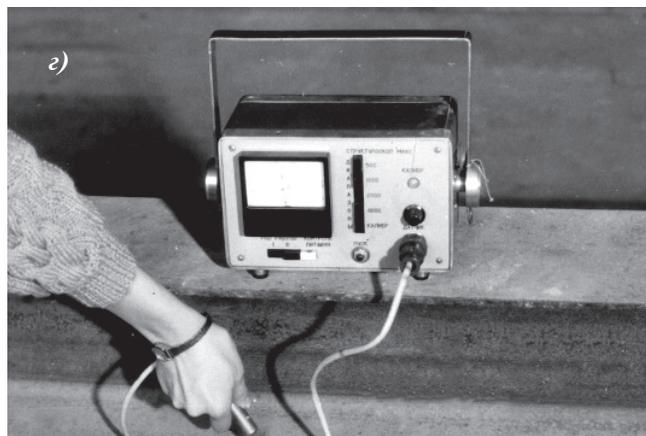


Рис. 3. К обследованию объектов Олимпиады-80: а – уточнение снеговых нагрузок на покрытия, б – комплексная оценка взаимодействия кровли и поверхности мембраны; в – уточнение прочностных характеристик материала несущих конструкций; г – оценка уровня напряжений неразрушающим методом

Следует отметить в проводимых работах как огромный объем уникального экспериментального материала, полученного в том числе с использованием неразрушающих методов контроля (рис. 3), так и тесное взаимодействие с ведущими научно-исследовательскими и проектными институтами страны (Московским научно-исследовательским институтом типового и экспериментального проектирования МНИИТЭП, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова и др.), которое осуществлялось при выполнении указанных работ.

основой для этих работ явились исследования, проведенные в 80-х гг. для большепролетных мембранных покрытий сооружений Олимпиады-80 в Москве.

К таким работам следует отнести (рис. 4.):

– № 103-02 ПК «Проведение комплекса работ по проектированию, оценке технического состояния и разработке рекомендаций по дальнейшей эксплуатации инженерных объектов стадиона «Локомотив» (на основе проведенных динамических испытаний разработаны рекомендации по дальнейшей безаварийной эксплуатации осветительных башен стадиона, а также, разработан проект устройства стационарного покрытия над VIP-зоной);

- НИР 104-01 ПК «Натурное освидетельствование, оценка технического состояния и разработка проекта усиления несущих конструкций юго-восточных секторов Центрального стадиона «Шахтер», г. Донецк;
- НИР 104-01 ПК (доп. соглашение) «Технико-экономическое обоснование инвестиций по проведению

- б) для стадиона «Арена-Львов»:
 - проведены дополнительные исследования по уточнению аэродинамических характеристик покрытия, на основе которого уточнена несущая способность опорных узлов конструкции покрытия (рис. 6 а);
 - разработаны предложения по устройству системы мониторинга конструкций покрытия (рис. 6 б).



Рис. 4. Объекты ФК «Шахтер»: а – стадион «Локомотив» (нынешний РСК «Олимпийский»); б – Центральный стадион «Шахтер»

I этапа реконструкции (усиление несущих конструкций) Центрального стадиона «Шахтер» в г. Донецке.

Для различных объектов, возводимых в рамках подготовки к ЕВРО-2012, научная школа Е.В. Горохова также внесла свой вклад на различных этапах их создания:

- а) для стадиона «Донбасс-Арена»:
 - разработка конструкций крепления инфракрасных тепловых горелок к несущим конструкциям покрытия стадиона (рис. 5 а);

По результатам выполненных в этом направлении исследований:

- защищены докторская и 10 кандидатских диссертаций [1 - 11];
- опубликованы три научные монографии [12-14], ряд статей в ведущих научных журналах, сборниках научных работ, материалы докладов на международных научных и научно-практических конференциях;
- опубликованы четыре учебных пособия с грифами Российской Федерации и Украины [15 - 18].

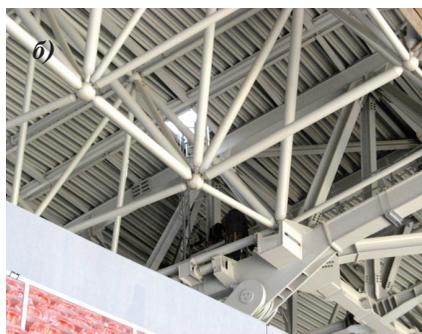
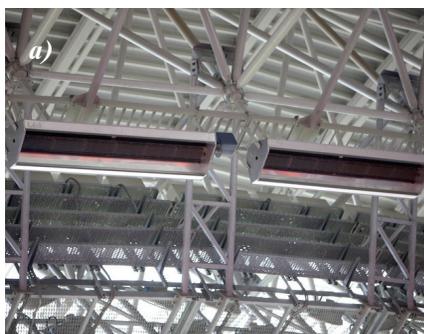


Рис. 5. Прикладные исследования и проектные разработки для стадиона «Донбасс-Арена»: а – конструкции крепления инфракрасных тепловых горелок к покрытию стадиона, б – теоретические и технологические основы технической диагностики и системы мониторинга, в – система мониторинга технического состояния металлоконструкций покрытия

– госбюджетная НИР № Д-2-1-00: создание теоретических и технологических основ технической диагностики и прогнозирования технического состояния строительных металлических конструкций» (рис. 5 б);

– НИР № 111-01 ПК-МК.ОП/2011: результаты мониторинга несущих металлических конструкций покрытия» (рис. 5 в) Данная работа выполнялась в тесной кооперации с ДП «Донецкий ПромстройНИИпроект».

Материалы исследований вошли в шесть нормативных документов государственного уровня [19 - 24].

Говоря о проектах уникальных большепролетных конструкций зданий и сооружений, которые были реализованы под руководством Е.В. Горохова, несомненно, следует упомянуть объекты, ставшие визитной карточкой как Донбасской национальной

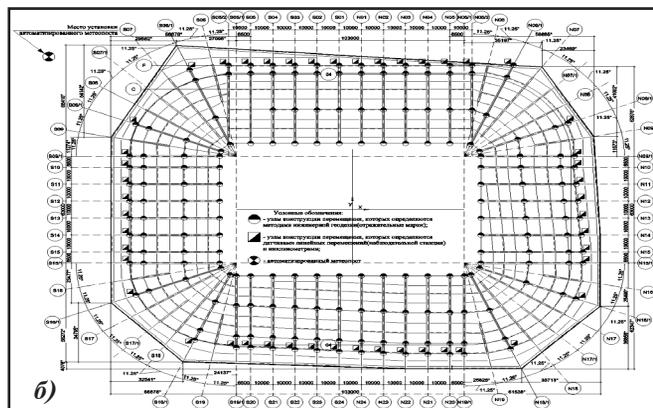


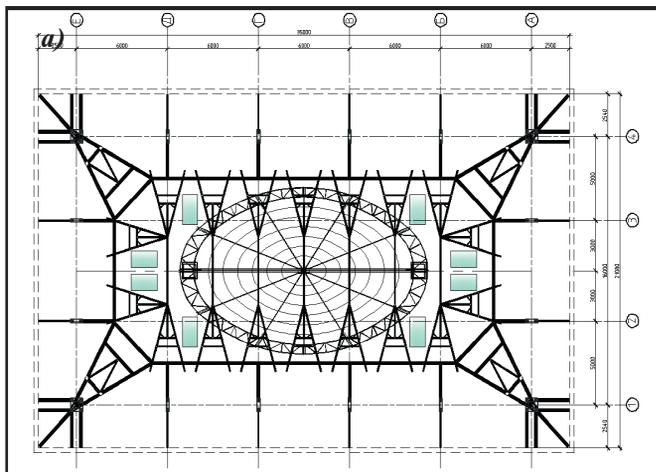
Рис. 6. К работам по стадиону «Арена-Львов»: а – общий вид стадиона, б – проект автоматизированной системы мониторинга технического состояния конструкций покрытия

академии строительства и архитектуры, так и г. Макеевки: «Зимний сад» ДОННАСА, переход в районе автобусной остановки «Студенческая».

Рассматривая конструктивное решение купола «Зимнего сада» ГОУ ВПО ДОННАСА, являющегося лишь одним из элементов индивидуального проекта перекрытия внутреннего пространства, образованного системой ранее построенных объектов «1-й учебный корпус – блок наклонных аудиторий –

переход», следует отметить следующие особенности, обуславливающие его уникальность (рис. 7):

— использование типовых элементов системы сухого строительства фирмы «КНАУФ» (Германия). Уникальность решения заключалась в том, что такие элементы ранее использовались лишь при формировании куполов диаметром до трех метров. В данном случае конструкторами решена задача по их использованию для конструкции на овальном плане с размерами осей 14,35 x 8,66 м;



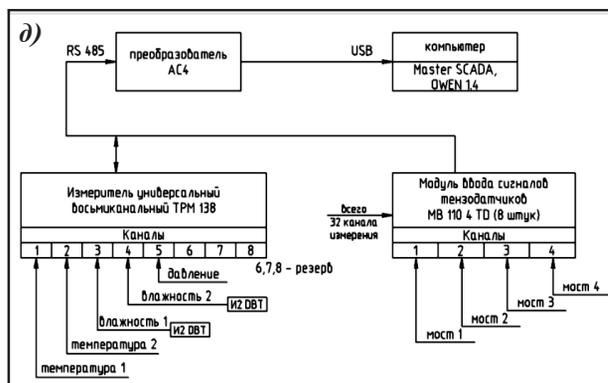


Рис. 7. «Зимний сад» ДОННАСА: а — принципиальное конструктивное решение, б — общий вид купола в период монтажа, в — монтаж элементов внутреннего купола, г — обсуждение конструктивных и технологических решений с Н. Кнауфом — руководителем фирмы «КНАУФ», д — принципиальная схема системы мониторинга, е — общий вид купола по завершению росписи поверхности

— разделение функций несущих и ограждающих конструкций купола, когда основные несущие функции по восприятию нагрузок от собственного веса сооружения, атмосферных и технологических нагрузок воспринимала внешняя система, выполненная в виде перекрестных ферм с криволинейным очертанием поясов, а ограждающие функции выполнила внутренняя оболочка купола, сформированная из типовых элементов системы «КНАУФ»;

— объединение двух подсистем в единую конструкцию посредством пластинчатых шарниров, уникальная конструкция которых позволила обеспечить свободу деформирования большепролетной системы купола при несимметричных деформациях, возникающих вследствие осадок сооружения, действию несимметричных нагрузок, других воздействий;

— устройство при возведении объекта системы мониторинга технического состояния конструкции купола, позволяющей накапливать информацию о действующих нагрузках и воздействиях, параметрах напряженно-деформированного состояния элементов системы, обработка которой в дальнейшем станет научной основой для совершенствования принятых конструктивных решений.

Особо следует отметить, что все работы по формированию ограждающих конструкций купола выполнены силами студентов, получающих рабочие специальности по технологиям сухого строительства в учебно-научно-производственном центре «КНАУФ-ДОННАСА» под руководством учебных мастеров центра — преподавателей академии.

Аналогичный принцип концентрации усилий всех ведущих специалистов академии на решении нестандартных задач был использован Е.В. Гороховым при создании еще одного объекта — пешеходного перехода уникальной конструкции, расположенного в районе автобусной остановки «Студенческая» (рис. 8).

Еще одними из интереснейших работ стали исследования по оценке технического состояния, разработке рекомендаций по усилению и дальнейшей эксплуатации антенн для тропосферной связи системы «Горизонт», которые проводились сотрудниками МакИСИ на станциях в Воркуте, Салехарде, Волочанке, Тикси, мысе Святой Нос, Анадыре, Магадане (рис. 9).

Металлические решетчатые конструкции параболических антенн системы «Горизонт», работающих



Рис. 8. Пешеходный переход через Донецкое шоссе в районе остановки «Студенческая»

а) **2-й этап: 80-е...90-е гг. - развитие и всесоюзное признание**



Рис. 9. Техническая диагностика и реконструкция антенн для тропосферной связи системы «Горизонт»: а — карта работ по обследованию сотрудниками МакИСИ антенн тропосферной связи системы «Горизонт», б — станция «Чайка» (г. Салехард), в — коллектив научных сотрудников кафедры «Металлические конструкции» на обследовании конструкций антенн тропосферной связи в г. Воркуте

в сантиметровом и дециметровом диапазоне радиочастот, которые эксплуатировались с 60-х годов прошлого века и расположены в наиболее суровых климатических условиях огромной страны, в труднодоступных районах, где отсутствуют транспортные магистрали, к моменту обследования (конец 80-х) уже исчерпали проектный срок эксплуатации и получили большое количество повреждений. Коллективом были выполнены уникальные работы в рамках целого ряда хозяйственных НИР:

— № 88-3 «Провести исследования и разработать методику обследования конструкций АС «Горизонт»;

— № 88-4 «Провести исследования технического состояния несущих конструкций АС «Горизонт» в г. Воркуте и разработать рекомендации по обеспечению их нормальной эксплуатации»;

— № 89-31 «Провести исследования технического состояния конструкций АС «Горизонт» в г. Магадане и разработать рекомендации по обеспечению их нормальной эксплуатации»;

— № 89-36 «Оценка технического состояния конструкций радиорелейной мачты проекта 34100 в г. Кайеркане, эксплуатирующихся в агрессивных средах, и разработка рекомендаций по защите от коррозии конструкций антенны ТР-410 в п. Диксон»;

– № 90-5 «Оценка технического состояния и разработка рекомендаций по нормализации металлоконструкций АС «Горизонт» в п. Тикси»;

– № 90-11 «Оценка технического состояния и разработка рекомендаций по нормализации металлоконструкций АС «Горизонт» в п. Волочанка».

По результатам проведенных исследований под руководством Е.В. Горохова защищена кандидатская диссертация [25].

Еще одним направлением, о котором нельзя не упомянуть, говоря о конструкциях уникальных зданий и сооружений, являются работы по оценке технического состояния и разработке рекомендаций по усилению и эксплуатации конструкций вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Эти работы начаты в 90-х годах по инициативе Е.В. Горохова. Был проведен ряд серьезных исследований на конструкциях вертикальных цилиндрических резервуаров Славянской, Угледорской, Запорожской ГРЭС, ЗАО «Донецкстройтрансснаб», ПАО «Укртатнафта» и других организаций.

По результатам исследований защищены три кандидатские диссертации [26-28], опубликован ряд статей в ведущих научных изданиях.

ВЫВОДЫ

На основе проведенного обзора и критического анализа результатов научных исследований по обеспечению надежности и долговечности металлоконструкций уникальных зданий и сооружений, выполненных в рамках научной школы Е.В. Горохова, можно сформулировать следующие основные выводы:

а) для конструкций большепролетных покрытий:

– разработаны новые методики расчета и проектирования, обеспечивающие необходимый уровень надежности при проектировании конструкций повышенной ответственности (в том числе для уникальных покрытий большепролетных сооружений);

– предложены и реализованы подходы к нормированию значений коэффициента условий работы для элементов конструкций большепролетных сооружений;

– разработан универсальный вероятностный метод расчета тонколистовых металлических конструкций, позволяющий оценить уровень надежности элементов, составляющих конструкцию;

– в рамках метода конечных элементов предложены подходы к учету вероятностного характера факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкции, на стадии формирования матриц жесткости конечных элементов;

– разработана методика совместного учета геометрической и конструктивной нелинейности в расчетах пространственных конструкций большепролетных сооружений с учетом изменения расчетной схемы в процессе монтажа и эксплуатации;

– уточнены параметры действительного напряженно-деформированного состояния конструкций уникальных покрытий мембранного типа;

б) для уникальных сооружений связи:

– установлены теоретические зависимости влияния коррозионного износа, действующих нагрузок на изменение основных параметров напряженно-деформированного состояния металлических решетчатых конструкций антенных сооружений;

– выявлены особенности действительной работы конструкций антенных сооружений, обусловленные влиянием конструктивных и эксплуатационных факторов;

– разработана методика для выполнения поверочных расчетов несущей способности и прогнозирования долговечности конструкций антенных сооружений;

в) для конструкций вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов:

– на основе фундаментальных положений теории надежности установлены зависимости для определения резерва несущей способности зоны стыков резервуаров с угловым несовершенством;

– для узлов соединения стенки с днищем вертикальных цилиндрических резервуаров рекомендованы границы применения шарнирной и рамной расчетных схем в зависимости от податливости основания и конструктивного решения узла и обобщенные зависимости, позволяющие для резервуаров больших объемов определить компоненты напряженно-деформированного состояния с учетом значимых факторов;

– разработан универсальный геометрический и компьютерный алгоритм моделирования действительной поверхности стенки резервуара с учётом как общих, так и местных несовершенств геометрической формы, на основе которого выполнена оценка совместного влияния общих и местных несовершенств геометрической формы на напряженно-деформированное состояние стенки резервуара в линейной и нелинейной постановках;

– на основе комплексного подхода к численному моделированию и анализу влияния несовершенств геометрической формы на напряженно-деформированное состояние стального вертикального цилиндрического резервуара, находящегося в эксплуатации, разработана инженерная методика, охватывающая этапы:

- построения компьютерной модели объекта с учетом фактических геометрических несовершенств;
- численный расчёт на прочность и устойчивость;
- анализ полученных результатов исследований с прогнозированием развития дефектов в ходе дальнейшей эксплуатации.

Список литературы:

- Муцанов В.Ф. Действительная работа и надежность мембранных конструкций. — Дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук, Одесса, 1997 г.
- Гибаленко А.Н. Действительная работа и особенности конструирования мембранных покрытий с учетом условий эксплуатации. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Одесса, 1993 г.
- Галактионов А.В. Обеспечение технологичности и долговечности ограждающих конструкций покрытий промышленных зданий при реконструкции. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 1996 г.
- Гибаленко В.А. Работа жестких нитей сквозного сечения. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2000 г.
- Пожарская Г.А. Обоснование показателей надежности и гарантированной долговечности противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2001 г.
- Касимов В.Р. Прочность и деформативность большепролетной стержневой оболочки покрытия с большим вырезом на эллиптическом плане. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2004 г.
- Черных И.Ю. Стальные трубчатые конструкции перекрестно-стержневых систем с гарантированными показателями долговечности. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2005 г.
- Руднева И.Н. Особенности пространственной работы висячего покрытия, образованного системой жестких нитей. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2006 г.
- Сивоконь Ю.В. Мембранные оболочки покрытий над трибунами стадионов с большими вырезами на эллиптическом плане. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2007 г.
- Прядко Ю.Н. Надежность большепролетных стержневых покрытий с большим вырезом, образованных системой жестких нитей на эллиптическом плане. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2012 г.
- Оржеховский А.Н. Особенности напряженно-деформированного состояния и надежность проектируемых и эксплуатируемых рамно-консольных покрытий над трибунами стадионов. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2017 г.
- Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Югов А.М., Колесниченко С.В., Васылев В.Н. Алгоритмы расчета стальных конструкций. — М., Стройиздат, 1989. — 368 с.
- Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Кинаш Р.И., Шимановский А.В., Лебедич И.Н. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов / под ред. Е.В. Горохова и А.В. Шимановского. — Макеевка, РИО ДОННАСА, 2008. — 405 с.
- Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Васылев В.Н., Назим Я.В., Касимов В.Р., Мнацаканян К.Б., Пчельников С.Б., Денисов Е.В. Системы мониторинга технического состояния несущих металлических конструкций зданий и сооружений / под общей редакцией Е.В. Горохова и В.Ф. Муцанова. — Макеевка, ПЦ ДОННАСА, 2013. — 314 с.
- Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Васылев В.Н., Ягмур А.А. Обследование и испытание несущих конструкций зданий и сооружений / Киев, УМК ВО УССР, 1991.
- Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Веретенников В.И., Старченко А.Ю., Гавриш А.М., Пахомов И.А., Горохов А.Е. Подвесные потолки общественных зданий. Учебное пособие / Макеевка, РИС ОМС ДонГАСА, 2002. — 111 с.
- Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Назим Я.В., Роменский И.В. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций (рекомендовано к печати решением Президиума УМО вузов РФ по образованию в области строительства и Правления АСВ в качестве учебного пособия) / под общей редакцией Е.В. Горохова — Макеевка, ПЦ ДОННАСА, 2012. — 561 с.
- Горохов Е.В., Муцанов В.П., Назим Я.В., Роменский И.В. Розрахунок і проектування просторових металевих конструкцій / навч. посібник під загальною редакцією Є.В. Горохова — Макіївка, ДонНАБА, 2012. — 538 с.
- Рекомендации по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений ВДНХ СССР, Москва, 1986.
- Рекомендации по проектированию, возведению и эксплуатации покрытий мембранного типа. — Киев—Макеевка, УкрНИИПСК, ДГАСА, 1997. — 56 с.
- ДБН В.2.6-163:2010. Конструкции зданий и сооружений. Стальные конструкции. Нормы проектирования, изготовления и монтажа. — Киев, Минрегионстрой Украины, 2010. — 225 с.
- ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:2014 (EN 1993-1-7:2007, IDT). ЕВРОКОД 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-7: Пластинчатые конструкции при нагружении поперечной нагрузкой. — Киев, Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, 2015.
- Национальное приложение к ДСТУ, идентичного Еврокоду, в виде: Изменения №1 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:2012 ЕВРОКОД 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-7: Пластинчатые конструкции при нагружении поперечной нагрузкой. — Киев, Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, 2015.
- ДБН В.2.6-198:2014 «Государственные строительные нормы Украины. Стальные конструкции. Нормы проектирования». — Киев, Минрегион Украины, 2014 г.
- Левченко Д.В. Обеспечение долговечности антенных сооружений. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 1997 г.
- Кулик А.А. Действительная работа монтажных стыков вертикальных цилиндрических резервуаров. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2003 г.
- Роменский Д.И. Краевые эффекты в безмоментных оболочках емкостных сооружений для хранения жидких и сыпучих материалов. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2012 г.
- Крысько А.А. Геометрическое и компьютерное моделирование эксплуатируемых конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы. — Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Макеевка, 2016 г.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Е.В. Горохов, доктор техн. наук, профессор; А.М. Югов, доктор техн. наук, профессор
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Научные коллективы кафедры металлических конструкций и сооружений, кафедры теоретической и прикладной механики и кафедры технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДОННАСА) под руководством доктора технических наук, профессора Е.В. Горохова в течение 50 лет активно занимаются проблемой оценки технического состояния и технической диагностики эксплуатируемых металлических конструкций промышленных зданий и сооружений. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны методологические основы по повышению надежности эксплуатируемых металлических конструкций зданий и сооружений на основе использования методов системного анализа поведения конструкций в условиях эксплуатации, обследования, оценки технического состояния, технической диагностики, мониторинга и прогнозирования несущей способности.

Ключевые слова: металлические конструкции, здания, инженерные сооружения, оценка технического состояния, техническая диагностика, мониторинг, прогнозирование.



Горохов
Евгений Васильевич



Югов
Анатолий Михайлович

ВВЕДЕНИЕ

С середины 60-х годов XX века научные коллективы под руководством Е.В. Горохова задумывают и уверенно реализуют в виде нового научного направления комплекс кадровых, технических и организационных мероприятий, посвященных проблеме оценки технического состояния и технической диагностики металлических конструкций зданий и сооружений промышленных предприятий на территории СССР.

Началом и исходным пунктом этого процесса стала первая крупная работа, выполненная на кафедре строительных конструкций тогда еще Донецкого политехнического института (ДПИ), посвященная обследованию и разработке проектов усиления травильного цеха Харцызского сталепроволочно-канатного завода. Работа выполнялась в 1966-1967 г.г. в рамках СПКБ (студенческого проектно-конструкторского бюро). Эта работа также была первым реальным дипломным проектом в ДПИ.

С 1969 года на кафедре организуется постоянно действующая группа, а с 1971 года — научное направление, которое тоже возглавил к.т.н. Е.В. Горохов. С самого начала работы группа активно участвует в госбюджетной и хоздоговорной тематиках кафедры, а также начинает научные исследования в нескольких направлениях в области долговечности и надежности стальных конструкций в условиях эксплуатации.

Обобщением выполненных поисковых работ и постановкой научной проблемы явилась публикация главы «Надежность и долговечность строительных металлических конструкций» в книге «Прогрессивные стальные конструкции» (изд-во «Донбасс», 1974).

Актуальность данного научного направления была вызвана тем, что в СССР в целом и на Украине в частности на это время был накоплен значительный фонд строительных металлических конструкций. Так, например, только в основных областях промышленности Украины эксплуатируются около 40 миллионов тонн несущих металлических конструкций.

Задуманная и реализованная на практике работа продолжается до сегодняшнего дня и приносит народному хозяйству существенные положительные результаты.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Анализ технического состояния зданий и сооружений, введенных в действие в течение XX века, свидетельствует о том, что в их техническом содержании и обслуживании не было надлежащего порядка, соответствующей системы, которая обеспечивала бы квалифицированную эксплуатацию, техническую диагностику и мониторинг их состояния, своевременный ремонт, реновацию и предупреждала бы аварии, обеспечивая тем самым сохранение материальной базы промышленности и ликвидацию нежелательных нарушений экологического состояния окружающей среды. Большая часть этого фонда имеет значительную физическую изношенность и поврежденность. Поскольку масштабы строительства новых зданий и сооружений относительно небольшие, то возникает проблема обеспечения надежности эксплуатации существующего парка строительных металлических конструкций на основе технического освидетельствования, мониторинга, технической диагностики и прогнозирования технического состояния.

С 1971 года творческая группа под руководством Е.В. Горохова начинает выполнять крупные народно-хозяйственные заказы по Донбасскому региону — цеха Новокаматорского машиностроительного, Дружковского машиностроительного, Енакиевского металлургического и других заводов.

С выходом статьи Е.В. Горохова «Натурные исследования и усиление металлических конструкций каркаса промышленного здания» (журнал «Промышленное строительство», №1, 1976) география работ расширяется до Прибалтики на севере, Карпат на западе, Новокузнецка на востоке. Среди наиболее значимых объектов — реконструкция мартеновского цеха Кулебакского металлургического завода (Нижегородская область), цехов Рижского вагоностроительного завода, Новокузнецкого металлургического комбината, Московского коксогазового завода и др.

Кроме практических результатов исследований эксплуатационного состояния конкретных конструкций, проводится сбор, накопление и обработка данных по дефектам и повреждениям строительных конструкций и условиям их эксплуатации.

Для комплексной реализации данного научного направления в 1972 г. при кафедре «Металлические конструкции» Макеевского инженерно-строительного института для решения проблемы обеспече-

ния надежности и долговечности эксплуатируемых стальных конструкций создана научно-производственная лаборатория «Эксплуатация и надежность строительных конструкций» (НПЛ ЭНСК), научным руководителем которой стал тогда проректор по научной работе, доцент, к.т.н. Горохов Е.В.

В качестве основных направлений исследований лаборатории были определены:

- уточнение нагрузок и воздействий;
- исследование свойств материалов конструкций, находящихся в стадии эксплуатации;
- систематизация и анализ причин дефектов и повреждений;
- разработка методик и программ расчета конструкций с учетом эксплуатационного состояния;
- исследование коррозионного состояния и разработка методов и составов антикоррозионной защиты стальных конструкций;
- разработка методов и способов усиления и ремонта конструкций в условиях эксплуатации.

В 1975 году утверждена Всесоюзная программа 055.01.121 «Разработать и внедрить прогрессивные способы реконструкции промышленных зданий и сооружений ведущих отраслей промышленности, обеспечивающие сокращение трудозатрат, материальных ресурсов и сроков ее проведения», в реализации которой была задействована НПЛ ЭНСК. С этого времени и до распада СССР НПЛ лаборатория участвует в разработках нормативных документов и справочной литературы на всесоюзном, республиканском и региональном уровнях. Наиболее важными достижениями можно считать участие в разработке главы 20 СНиП II-23-81 и пособия к ней, а также издание монографии (совместно с кафедрой «Металлические конструкции» Московского инженерно-строительного института): В.Н. Валь, Е.В. Горохов, Б.Ю. Уваров «Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции» / Москва, Стройиздат, 1987 г.

В 1986 г. для развития этого направления создан творческий коллектив из молодых ученых и студентов «Диагностика и реконструкция», который исследует вопросы реконструкции зданий и сооружений в условиях действующего производства (науч. руководитель — доктор техн. наук, проф. Е.В. Горохов).

Для объединения усилий ученых Украины в развитии научного направления в 1988 г. на научно-производственной базе кафедры «Металлические конструкции» создан Донецкий комплексный отдел института «УкрНИИПроектстальконструкция». Отдел работал до 1993 г. и выполнил большой объем проектных и исследовательских работ по обследованию и разработке проектов усиления конструкций зданий и сооружений промышленных предприятий.

В рамках указанных научно-производственных подразделений большое количество молодых ученых

и студентов выполнили значительный объем работ по обследованию, оценке технического состояния, технической диагностике, разработке проектов усиления, паспортизации и прогнозированию технического состояния металлических конструкций промышленных зданий и сооружений на территории СССР и новых государств.

Е.В. Горохов активно участвует во всесоюзных и республиканских конференциях, а в 1981 и 1986 годах организует в стенах Макеевского инженерно-строительного института (впервые на территории СССР) первую и вторую всесоюзные научно-технические конференции «Повышение эффективности эксплуатации и реконструкции промзданий металлургической, машиностроительной и горной промышленности». В конференциях приняли участие ведущие ученые всех союзных республик, в том числе директор ЦНИИПроектстальконструкция академик Н.П. Мельников.

В дальнейшем в стенах МИСИ (затем Донбасской государственной академии строительства и архитектуры) были проведены ряд конференций, семинаров и совещаний всесоюзного, республиканского (с 1991 года – украинского) и регионального уровней.

К основным научным и практическим результатам, полученным в результате выполненных работ за период с 1985 по 1992 гг., следует отнести:

- создание базы и статистический анализ данных о геометрических отклонениях и прочностных свойствах использованного металлопроката, геометрических несовершенствах, обусловленных примененным методом монтажа, фактическими данными о постоянных и временных нагрузках, годовом температурно-влажностном режиме эксплуатации, величинах коррозионного износа основных несущих конструкций, дефектах и повреждениях эксплуатируемых конструкций;

- выполненную оценку эксплуатационной надежности обследованных покрытий;

- разработку рекомендаций по обеспечению дальнейшей нормальной эксплуатации покрытий.

Позднее актуальность данного научного направления была подтверждена Постановлением Кабинета Министров Украины № 409 от 05 мая 1997 г. «Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей»; Постановлением Кабинета Министров Украины № 1313 от 22 августа 2000 г. «Об утверждении Программы предотвращения и реагирования на чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера на 2000–2005 годы с целью комплексного решения проблем защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера в интересах безопасности отдельного человека,

общества, национального достояния и окружающей среды»; Распоряжением Кабинета Министров Украины от 11 июня 2003 г. № 351-р «Об одобрении Концепции Государственной программы обеспечения технологической безопасности в основных областях экономики».

При разработке данной проблемы научным коллективом под руководством Е.В. Горохова получены следующие основные результаты:

- математическая модель накопления несовершенств металлических конструкций зданий и сооружений, основанная на кумулятивной модели стационарного процесса Пуассона;
- методология технической диагностики эксплуатируемых металлических конструкций зданий и сооружений с учетом реальных факторов эксплуатации, включая динамическое воздействие климатических нагрузок, совместную работу каркаса сооружения и фундаментов;
- результаты экспериментально-теоретической оценки действительного состояния эксплуатируемых металлических конструкций с учетом реальных факторов эксплуатации, внешних нагрузок и воздействий;
- методика оценки остаточного ресурса металлических конструкций зданий и сооружений, находящихся в условиях эксплуатации;
- оценка параметров надежности эксплуатируемых металлических конструкций на основе предложенного предельного состояния третьей группы;
- рекомендации по проведению обследования, оценки технического состояния и паспортизации эксплуатируемых зданий и сооружений и другие.

Практическое использование методологии и технологии технической диагностики эксплуатируемых металлических конструкций зданий и сооружений на основе разработанных и внедренных аппаратно-программных комплексов технической диагностики и мониторинга технического состояния позволяет получать более точные и обоснованные по сравнению с существующими методиками оценки параметров напряженно-деформированного состояния за счет учета фактических условий эксплуатации, в том числе действующих нагрузок и воздействий, в частности динамических, и совместной работы сооружений, фундаментов и оснований.

Предложенные рекомендации по подготовке расчетных схем зданий и сооружений с учетом несовершенств, фактических свойств оснований и фундаментов, реальных климатических, технологических и техногенных воздействий позволяют работникам специализированных организаций при оценке технического состояния зданий и сооружений

более полно учитывать факторы, определяющие надежность объекта, и обоснованно составлять прогноз технического состояния объекта на всех стадиях его жизненного цикла от возведения до демонтажа.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И ООРУЖЕНИЙ

В 1996 году начинается современный этап в развитии научного направления Е.В. Горохова. В изменившихся экономических условиях под его руководством НПЛ ЭНСК преобразуется в «Донбасский диагностический центр строительных конструкций зданий и сооружений», работающий в тесном контакте с Донецким территориальным управлением Госнадзорохрантруда. Центр активно включается в разработку нормативной базы Украины и региона.

Одним из главных требований к диагностическим параметрам являются удобство и простота их измерения, а также наличие соответствующей аппаратуры.

Для реализации технической диагностики и мониторинга технического состояния объекта в коллективе под руководством Е.В. Горохова в период 1995 – 2002 годов разработана универсальная система мониторинга конструкций УСМК-1, предназначенная для определения параметров НДС зданий и сооружений из металлических конструкций. Целью данной разработки была отработка методики интегральной диагностики строительных конструкций. Отличительной особенностью ее аппаратной реализации является ориентация на конструктивы IBM-подобных персональных компьютеров (ПК).

Программное обеспечение системы построено по модульно-иерархичному принципу и имеет три уровня. На верхней ступени иерархии находится программный модуль управления ресурсами системы (МУРС). Он обеспечивает настройку конфигурации программной среды, необходимой для проведения измерений и обработки данных, а также управление массивами данных. На следующей ступени находятся модули, осуществляющие связь с измерительными модулями системы, управление их ресурсами, а также модули преобразования форматов данных и их обработки. На нижней ступени иерархии находятся модули программного обеспечения измерительных модулей. К основным функциям МУРС относятся: организация интерактивного визуального интерфейса между оператором системы и ее программными ресурсами; управление процессами сбора и обработки данных; настройка и тарифовка измерительных преобразователей.

Результаты практического применения технической диагностики и оценки технического состояния ряда эксплуатируемых зданий и сооружений из металлических конструкций с применением разработанной универсальной системы мониторинга конструкций УСМК-1 позволили закрепить ведущую роль научно-производственных подразделений под руководством Е.В. Горохова на рынке технических услуг Украины.

Так, были проведены исследования цеха готовой продукции ММК им. Кирова (г. Макеевка). Исследования проводились на подкрановых балках как наиболее загруженных элементах, испытывающих динамические воздействия от мостовых кранов. При этом было задействовано 60 каналов тензоусилителя.

На рис. 1 и 2 представлены характерный график, полученный с тензодатчика, и соответствующий ему

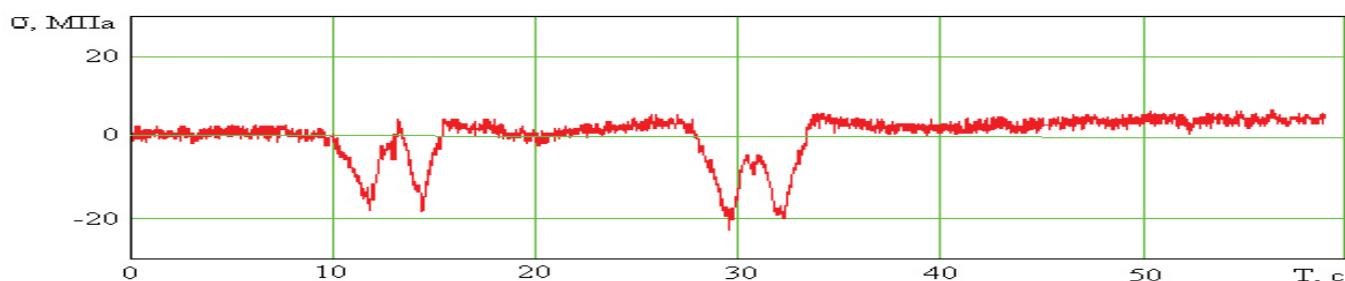


Рис. 1. График тензосигнала

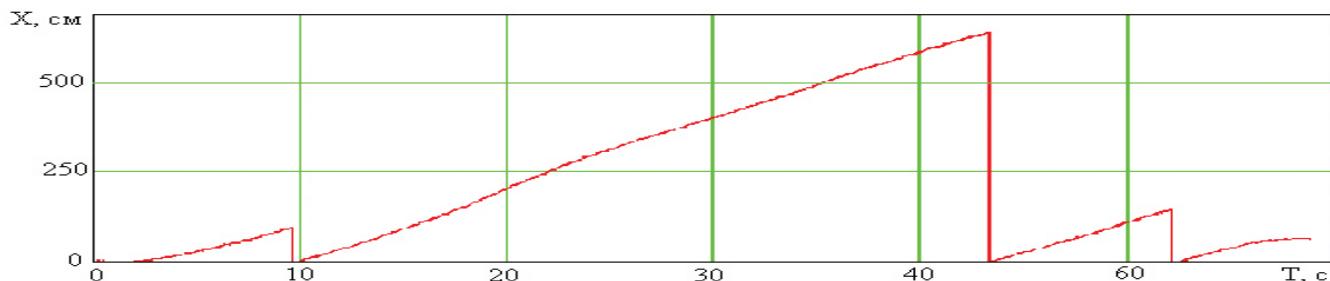


Рис.2. График сигнала измерителя перемещения мостового крана

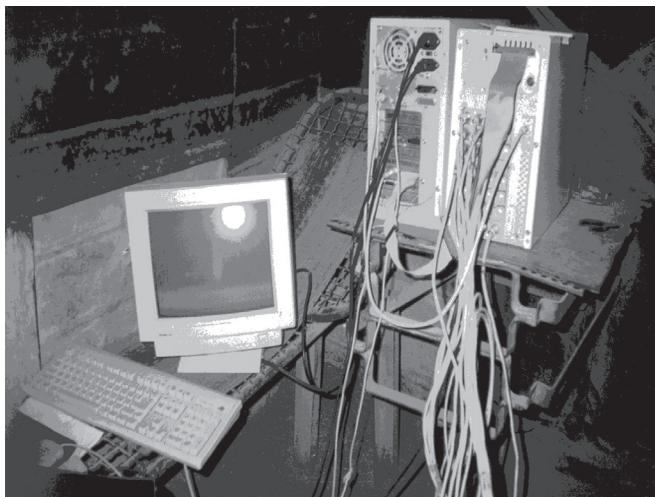


Рис. 3. Универсальная система мониторинга конструкций УСМК-1

сигнал преобразователя перемещения крана. На графике сигнала с тензодатчика хорошо видны выбросы сигнала, связанные с напряжениями сжатия, вызванными движением колес крановой тележки над датчиком. Кривизна графика перемещения крана свидетельствует о неравномерности скорости его перемещения.

В 2000 г. с применением системы УСМК-1 были выполнены работы по обследованию, технической диагностике, динамическому испытанию и оценке технического состояния конструкций корпуса приемного бункера завода по переработке отходов металлургического производства (рис. 3, 4). Корпус приемного бункера представляет собой трехэтажную этажерку в виде балочной клетки с размерами в плане в осях 6,0x10,5 м, подвергающуюся в процессе эксплуатации высокочастотным вибрационным нагрузкам от работы виброгрохота. В верхнем уровне этажерки встроен приемный бункер. Целью проведения экспериментальных исследований являлась необходимость определения реального напряженно-деформированного состояния в элементах конструкции, а также проверка правильности полученных теоретических результатов.

Методика динамического диагностирования включала в себя контроль и обработку диагностических параметров в виде динамических характеристик в различных точках сооружения, которые определялись на основании теоретических расчетов. В качестве чувствительных элементов были использованы тензорезисторы с базой 20 мм и сейсмографы ВЭГИК. Опрос датчиков проводился на различных этапах технологического процесса бункерной этажерки.

В результате проведения испытаний получены:

- зависимости изменения напряжений в элементах во времени на различных этапах работы здания;
- зависимости амплитудной характеристики от частоты колебаний (рис. 5);
- зависимости изменения вибрационной скорости во времени (рис. 6).

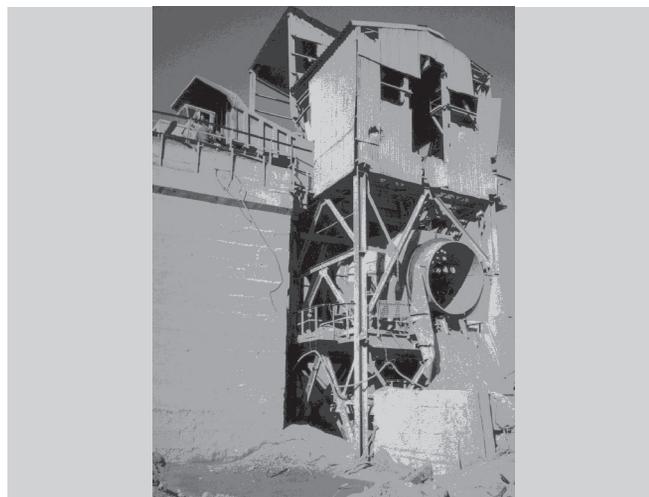


Рис. 4. Общий вид корпуса приемного бункера

Как показали экспериментальные исследования, проведенные на натурных конструкциях, использование системы УСМК-1 дает возможность быстро и эффективно определять необходимые динамические характеристики конструкции в процессе ускоренного диагностирования.

Значительный объем научных и практических работ научной школы Е.В. Горохова посвящен оценке остаточного ресурса эксплуатируемых металлических конструкций.

Ресурс конструкции, подверженной переменным во времени нагрузкам, определяется числом циклов нагружения, при котором конструкция перестает удовлетворять требованиям предельных состояний.

Определение числа циклов нагружения в первую очередь зависит от вида возмущающего воздействия (технологическое, климатическое, сейсмическое и т.п.).

Поскольку основными видами возмущающего воздействия следует считать климатические и технологические воздействия, то вычисление числа циклов нагружения и, следовательно, оценку остаточного ресурса конструкции можно осуществлять экспериментально, на основе разработанной системы технической диагностики. Наиболее просто определить экспериментально-статистические параметры числа циклов при действии технологической нагрузки (например, от мостовых кранов). Основное внимание было уделено определению числа циклов нагружений конструктивной системы ветровой нагрузкой, постоянно меняющей свои параметры.

При расчете конструкций на усталостную прочность в основном учитывается только резонансная часть. Обычно расчет конструкций производится с учетом первой частоты колебаний. Это связано с отсутствием реальной информации о границах

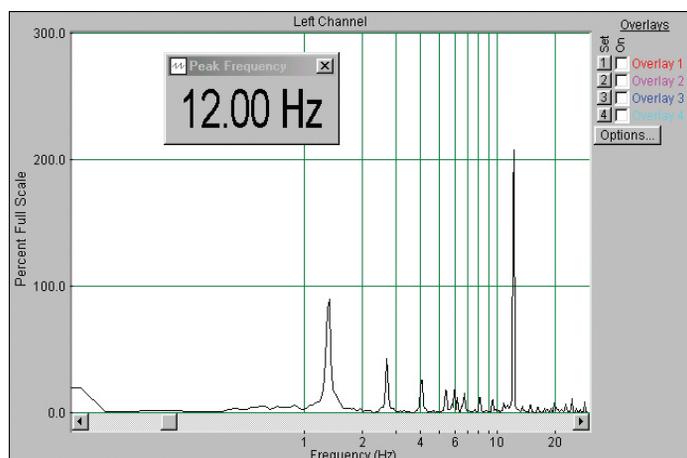


Рис. 5. Амплитудный спектр вибрационной скорости в ригеле бункерной этажерки

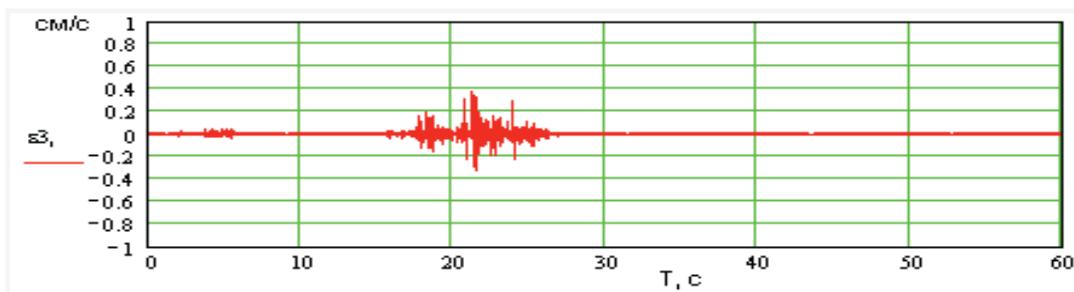


Рис. 6. Вибрационная скорость на перекрытии при загрузке бункера



Рис. 7. Общий вид моста галереи Зуевской ТЭС

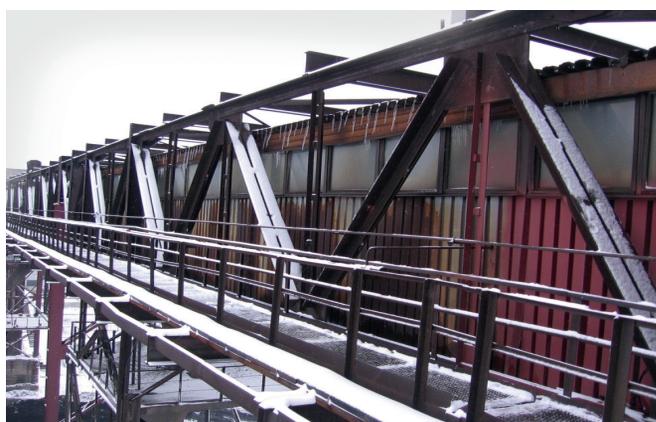


Рис. 8. Конструкции пролетной части крайнего пролета моста галереи

указанных частей спектра. Хотя метод оценки границ квазистатической и резонансных частей известен. Он основан на вычислении функции спектральной когерентности (ФСК).

ФСК позволяет производить оценку количества циклов нагружения в тех случаях, когда на конструкцию воздействует случайный импульсный процесс, например, порывы ветра. Указанная оценка основана на определении верхней граничной частоты $f_{гр}$ квазистатической области спектра скорости ветра при помощи построения функции когерентности, а также на экспериментальном получении функции плотности распределения вероятности длительности импульсов.

Предложенная методика позволяет оценить число циклов нагружения конструктивной системы ветровой нагрузкой и тем самым оценить остаточный ресурс здания или сооружения.

В рамках научного направления предложен подход к оценке безопасности эксплуатируемых сооружений на основе предложенного понятия третьего предельного состояния.

В 2005 году по заказу Зуевской ТЭС выполнена научно-исследовательская работа «Проведение динамических испытаний, выполнение расчетов и выдача рекомендаций по усилению конструкций галереи ЛК-6». В состав работ по договору входили натурное обследование моста галереи, проведение динамических испытаний консольной части моста, в которой расположена приводная станция, с последующим определением действительных динамических характеристик конструкций.

Результаты работы позволили нормализовать и обеспечить надежную работу системы «мост галереи – приводная станция» без остановки технологической эксплуатации сооружения.

Методика подхода к оценке технического состояния строительных сооружений по двум предельным состояниям, несмотря на детерминизм математических расчетных моделей при использовании вероятностных оценок, по своей природе достаточно хорошо отработана и получила мировое признание в виде соответствующих расчетных схем, регламентирующих нормативов и т.д., что оказалось возможным благодаря интенсивной разработке соответствующих функциональных зависимостей между внешними воздействиями, несущей способностью и деформативностью элементов сооружений.

Тем не менее, при использовании этих методов возникают определенные затруднения, наиболее существенными из которых являются:

- произвольность нормирования допускаемых значений вероятностей недостижения предельных состояний для различных сооружений ввиду имеющей место неопределенности физической сущности понятий параметров надежности;

- принимаемые допускаемые нормы параметров надежности для различных сооружений весьма близки к единице или нулю, и изменение этих величин при появлении совокупности различных несовершенств и дефектов даже на порядок (как правило, во втором или третьем знаках) не является достаточно наглядным признаком изменения технического состояния при возведении и эксплуатации объектов.

Приведенные данные свидетельствуют о недостаточности применения предельных состояний двух групп при оценке действительного напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых сооружений.

В 2006 году для выполнения работ по обследованию и оценке технического состояния объекта ДОННАСА был заключен договор «Обследование и оценка технического состояния моста № 3 ЦОФ «Кураховская». В состав работ по договору входили обследование, натурные испытания и оценка технического состояния основных несущих конструкций моста транспортной галереи № 3.

Мост № 3 представляет собой трехпролетное наклонное сооружение общей длиной 75 м (рис. 12). Угол наклона моста $16^{\circ}52'29''$. Во внутреннем контуре моста расположены два транспортера с шириной ленты 1200 мм, которые перемещают уголь от сортировки к главному корпусу ЦОФ.

По результатам динамических расчетов получены значения первых шести форм и частот собственных колебаний моста. Первые три формы сдвигового характера обусловленные колебанием поперечника моста из плоскости. Минимальная величина частоты собственных колебаний $\omega_1=2,913$ Гц. Формы порядкового номера 4–6 имеют изгибный характер, обусловленный изгибными колебаниями моста в плоскости. Минимальное значение частоты собственных изгибных колебаний $\omega_4=3,33$ Гц.

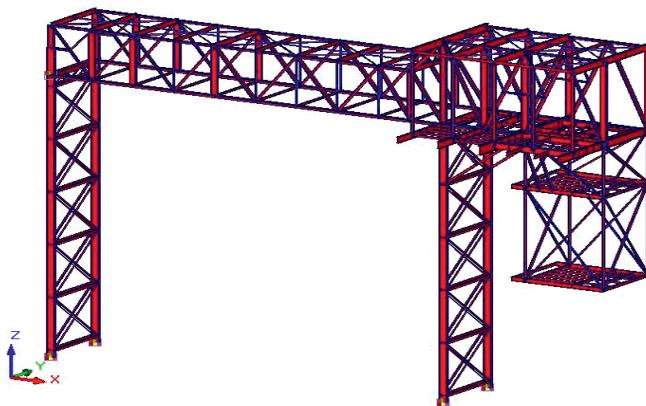


Рис. 9. Геометрия расчетной схемы моста галереи



Рис. 10. Запись показаний датчиков на ПК в натуральных условиях

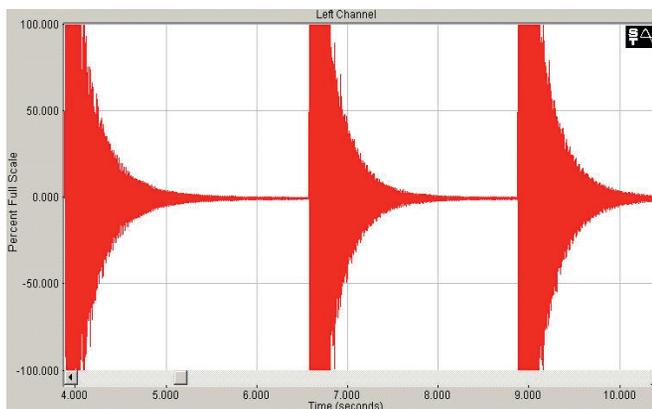


Рис. 11. Виброграмма колебаний стержня при серии ударных импульсов



Рис. 12. Общий вид моста транспортной галереи

На следующем этапе выполнены динамические испытания моста с применением универсальной системы мониторинга строительных конструкций УСМК-1 (рис. 13, 14).

Результаты выполненной работы позволили обеспечить дальнейшую безаварийную эксплуатацию моста галереи после усиления конструкций и при выполнении режима нормативной эксплуатации.

Указанные затруднения при оценке технического состояния возведенных и эксплуатируемых сооружений могут быть существенно снижены путем использования предложенного Н.С. Стрелецким понятия о третьем предельном состоянии, характеризующегося появлением недопустимого уровня совокупности несовершенств и дефектов в конструктивных элементах зданий и сооружений.

Для использования третьего предельного состояния при оценке качества возведенных и эксплуатируемых сооружений и их элементов предложено

понятие его критерия, характеризуемого изменением соответствующих физических, геометрических и жесткостных определяющих параметров вследствие появления различных несовершенств, дефектов и повреждений и дающего наглядное количественное отличие параметров технического состояния возведенных и эксплуатируемых сооружений от их проектных значений. Этот критерий характеризует подверженность элементов, конструкций и сооружений в целом отказу вследствие накопления дефектов и повреждений, накопленных в процессе жизненного цикла, соответствие которых состоянию отказа и будет определять третье предельное состояние.

Критерий третьего предельного состояния представлен в виде отношения проектных вероятностных значений функций определяющих параметров к их действительным значениям, или в детерминистической постановке:

$$P(K) = \frac{P(\Phi_n)}{P(\Phi_\partial)} = \frac{1}{P(\psi)}, \quad (1)$$

где K – критерий третьего предельного состояния;

$$K = \frac{\Phi_n}{\Phi_\partial} = \frac{A_n}{A_\partial} = \frac{1}{\psi}, \quad (2)$$

Φ_n и Φ_∂ – функции геометрических, физических и жесткостных параметров, определяющие проект-



Рис. 13. Внешний вид системы УСМК-1

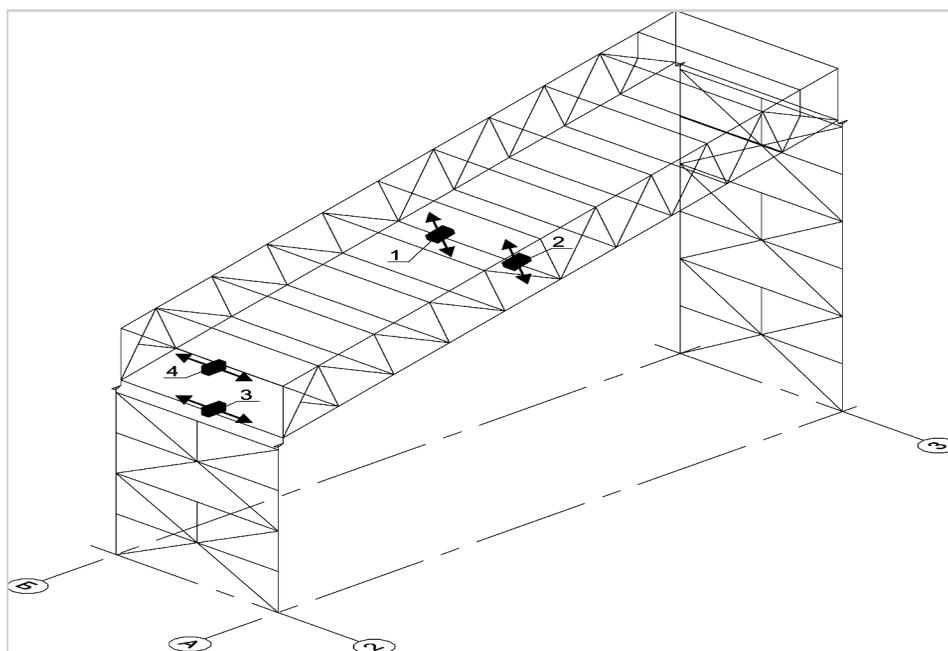


Рис. 14. Схема размещения датчиков ВЭГИК на мосту

ную и действительную работоспособность; A_n , и A_o – численные значения проектных и действительных значений работоспособности, определяемые функциями Φ_n и Φ_o ; ψ – величина, обратная критерию третьего предельного состояния и являющаяся показателем степени бездефектности сооружений и их элементов.

Представление третьего предельного состояния в виде отношения проектной и действительной работоспособности, определяемых функциями Φ_n и Φ_o , ψ , является наиболее полным, т.к. это физические, геометрические и жесткостные определяющие параметры.

При условии принятия значений и детерминистическими величинами, критерий третьего предельного состояния сооружений и их элементов является непрерывной случайной величиной.

В результате определен закон распределения плотности вероятностей для случайной величины «К» (критерия третьего предельного состояния, т.е. понятия подверженности отказу сооружений и их элементов вследствие накопления несовершенств). Этот закон может служить основой для назначения требуемых уровней технического состояния (конструктивной безопасности) проектируемых и эксплуатируемых сооружений по третьему предельному состоянию, характеризующему появлением недопустимого уровня совокупности различных несовершенств и дефектов, приводящих к отказу.

На рис. 15 представлена кривая распределения плотности вероятностей случайной переменной величины «К», правильность построения которой проверена методом численного интегрирования с использованием зависимостей:

$$M(K) \int_1^{\infty} K \left\{ \frac{K-1}{\sigma^2} \cdot \exp\left[-(K-1)^2 / 2\sigma^2\right] \right\} dK = 2 \quad (3)$$

$$\int_1^{\infty} \frac{K-1}{\sigma^2} \cdot \exp\left[-(K-1)^2 / 2\sigma^2\right] dK = 1$$

Математическое ожидание непрерывной случайной величины «К» равно 2, т.е. вокруг этого значения группируются все ее величины, и, следовательно, это значение следовало бы принять в качестве предельно допускаемого для третьего предельного состояния. Однако мода случайной величины «К», т.е. значение «К», соответствующее наибольшей вероятности его появления, равна 1,8, и, кроме того, значение моды сдвинуто влево, т.е. в сторону более безопасных значений «К».

Следовательно, все значения величины «К» для проектируемых и эксплуатируемых сооружений должны располагаться в диапазоне значений [1; 1,8], т.к. при переходе по числовой оси в правую половину кривой (за значение моды) наступление случаев отказа (аварийных ситуаций) может принять лавинообразный характер у всех конструктивных элементов.

Практическое преимущество предлагаемой методики заключается в более приемлемой и наглядной оценке технического состояния возведенных и эксплуатируемых сооружений путем анализа результатов их обследования, выявления действительных определяющих параметров и получения соответствующих значений критерия степени подверженности конструкций отказу, т.е. критерия третьего предельного состояния. При этом степень влияния несовершенств и дефектов на проектную работоспособность сооружений и их элементов оценивается путем представления действительных определяющих параметров в виде функций их принадлежностей к соответствующим нечетким множествам.

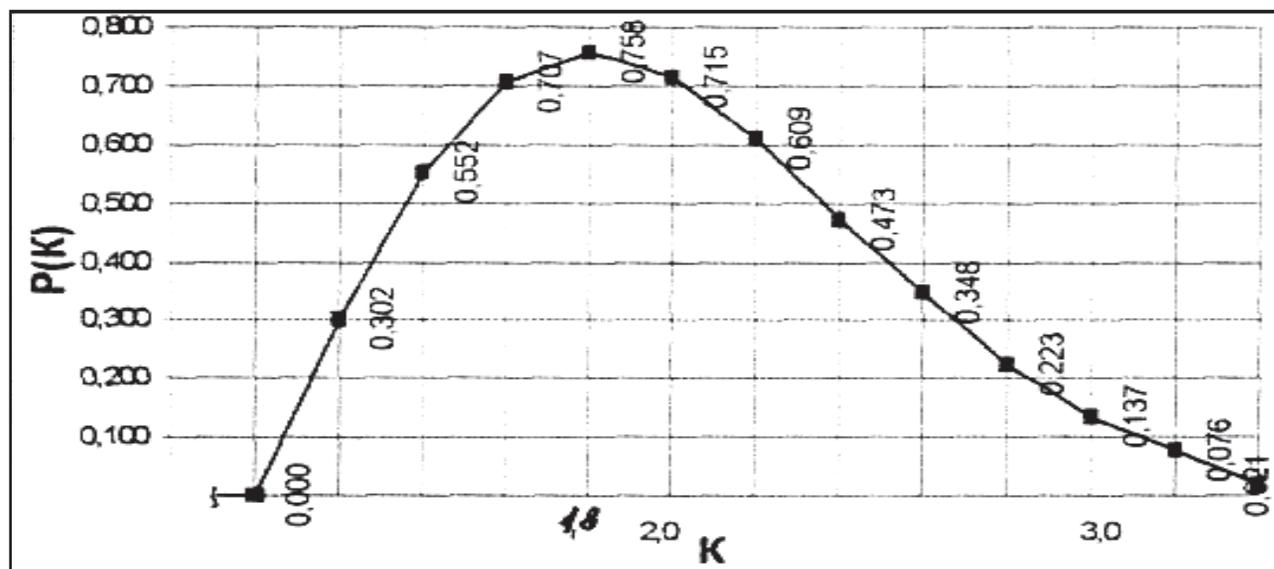


Рис. 15. Кривая распределения вероятностей параметра третьего предельного состояния

Данная методика оценки технического состояния сооружений и их элементов экспериментально проверена на ряде натуральных моделей в лабораторных условиях и при испытании натуральных сооружений.

Комплекс выполненных теоретических и экспериментальных исследований под руководством Е.В. Горохова позволил разработать и внедрить методологию оценки технического состояния эксплуатируемых зданий и сооружений из металлических конструкций. Последовательность работ по оценке технического состояния включает в себя, кроме



и устранения аварийных ситуаций и техногенных рисков» (2003–2005 гг.).

Дальнейшим развитием данного научного направления стали работы, посвященные оценке надежности металлических конструкций зданий и сооружений на основе оценки влияния на показатели надежности отклонений (несовершенств) от проектных геометрических параметров объекта при изготовлении и монтаже.

В рамках этой работы в 2003–2010 годах выполнено исследование НДС шарнирно-стержневых



Рис. 16. Рама шагающего пода нагревательной печи стана 390

известных положений, техническую диагностику объекта при совместном анализе внешних возмущающих воздействий, имеющихся дефектов и повреждений, рекомендации по разработке расчетной схемы сооружения. Особенностью расчетной схемы сооружения являются учет динамического характера внешних возмущающих воздействий и совместный анализ работы несущего каркаса здания (сооружения) и его фундаментов. Учет совместной работы каркаса и фундаментов дает возможность более точно получать в результате расчета динамические характеристики объекта, так как разность в частотах колебаний основного тона без учета и с учетом фундаментов может достигать трех раз.

Разработанная методология апробирована на ряде промышленных объектов Донбасса и Украины.

Научное направление реализовано в рамках госбюджетных научно-исследовательских тем по заказу Министерства образования и науки Украины:

- «Разработка унифицированного аппаратно-программного комплекса мониторинга и прогнозирования технического состояния строительных металлических конструкций» (1997–1999 гг.);
- «Создание теоретических и технологических основ технической диагностики и прогнозирования технического состояния строительных металлических конструкций» (2000–2002 гг.);
- «Разработка программного обеспечения надежности конструктивных систем для предупреждения

металлических покрытий за счет прогнозирования отклонений в зависимости от точности изготовления и точности и последовательности укрупнительной и монтажной сборки.

Разработанная теория и методики технической диагностики и оценки технического состояния эксплуатируемых металлических конструкций стали основой для разработки аналогичных процедур при оценке технического состояния конструктивно-технологических систем.

Так, в 2018 году творческим коллективом ДОННАСА выполнена работа по обследованию и оценке технического состояния металлоконструкций балок нижней и верхней рам шагающего пода нагревательной печи стана 390 цеха прокатного передела филиала № 3 «ММЗ» ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» (рис. 16).

Работа выполнена с применением визуальных и технических методов контроля в соответствии с разработанной в ДОННАСА под руководством Е.В. Горохова методологией.

Полученные после обследования и технической диагностики результаты позволили выполнить обоснованные численные расчеты напряженно-деформированного состояния системы.

Для обеспечения нормальной и безопасной эксплуатации металлоконструкций балок нижней и верхней рам шагающего пода нагревательной печи стана 390 предложено выполнить работы по капитальному ремонту с заменой аварийных конструкций и устранением выявленных повреждений.

Теоретические и экспериментальные исследования по развитию теории надежности эксплуатируемых металлических конструкций зданий и сооружений научной школы Е.В. Горохова продолжают и сегодня с привлечением современных методов аналитического, численного и экспериментального методов.

В рамках научной школы Е.В. Горохова по направлению оценки технического состояния, технической диагностики и прогнозированию технического состояния металлических конструкций промышленных зданий и сооружений защищены десять кандидатских и две докторские диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные на протяжении полувека теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать методологию оценки технического состояния и технической диагностики эксплуатируемых металлических конструкций зданий и сооружений, что позволяет с высокой достоверностью обеспечивать требуемый уровень надежности промышленных и гражданских объектов и экономить значительные материальные и финансовые ресурсы при планировании и осуществлении проектов реконструкции и технического перевооружения строительных объектов.

Список литературы:

1. Инструкция по технологии усиления металлических конструкций на реконструируемых предприятиях (РСН-86) / Е.В. Горохов, В.С. Балицкий, Е.Д. Косенков, В.Г. Колесниченко; Госстрой СССР. — Киев, 1986.
2. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к разделу 20 главы СНиП II-23-81*) / Е.В. Горохов, В.А. Перельмутер, В.В. Горев и др.; Госстрой СССР. УкрНИИпроектстальконструкция. — Москва, Стройиздат, 1988. — 159 с.
3. Методические рекомендации по техническому освидетельствованию строительных конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей (для служб надзора, эксплуатации и цехового персонала) / Е.В. Горохов, В.П. Королев, И.Р. Рухович, К.Б. Мнацаканян; Территориальное упр. Госнадзорохрантруда Украины по Донецкой обл., ДонГАСА. Донецк, 1998. — 104 с.
4. Методические указания по организации технического надзора за состоянием производственных зданий / Е.В. Горохов, В.П. Королев, И.Р. Рухович и др.; Гостехнадзортруда по Донецкой области от 16.10.1998. № 395.
5. Методические указания по оценке конструктивных рисков для осуществления инженерной и страховой защиты строительных конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей. / Е.В. Горохов, А.П. Шевцов, Ю.Н. Тимарицев, С.Г. Лунев, В.Л. Мотовилин, А.И. Сосис, В.В. Шукатко, В.П. Королев, И.Р. Рухович, Е.В. Шелехова; Главное управление градостроительства Украины по Донецкой области, 2000. — 21 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов: Нормы проектирования. ГСН Украины. Издание официальное / Минстрой Украины. При участии Е.В. Горохова, С.В. Турбина. Киев, 2006. — 59 с.
7. Валь В.Н. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции / В.Н. Валь, Е.В. Горохов, Б.Ю. Уваров. — Москва, Стройиздат, 1987. — 220 с.
8. Реконструкция промышленных зданий и сооружений: передовой опыт научных исследований, проектно-конструкторских разработок, технологии и организации строительства / Е.В. Горохов, В.В. Кузнецов, В.В. Ларионов и др.; под ред. Е.В. Горохова. — Москва, Стройиздат, 1988. — 136 с.: рис., табл. — (Курсом ускорения научно-технического прогресса).
9. Алгоритмы расчёта стальных конструкций / Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, А.М. Югов, С.В. Колесниченко, В.Н. Васылев. — Москва, Стройиздат, 1989. — 368 с.: рис.
10. Реконструкция промышленных предприятий. В 2 т. Т. 1 / В.Д. Топчий, Р.А. Гребенник, В.Г. Клименко и др. (среди авт. Е.В. Горохов, В.Г. Колесниченко, Е.Д. Косенков, Г.Н. Тонкачев, Е.П. Уваров); под ред.: В.Д. Топчия, Р.А. Гребенника. — Москва, Стройиздат, 1990. — 589 с.: ил., табл. — (Справ. строителя).
11. Реконструкция промышленных предприятий. В 2 т. Т. 2 / В.Д. Топчий, Р.А. Гребенник, В.Г. Клименко и др. (среди авт. Е.В. Горохов, В.Г. Колесниченко, Е.Д. Косенков, Г.Н. Тонкачев, Е.П. Уваров); под ред.: В.Д. Топчия, Р.А. Гребенника. Москва, Стройиздат, 1990. — 621 с.: ил., табл. — (Справ. строителя).
12. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции / Е.В. Горохов, Я. Брудка, М. Лубиньски и др.; под ред. Е.В. Горохова. — Москва, Стройиздат, 1994. — 496 с.: рис., табл.
13. Горохов Е.В. Методы и средства измерений при строительстве и эксплуатации подкрановых путей: монография / Е.В. Горохов, Н.Е. Ламбин, В.Н. Ламбин; ДОННАСА. — Макеевка, Графити, 1997. — 234 с.: ил.
14. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні: монографія / А.В. Перельмутер, В.М. Гордєєв, Є.В. Горохов та ін.; за ред. А.В. Перельмутера; Рада нац. безпеки і оборони України, Укр. ін-т досліджень навколишнього середовища і ресурсів. — Київ, Сталь, 2002. — 166 с.: ил., табл.
15. Горохов Е.В. Методы и средства измерений при строительстве и эксплуатации подкрановых путей: монография / Е.В. Горохов, Н.Е. Ламбин, В.Н. Ламбин; ДОННАСА. 2-е изд., перераб. и доп. Макеевка, Дмитренко Л.Р., 2007. — 245 с.
16. Горохов Е.В. Экспериментальные методы определения ветровых нагрузок на здания и сооружения: монография / Е.В. Горохов, С.Г. Кузнецов. — Донецк, Норд-Пресс, 2009. — 168 с.
17. Системы мониторинга технического состояния несущих металлических конструкций зданий и сооружений: монография / Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, В.Н. Васылев и др.; под общ. ред. Е.В. Горохова, В.Ф. Муцанова; ДОННАСА. — Макеевка, 2013. — 314 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ДОННАСА

В.В. Губанов, доктор техн. наук

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. В статье рассмотрены основные этапы становления научных исследований в области расчета, проектирования и обеспечения долговечности несущих металлоконструкций высотных сооружений со стальным каркасом, выполненных в рамках научной школы д.т.н., проф. Е.В. Горохова. Изложены основные выполненные научно-исследовательские и экспериментальные работы, а также практические разработки для вытяжных башен, оболочек дымовых труб, башенных градирен, мачтовых опор сотовой связи, а также конструкций стальных укосных шахтных копров.

Ключевые слова: высотные сооружения, шахтные копры, дымовые трубы, мачты, экспериментальные исследования, повышение долговечности.

ВВЕДЕНИЕ



*Губанов
Вадим Викторович*

Под руководством Е.В. Горохова в 1980-х гг. начинается исследование высотных сооружений с металлическим каркасом, используемых в различных отраслях промышленности. Главной целью исследований было совершенствование конструктивной формы и повышение долговечности сооружений на основе исследования их действительной работы, особенностей повреждаемости и изыскания резервов несущей способности. Основными объектами стали эксплуатируемые сооружения, при этом необходимо было учитывать принципиальную особенность высотных сооружений по сравнению с обычными зданиями, а именно: значительно более тесную связь конструктивных решений с технологическим процессом, для которого предназначено высотное сооружение.

Основная научная новизна предложенных подходов состояла в следующем:

- исследование процессов износа при эксплуатации, а также разработка методов оценки влияния дефектов и повреждений на несущую способность;
- разработка способов повышения надежности и продления срока службы существующих сооружений;
- исследование действительной работы и использование опыта эксплуатации для совершенствования методов расчета и проектирования.

РЕШЕТЧАТЫЕ БАШНИ

В 1990-х гг. под руководством Е.В. Горохова начались исследования решетчатых башенных сооружений. Были проведены натурные и численные исследования семи вытяжных башен ПО «Стирол» в г. Горловке высотой от 90 до 180 м трехгранного и четырехгранного сечения (рис. 1).

Проведенные исследования позволили получить обобщающие результаты относительно эксплуатационной надежности вытяжных башен [1]:

- выявлены основные факторы, влияющие на несущую способность и долговечность решетчатых башен;
- определены количественные характеристики влияния повреждений на параметры напряженно-деформированного состояния башен;
- разработана методика определения коэффициента условий работы для газотводящих стволов вытяжных башен, позволившая усовершенствовать конструктивные решения креплений стволов к диафрагмам;
- разработана методика определения остаточного срока службы решетчатых башен на основании данных натурных обследований.



а) вытяжная башня высотой 180 м с трехгранным стволом



б) газоотводящий ствол вытяжной башни высотой 180 м

Рис. 1. Вытяжные башни

ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Натурные исследования. Разработанная в 1980-90 годы методология оценки технического состояния, прогнозирования долговечности и продления срока службы эксплуатируемых сооружений была в дальнейшем распространена на другие типы специальных высотных сооружений с металлическим каркасом:

- а) 2000 г. — трехрожковая свеча дожигания конвертерного цеха высотой 80 м (рис. 2 а);
- б) 2002 г. — стальные дымовые трубы высотой 75 м, предназначенные для отвода газов доменных печей на Донецком металлургическом заводе (рис. 2 б);

в) 2003 г. — осветительная опора № 3, установленная на стадионе «Локомотив» в г. Донецке высотой 48,3 м (рис. 3 а);

г) 2007 г. — башенная решетчатая градирня Ясиновского коксохимического завода высотой 52,3 м и площадью орошения 1100 м³ для охлаждения технологической воды (рис. 3 б).

Теоретические исследования в области высотных сооружений начиная с 2000-х гг. были направлены на разработку методов управления эксплуатацией сооружений, включая совершенствование методик обследования, оценки технического состояния, планирования обслуживания. Одной из главных проблем являлось создание методов учета условий эксплуатации сооружений и способов их обслуживания на стадии



а) трехрожковая свеча дожигания высотой 80 м с наружными газоотводящими стволами



б) стальные дымовые трубы высотой 75 м на оттяжках

Рис. 2. Высотные сооружения



а) осветительная опора



б) башенная решетчатая градирня высотой 52,3 м

Рис. 3. Высотные сооружения

проектирования. В рамках ее решения были получены следующие основные научные результаты [2]:

1. Разработаны математические модели изменения параметров различных типов износа во времени, которые сводят износ к эквивалентным потерям толщины элементов поперечного сечения в рамках концепции обобщенного износа, который характеризуется эквивалентной скоростью износа.

2. Разработаны структурные модели для стратегий технического обслуживания сооружений на протяжении жизненного цикла, которые включают различные мероприятия по уменьшению скорости износа и восстановлению конструкций и могут быть использованы как для новых, так и для эксплуатируемых сооружений.

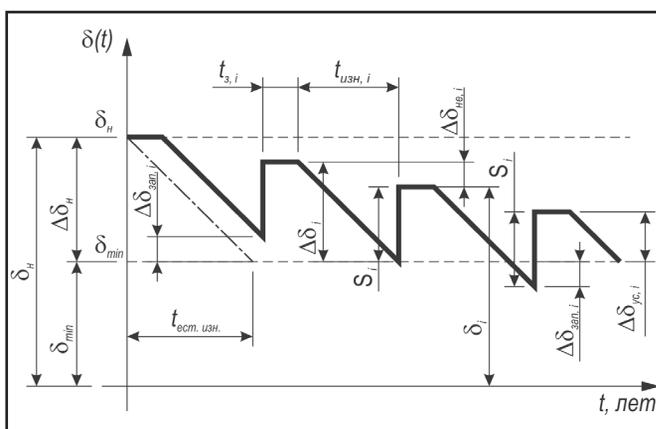
3. Разработаны математические модели (рис. 4) изменения конструктивных параметров сооружения в виде кусочно-непрерывных функций времени, кото-

рые учитывают особенности напряженного состояния стержневых элементов и цилиндрических оболочек сооружений в местах действия локальных напряжений.

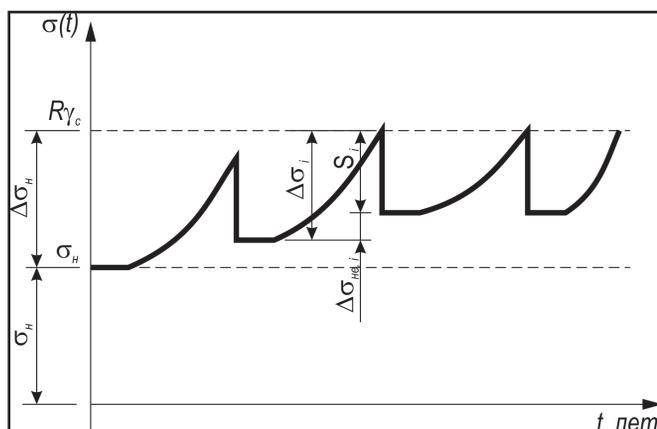
4. Разработан методический подход к расчету и проектированию высотных сооружений с применением наиболее эффективной стратегии технического обслуживания. Принципиальная новизна заключается во взаимной увязке расчетов конструкций и определения запасов несущей способности с мероприятиями по ремонту и усилению.

5. Разработаны принципы проектирования сооружений, которые обеспечивают заданный срок службы (рис. 5).

Экспериментальные исследования оболочек дымовых труб. Для совершенствования методов расчета и выбора конструктивных решений металлических дымовых труб и газоотводящих стволов выполнены



а) приведенная толщина



б) напряжения

Рис. 4. Изменение параметров элемента при реализации стратегии обслуживания, которая включает ремонт, усиление и восстановление противокоррозионной защиты



Рис. 5. Проектирование сооружений с учетом обслуживания

численные и экспериментальные исследования локальных напряжений в местах изменения геометрических характеристик и в зонах с наличием локальных искривлений оболочек. Экспериментальные исследования выполнены на лабораторной базе ДОННАСА в 2010–2014 гг. с использованием моделей узлов дымовых труб (рис. 6).

Основные результаты, полученные в исследова-

ниях локальных напряжений и устойчивости оболочек дымовых труб [4, 6], включают:

1. При выполнении исследований НДС оболочек обнаружено, что вклад местных напряжений составляет от 10 до 50% в общее значение приведенных напряжений.

2. Установлено, что в характерных узлах цилиндрических оболочек местные напряжения составляют от 10 до 30% от приведенных. Для инженерной практики



Рис. 6. Общий вид экспериментальной установки для исследования локальных напряжений

необходимо использовать коэффициенты учета случайных отклонений: для узла соединения цилиндра с опорным ребром футеровки $k_p = 1,17$; для узла соединения цилиндра с конусом $k_p = 1,3$; для узла соединения цилиндра с патрубком $k_p = 1,2$.

3. Получены коэффициенты увеличения напряжений в местах изменения геометрической формы, значения которых варьируются: для локальной вогнутости $k = 1,1...1,8$; для эксцентриситета стыковки царг $k = 1,1...1,2$ и западания кромок $k = 1,14...2,5$.

4. Установлено, что для сжато-изогнутых оболочек дымовых труб потеря устойчивости происходит при достижении напряжений текучести по всей толщине оболочки на участке, длина которого равна длине волны при потере устойчивости.

Мачты мобильной связи являются особым, относительно новым типом высотных сооружений, которые широко применяются в качестве опор для технологического оборудования беспроводных телефонной связи и интернета. Данные сооружения обладают специфическими особенностями — конструктивные элементы можно охарактеризовать небольшими размерами сечений, габариты сооружений в целом — малой высотой и горизонтальным выносом оттяжек (рис. 7).

Основные результаты исследования несущих конструкций мачт мобильной связи заключаются в следующем [5]:

1. Выполнены натурные исследования 27 мачт мобильной связи, анализ и классификация дефектов и повреждений, а также определены параметры их влияния на напряженно-деформированное состояние.

2. Разработаны рекомендации по диагностике и оценке технического состояния мачт.

3. На основе численных исследований разработаны рекомендации по выбору рациональных конструктивных решений мачт мобильной связи. Определены рациональные уровни предварительных напряжений оттяжек ($25 \div 95$ МПа) и диаметров канатов ($12 \div 16,5$ мм).

По результатам сделанных теоретических и экспериментальных исследований защищены докторская и несколько кандидатских диссертаций под научным руководством Е.В. Горохова и его учеников [1-6].

Внедрение результатов исследований. Разработанные теоретические методы анализа конструктивных форм с учетом обслуживания, результаты проведенных численных и экспериментальных исследований были использованы при проектировании специальных высотных сооружений:

а) стальные отдельно стоящие футерованные дымовые трубы высотой 50 и 60 м стекольного завода в г. Константиновке для отвода дымовых газов стекольных печей (рис. 8 а);

б) водонапорные башни высотой 30 м и объемом 100 и 150 м³ стекольного завода в г. Константиновке, предназначенные для обеспечения охлаждения стекольных печей (рис. 8 а);

в) дымовая труба высотой 120 м и диаметром 2,4 м в г. Кременчуге с опорной башней треугольного сечения и элементами трубчатого сечения (рис. 8 б);

г) решетчатые башни и комбинированные опоры для оборудования сотовой связи высотой 30...60 м;

д) внутренний металлический газоход для улучшения газодинамических характеристик железобетонной дымовой трубы $H = 250$ м в г. Курахово (рис. 9).



а) мачта с решетчатым стволom и двумя уровнями оттяжек



б) комбинированная система — железобетонный столб и стальная мачта



в) мачта с трубчатым стволom

Рис. 7. Конструктивные решения мачт мобильной связи



а) дымовые трубы и водонапорная башня



б) дымовая труба высотой 120 м

Рис. 8. Высотные сооружения, запроектированные с использованием научных разработок ДОННАСА

ШАХТНЫЕ КОПРЫ

Шахтные копры являются одними из наиболее ответственных высотных сооружений шахтной поверхности, так как они обеспечивают вертикальный транспорт и связаны с системами вентиляции горных выработок и безопасности подъёма.

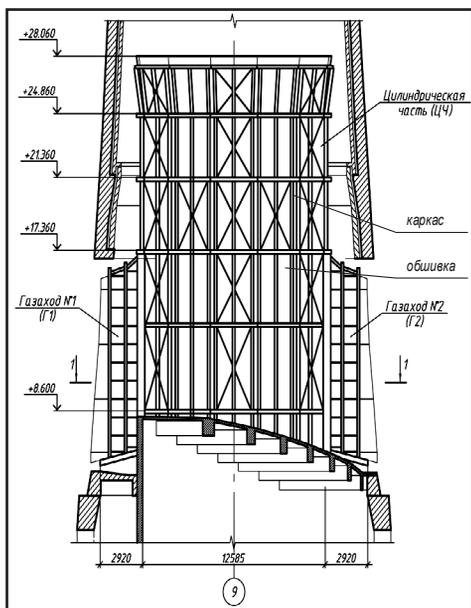


Рис. 9. Схема внутреннего газохода железобетонной дымовой трубы

В настоящее время на предприятиях угольной промышленности Донбасса находятся сотни копров, 80% из которых имеют металлический каркас и работают в условиях повышенных динамических нагрузок и интенсивного агрессивного воздействия техногенной среды (рис. 10).

Проблемы, связанные с надежностью шахтных копров, начиная с 1980-х гг. изучаются в ДОННАСА под руководством Е.В. Горохова. Особенности разработанных подходов являются комплексный учет силовых и техногенных воздействий на копры, а также рассмотрение работы копра в системе «подъемный сосуд – конструкции копра – подъемная машина».

На основании выполненного большого комплекса научно-исследовательских работ, направленных на исследование действительной работы и повышение ресурса шахтных копров, были получены следующие основные результаты:

1. Выполнены натурные обследования, оценка технического состояния и разработка документации по приведению конструкций в работоспособное состояние для 55 копров.

2. Изучены процессы повреждаемости копров и разработаны методы прогнозирования их остаточного срока службы.

3. Проведены экспериментальные динамические исследования укосных копров, которые позволили разработать новые, более точные методы определения нагрузок и выявить резервы несущей способности основных конструкций копров.

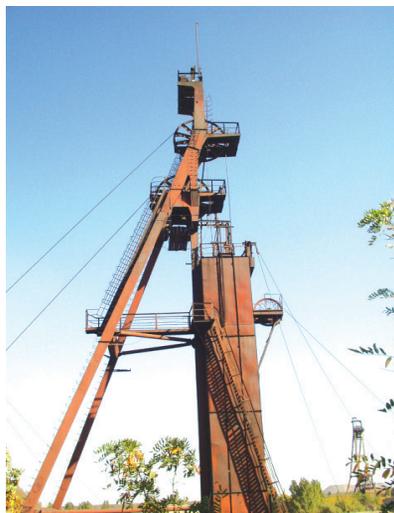
4. Разработаны методы динамического расчета копров для различных расчетных ситуаций, включая заклинивание подъемного сосуда, обрыв канатов и др.

5. Разработаны методы диагностики копров, а также методы усиления конструкций копров с учетом их напряженно-деформированного состояния, особенностей износа и степени ответственности элементов.

6. Разработаны способы реконструкции копров в зависимости от изменения параметров производственного процесса и технологического



а) станковая



б) полушатровая



Рис. 11. Шахтный копер после реконструкции

Рис. 10. Конструктивные системы укосных шахтных копров

оборудования. Большой экономический эффект достигается за счет увеличения глубины ствола. Это требует замены подъемной машины и выполнения сложного комплекса работ по диагностике, расчету и усилению копра.

Разработанные способы реконструкции копров в зависимости от изменения параметров производственного процесса и технологического оборудования внедрены в проекты реконструкции копров шахт Краснолиманская и Красноармейская–Западная №1 (рис. 11.).

По результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований копров были защищены докторская и несколько кандидатских диссертаций под научным руководством Е.В. Горохова и его учеников [7-9]. На основании исследований разработаны новые конструктивные решения шахтных копров [13-15], а также ряд нормативных документов [10-12].

Список литературы:

1. Губанов В.В. Обеспечение долговечности решетчатых башен. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 1995 г.
2. Губанов В.В. Обеспечение заданной долговечности металлических промышленных высотных сооружений. – Дисс. на соискание научной степени доктора технических наук, Макеевка, 2013 г.
3. Пчельников С.Б. Обеспечение надежности специальных промышленных зданий. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2007 г.
4. Голиков А.В. Совершенствование методов расчета узлов металлических дымовых труб на прочность. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2011 г.
5. Межинская И.В. Расчет и проектирование мачт мобильной связи с учетом характерных дефектов и повреждений. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2013 г.
6. Кульчицкий А.Н. Расчёт тонкостенных оболочек дымовых труб с локальными геометрическими отклонениями. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Киев, 2015 г.
7. Куценко В.Н. Резервы несущей способности и обеспечение долговечности стальных конструкций шахтных копров. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Одесса, 1985 г.
8. Куценко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров. – Дисс. на соискание научной степени доктора технических наук, Макеевка, 2007 г.
9. Кострицкий А.С. Учет динамического характера особых нагрузок на конструкции укосных шахтных. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2003 г.
10. Методика обследования несущих стальных конструкций шахтных копров / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко, К.Л. Пиличев, В.В. Махина, В.П. Матвеев, П.С. Листовенко; ЦБНТИ Минуглепрома УССР. – Донецк, 1984.
11. РД 12.003-92. Металлические конструкции шахтных копров. Порядок и организация обследования несущих металлических конструкций шахтных копров. – К., Госуглепром Украины, 1993. – 102 с.
12. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации. – К., Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
13. Шахтный копер: а. с. № 881283 / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко. Заявл. 19.02.80; опубл. 1981. Бюл. № 42. – с. 158.
14. Предохранительное устройство к грузоподъемному механизму: а. с. № 969635 от 01.07.82 / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко. – Заявл. 15.01.79; опубл. 1982. Бюл. № 40. – с. 81.
15. Шахтный копер: а. с. № 953166 / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко. – Заявл. 06.01.81; опубл. 21.04.1982. Бюл. № 31. – с. 178.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**Е.В. Горохов, доктор техн. наук, профессор; Я.В. Назим, канд. техн. наук, доцент;
В.Н. Васылев, канд. техн. наук, профессор; С.Н. Бакаев, канд. техн. наук, доцент**
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Научный коллектив кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДОННАСА) под руководством профессора Е.В. Горохова более 25 лет активно занимается проблемой повышения надёжности и долговечности строительных конструкций электросетевого строительства. В результате проведенного комплекса исследований теоретического и прикладного характера получены существенные научные результаты по повышению надежности и долговечности конструкций за счет использования методов оптимального проектирования, вероятностных методов расчета конструкций, методов натуральных испытаний и экспериментального моделирования, мониторинга и прогнозирования эксплуатационных нагрузок и воздействий.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, надежность, долговечность, методы натуральных испытаний, мониторинг, экспериментальное моделирование.



Горохов
Евгений Васильевич



Назим
Ярослав Викторович



Васылев
Владимир Николаевич



Бакаев
Сергей Николаевич

ВВЕДЕНИЕ

Основные объекты энергетики высокого класса напряжений возводились в СССР в 60-70-е годы прошлого столетия. Начиная с 1991 года из-за сложного экономического положения в отрасли новое строительство магистральных электросетей, а также техническое перевооружение и реконструкция действующих сетей энергосистем в Украине практически не проводились. Как результат, к середине 90-х годов более 70% конструкций линий электропередачи эксплуатировались с превышением расчетного срока службы и отсутствием регламентных работ по текущим ремонтам. Эксплуатация воздушных линий электропередачи (ВЛ) с годами усложнялась вследствие старения основных конструктивных элементов, которые исчерпали нормативный ресурс, что приводило к частым авариям в энергосистемах (рис. 1).

Порталы и стойки под оборудование открытых распределительных устройств (ОРУ) высоковольтных подстанций, составляющие значительную часть основных производственных фондов энергетических компаний, также являются одними из основных элементов электрических сетей, надежность которых во многом определяет бесперебойность электроснабжения в целом. К моменту развала СССР треть подстанций в Украине уже находилась в эксплуатации в течение 40-60 лет, исчерпав проектный срок службы, у остальных же он был близок к окончанию. Это могло привести к аварийным или непригодным для нормальной эксплуатации состояниям конструкций (рис. 2).

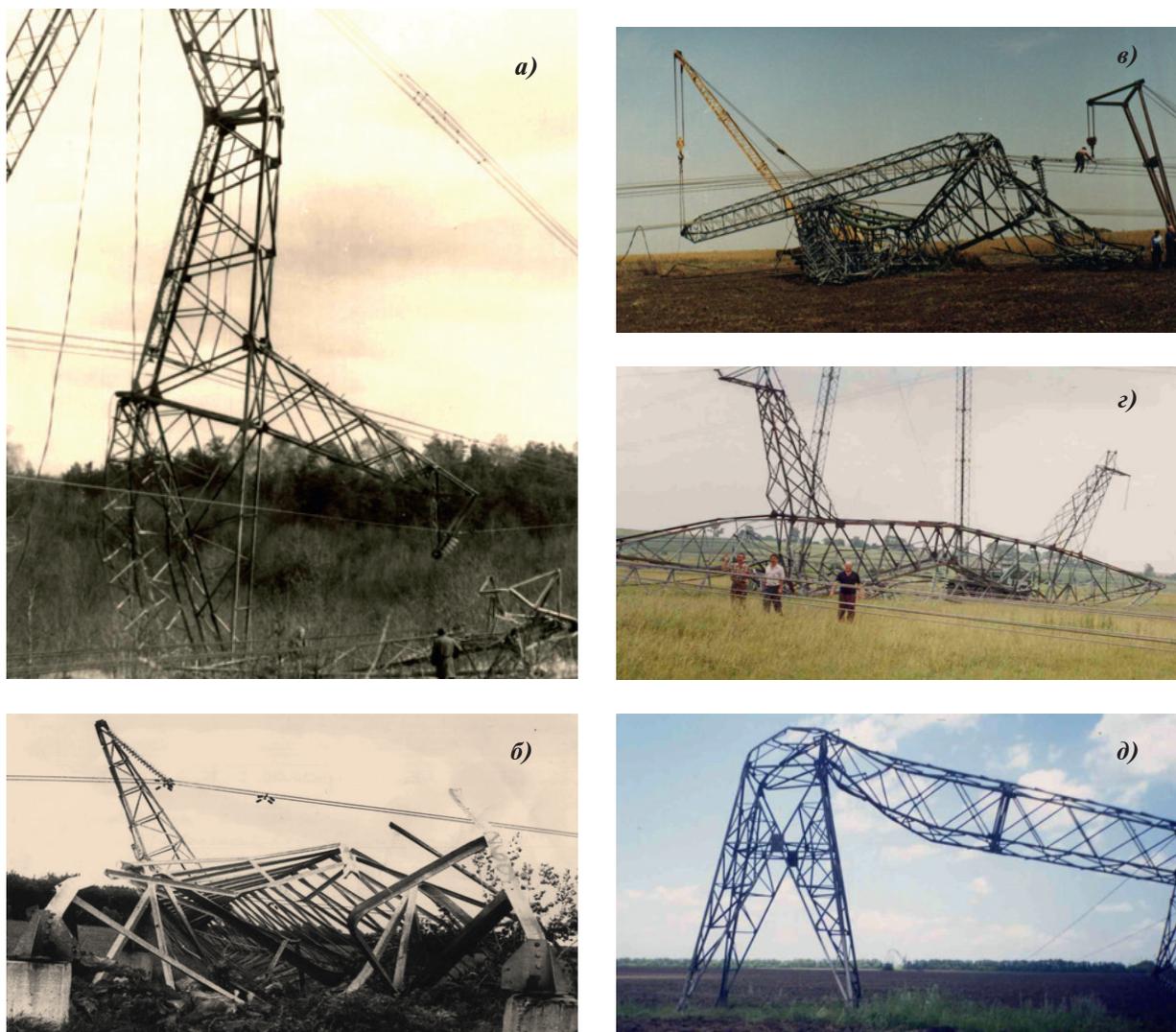


Рис. 1. Примеры аварий на воздушных линиях электропередачи:

а – разрушенная опора ВЛ 750 кВ «Волынская АЭС – Жешув» (1994 г.); б – опора ВЛ 330 кВ «Североукраинская – Полтава» после обрушения (1996 г.); в – разрушенная опора ВЛ 750 кВ «Южно-Донбасская – Донбасская» (1998 г.); г – разрушение опоры ВЛ 750 кВ «Винница – Западноукраинская» (2000 г.); д – падение опоры ВЛ 330 кВ «Трихаты – Криворожская» (2000 г.)



Рис. 2. Износ строительных конструкций открытых распределительных устройств подстанций

**ОПЫТ КОЛЛЕКТИВА ДОННАСА
ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ
И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Принимая во внимание сказанное, с начала 90-х годов научный коллектив кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ранее – Макеевский инженерно-строительный институт) под руководством Е.В. Горохова начал активно заниматься проблемой повышения надёжности и долговечности строительных конструкций электросетевого строительства. Кафедра металлических конструкций начала предоставлять энергопредприятиям научно-технические и консультационные услуги со специализацией в области энергетики, в частности: натурное обследование, техническая диагностика, оценка технического состояния, паспортизация объектов, разработка мероприятий по продлению срока службы и реконструкции строительных конструкций электрических подстанций и воздушных линий электропередачи.

С созданием в 1992 году на базе кафедры металлических конструкций специализированного научно-производственного центра конструкций электросетевого строительства (СНПЦ КЭС), а позже и научно-производственного центра «Диагностика и реконструкция» (ДиР) и Лаборатории испытания строительных конструкций и сооружений (ЛИСКис) специалисты кафедры под научным руководством Е.В. Горохова начали осуществлять полный цикл работ при реконструкции электрических сетей, включая проведение проектных и изыскательских работ, испытания строительных материалов и конструкций, выполнение строительно-монтажных работ по усилению металлических и железобетонных конструкций, восстановлению антикоррозионного покрытия, а также комплексной реконструкции

с заменой опор ВЛ, порталов и стоек ОРУ, проводов, тросов, изоляторов.

Научные и научно-исследовательские работы по повышению надежности и долговечности электросетевых конструкций получили как теоретико-экспериментальный, так и инженерно-прикладной характер, поскольку имел место большой спрос на выполняемые работы со стороны эксплуатирующих организаций (рис. 3). В основу исследований на первом этапе легли многолетние научные исследования коллектива кафедры в области технической диагностики, оценки технического состояния и обеспечения эксплуатационной надежности широкого класса строительных конструкций, по которым у коллектива имелся большой опыт. Наиболее активный период деятельности специализированных научно-производственных центров выпал на 90-е и начало 2000-х годов, когда были апробированы собственные изобретения и технологии на объектах энергосистем, выполнены работы по реконструкции и усилению.

Сложно выделить наиболее значимые работы по продлению ресурса электросетевых конструкций, поскольку коллективами научно-производственных центров под руководством Горохова Е.В. было обследовано более 20 тыс. км воздушных линий и более 100 высоковольтных подстанций, и все они имели важное определяющее значение для обеспечения безотказной работы электросетевых конструкций и надежности отрасли в целом. Можно отметить лишь выполненные работы на объектах, которые позволили обеспечить на последующие 10–20 лет бесперебойную работу крупных промышленных объектов Донбасса, среди которых:

— разработка проекта и производство работ по усилению стоек под оборудование подстанции «Заря 330 кВ», которая является одной из основных в электроснабжении металлургических гигантов — завода имени Ильича и «Азовсталь» (1995–1997 гг.), а также работ по реконструкции ОРУ 110 кВ подстанции «Ильич» в г. Мариуполе (1997–1999 гг.);



Рис. 3. Примеры выполненных работ по реконструкции с целью продления ресурса порталов и стоек под оборудование ОРУ

— разработка проекта и производство работ по усилению конструкций ОРУ 110 кВ Харцызского сталепроволочно-канатного завода «Силур» (1996 г.);

— оценка технического состояния конструкций ОРУ Мироновской ТЭС (2000 г.);

— оценка технического состояния и капитальный ремонт железобетонных конструкций ОРУ 110 кВ подстанции «Коммунарская 220 кВ» (2000–2002 гг.), ОРУ 110 кВ подстанции «Михайловка 330 кВ» и многие другие.

Основными мероприятиями, предпринимаемыми при реконструкции воздушных линий электропередачи в целях повышения несущей способности конструкций, являются диагностика технического состояния и усиление (рис. 4). Чаще возникают проблемы, связанные с усилением металлических конструкций со значительным коррозионным износом и эксплуатационными повреждениями. Решения о методах реконструкции зачастую являются индивидуальными, и в каждом случае применение методов усиления обосновывается экономической эффективностью по сравнению с полной заменой конструкций.

Предлагаемые коллективом методы усиления потребовали развития нового подхода к проблеме

стями. За последние годы вложения в электрические сети 35–750 кВ составляли не более 18% общих вложений в электроэнергетику, в то время как в странах с развитой электроэнергетикой эта доля достигает до 36%. В то же время, по оценкам специалистов, главными причинами аварий электросетевых конструкций являются несвоевременное выполнение работ по восстановлению разрушенной антикоррозионной защиты, усилению прокорродированных элементов и узлов, ремонту фундаментов и прочее, т.е., в основном, из-за недостаточности средств на поддержание конструкций в работоспособном состоянии.

Проблемы реконструкции электросетевых конструкций, связанные с изменением расчетных нагрузок и переоборудованием, до недавнего времени оставались в стороне от основных направлений строительства в энергетике. Но работы по усилению и реконструкции, вызванные изменением расчетных нагрузок, по мнению коллектива кафедры под руководством Е.В. Горохова, являются наиболее интересными с точки зрения выполнения проверочных расчетов, а также с учетом развития и совершенствования нормативной базы проектирования. Одним из примеров выполненных работ может служить

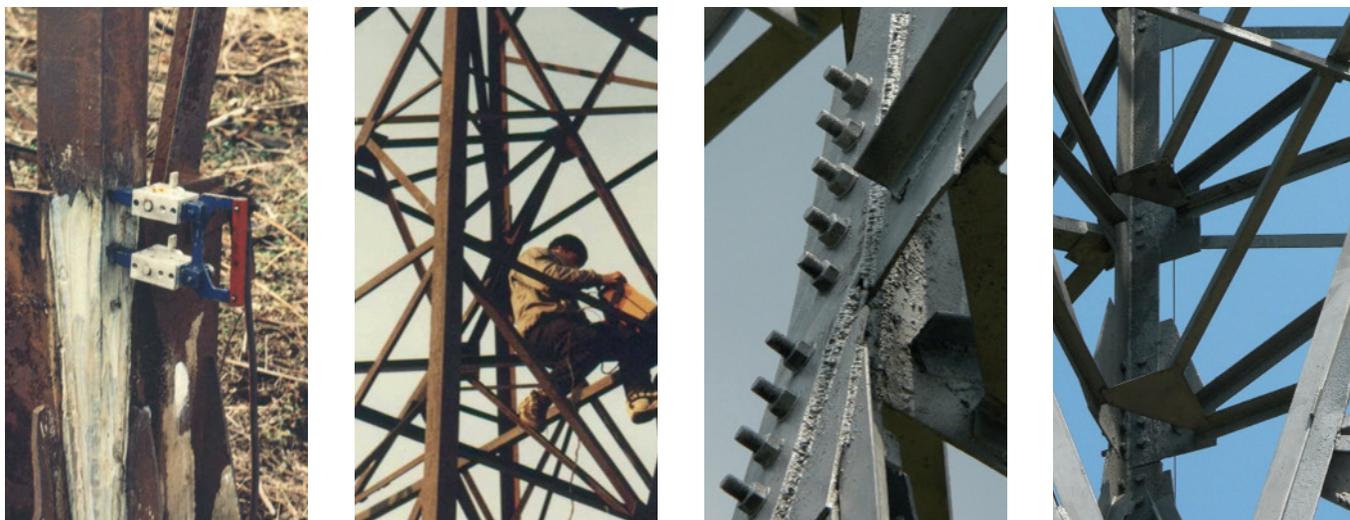


Рис. 4. Примеры диагностики и выполненных ремонтных работ по продлению ресурса опор линий электропередачи

восстановительных ремонтов и разработке критериев правильности принимаемых технических решений. Кроме того, устойчивый рост отказов, необходимость поиска внебюджетных форм финансирования мероприятий по поддержанию надежности электрических систем на достаточном уровне, требования предоставления гарантий обеспечения безаварийной работы в случае смены собственника энергосистем обусловили необходимость выполнения исследований надежности и безопасности электросетевых конструкций.

Как правило, в Украине деятельность по предотвращению аварий строительных конструкций сталкивалась прежде всего с финансовыми трудно-

реконструкция опор перехода через р. Днепр ВЛ 154 кВ «КремГЭС – КремТЭЦ», связанная с изменением расчетных нагрузок и переоборудованием, осуществленная коллективом кафедры в 2013 году (рис. 5).

В результате выполненных научно-практических работ определены основные направления исследований надежности ВЛ, среди которых: уточнение методов определения расчетных климатических условий, в которых эксплуатируется конкретный объект; изучение дефектов и повреждений опор воздушных линий; уточнение причин повреждаемости и исследование действительной работы электросетевых конструкций со сниженными эксплуатационными

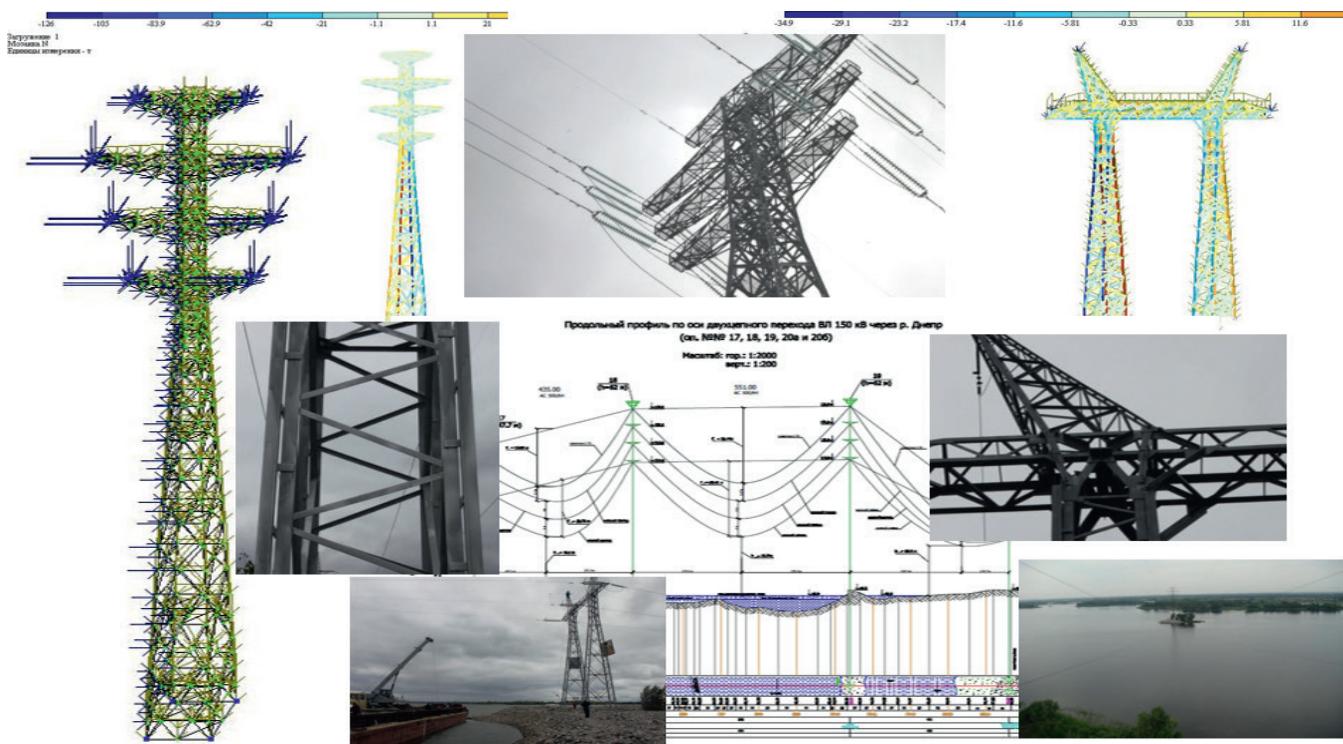


Рис. 5. Реконструкция линий электропередачи, связанная с изменением расчетных нагрузок и переоборудованием

качествами. Одним из результатов использования разработанной методики является определение предельных нагрузок, которые может выдержать существующая конструкция опоры ВЛ, запроектированная по ранее действовавшим нормативам. Разработанная методика позволяет оценить степень влияния каждого из климатических параметров на результирующее напряженно-деформируемое состояние элементов опор ВЛ с учетом одинаковой вероятности их проявления. В основу методики расчетной оценки риска аварии (нарушения целостности конструкции) положены принципы учета ранжированных по степени опасности критических дефектов и повреждений, накопленных в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций. Такая интегральная оценка критических дефектов и повреждений является наиболее комплексным показателем конструктивной безопасности. Безопасность конструкции в целом сводится к определению показателей безопасности ее отдельных элементов, обусловленной изменением их механических и геометрических характеристик. Разработанные методы расчетной оценки и нормирования конструктивного риска позволяют обозначить оптимальную схему управления качеством эксплуатируемых несущих конструкций с целью обеспечения заданного уровня конструктивной безопасности. Указанные предложения нашли отражение при разработке методических указаний по оценке конструктивных рисков для осуществления инженерной и страховой защиты строительных конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей.

ОПЫТ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Открытие на базе ДОННАСА в 1997 году уникального Полигона испытаний башенных сооружений и опор линий электропередачи (рис. 6) положило начало новому направлению деятельности в области сертификационных испытаний новых строительных конструкций для электроэнергетики.

При разработке проекта Полигона учитывались тенденции развития электросетевого строительства и возможность расширения его технических возможностей. По большинству технических показателей Полигон ДОННАСА превышает крупнейшие полигоны Азии и Европы. Полигон представляет собой уникальное инженерное сооружение и на сегодняшний день остается вторым среди стран СНГ и 13-м в мире.

Запроектированный и возведенный под руководством Е.В. Горохова Полигон позволил в свое время Украине стать независимой от других стран мира в области исследования, проектирования и изготовления электросетевых конструкций. Сочетание научного потенциала специалистов кафедры с производственными возможностями Донецкого завода высоковольтных опор (ДЗВО) позволило местным производителям электросетевых конструкций выйти на международные рынки Сирии, Египта, Индии, Ирана, Турции, Исландии, Китая,

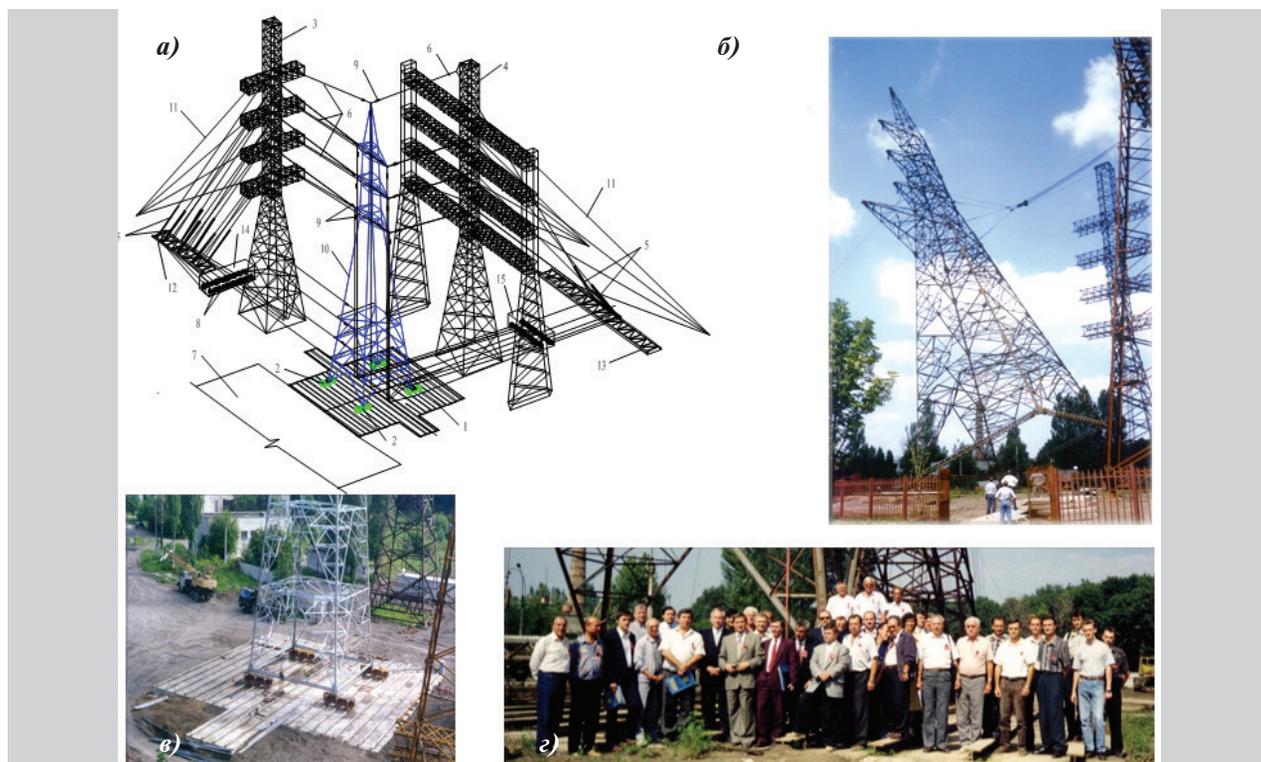


Рис. 6. Полигон испытаний башенных сооружений и опор линий электропередачи ДОННАСА:
 а – схема Полигона испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений; б – монтаж первой опоры на Полигоне перед началом испытаний (1997 г.); в – общий вид силового поля Полигона;
 г – коллектив проектировщиков и строителей на открытии Полигона (1997 г.)

России, Казахстана и других стран (рис. 7). Учитывая большую значимость для науки и производства, Кабинет Министров Украины в 1999 году включил Полигон испытаний башенных сооружений и опор линий электропередачи ДОННАСА в Государственный реестр научных объектов, которые составляют

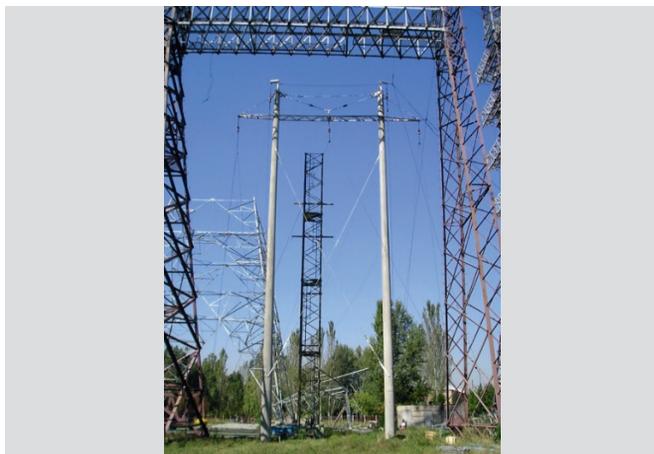
национальное достояние. На Полигоне были выполнены значительные экспериментальные исследования новых эксплуатационно-надежных эффективных типов опор. За эту плодотворную деятельность в 2002 году коллектив в составе профессора Е.В. Горохова, профессора Е.В. Шевченко,



а)



б)



в)



г)

Рис. 7. Примеры испытаний опор линий электропередачи на Полигоне ДОННАСА:

а – испытание на Полигоне уникальной опоры ВЛ для Египта высотой 64 м; б – испытания V-образной опоры на оттяжках для Исландии; в – испытания железобетонной опоры ПСБ-220-1.1; г – испытание опоры 4S10+12 по заказу турецкой фирмы SA-RA

а также доцентов В.Н. Васылева и В.В. Семенова был удостоен Государственной премии Украины в области науки и техники (рис. 8) за научную работу «Разработка научных основ и принципов строительства эксплуатационно-надёжных конструкций магистральных электросетей, освоение их производства и внедрения».

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И ПРИКЛАДНОГО ХАРАКТЕРА ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Учитывая опыт и научный потенциал коллектива, материальную базу ДОННАСА, государственную значимость выполняемых работ, основные исследования теоретического и прикладного характера по повышению надёжности конструкций электросе-

тевого строительства получили официальный статус, и их выполнение с середины 2000-х гг. стало осуществляться в соответствии с госбюджетными научно-техническими программами и темами:

— Государственная научно-техническая программа «Ресурс» (НЧ/439-2007) «Оценка технического состояния воздушных линий электропередачи при действии климатических нагрузок и воздействий», 2007-2008 гг.;

— Госбюджетная тема Д2-01-06 «Разработка научных основ создания оптимальных пространственных конструкций повышенной надёжности» (задача 1 – «Мониторинг и повышение надёжности воздушных линий электропередачи при действии гололедно-ветровых нагрузок и воздействий»), 2006-2008 гг.;

— Госбюджетная тема Д2-01-09 «Разработка моделей эксплуатационных нагрузок и воздействий для мониторинга уникальных зданий и сооружений» (раздел 1 «Прогнозирование и предупреждение аварий на воздушных линиях электропередачи при



Рис. 8. Лауреаты Государственной премии Украины в области науки и техники за 2002 год, руководитель научного коллектива – Е.В. Горохов (пятый справа)

действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок»), 2009–2010 гг. и др.

Актуальность и необходимость данных работ была обусловлена участвовавшими крупными каскадными авариями в энергосистемах. Примером тому стала резонансная авария в ноябре 2000 г., когда почти 4 млн. людей из 5-ти тысяч населенных пунктов 12 областей Украины оказались в течение недели в экстремальных условиях, оставшись без света, тепла, газо- и водоснабжения (рис. 9 а). Не случайно на базе ДОННАСА дважды, в 2004 и 2008 гг., были проведены научно-практические конференции по проблемам эксплуатации и реконструкции действующих электросетей, организаторами которых выступили НЭК «Укрэнерго» и Всеукраинский энергетический комитет.

Также специалисты ДОННАСА приняли участие в работе комиссии по расследованию резонансных

ходово отметить, что взорванные опоры ПМГ 330–28 были нового, уникального типа, спроектированные и испытанные на Полигоне ДОННАСА (рис. 11) с учетом обеспечения надежности при воздействии гололедно-ветровых нагрузок и аварийных нагрузок при обрыве проводов и установленные в 2013 году взамен ранее разрушенных при гололедном шторме.

Ввиду актуальности проблемы обеспечения надежности конструкций при экстремальных климатических воздействиях под научным руководством д.т.н., проф. Горохова Е.В. в составе лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений при кафедре металлических конструкций создан испытательный стенд (климатическая камера) с приборной базой для моделирования климатических нагрузок. Он позволяет выполнять исследования гололедных и гололедно-ветровых

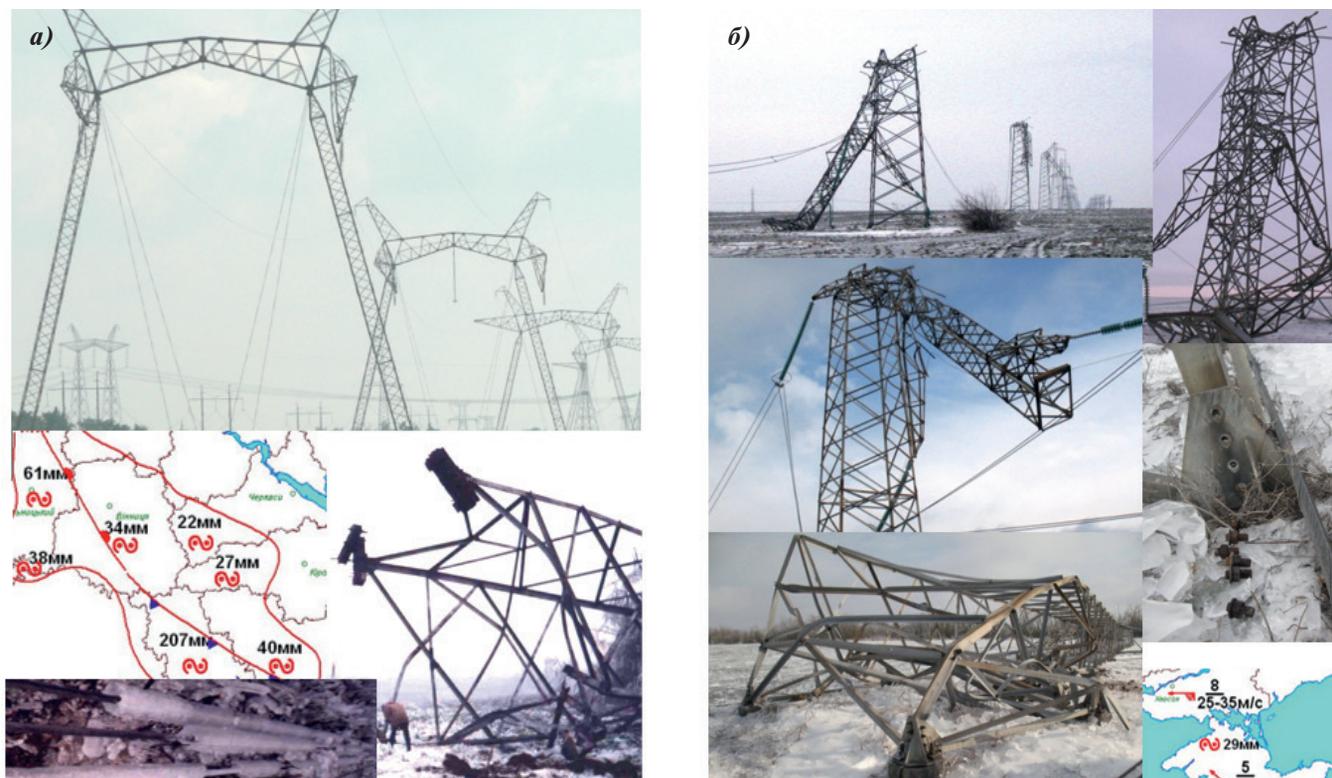


Рис. 9. Каскадные аварии в энергосистемах при гололедно-ветровых воздействиях:

а – аварии в Южной энергосистеме в ноябре 2000 года; б – аварии в Крымской энергосистеме в декабре 2009 года

аварий, произошедших на участке энергоперетока «Украина – Крым» на ВЛ 330 кВ «Каховская – Джанкой», «Каховская – Островская» и «Мелитопольская – Джанкой» в ОЗП период с декабря 2009 по январь 2010 г. (рис. 9 б), когда под угрозой отключения оказался весь полуостров, а энергосистема Крыма устояла лишь благодаря единственной воздушной линии электропередачи, не поддавшейся угрозам гололедно-ветрового шторма, и усилиям энергетиков, выполнявших аварийно-восстановительные работы. Как известно, в результате диверсионных актов в ноябре 2015 года энергосистема Крыма не устояла перед угрозами терроризма (рис. 10). При этом необ-

нагрузок как на провода, так и на элементы опор ВЛ. Иллюстрации выполненных исследований в 2011–2012 гг. с целью сравнительного анализа гололедообразования на образцах традиционных сталеалюминиевых проводов и на проводах новых типов (компактные, секторные и др.) представлены на рис. 12.

Профессором Гороховым Е.В. еще в начале 2000-х годов было принято решение о проектировании и строительстве в ДОННАСА аэродинамической лаборатории, в которую должны были войти две метеорологические аэродинамические трубы МАТ-1 и МАТ-2. Малая аэродинамическая труба МАТ-1 была запроектирована в достаточно



Рис. 10. Диверсия (подрыв опор) на ВЛ 330 кВ на энергоперетоке «Украина – Крым», 20.11.2015

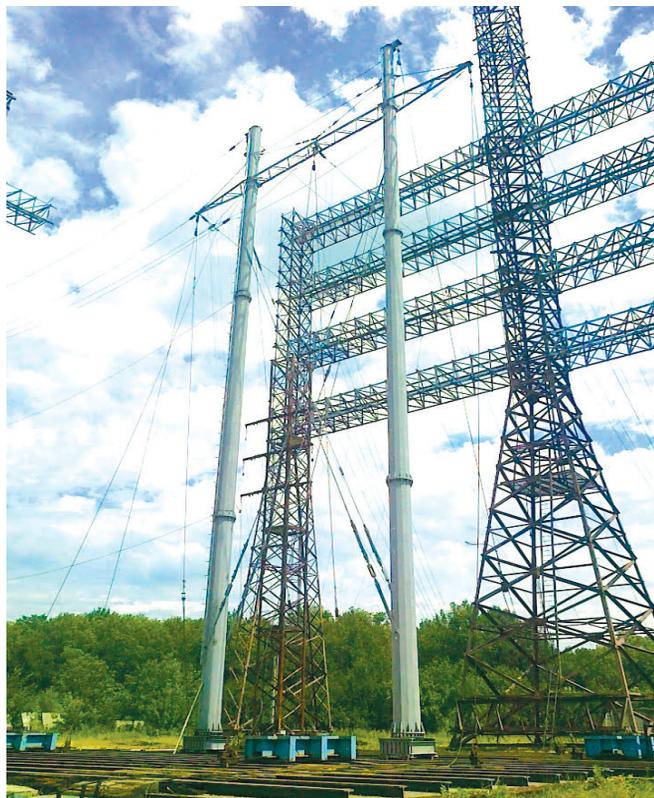


Рис. 11. Общий вид опоры ПМГ 330-28 нового типа во время испытаний на Полигоне ДОННАСА

сжатые сроки и введена в эксплуатацию (рис. 13). Назначение МАТ-1: испытание отдельных зданий или сооружений в масштабах 1:100 – 1:1000, элементов конструкций, отработка методик экспериментов, поверка и градуировка приборов и датчиков. К сожалению, из-за отсутствия финансирования проект большой трубы аэродинамической МАТ-2 до настоящего времени не реализован. В малой трубе после ввода в эксплуатацию были выполнены ряд модельных испытаний высотных зданий и уникальных сооружений. Применительно к задачам электроэнергетики по заказу ГП УНИПИКТИ «Укрсельэнергопроект» в рамках научно-технической работы

были выполнены экспериментальные исследования на натуральных образцах традиционных сталеалюминиевых проводов разных марок, а также применяемых в мировой практике проводов новых типов для ВЛ.

Помимо исследований ветрового воздействия на объекты электроэнергетики в условиях аэродинамической лаборатории, коллектив кафедры под руководством Е.В. Горохова также имел опыт осуществления натуральных полевых исследований и анализа ветровых течений на площадке строительства Новоазовской ветроэлектростанции (ВЭС) в 2001 г., а также по разработке башни высотой 70 м для исследования характеристик



Рис. 12. Испытания проводов ВЛ в климатической камере лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений

ветра. В результате исследований была разработана методика оценки особенностей ветровых течений в зависимости от топографических неоднородностей рельефа местности для прогнозирования выработки электроэнергии ветротурбинами (рис. 14).

Для выполнения задач прогнозирования и предупреждения аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок коллективом разработчиков ДОННАСА под научным руководством Е.В. Горохова разработаны экспериментальные автоматизированные гололедно-ветровые метеопосты (АГВМП). После апробации в 2004 году на территории Полигона ДОННАСА экспериментальной модели АГВМП установлены первые 4 метеопоста в системе НЭК



Рис. 13. Малая аэродинамическая труба МАТ-1 ДОННАСА

«Укрэнерго» (рис. 15) в Одесской, Тернопольской и Хмельницкой областях (ПС 330 кВ «Усатово», ПС 330 кВ «Котовская», ПС 330 кВ «Тернополь», ПС 330 кВ «Хмельницкий»), послужившие началом создания ведомственной автоматизированной системы мониторинга метеопараметров (АСММ), выполняющей задачи прогнозирования и предупреждения аварий на ВЛ при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок. По заказу НЭК «Укрэнерго», руководствуясь разработанной схемой размещения метеопостов, коллективом кафедры в 2008 году осуществлена установка метеопостов в Ивано-Франковской, Волынской, Луганской областях (ПС 330 кВ «Ивано-Франковская», ПС 220 кВ «Луцк-Южная», ПС 500 кВ «Победа»). В рамках создания единой системы прогнозирования и предупреждения аварий на ВЛ при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок планировалась в 2014 году установка метеопостов на подстанциях ПС 330 кВ «Южно-Донбасская», ПС 330 кВ «Новокаховская» и др. Одновременно с созданием автоматизированной системы мониторинга метеопараметров в ДОННАСА

осуществлялась разработка, апробация и совершенствование методик учета климатических нагрузок на ВЛ (рис. 16), поскольку обеспечение требуемой надежности электросетевых конструкций невозможно без достоверной информации о климатических нагрузках и воздействиях, т.к. в силу специфики данных сооружений указанные нагрузки являются определяющими их основные параметры.

Специалистами ДОННАСА совместно со специалистами ГПИ НИИ «Укрэнергопроект» в период с 2004 по 2014 гг. проводилась разработка методик по заказу Министерства топлива и энергетики Украины с целью климатического обеспечения строительства и эксплуатации электрических сетей. Основные из них – методика выбора расчетных метеостанций, методика подготовки



Рис. 14. Исследования анализа ветровых течений на площадке строительства Новоазовской ветроэлектростанции

и обработки данных метеостанций, методика определения нагрузки в какой-либо точке территории, методика определения зависимости климатических нагрузок от высоты месторасположения, методика определения гололедно-ветровых нагрузок в горной местности, определения влияния топографических условий местности на ветровую нагрузку. Перечисленные методики нашли свое применение в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ), в отраслевых нормативных документах: «Климатическое обеспечение строительства и эксплуатация электрических сетей», «Климатические нагрузки на воздушные линии электропередачи с учетом топографических особенностей». Разработанные нормативные документы по климатическому обеспечению, методика обработки метеопараметров и справочник с климатическими данными за более чем полувековой период находят свое применение при использовании персоналом энергопредприятий и специализированных организаций во время выполнения проектов ВЛ нового строительства, проведения реконструкции и оперативного обслуживания действующих ВЛ.



Рис. 15. АГВМП

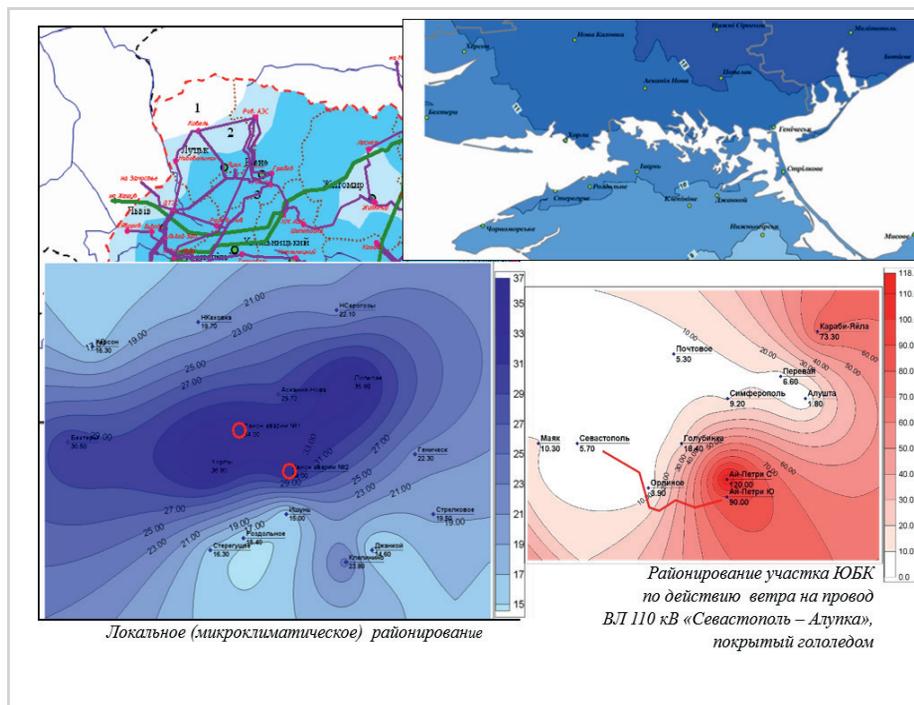


Рис. 16. Аprobация методик учета климатических нагрузок на ВЛ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достигнуты существенные научные результаты по повышению надежности и долговечности электросетевых конструкций за счет использования методов оптимального проектирования, вероятностных методов расчета конструкций, методов натуральных испытаний и экспериментального моделирования, мониторинга и прогнозирования эксплуатационных нагрузок и воздействий. К новым научным и практическим результатам, достигнутым в результате выполненного комплекса исследований теоретического и прикладного характера, следует отнести:

- классификацию и статистический анализ повреждений (дефектов) электросетевых конструкций, экспериментальное изучение коррозионного износа конструкций и долговечности защитных покрытий, исследование влияния коррозионного износа и климатических нагрузок и воздействий на напряженно-деформированное состояние конструкций, повышение долговечности и коррозионной стойкости металлических конструкций опор ВЛ и строительных конструкций ОРУ подстанций;

- совершенствование методов технической диагностики электросетевых конструкций, разработку рекомендаций по оценке технического состояния, перерасчету и паспортизации эксплуатируемых ВЛ и ОРУ;

- разработку принципов оптимизационных расчетов опор ВЛ и порталов ОРУ с учетом требований эксплуатационной надежности;

- создание методов расчета надежности и долговечности электросетевых конструкций, учитывающих изменение несущей способности сооружения

с течением времени, вероятностную природу нагрузок и особенностей эксплуатации;

- экспериментальные и численные исследования динамического поведения токоведущих проводов и грозозащитных тросов в нестационарном воздушном потоке, экспериментальное моделирование процесса гололедообразования на проводах ВЛ;

- создание электронной базы по нагрузкам и воздействиям на электросетевые конструкции, основанной на обработке данных метеостанций, разработку методик учета климатических нагрузок на ВЛ, прогнозирования и предупреждения аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок.

К основным научным публикациям в области повышения надежности и долговечности электросетевых конструкций следует отнести 5 монографий, 1 учебное пособие, 14 государственных и отраслевых нормативных документов, 8 патентов и авторских свидетельств, более 200 научных статей в периодических научных изданиях, сборниках научных трудов и изданиях по результатам работы конференций.

По результатам выполненных исследований по проблематике электросетевых конструкций защищены 11 кандидатских диссертаций под научным руководством Е.В. Горохова, а также одна докторская диссертационная работа. Также по результатам исследований, осуществленных на кафедре металлических конструкций, в рамках развития и продолжения научной школы Е.В. Горохова под руководством его учеников защищены ещё пять диссертаций по проблематике электросетевых конструкций.



Рис. 17. Основные научные публикации научной школы Е.В. Горохова в области повышения надежности и долговечности электросетевых конструкций

Список литературы:

1. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций: монография / Е.В. Горохов, С.Н. Шаповалов, Е.И. Удод и др.; под ред. Е.В. Горохова. — Киев, Техника, 1997. — 284 с.; ил.
2. Аэродинамика электросетевых конструкций : монография / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.Н. Шаповалов, Я.В. Назим; под ред. Е.В. Горохова, М.И. Казакевича. — Донецк, 2000. — 336 с.
3. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи: монография / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин, Я.В. Назим ; под ред. Е.В. Горохова; ДОННАСА. — Донецк, Норд-Компьютер, 2005. — 348 с. : ил.
4. Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине: монография / Е.В. Горохов, Г.И. Гримуд, В.Ф. Муцанов и др.; под общ. ред. Е.В. Горохова, Г.И. Гримуда; ДОННАСА. — Макеевка, 2008. — 180 с. цв. ил., табл.
5. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций: учебн. пособие / Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, Я.В. Назим, И.В. Роменский; под общ. ред. Е.В. Горохова; ДОННАСА. — Макеевка, 2012. — 516 с.
6. Системы мониторинга технического состояния несущих металлических конструкций зданий и сооружений: монография / Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, В.Н. Васылев и др. ; под общ. ред. Е.В. Горохова, В.Ф. Муцанова; ДОННАСА. — Макеевка, 2013. — 314 с.
7. ГКД 34.20.571-96. Металеві та залізобетонні опори повітряних ліній електропередачі напругою 35 кВ та більше. Методичні вказівки з оцінки технічного стану та перерахунку. — К., «Енергопрогрес», 1996. — 59 с.
8. ГКД 34.20.572-96. Порталы металеві та залізобетонні відкритих розподільчих пристроїв. Методичні вказівки по обстеженню. — К., УНВО «Енергопрогрес», 1996. — 46 с.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Норми проектування. Навантаження і впливи. — К., Мінбуд України, 2006.
10. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2 «Передавання електроенергії». Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. — К., ОЕП «ГРІФРЕ». — 2006. — 192 с.
11. СОУ-Н ЕЕ 20.572:2006. Методичні вказівки з обстеження металевих і залізобетонних порталів відкритих розподільчих пристроїв напругою від 35 – 750 кВ. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. — 96 с.
12. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35 – 750 кВ. Частина 1. Металеві та залізобетонні опори. Паспортизація ліній. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. — 124 с.
13. СОУ-Н ЕЕ 20.571:2007. Оцінка технічного стану повітряних ліній електропередавання напругою від 35 – 750 кВ. Частина 2. Конструктивні елементи ліній. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. — 92 с.
14. СОУ-Н ЕЕ 20.667:2007. Кліматичні навантаження на повітряні лінії електропередавання з урахуванням топографічних особливостей. Методика. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2007. — 39 с.
15. ПД 34.20.501:2008. Розрахунок опор і проводів повітряних ліній електропередавання згідно з вимогами Глави 2.4 ПУЕ:2006 і Глави 2.5 ПУЕ:2006. Посібник. — К., ОЕП «ГРІФРЕ». — 2008.
16. СОУ-Н ЕЕ 21.262:2008. Кліматичне забезпечення будівництва та експлуатації електричних мереж. Інструкція. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2008. — 36 с.
17. СОУ-Н ЕЕ 20.579: 2009. Кліматичні дані для визначення навантажень на повітряні лінії електропередавання. Методика опрацювання. — К., НТСЕУ, ОЕП «ГРІФРЕ», 2009. — 92 с.
18. СОУ 40.1-00013741-36:2010. Рекомендації щодо проектування та будівництва багатоколових ліній електропередавання напругою від 35 кВ до 330 кВ. Настанова. — К., Мінергетики та вугільної промисловості України. — 2012. — IV, 41 с.
19. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-62:2012. Проектування електричних мереж з урахуванням протиожеледних заходів. Методичні вказівки. — К., Мінергетики та вугільної промисловості України. — 2012. — IV, 55 с.
20. СОУ-Н ЕЕ 20.572:2013. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2 «Передавання електроенергії». Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ (друга редакція). — К., Мінергетики та вугільної промисловості України, 2013. — 144 с.

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БЕСКАРКАСНЫХ АРОЧНЫХ ЗДАНИЙ

В.В. Зверев доктор техн. наук, профессор; **К.Е. Жидков** канд. техн. наук, доцент;
Н.В. Капырин канд. техн. наук, доцент; **И.В. Карманов**

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация. Отмечены преимущества бескаркасных арочных зданий из тонколистового проката по сравнению с традиционными каркасными зданиями и сооружениями из стержневых легких металлических конструкций. Приведены характерные примеры обрушений. Проанализированы причины аварий зданий и сооружений данного типа на различных этапах жизненного цикла. Показано, что повышение надежности сооружений возможно только при осуществлении надлежащего контроля на всех этапах: проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации. На основе анализа нормативных документов, действующих в РФ, делается вывод, что вопрос контроля для рассматриваемых конструкций с учетом их особенностей в настоящее время не решен.

Ключевые слова: бескаркасные арочные здания, тонколистовой стальной прокат, лоткообразные профили, примеры обрушений зданий.



Зверев
Виталий Валентинович



Жидков
Константин Евгеньевич



Капырин
Николай Викторович



Карманов
Илья Владимирович

В результате анализа строительного рынка одним из наиболее эффективных конструктивных решений зданий и сооружений на основе тонколистового проката являются бескаркасные арочные здания из гофрированных лоткообразных стальных профилей [1-3] (рис. 1).

Основой технологии бескаркасного строительства является применение рулонированного оцинкованного тонколистового проката, которому путем холодного формования придается определенная конструктивная форма (рис. 2). Из достаточно большой номенклатуры бескаркасных зданий наиболее широко распространены арочные здания, изготавливаемые по технологии K-SPAN.

Это обусловлено высокой технологичностью изготовления в построечных условиях (на передвижной механизированной установке при минимизации транспортных затрат), отсутствием конструктивно сложных соединений (все соединения элементов между собой выполняются в фальцы), низким расходом стали. По сравнению с традиционными решениями, в том числе ЛМК, материалоемкость снижается до 2 раз [1].

Стоимость зданий данного типа составляет в зависимости от пролета и площади 2,2-3,5 тыс. руб/кв. м.

Все вышеизложенное, казалось бы, предопределяет полное завоевание такими зданиями строительного рынка ангаров, складов, укрытий и т.п. Однако большое количество аварий, зафиксированных в Липецкой области, Карачаево-Черкесской Республике, Республике Татарстан, городах Подольске, Иркутске, Воронеже, Пензе и других регионах (рис. 3-7) привело к значительному спаду спроса на данные здания.



Рис. 1. Бескаркасное здание из гофрированных лоткообразных стальных профилей на момент возведения

Более того, большинство проектировщиков стали осторожнее подходить к проектированию данных зданий и в ряде случаев отказываться от их применения, переходя на более материалоемкие арочные конструкции (например, арки с тонкой гофрированной стенкой, бескаркасные арочные здания типа «Эксергия», «HONCO» и т.п.) [3].



Следует отметить, что такие здания обладают большей несущей способностью за счет применения стального профилированного листа с двойным гофрированием с соединением на болтах, но обладают большей материалоемкостью и трудоемкостью монтажа.

На основании анализа опыта проектирования, результатов обследований, имеющихся в свободном доступе, материалов о разрушениях, основными причинами отказов конструкций зданий из лоткообразных гофрированных профилей являются:

Ошибки при проектировании.

В большинстве случаев это происходит в результате отсутствия необходимого опыта в проектировании данных конструкций и отсутствия необходимой нормативно-технической документации.

Поскольку крупные компании выпускают руководство с готовой номенклатурой типовых пролетов и соответствующих им необходимых толщин без раскрытия методики, по которой они были определены, то в рамках конкуренции получить проектировщикам свободный доступ к данным разработкам не представляется возможным.

Кроме того, в связи с изменением снеговой нагрузки, необходимостью учета пульсационной составляющей при сборе ветровой нагрузки [5] данная номенклатура подлежит постоянному редактированию. При отсутствии опыта в проектировании конструкций данного типа по действующим

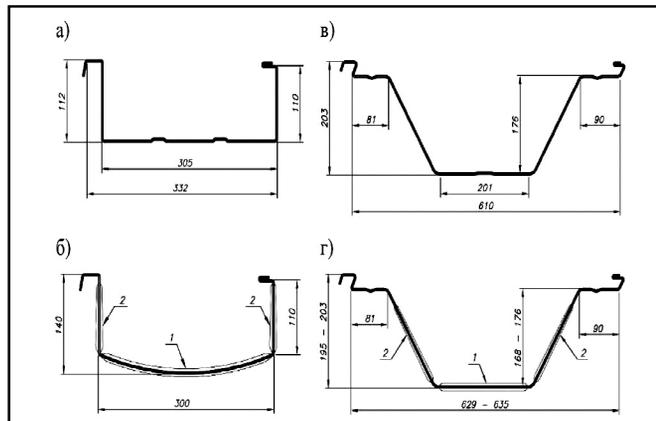


Рис. 2. Типы сечений

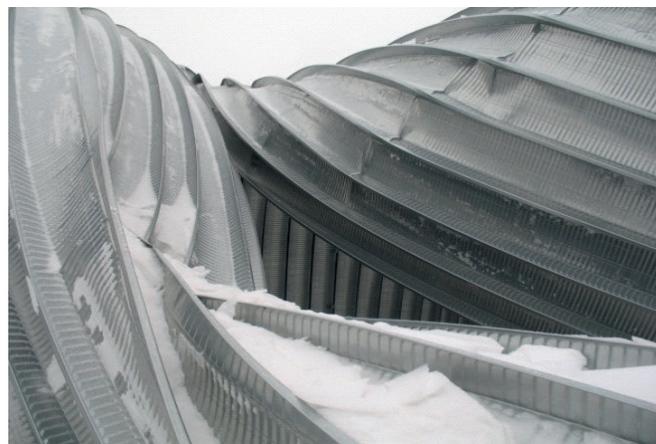
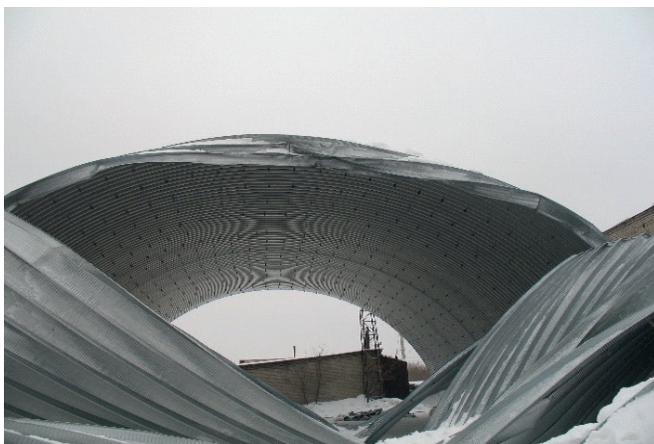


Рис. 3. Разрушение складского арочного здания (г. Липецк)

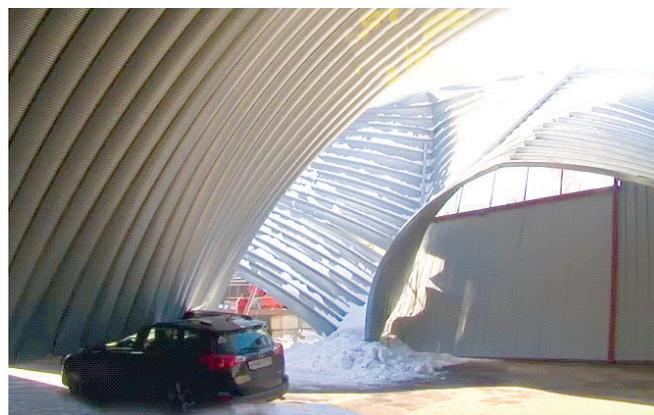


Рис. 4. Разрушение арочного здания автостоянки (г. Иркутск) (по материалам АС Байкал ТВ)

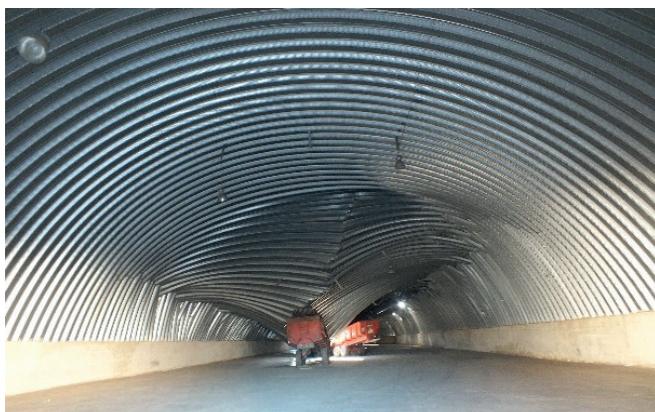


Рис. 5. Обрушение арочного здания сельскохозяйственного назначения (Липецкая область)

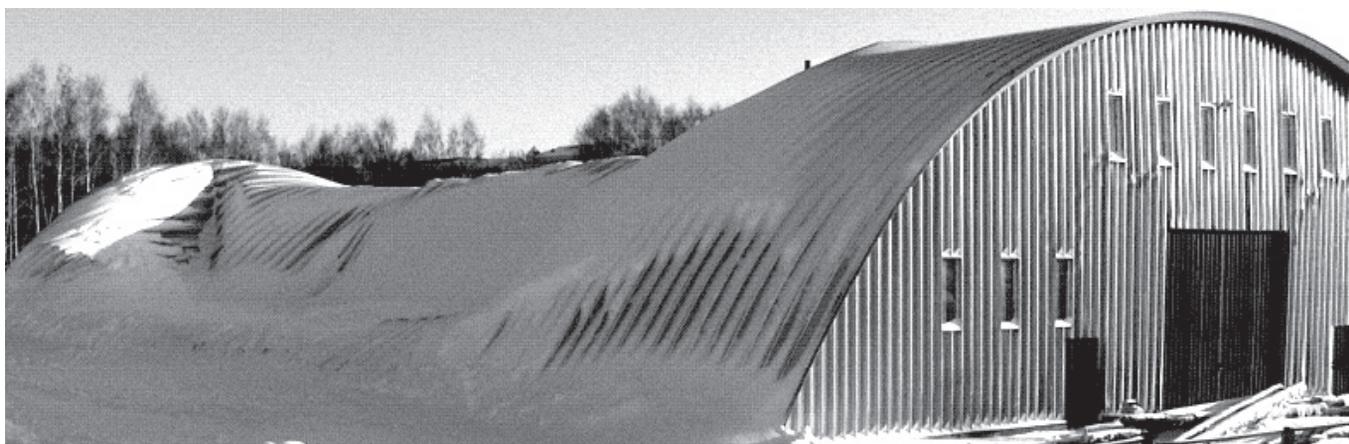


Рис. 6. Обрушение укрытия хоккейной площадки в р.п. Верхний Услон [2]

отечественным и зарубежным нормам (СП, Еврокод) в ряде случаев наблюдаются ошибки в определении геометрических характеристик редуцированного сечения, учете местных воздействий и различных форм потери устойчивости, выборе расчетной модели, что приводит к несоответствию фактического и проектного напряженно-деформированного состояния.

Нарушение технологии изготовления.

Высокая технологичность производства конструкций привела к появлению большого количества организаций, предлагающих прокатные станы различной

конструкции, отличающихся не только стоимостью, но и качеством изготовления строительных конструкций.

Наиболее распространенными несовершенствами конечной продукции являются: отклонение заготовки от исходных размеров, формы сечения (включая размалковку), непроектная высота гофрирования, повреждение цинкового покрытия, порывы тонколистового металла. Отмечаются попытки некоторых производителей для снижения отходов использовать без достаточного экспериментально-теоретического обоснования заготовки большей



Рис. 7. Обрушение складских зданий в Пензенской области

ширины, что приводит к существенному изменению работы конструкции под нагрузкой.

Нарушение технологии строительно-монтажных работ.

Использование технических решений конструкций из тонкостенных элементов предполагает выполнение монтажных работ квалифицированными подрядными организациями, обладающими необходимыми трудовыми ресурсами и средствами технического контроля за качеством работ. Фактически в связи с использованием «летучих» бригад, не отвечающих за конечный результат, отмечаются некачественная завальцовка стыков, частичное отсутствие крепления арочных элементов к основанию, нарушение геометрической формы арки. На стадии монтажа выявлены случаи обрушения или потери геометрической формы при несоблюдении технологии производства работ (отсутствие торцевой стены, динамические воздействия от кранов и т.п.).

Непроектные технологические воздействия при эксплуатации и реконструкции.

Для ряда зданий, в основном сельскохозяйственного назначения, используемых для хранения сыпучих материалов навалом (зерно, картофель и т.д.), характерно изменение расчетной схемы при эксплуатации в случае непроектного загрузения продукции (превышения уровня засыпки). Кроме того, за счет непроектных технологических вырезов при возведении пристроек, переходов, устройстве вентиляционных проходок, механических повреждениях несущих элементов арки происходит существенное снижение характеристик поперечного сечения конструкций.

Снижение рисков при проектировании, возведении и эксплуатации зданий данного типа возможно при осуществлении надлежащего стороннего контроля.

Однако для снижения затрат времени и средств заказчики широко используют здания с ограничением по площади (до 1 500 кв. м) и этажности (менее двух этажей), что в соответствии со ст. 49 Градостроительного Кодекса дает возможность не проходить экспертизу проекта. Согласно ст. 54 Градостроительного кодекса РФ и Постановления Правительства РФ № 54 от 01.02.2006 «О государствен-

ном строительном надзоре в Российской Федерации», данные объекты не подлежат государственному строительному надзору.

В результате экономия на техническом надзоре, самостоятельный контроль за качеством проектирования, изготовления и монтажа (а фактически отсутствие контроля) в конечном итоге приводят к существенным репутационным и финансовым потерям как поставщика, так и потребителя при обрушении зданий данного типа.

Учитывая значительное влияние как технологических, так и конструктивных факторов на эксплуатационную долговечность и безопасность конструкций из тонколистовой стали, представляется необходимым введение строгого контроля на всех стадиях жизненного цикла здания — от проектирования до эксплуатации.

Список литературы:

1. Еремеев П.Г., Киселев Д.Б., Армейский М.Ю. К проектированию бескаркасных конструкций арочных сводов из холодногнутых тонколистовых стальных профилей. // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2004, № 7.
2. Кузнецов И.Л., Исаев А.В., Гимранов Л.Р. Причины обрушения бескаркасного арочного сооружения пролетом 30 м. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Издательство: Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань), 2011, № 4. — с. 166–170.
3. Карманов И.В., Зверев В.В., Жидков К.Е., Подзоров А.В. Конструктивные решения бескаркасных арочных зданий. Современное состояние и перспективы развития.// Строительная механика и расчет сооружений. Издательство: Научно-исследовательский центр «Строительство» (Москва), 2015, с. 58–62.
4. Айрумян Э.Л., Беляев В.Ф. Эффективные холодногнутые профили из оцинкованной стали — в массовое строительство. // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2005, № 5. — с. 10–17.
5. СП 20.13330.2016: Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*// Минстрой России, 2016.

ОЦЕНКА СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

А.А. Свентиков доктор технических наук, доцент; М.Л. Кикаа

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В статье приводится описание вероятностной оценки сроков эксплуатации подкрановых стальных балок. В качестве вероятностного критерия напряженно-деформированного состояния используется технический отказ. Для его вычисления применяется метод двух моментов. Предложенная методика оценки надежности апробирована на примере расчета стальной подкрановой балки пролетом 6 м со средним и тяжелым режимом работы. В качестве критериев выступали предельное значение риска и допустимое. На основании оценки технического риска определены границы сроков эксплуатации подкрановых балок со средним и тяжелым режимом работы.

Ключевые слова: стальная конструкция, подкрановая балка, мостовой кран, усталостная прочность, долговечность, надежность, технический риск, срок эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ



*Свентиков
Андрей Александрович*



*Кикаа
Мохаммед Латиф*

Металлические конструкции нашли широкое применение в современном промышленном и гражданском строительстве. Сроки эксплуатации сооружений с использованием данного типа строительных конструкций во многих случаях имеют значительную величину. Вследствие этого вопросы прогнозирования надежности строительных металлических конструкций имеют большое значение как при проектировании новых зданий и сооружений, так и для оценки возможности дальнейшей работоспособности конструкций, находящихся в эксплуатации. В первом случае прогноз надежности подтверждает правильность принятых конструктивных решений, а во втором дает ответ на вопрос о том, возможно ли продление эксплуатации, на какой срок и при каких условиях.

Также отметим, что большое число стальных конструкций в условиях эксплуатации подвергаются воздействию переменных нагрузок. Как показывает строительная практика, подобного типа нагрузки могут привести к разрушению конструкции при напряжениях существенно меньших, чем расчетное сопротивление стали. Такое разрушение принято называть «усталостным». К числу наиболее подверженных усталостному разрушению строительных элементов относятся подкрановые конструкции. Необходимо отметить, что большинство работ по оценке сроков службы конструкций не рассматривает вероятностную составляющую.

На основании указанного целью настоящей работы является разработка вероятностной методики оценки напряженно-деформированного состояния стальных подкрановых конструкций с учетом усталостной прочности стали.

1. Моделирование усталостной прочности стали

В области исследований многоциклового усталости материалов описание долговечности как функции от характеристик цикла напряжений является общепринятым классическим описанием [1,2]. Кривая усталости в данном случае носит название кривой Веллера (Wöhler). Достаточно часто в зарубежной литературе подобный подход носит название SN подхода, а кривая усталости при таком описании – SN кривой (название связано с аббревиатурой от названий осей координат на кривой Веллера: напряжение vs. число циклов до отказа).

Для аналитического описания кривых усталости стали, как правило, используют зависимость Басквин (Basquin):

$$\sigma_{MAX} = C \cdot N^b, \quad (1)$$

где σ_{MAX} - предел выносливости материала; N - число циклов; C, b - постоянные зависимости.

Для сталей постоянные зависимости Басквина в большинстве случаев принимаются следующие:

$$C = 1,62; b = -0,085 \quad [1,2].$$

В качестве циклической нагрузки в настоящей работе использована нагрузка от мостового крана. Число циклов нагружения мостового крана за срок его службы C_T определим согласно технических требований по их эксплуатации [3]:

$$C_T = C_c \cdot n_{дн} \cdot t_k, \quad (2)$$

где C_c - среднесуточное число циклов работы крана; $n_{дн}$ - число рабочих дней в году; t_k - нормативный срок службы крана.

В зависимости от числа циклов C_T определяется класс использования крана (С0÷С8).

Нагружение крана характеризуется следующим коэффициентом K_p :

$$K_p = \sum \left(\frac{Q_i}{Q_{ном}} \right)^3 \cdot \frac{C_i}{C_T}, \quad (3)$$

где Q_i - масса груза, перемещаемого краном с числом цикла C_i ; $Q_{ном}$ - номинальная грузоподъемность крана.

Режим работы крана (К) зависит от класса использования (С) и класса нагружения (Q) [3].

2. Методика расчёта надёжности строительных конструкций

Основной целью требований к конструктивной безопасности строительной системы является предотвращение аварий и обрушений здания или сооружения в целом или составляющих его конструктивных частей. В настоящее время под надёжностью понимается свойство системы и ее элементов выполнять установленные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени (согласно ГОСТ 27751-88 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту»). В качестве основной количественной характеристики, оценивающей данное свойство, используется вероятность безотказной работы и вероятность отказа. Вероятность отказа или разрушения также часто назы-

вают «техническим риском» [4,5,6,7]. Условием отказа будет выполнение неравенства:

$$\tilde{G} = \tilde{R} - \tilde{Q} < 0, \quad (4)$$

где \tilde{G} - резерв несущей способности или отказ; \tilde{R}, \tilde{Q} несущая способность и нагрузочный эффект.

Вероятностью отказа будет являться вероятность реализации неравенства (4):

$$P_f = \int_0^\infty R(x) \cdot P_Q(x) dx. \quad (5)$$

Зависимость (2) для случая распределения случайных величин по нормальному закону распределения представляет собой так называемый интеграл Гаусса [4].

Для вычисления вероятности P_f используем метод двух моментов [4,5]. Согласно данному подходу принимаем, что случайные величины R и Q подчиняются нормальному закону распределения случайных величин. Тогда можно записать:

$$P_f = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{x-G_m}{S_G}\right) = \frac{1}{2} - \Phi(\beta), \quad (6)$$

где Φ – интеграл вероятности Гаусса; $-\beta = \frac{x-G_m}{S_G}$

характеристика безопасности или индекс надёжности (согласно А.Р. Ржаницина [4]: число стандартов, укладываемых в интервале от $\bar{G} = 0$ до $\bar{G} = G_m$).

Синицыным А.П. [6] было предложено оценивать безопасную работу строительной конструкции по так называемому показателю риска:

$$Q_f = \lg \frac{1}{P_f}. \quad (7)$$

Для анализа напряженно-деформированного состояния конструкции учитываются следующие два условия:

1) предельное значение коэффициента безопасности принято 3. Превышение данного значения означает разрушение конструкции, что соответствует «недопустимому состоянию» конструкции.

2) согласно европейским нормам проектирования [8], уровень риска аварии R оценивается по следующей зависимости:

$$R = 3,5 - C - D, \quad (8)$$

где C – параметр населенности или посещаемости (в работе принят 1,5); D – конструктивный параметр, зависящий от вида разрушения (в настоящей работе принят 0).

В том случае, если риск превысит допустимое значение согласно зависимости (8), то состояние конструкции необходимо будет ограничивать.

3. Исследование сроков службы

В качестве расчетной модели мы принимаем подкрановые балки со следующими режимами работы: средний режим и тяжелый режим. Их технические характеристики:

1) средний режим работы, подкрановая балка длиной 6 м, грузоподъемность 32 т (тип балки Б6-8-1 согласно серии 1.426.2-7).

Нормативный срок службы крана 25 лет. Нормативное число циклов $C_T = 2,25 \cdot 10^5$. Согласно технической документации, группа режима работы 4К; класс использования С4, класс нагружения Q2.

2) средний режим работы, подкрановая балка длиной 6 м, грузоподъемность 100 т (тип балки ДБ6 согласно серии КЭ-01-57).

Нормативный срок службы крана 25 лет. Нормативное число циклов $C_T = 7,5 \cdot 10^5$. Согласно технической

Предел выносливости стали

Таблица 1.

Продолжительность эксплуатации, лет	Средний режим эксплуатации		Тяжелый режим эксплуатации	
	Число циклов	Предел выносливости, МПа	Число циклов	Предел выносливости, МПа
5	$4.5 \cdot 10^4$	241.09	$1.5 \cdot 10^5$	217.65
10	$9 \cdot 10^4$	227.30	$3 \cdot 10^5$	205.20
15	$1.35 \cdot 10^5$	219.60	$4.5 \cdot 10^5$	198.24
20	$1.8 \cdot 10^5$	214.29	$6 \cdot 10^5$	193.45
25	$2.25 \cdot 10^5$	210.27	$7.5 \cdot 10^5$	189.82

Вероятностная оценка риска подкрановых балок

Таблица 2.

Продолжительность эксплуатации, лет	Средний режим эксплуатации			Тяжелый режим эксплуатации		
	$P_f, 10^{-4}$	β	Q_f	$P_f, 10^{-4}$	β	Q_f
5	0,44	3,921	4,355	0,80	3,780	4,097
10	1,75	3,576	3,758	2,60	3,475	3,585
15	3,79	3,368	2,422	4,90	3,295	3,310
20	6,46	3,218	3,190	7,70	3,168	3,114
25	9,68	3,100	3,014	10,7	3,069	2,971

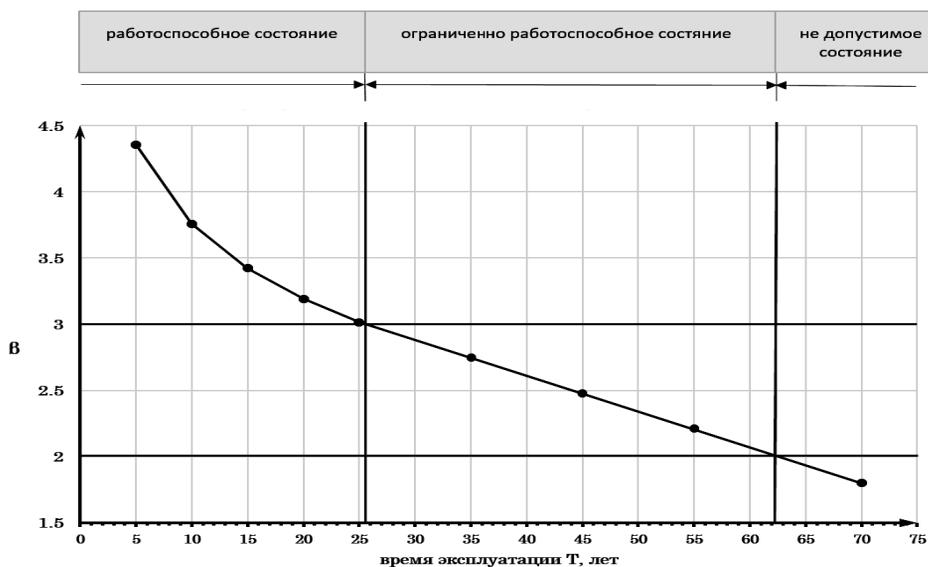


Рис. 1. График зависимости показателя риска от времени эксплуатации (средний режим эксплуатации работы крана)

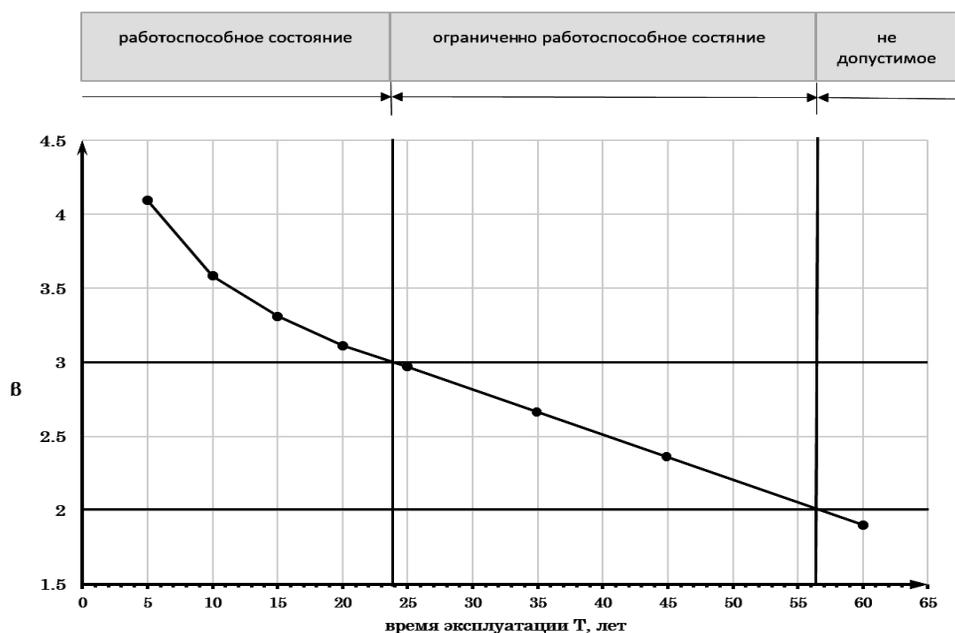


Рис. 2. График зависимости показателя риска от времени эксплуатации (тяжелый режим эксплуатации работы крана)

документации, группа режима работы 7К; класс использования С6, класс нагружения Q3.

С использованием зависимости (1) и по исходным данным вычислим предел выносливости стали. Результаты вычислений приведены в табл. 1

Используя зависимости (6), (7), (8), вычислены вероятность отказа, индекс надежности и риск аварии. Для нормативных сроков службы результаты вычислений приведены в табл. 2.

Для оценки сроков эксплуатации подкрановых балок с использованием зависимости (8) построены графики изменения риска аварии во времени в соответствии с ранее описанной методикой оценки.

Из анализа полученных результатов видно, что работоспособная зона работы подкрановых балок составляет порядка 25 лет, что соответствует их нормативному сроку службы.

Предельный срок эксплуатации подкрановых балок составляет от 57 до 62 лет. Это соответствует техническому риску порядка $1,84 \div 1,88 \cdot 10^{-2}$. Такое значение риска следует считать достаточно существенным, что говорит о большой надежности подкрановых стальных балок.

ВЫВОДЫ

1. Предложена вероятностная оценка сроков службы стальных подкрановых балок с учетом усталостной прочности стали.

2. Срок службы подкрановых балок в работоспособном состоянии как для среднего режима работы, так и для тяжелого режима сопоставим с нормативным сроком и составляет порядка 25 лет.

3. Критический срок службы стальных подкрановых балок составляет от 57 до 62 лет, что говорит о высокой надежности данных конструктивных элементов.

Список литературы:

1. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов: в 2. ч. Ч. 1. — Киев, Наукова думка, 1987. — 320 с.
2. Берендеев Н.Н. Сопротивление усталости. Основы. Учебно-методическое пособие. — Н. Новгород, Нижегородский госуниверситет, 2010. — 64 с.
3. Справочник по кранам / под ред. М.М. Гохберта. — М., Наука, 1988. — Т. 1.
4. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. — М., Стройиздат, 1978. — с. 239.
5. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. — М., изд-во АСВ, 1998. — с. 304.
6. Синицын А.П. Расчет конструкций на основе теории риска. — М., Стройиздат, 1985. — с. 304.
7. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. — М., Изд-во АСВ, 2007. — с. 256.

REFERENCE

1. Troshchenko V.T., Sosnovsky L. A. Fatigue Resistance of metals and alloys: 2. part 1. — Kyiv, Naukova Dumka, 1987. — 320 p.
2. Berendeys N.N. Fatigue. Basics. Educational and methodical manual. — N. Novgorod, Nizhny Novgorod state University, 2010. — 64 p.
3. A guide to cranes, ed. by M. M. Gombert. — Moscow, Science, 1988. — Vol. 1.
4. Rzhantsyn A. R. Theory of calculation of building structures on duty. — M., Stroizdat, 1978.— 239 c.
5. Rayzer V.D. Theory of reliability in structural design.— Moscow, Publishing house ABH, 1998.— 304 p.
6. Sinitsyn A.P. calculation of structures on the basis of risk theory. — M., Stroizdat, 1985.— 304 s.
7. Perelmuter A.V. Selected problems of reliability and safety of building structures.— M., Publishing house of ABH, 2007.— 256 p.

ВОПРОСЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Р.Г. Абакумов канд. экон. наук, доцент;

А.Е. Тартыгина

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

Аннотация. В последнее время все чаще перед проектировщиками встает проблема устойчивой архитектуры и обеспечения необходимой долговечности зданий. Срок эксплуатации зданий зависит от столкновения интересов обеспечения высокой коммерческой стоимости объекта и его прочности, что кажется некоторым противоречием в инвестиционно-строительных проектах. В статье рассмотрены такие основные аспекты долговечности зданий, как техническая прочность, функциональная долговечность, эстетическое долголетие и эксплуатационный срок службы. Приведен обзор факторов, оказывающих влияние на средний срок продолжительности жизни объектов строительства. Дана выдержка групп жилых зданий в зависимости от срока службы основных конструктивных элементов. Произведен анализ свойств, рекомендуемых для повторно используемых или переработанных материалов.

Ключевые слова: долговечность, прочность, устойчивая архитектура, проектирование, срок службы, здание, адаптивность.



**Абакумов
Роман Григорьевич**



**Тартыгина
Анна Евгеньевна**

Для каждой стороны инвестиционно-строительного процесса срок службы объекта строительства имеет свой вес и значимость. Вопросы долговечности зданий и сооружений рассматриваются и решаются на протяжении уже долгого времени и являются актуальными по сей день.

Способность зданий предлагать функционально ценные помещения в течение длительного времени сопровождается таким понятием, как долговечность. Данная дефиниция обычно используется для определения реальной стоимости зданий и нормы амортизационных отчислений. Долговечность в строительстве не является простой и явной проблемой. Проблему долговечности можно рассматривать с различных точек зрения. С точки зрения архитектуры при рассмотрении данной проблемы рассматривают следующее:

- техническая прочность;
- функциональная долговечность;
- эстетическое долголетие;
- эксплуатационная долговечность.

Каждый аспект долговечности зданий и строительных конструкций рассматривается очень тщательно. Архитекторы и дизайнеры, например, как правило, озадачены вопросами эстетической долговечности спроектированных ими зданий и сооружений. Кажется, что их заинтересованность долговечностью является недостаточной, поскольку для них техническая прочность стоит после эстетических концепций и функциональных характеристик. Возможно, это является результатом недостаточных знаний об эффективных методах для достижений долгосрочных технических решений в зданиях, а также неоднозначное отношение инвесторов в отношении особенностей здания. Однако методы архитектурного проектирования в последние годы были подвержены существенному пересмотру. На это большое влияние оказало понятие устойчивой архитектуры, целью которой является проектирование зданий, устойчивых к внешним воздействиям во времени.

Техническая долговечность является неоднозначным и спорным вопросом. Проектировщики, как правило, несут ответственность только за ожидаемую техническую прочность. Что касается реального эксплуатационного

срока службы здания, они считаются неподотчетными перед инвесторами и застройщиками. Отношение сторон, вовлеченных в строительные процедуры, к проблеме долговечности зданий неоднозначно. Владельцы здания неоднократно предпринимали меры, ведущие к повышению долговечности здания при эксплуатации. Стиль их поведения со зданием диктуется рынком, что вынуждает делать перестройку, реконструкцию, менять старые системы на новые в зависимости от функций, необходимых рынку. Инвесторы чаще всего строят здания только для одного поколения. Каждый строительный материал и конструкция подвергаются постепенному разрушению в результате физического износа и воздействия внешних и внутренних разрушительных факторов. Однако техническая и функциональная долговечность зданий обычно мало зависят от них. В настоящее время другие факторы все чаще являются причинами снижения срока службы зданий.

Например, долговечность коммерческих зданий в Европе постепенно снижается. Этот процесс был стимулирован необходимостью приспособить здания, построенные в 19-м веке, к новым функциональным требованиям и законодательным нормам. Однако в некоторых других странах можно увидеть обратное явление. Интересным примером является Япония, где в среднем срок службы зданий, как сообщается, составляет всего 30 лет. Такой короткий срок службы диктуется местными обычаями, которые требуют строительства новых домов в каждом следующем поколении. Более того, в японском обществе преобладает желание иметь полностью «свежие», современные дома. Новые

японские здания быстро обесцениваются и после 10 лет эксплуатации подлежат полной замене. Однако в последнее время эксперты указывают, что обмен домов каждые 25 лет влечет за собой огромные социальные и экологические последствия и расходы. Они рекомендуют ускорить строительство зданий и существенно увеличить их долговечность. Предполагается, что ожидаемая долговечность должна составлять 60 лет. В пересмотренном и обновленном соответствующем британском стандарте (BS ISO 15686) этот пункт недавно приносил обесценивание идеи долготетия зданий. Кажется, что долговечность не представляет серьезной проблемы для законодательного органа. Европейская тенденция к снижению долговечности зданий до 50 лет противоречит ожидаемому продлению их продолжительности жизни в устойчивой архитектуре.

Анализ проблемы технической долговечности зданий свидетельствует о необходимости целостного подхода. Следовательно, здание нужно рассматривать как логическую систему связи между компонентами зданий и несколькими факторами, которые определяют его долговечность.

Средняя продолжительность жизни зданий зависит от следующих факторов:

- 1) назначение здания;
- 2) технология строительства здания;
- 3) условия окружающей среды;
- 4) местная культура;
- 5) экономическая и политическая ситуация.

Это основные особенности зданий, которые тесно связаны с их долговечностью.

Группы жилых зданий по долговечности

Таблица 1.

№	Тип здания	Срок службы, лет
I	Здания каменные, особо капитальные: фундаменты каменные и бетонные, стены каменные (кирпичные, крупноблочные), перекрытия железобетонные	150
II	Здания каменные, обыкновенные, фундаменты каменные, стены каменные (кирпичные, крупноблочные и крупнопанельные), перекрытия железобетонные или смешанные	125
III	Здания каменные облегченные: фундаменты каменные и бетонные, стены - облегченной кладки из кирпича, шлакоблоков и ракушечника, перекрытия деревянные или железобетонные	100
V	Здания деревянные, рубленые и брусчатые, смешанные; фундаменты ленточные бутовые, стены рубленые, брусчатые и смешанные (кирпичные и деревянные), перекрытия деревянные	50
V	Здания сборно-щитовые, каркасные, сырцовые, глинобитные, саманные, фахверковые; фундаменты на деревянных столбах или бутовых столбах, стены каркасные, глинобитные и др., перекрытия деревянные	30
I	Здания каркасно-камышитовые и прочие облегченные	15

Таблица 2.

Периодичность проведения ремонтов по группам жилых зданий

Вид ремонта	Группа жилых зданий по долговечности					
	I	II	III	IV	V	VI
текущий профилактический ремонт	1 раз в 3-5 лет	1 раз в 3-5 лет	1 раз в 3-5 лет	1 раз в 3-5 лет	1 раз в 2 года	1 раз в 2 года
текущий непредвиденный ремонт	ежегодно	ежегодно	ежегодно	ежегодно	ежегодно	ежегодно
выборочный капитальный ремонт	1 раз в 6 лет	1 раз в 6 лет	1 раз в 6 лет	1 раз в 6 лет	1 раз в 6 лет	1 раз в 5 лет
капитальный комплексный ремонт	1 раз в 30 лет	1 раз в 30 лет	1 раз в 24 года	1 раз в 18 лет	не производится	не производится

Например, в случае монументальных зданий ожидаемая продолжительность жизни составляет 1000 лет, для жилых и офисных помещений, как правило, 100 лет. Коммерческие структуры должны работать обычно в течение 50 лет, но на практике они выдерживают только 25. После необходимости проведения капитального ремонта необходимо приспособить здание к новым функциональным требованиям. Это и выявляет расхождения между ожидаемой и эксплуатационной долговечностью зданий. В таблице 1 приведена классификация жилых зданий по группам долговечности в зависимости от основных конструктивных элементов [1].

В зависимости от группы долговечности зданий устанавливается различная частота проведения текущих и капитальных ремонтов (таблица 2) [1].

Другими словами, текущий и капитальный ремонт в зависимости от группы здания должен быть произведен:

I группа: текущий – 50 раз, капитальный – 5 раз;

II группа: текущий – 41 раз, капитальный – 4 раза;

III группа: текущий – 33 раза, капитальный – 4 раза;

IV группа: текущий – 16 раз, капитальный – 3 раза;

V группа: текущий – 15 раз;

VI группа: текущий – 7 раз.

Применяемая технология охватывает широкий круг проблем, связанных с технической долговечностью зданий. Оптимальный подбор материалов и методов их монтажа, а также начальное состояние строительных конструкций имеют решающее значение для их долговечности и здания в целом. На ранней стадии эксплуатации здание может быть подвержено ускоренному разрушению из-за таких факторов, как, например, технологическая влажность, содержащаяся

в только что смонтированных материалах. Строительные материалы и конструкции могут работать удовлетворительно в течение длительного времени, если они независимы друг от друга, но в сочетании с другими материалами они могут показать менее стабильную и предсказуемую систему.

Наиболее преобладающим фактором снижения долговечности зданий являются местные условия окружающей среды. Хорошо спроектированное для сухого и холодного климата здание может подвергнуться преждевременному разрушению в жарком и влажном климате. В зависимости от географического положения и климатической зоны, здания подвержены разной скорости разрушения и, как следствие, различной технической прочности. Наиболее разрушительными климатическими факторами являются осадки, ветер, солнечная радиация.

Другим значительным фактором для долговечности зданий является культурная среда. Вышеупомянутая Япония очень специфична в этом отношении, учитывая, что здание проектируется на определенный промежуток времени, потом сносится, а на его месте происходит последовательное строительство новых зданий и сооружений, что объясняется местными традициями. Социальная и религиозная система в Японии выработала многовековую символическую долговечность. Она основана на модульных методах строительства, которые позволяют легкий демонтаж и повторное использование строительных конструкций здания.

Практика показывает, что технология возведения здания не оказывает определенного влияния на его долговечность. Демонтаж строительных конструкций чаще всего вызван такими факторами, как физический износ, представляющий собой разрушение конструкций под воздействием внешних факторов, и моральный износ, т.е. несоответствие, например,

параметров помещения современным потребностям, несоответствие параметрам энергетической эффективности. Поскольку на время существования объекта еще оказывают влияние экономические и правовые факторы, здание нужно проектировать с учетом изменений на рынке недвижимости. Также в зависимости от политики, сложившейся в стране, определяется стратегия проектирования, результатом которой может стать интенсивный рост возводимых объектов, но с худшим качеством, или наоборот политические факторы могут стать стимулятором повышения прочности зданий.

Значение устойчивой архитектуры в последнее время принимает все больший вес. Проектировщики тщательнее подходят к вопросам долговечности и прочности, однако возникают определенные трудности в результате столкновений между стремлением к высокой коммерческой ценности здания и принципами устойчивости. Степень устойчивости здания и его строительных конструкций в проектировании определяется следующими вопросами, влияющими на долговечность:

- функциональная эффективность (низкая стоимость и простые технологии);
- адаптивность (легкая смена назначения конструкций и здания в целом, степень адаптации к переменам в будущем);
- простота демонтажа и возможность повторного использования строительных материалов;
- выбор материалов, подлежащих переработке;
- способность к техническому обслуживанию;
- прозрачность (видимость применяемых технических решений и возможность контроля);
- эволюционный потенциал (возможность будущего улучшения);
- динамичность систем, учитывающих экологические риски, а не их устойчивость.

Анализ этих требований показывает, что устойчивые здания должны быть построены для широкого диапазона возможностей как длительных, так и непостоянных, что кажется противоречием. Долговечность следует учитывать в этом случае не только как характеристику здания в целом, но и как совокупность строительных конструкций и материалов, предназначенных для повторного использования либо в таком же виде, либо переработанном. Такое представление позволяет гибкое понимание проблемы, отличающейся от традиционного. Здания, построенные из строительных конструкций, имеющих более длительный срок эксплуатации, требуют меньшего технического надзора и считаются более долговечными с точки зрения устойчивости благодаря экономии энергии и материалов, используемых для строительства и обслуживания объекта.

Надежность зданий неуклонно возрастает, улучшаются технические и энергетические реше-

ния, форма и функции зданий постоянно меняются в связи с развитием технологий, экономики и новых стилей в архитектуре. Характер этих изменений непредсказуем. Но проектировщики должны сделать некоторые теоретические предположения на этот счет. Если на стадии проектирования не рассматривалось то, как здание будет вести себя в будущем, то его ремонт, реконструкция или демонтаж неизбежно будут дорогостоящими как в финансовом, так и в экологическом плане из-за низкой гибкости конструктивных решений. Практика показывает, что стоимость модификаций, сделанных в зданиях со сроком эксплуатации 50 лет и более, вдвое дороже первоначальной конструкции. Преждевременный демонтаж конструкций вреден для окружающей среды, поскольку использованные материалы подлежат утилизации или захоронению, возникает необходимость изготовления новых строительных конструкций. Определенно, планирование того, как здание будет эксплуатироваться в будущем, как оно может быть модернизировано, позволит сократить расходы, связанные с ремонтом, реконструкцией или демонтажем.

Термин «адаптивность» означает способность легко приспосабливаться к различным условиям. В проектировании это означает восприимчивость зданий к изменениям. Легкость модификаций является одним из основных элементов стратегии устойчивого развития зданий. Адаптивность позволяет эффективно использовать здание даже за рамками запланированного срока службы здания. Адаптивность – это особенность здания, позволяющая увеличить его долговечность.

Некоторые трактуют адаптивность как возможность простого демонтажа, использование простых конструкций, повторяемость и «прозрачность» технологических решений. Сложные архитектурные и конструктивные решения требуют дорогостоящих затрат и консервативных технических решений. Потребность в функциональных и технологических решениях присуща офисным, промышленным и социальным зданиям. Торговые центры обычно проектируются на небольшой срок эксплуатации, соответственно, должна быть применена стратегия возможности деконструкции здания.

Адаптивность характеризуется следующими чертами:

- доступность (дизайн помещений должен быть доступен для всех этапов эксплуатации и различных физических условий);
- свободная планировка (позволяет видоизменять внутренние планы, как правило, в офисах);
- экспансивность (интерактивность, реактивность к изменениям окружающей среды за счет мобильности, местоположения и геометрии);

– эффективность (рациональное использование энергоресурсов, возможность технического обслуживания).

Применяемые технологии и материалы обуславливают техническую прочность зданий. В теории устойчивой архитектуры предпочтение отдается технологиям, которые должны соответствовать идее адаптивности, которая облегчается упорядоченной геометрией планов, модульной и прочной структурой, рекомендуемыми предварительно напряженными конструкциями, сборными системами с большими пролетами. Приоритетом является применение в здании технологий, характеризующихся низким уровнем используемой энергии и высокой долговечностью. Основной проблемой является поиск баланса между двумя этими характеристиками. Материалы с более высокой прочностью можно менять реже, что приводит к снижению потребления сырья и энергии. Самые выгодные материалы для прочных конструкций считаются наиболее экологичными и долговечными. За последние годы долговечность некоторых строительных конструкций возросла благодаря новым передовым технологиям. Однако долговечность зданий или их элементов зависят в основном от качества их обслуживания. Срок службы традиционных материалов разнообразен и зависит от варианта их эксплуатации. Оказывается, промышленные методы строительства, предлагая модульные компоненты здания, рекомендованные для инновационной устойчивой архитектуры, позволяют достичь более высокого качества зданий благодаря более благоприятным климатическим условиям за пределами строительной площадки. Они также способствуют лучшему качеству изготовления и тем самым увеличивают продолжительность срока службы зданий.

Стратегия устойчивости предполагает использование, если это возможно, повторно используемых материалов и конструкций. Такие конструкции и материалы могут быть разобраны и смонтированы заново. Другим методом является использование материалов или компонентов после их переработки. Применение повторно используемых материалов в строительстве позволяет снизить выброс в атмосферу вредных веществ, сократить используемую энергию, а, соответственно, это является благоприятным условием для окружающей среды. Однако следует учитывать тот факт, что повторно используемые или переработанные материалы могут стать элементами с пониженной прочностью, что отрицательно скажется на эксплуатационной долговечности всего здания.

Существуют некоторые рекомендации для тех материалов, которые планируются повторно использоваться в будущем:

- это должны быть компоненты небольшого размера, подверженные ручной установке;
- модульное измерение;
- материалы должны иметь съемные соединения;
- прочные, разборные материалы и комплектующие;
- слоистые системы вместо клееных;
- должны быть организованы складские помещения для демонтированных материалов и компонентов.

Как уже было сказано, долговечность является важной, а иногда и серьезной проблемой, которую желательно решить на этапе проектирования здания. Проектировщикам и другим участникам строительства необходимо предпринимать усилия, чтобы долговечность здания была на первом плане, а на каждом этапе жизненного цикла здания своевременно решались вопросы, связанные с ее повышением. Стоит углубленно изучать характеристики здания в течение долгого времени после его возведения. Будет полезно это и проектировщикам, чтобы получить информацию о допущенных ошибках и не допустить их при разработке следующих проектов. Вовремя выявленные промахи проектирования, вызывающие снижение прочностных характеристик строительных конструкций и здания в целом, недостаточность адаптивности объекта проектирования к постоянно меняющимся предпочтениям потребителей позволит обеспечить повышение всех аспектов долговечности зданий и сооружений.

Список литературы:

1. МРР 3.2.23-97. Методические рекомендации по экономическому обоснованию применения конструктивных элементов и технологий, обеспечивающих повышение эффективности инвестиций за счет снижения эксплуатационных затрат, повышения долговечности зданий и сооружений, сокращения продолжительности строительства и других эффективных решений при повышении единовременных затрат при проектировании и строительстве и одновременном росте сметной стоимости.
2. Щенятская М.А., Авилова И.П., Наумов А.Е. Оценка финансово-экономических рисков инвестиционно-строительного проекта при дефиците исходных данных // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1, с. 185–189.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗОК В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ И РЕСУРСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В.А. Пшеничкина доктор техн. наук, профессор; **А.В. Глухов**; **С.Г. Глухова**
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Аннотация. Статья посвящена оценке статистических характеристик суммарной обобщенной нагрузки, включающей постоянную, временную длительную, снеговую и ветровую. На основе известных законов распределения каждой из составляющих нагрузок получены их центральные статистические моменты и приближенный закон распределения для обобщенной нагрузки. Полученные результаты предназначены для практического решения задач оценки безопасности и остаточного ресурса зданий и сооружений.

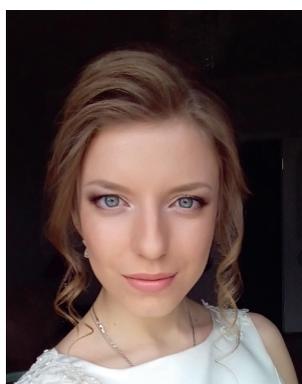
Ключевые слова: вероятностные методы расчета строительных конструкций, расчет на безопасность, логарифмически нормальный закон, закон Гумбеля, закон Вейбулла, ряд Грамма-Шарлье.



*Пшеничкина
Валерия Александровна*



*Глухов
Антон Викторович*



*Глухова
Светлана Геннадиевна*

Метод предельных состояний обеспечивает достаточно высокий уровень надежности зданий и сооружений типовых конструктивных решений на действие обычных нагрузок, но, являясь полувероятностным, он не дает возможности получить численную оценку надежности. Вместе с тем задача оценки надежности (риска) является актуальной для объектов, эксплуатируемых в сейсмических районах, в сложных инженерно-геологических условиях (на просадочных, набухающих, вечно мерзлых оттаивающих грунтах, на карстовых и порабатываемых территориях). Согласно [1], для нагрузок и воздействий, рассматриваемых как редкие события высокой интенсивности, устанавливается более низкий проектный уровень надежности, так как при высокой степени неопределенности расчетных параметров нагрузок дополнительные расходы, направленные на достижение высокого уровня надежности, неэффективны. Уровень риска разрушений и повреждений для таких объектов по отношению к экстремальным нагрузкам составляет 20-30% [2,3]. Численная оценка риска актуальна при экспертизе остаточного ресурса зданий, для которых время эксплуатации приближается к нормативному, а также для обоснования возможности эксплуатации зданий сверх нормативного срока службы.

Классические вероятностные методы расчета строительных конструкций сложны для инженерного приложения и требуют большого объема статистической информации, которая в настоящее время отсутствует. Все современные практические методы расчета безопасности конструкций основаны на понятии индекса надежности, который был введен А.Р. Ржаницыным [4].

Задача расчета конструкций на безопасность формулируется в виде:

$$\tilde{S} = \tilde{R} - \tilde{F}, \quad (1)$$

где \tilde{R} – обобщенная прочность конструкции (предел текучести, предел прочности, пластический момент и др.); \tilde{F} – обобщенная нагрузка (нагрузочный эффект); \tilde{S} – резерв прочности. Знак \sim обозначает случайную величину.

Расчет на безопасность проводится в корреляционном приближении с учетом двух числовых характеристик параметров (1) – математических ожиданий \bar{R} , \bar{F} и дисперсий σ_R^2 , σ_F^2 . Уровень безопасности определяется при помощи индекса надежности:

$$\beta = \frac{\bar{S}}{\sigma_s} = \frac{\bar{R} - \bar{F}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_F^2}}, \quad (2)$$

который непосредственно связан с вероятностью отказа $P(\tilde{S} < 0)$.

Из двух обобщенных параметров формулы (1) наибольшей определенностью обладает прочностной фактор \tilde{R} . Закон распределения прочности материала конструкций близок к нормальному, а статистические характеристики прочности можно легко вычислить по величине нормативной прочности, имеющей обеспеченность 0,95, и известным коэффициентам вариации. Что касается нагрузочного эффекта, то в общем случае необходимо учитывать совместное действие нагрузок, каждая из которых имеет свой закон распределения, и коэффициент их сочетаний. Это значительно усложняет решение [4,5].

В представленной работе на примере конструкции эксплуатируемого здания изложен метод вычисления статистических характеристик суммарной обобщенной нагрузки. Полученные результаты использованы при оценке остаточного ресурса рассматриваемого здания.

Описание объекта

По конструктивной схеме исследуемый объект представляет девятиэтажную ствольную систему диаметром 18 м с подвешенным двухуровневым спиральным этажом диаметром 48 м. Крепление конструкций спирального этажа выполнено через систему подвесок и конструкцию несущих ферм. Общая высота сооружения от верха ростверка фундамента до верха плиты фонаря достигает 40,3 м. Общая схема здания приведена на рис. 1.

Центральный несущий железобетонный ствол здания высотой 36,5 м выполнен каркасным способом. Каркас ствола образован двумя кольцевыми рядами колонн, связанных между собой кольцевыми и радиальными железобетонными ригелями. Стальные несущие фермы системой связей в плоскостях

опорных раскосов и нижних поясов ферм объединены в единый пространственный жесткий диск.

Конструкции опирания спирального этажа представлены системой подвесок, несущих ферм и конструкциями опорных узлов на радиальных железобетонных балках.

Конструкция спирального этажа представляет собой стальную балочную клетку радиально-кольцевой системы преимущественно нормального типа. Функцию главных балок выполняют стальные радиальные балки.

Совместная работа конструкции нижнего участка спирального этажа с несущим стволом здания обеспечивается креплением радиальных балок к колоннам ствола.

В качестве примера для расчета вероятностных параметров обобщенной нагрузки выбрана несущая ферма покрытия здания.

Фермы покрытия представляют собой плоскую стержневую конструкцию, опирающуюся на радиальные ригели железобетонного каркаса. Несущие фермы выполнены треугольного очертания с горизонтальной ориентацией верхнего пояса. Высота фермы по осям поясов составляет 4200 мм. Решетка ферм – треугольная с дополнительной распоркой. Сечение элементов ферм – спаренные равнополочные уголки таврового очертания для поясов и раскосов, и крестового – для стоек. Приопорная панель верхнего пояса обетонирована. Геометрическая схема фермы изображена на рис. 2.

Статистические характеристики нагрузок, действующих на ферму покрытия здания

Рассматриваются следующие нагрузки: постоянная, полезная, снеговая и ветровая. По известным законам распределения нагрузок $p(x)$ вычисляем 4 центральных момента по формуле:

$$\mu_s = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^s p(x) dx, \quad s=1, \dots, 4. \quad (3)$$

Постоянная нагрузка

Постоянные нагрузки хорошо описываются нормальным законом распределения [6]:

$$p_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left(-\frac{(x - m_n)^2}{2\sigma_n^2}\right), \quad (4)$$

где m_n , σ_n – соответственно математическое ожидание и стандарт постоянной нагрузки.

Для линейных элементов с площадью поперечного сечения A и плотностью материала ρ нагрузка на единицу длины равна $g = \rho \cdot A$. Приняв $\rho = 78,5 \text{ кН/м}^3$

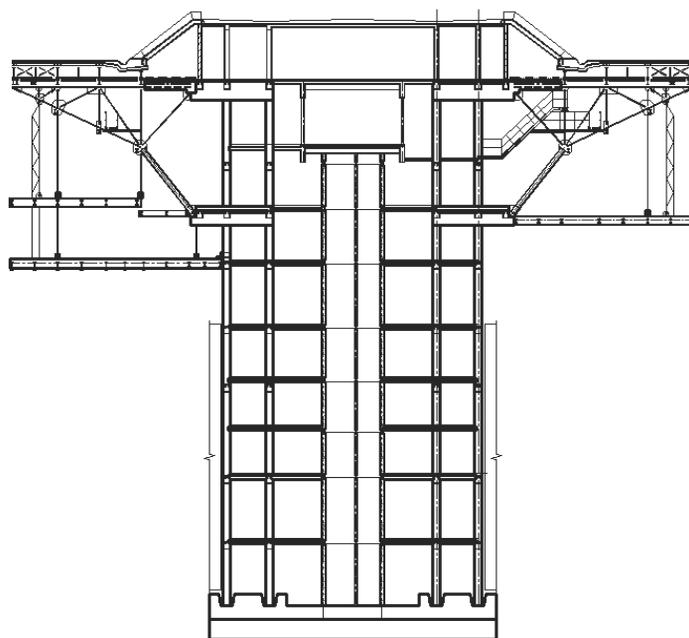


Рис. 1. Общая схема здания

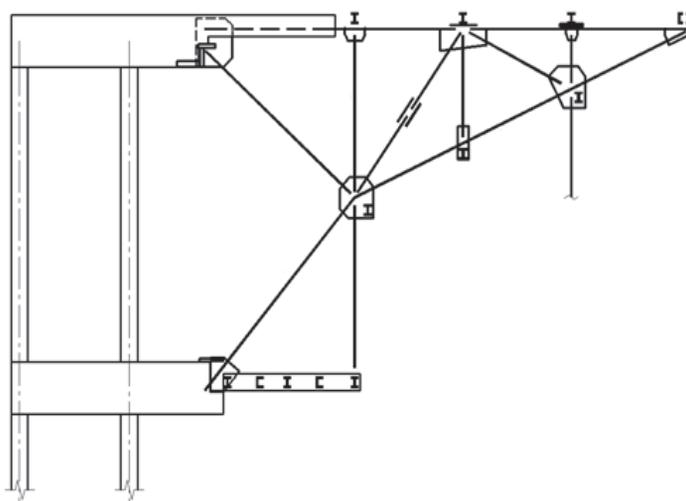


Рис. 2. Геометрическая схема фермы

и коэффициент вариации $f_p = 0,03$, получим следующие значения математического ожидания и дисперсии постоянной нагрузки:

$$m_n = 0,674 \text{ кН/м}, D_n = 8,179 \cdot 10^{-4} \text{ кН}^2/\text{м}^2, \sigma_n = 0,029 \text{ кН/м}.$$

Постоянную нагрузку приведем к единичной площади.

Полезная нагрузка

Нормативная полезная нагрузка с верхнего и нижнего яруса спирального этажа, чердачного помещения и покрытия равна $15,2 \text{ кН/м}^2$. Коэффициент вариации нагрузки $f_l = 0,1$ [6]. Вычисляем математическое ожидание и дисперсию полезной нагрузки:

$$m_l = 13,06 \text{ кН/м}^2, D_l = 6,82 \text{ Н}^2/\text{м}^4, \sigma_l = 2,62 \text{ кН/м}^2.$$

Согласно [6] полезная нагрузка подчиняется логарифмически нормальному закону:

$$p_l(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \cdot \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{(\ln x - m_0)^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (5)$$

Параметры логнормального закона m_0 и σ_0 находим по формулам:

$$m_0 = \ln\left(\frac{m_l^2}{\sqrt{m_l^2 + D_l}}\right) = 2,55, \quad (6)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{D_l}{m_l^2}\right)} = 0,198. \quad (7)$$

Центральные статистические моменты случайной величины полезной нагрузки можно вычислить по формулам [7]:

$$\begin{aligned} \mu_{1l} &= m_l = \exp\left(\frac{\sigma_0^2}{2} + m_0\right); \\ \mu_{2l} &= D_l = \exp(\sigma_0^2 + 2m_0) \cdot (\exp \sigma_0^2 - 1); \\ \mu_{3l} &= \left[(\exp \sigma_0^2 + 2)\sqrt{\exp \sigma_0^2 - 1}\right]; \\ \mu_{4l} &= \exp(4\sigma_0^2) + 2 \exp(3\sigma_0^2) + 3 \exp(2\sigma_0^2) - 3. \end{aligned} \quad (8)$$

$$p_g(x) = a_s \exp\{-a_s(x-u_s) - \exp[-a_s(x-u_s)]\}. \quad (9)$$

Объект находится во II снеговом районе. Нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли $S_g = 1,0$ кПа [8]. Коэффициент вариации $f_g = 0,4$. Тогда математическое ожидание годовых максимумов веса снегового покрова $m_g = 0,604$ кН/м², дисперсия — $D_g = 0,058$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_g = 0,242$ кН/м².

Вычисляем параметры закона Гумбеля:

$$a_s = \frac{1,28255}{\sigma_g} = 5,309; \quad u_s = m_g - \frac{0,577216}{a_s} = 0,495.$$

На рис. 4 приведены графики плотности распределения снеговой нагрузки по закону Гумбеля и нормальному закону с параметрами m_g и σ_g .

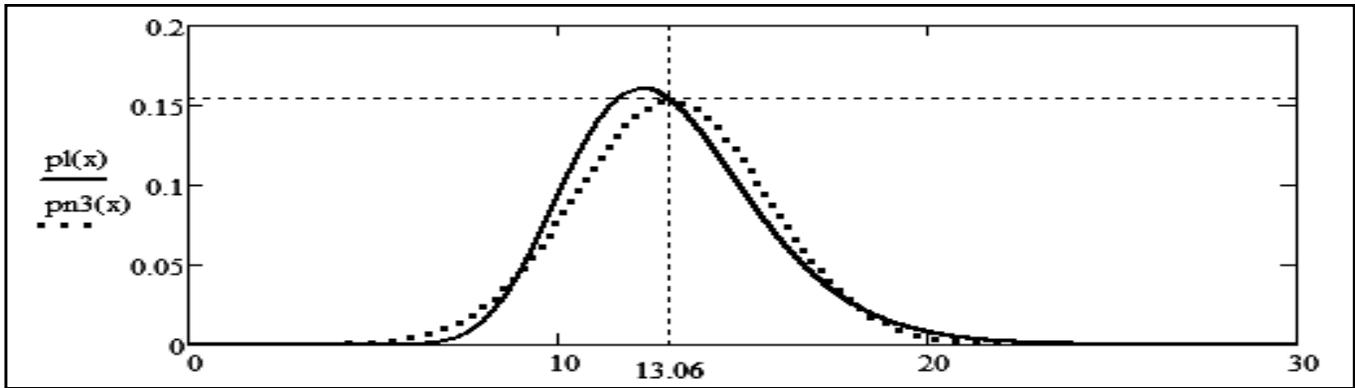


Рис. 3. Плотность распределения полезной нагрузки

График плотности распределения полезной нагрузки показан на рис. 3. Здесь же приведен график плотности распределения нормального закона с параметрами $m_l = 13,06$ кН/м², $\sigma_l = 2,62$ кН/м².

Статистические моменты случайной величины максимумов снеговой нагрузки вычисляем по формуле (3). Коэффициент асимметрии и приведенный эксцесс для закона Гумбеля постоянны.

Снеговая нагрузка

Для аппроксимации распределения случайной величины ежегодных максимумов снеговой нагрузки используем закон Гумбеля.

Ветровая нагрузка

Принимаем закон Вейбулла для описания распределения максимального давления ветра [9].

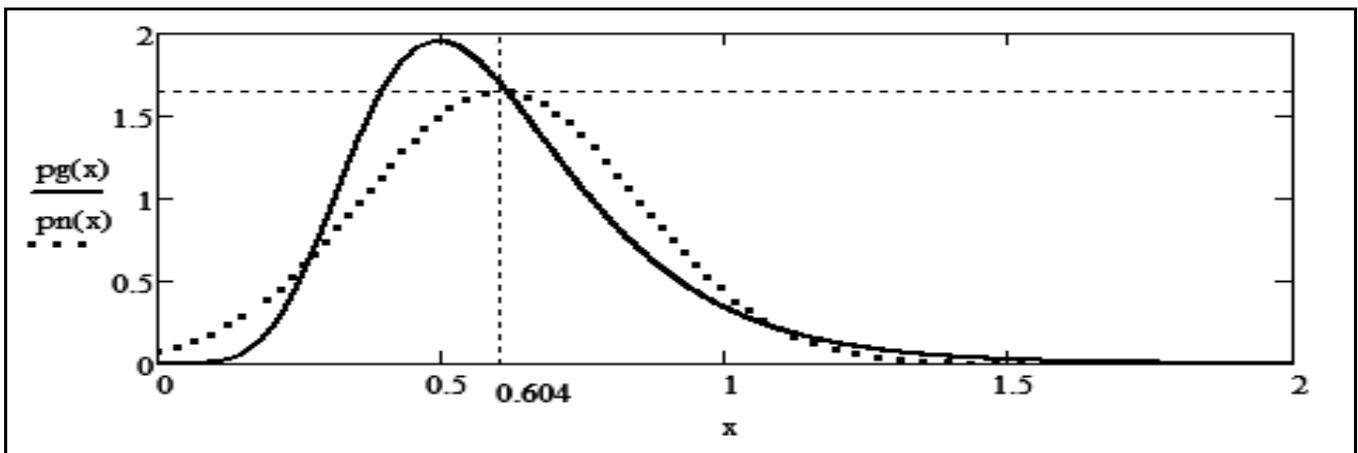


Рис. 4. Плотность распределения снеговой нагрузки

$$p_v(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right]. \quad (10)$$

Объект находится в III ветровом районе [8], и нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,38$ кН/м². Коэффициент вариации $f_v = 0,37$ [9].

Математическое ожидание максимумов ветровой нагрузки $m_v = 0,236$ кН/м², дисперсия – $D_v = 7,62 \cdot 10^{-3}$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_v = 0,087$ кН/м².

Параметры закона Вейбулла α и β находим, решая систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \alpha \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) &= m_v \\ \alpha^2 \left[\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left(\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right)\right)^2 \right] &= D_v \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где Γ – гамма-функция.

$$\alpha = 0,265; \quad \beta = 2,941.$$

Для вычисления статистических моментов закона Вейбулла можно использовать аналитические зависимости, приведенные в [7].

$$\mu_{1v} = m_v; \quad \mu_{2v} = \alpha^2 \left[\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \left(\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right)\right)^2 \right]; \quad (12)$$

$$\mu_{3v} = g_3 \alpha^3 - 3g_2 g_1 \alpha^3 + 2g_1^3 \alpha^3$$

$$\mu_{4v} = a \alpha^4$$

В формулах (10) использованы следующие обозначения:

$$g_1 = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right); \quad g_2 = \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right); \quad g_3 = \Gamma\left(1 + \frac{3}{\beta}\right); \quad g_4 = \Gamma\left(1 + \frac{4}{\beta}\right);$$

$$a = g_4 - 4g_1 g_3 + 6g_2 g_1^2 - 3g_1^4.$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.

На рис. 5 показаны графики плотностей распределения ветровой нагрузки по закону Вейбулла и нормальному закону с параметрами m_v и D_v .

Численные значения четырех статистических моментов случайных нагрузок, а также коэффициентов асимметрии и приведенного эксцесса приведены в таблице 1.

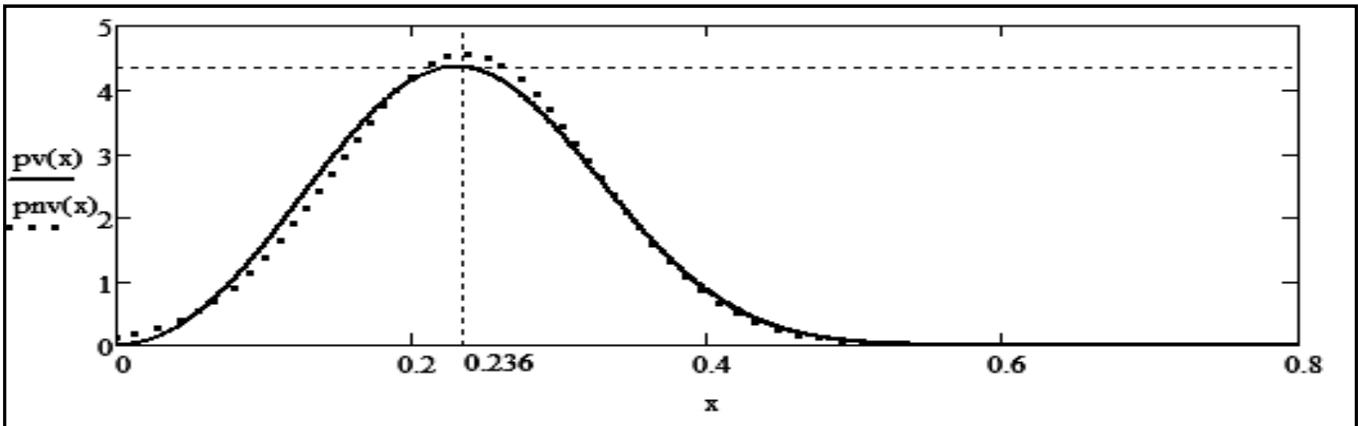


Рис. 5. Плотность распределения ветровой нагрузки

Центральные статистические моменты нагрузок на ферму покрытия

Таблица 1.

Вид нагрузки	Статистические моменты				Коэф. асимметрии	Привед. эксцесс
	μ_{1n} кН/м ²	μ_{2n} кН ² /м ⁴	μ_{3n} кН ³ /м ⁶	μ_{4n} кН ⁴ /м ⁸		
Постоянная	μ_{1n} кН/м ²	μ_{2n} кН ² /м ⁴	μ_{3n} кН ³ /м ⁶	μ_{4n} кН ⁴ /м ⁸	A_{sn}	E_{sn}
	0,674	$8,18 \cdot 10^{-4}$	0	$2,01 \cdot 10^{-6}$	0	3
Полезная	μ_{1l} кН/м ²	μ_{2l} кН ² /м ⁴	μ_{3l} кН ³ /м ⁶	μ_{4l} кН ⁴ /м ⁸	A_{sl}	E_{sl}
	13,06	6,82	10,83	170,57	0,608	3,664
Снеговая	μ_{1g} кН/м ²	μ_{2g} кН ² /м ⁴	μ_{3g} кН ³ /м ⁶	μ_{4g} кН ⁴ /м ⁸	A_{sg}	E_{sg}
	0,604	0,058	0,016	0,018	1,14	5,4
Ветровая	μ_{1v} кН/м ²	μ_{2v} кН ² /м ⁴	μ_{3v} кН ³ /м ⁶	μ_{4v} кН ⁴ /м ⁸	A_{sv}	E_{sv}
	0,236	$7,65 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$1,60 \cdot 10^{-4}$	0,19	2,74
Суммарная обобщенная	μ_{1Q} кН/м ²	μ_{2Q} кН ² /м ⁴	μ_{3Q} кН ³ /м ⁶	μ_{4Q} кН ⁴ /м ⁸	A_{sq}	E_{sq}
	14,57	6,89	10,85	173,32	0,6	3,652

Оценка композиции законов распределения

Рассматриваемые случайные нагрузки являются независимыми величинами с различными законами распределения. Найдем приближенный закон распределения суммарной обобщенной нагрузки, используя разложение в ряд Грамма-Шарлье.

Полученные результаты предназначены для практического решения задач оценки безопасности и остаточного ресурса зданий и сооружений.

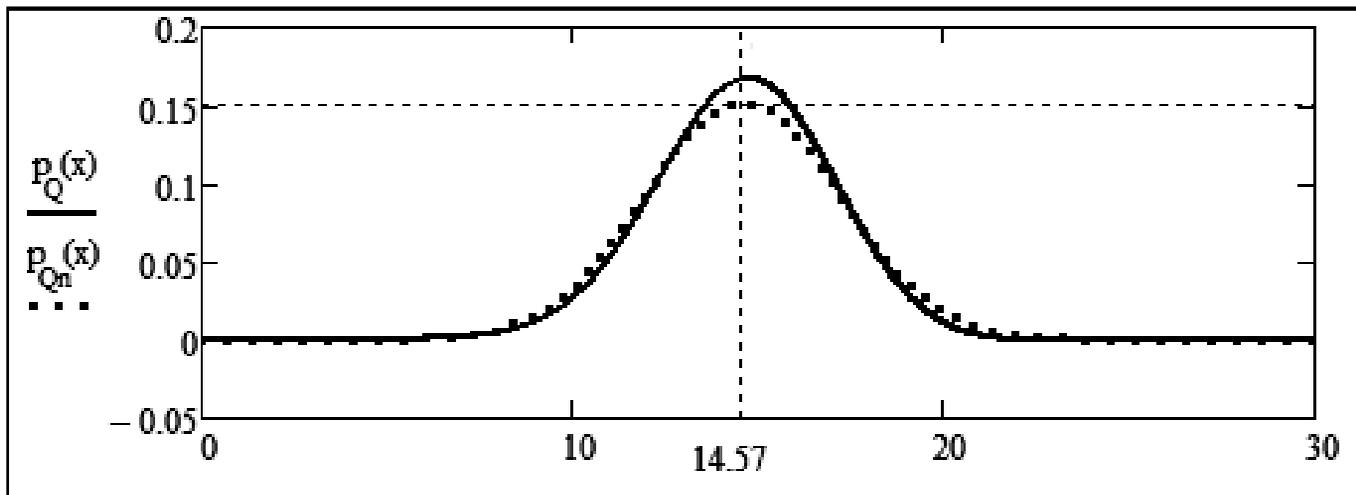


Рис. 6. Закон распределения суммарной обобщенной нагрузки

$$p_Q(x) = \Phi(u) - \frac{1}{6} \sqrt{\frac{\mu_{3Q}^2}{\mu_{2Q}^3}} \Phi^{(3)}(u) + \frac{1}{24} \left(\frac{\mu_{4Q}}{\mu_{2Q}^2} - 3 \right) \Phi^{(4)}(u) + \frac{1}{72} \frac{\mu_{5Q}^2}{\mu_{2Q}^3} \Phi^{(6)}(u) + \dots \quad (13)$$

Обозначения параметров в формуле (13):

$\Phi(u)$ — плотность вероятности стандартного нормального распределения $u = \frac{x - m_Q}{\sigma_Q}$;

$\Phi^{(k)}(u)$ — k-я производная от функции $\Phi(u)$;

$$\Phi^{(3)}(u) = (u^2 - 1)\Phi(u);$$

$$\Phi^{(4)}(u) = (-u^3 + 3u)\Phi(u);$$

$$\Phi^{(6)}(u) = (-u^5 + 10u^3 - 5u)\Phi(u).$$

Как показал проведенный расчет, закон распределения суммарной обобщенной нагрузки близок к нормальному (рис. 6).

ВЫВОДЫ

Получено решение, позволяющее свести постоянную, временную длительную, снеговую и ветровую нагрузки с различными законами распределения к одной случайной суммарной обобщенной нагрузке. Установлено, что обобщенная нагрузка с достаточной для практических расчетов точностью может быть аппроксимирована нормальным законом распределения с параметрами:

$$m_Q = \sum_i^4 m_i; \quad D_Q = \sum_i^4 D_i; \quad i=n,l,g,v; \quad f_Q = 0,18$$

Список литературы:

1. Probabilistic Model Code ISBN 978-3-909386-79-6. — Официальный сайт Объединённого комитета по надёжности конструкций (JCSS): http://www.jcss.byg.dtu.dk/Publications/Probabilistic_Model_Code.aspx.
2. Дроздов В.В. Evaluation of Reliability of the Earthquake Resistant Building Provided by Means of the Analysis for Design-Basis Earthquake / В.В. Дроздов, В.А. Пиеничкина, К.Н. Сухина // Procedia Engineering. Vol. 150 : 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / ed. by A.A. Radionov. — [Elsevier publishing], 2016. — P. 1841–1847.
3. Чаускин А.Ю. Вероятностный расчёт нелинейной динамической системы на сейсмическое воздействие уровня МРЗ / А.Ю. Чаускин, В.А. Пиеничкина // Вестник Волгоградского гос. архит.-строит. ун-та. Сер. Строительство и архитектура. — 2017. — № 47 (66). — с. 82–92.
4. Ржаницин А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М., Стройиздат, 1978. — 240 с.
5. Райзер В.Д. Теория надежности конструкций.—М., Издательство АСВ, 2010. — 384 с.
6. Чирков В.П. Прикладные методы теории надежности в расчетах строительных конструкций. Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта.— М., Маршрут, 2006. — 620 с.
7. Ходасевич Г.Б. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ. Учебное пособие. — СПб., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2000. — 100 с.
8. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*
9. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. — М., Стройиздат, 1986. — 194 с.

ЛАБОРАТОРИЯ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ (ЛИСКИС)

При кафедре металлических конструкций и сооружений функционирует аттестованная научно-исследовательская лаборатория испытания строительных конструкций (ЛИСКИС) в составе Испытательного центра строительных изделий и конструкций ГОУ ВПО «ДОННАСА».

Лаборатория проводит:

- ☞ сертификационные испытания железобетонных и металлических конструкций промышленных и общественных зданий;
- ☞ статические и динамические испытания строительных конструкций, зданий и сооружений;
- ☞ аэродинамические испытания фрагментов строительных конструкций, высотных зданий и зрелищных сооружений;
- ☞ статические испытания опор линий электропередачи и башенных конструкций высотой до 70 м.

E-mail: mailbox@donnasa.ru

Телефоны: +38(062) 343 70 33



Уважаемые коллеги!

Планируемый к изданию 8-й номер научно-практического журнала «Строитель Донбасса» будет посвящен теоретическим и прикладным исследованиям в области экономики и управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством; вопросам инвестиционного обеспечения развития промышленного и гражданского строительства; стимулированию жилищного строительства в регионах; развитию теории и практики управления проектами в строительстве; актуальным проблемам сметного ценообразования; экспертизе и управлению недвижимостью.

В связи с этим к рассмотрению принимаются статьи и сообщения, в которых излагаются результаты исследований и разработок по направлениям:

- ❖ актуальные вопросы экономики строительства и жилищно-коммунального хозяйства;
- ❖ теоретические и прикладные аспекты управления проектами;
- ❖ новое в экспертизе и управлении недвижимостью;
- ❖ инвестиционные проблемы развития промышленного и гражданского строительства;
- ❖ цифровая экономика в строительстве: перспективы развития;
- ❖ кадровое обеспечение строительства и жилищно-коммунального хозяйства;
- ❖ отраслевые приоритеты научных исследований в области экономики и управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством.



Материалы просим направлять до 10 сентября 2019 г. по адресу:
86123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, дом. 2,
ГОУ ВПО «ДОННАСА».

Электронная почта: strdon@donnasa.ru

При подаче материалов придерживайтесь «Требований для авторов» с целью обеспечения наиболее быстрой публикации ваших статей.

С уважением, редакционная коллегия



ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»



ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, дом 2



+38(062) 343 -70 -33



mailbox@donnasa.ru