

научно-технический журнал

ВЕСТНИК



МГСУ

9/2014



материалы оборудование технологии

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

2014 № 9

Москва

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Дерюшев Л.Г., Фам Ха Хай. Нормирование требований надежности систем водоснабжения Вьетнама 7

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Гиясов Б.И., Антонов А.И., Матвеева И.В. Энергетический метод расчета шума, проникающего в плоские помещения через стены 22

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Габбасов Р.Ф., Хоанг Туан Ань, Шикунев М.А. Обобщенные уравнения метода конечных разностей в задачах расчета тонких изгибаемых плит на динамические нагрузки 32

Густов Ю.И., Густов Д.Ю., Воронина И.В. Производные критерии пластичности и прочности металлических материалов 39

Кремнев В.А., Кузнецов В.С., Талызова Ю.А. Особенности распределения напряжений в плите безбалочного перекрытия от усилия преднапряжения.. 48

Шахраманьян А.М. Локализация мест изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе данных вибродиагностических измерений 54

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Володченко А.А., Загороднюк Л.Х., Прасолова Е.О., Чхин Совани. Нетрадиционное глинистое сырье как компонент неорганических дисперсных систем 67

Основан в 2005 году, 1-й номер вышел в 2006 г.
Выходит ежемесячно

Учредители:
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ»

Выходит при научно-информационной поддержке Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), международной общественной организации «Ассоциация строительных высших учебных заведений» (АСВ)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-47141 от 3 ноября 2011 г.

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Индексируется в РИНЦ,
UlrichsWeb Global Serials Directory,
DOAJ, EBSCO, Index Copernicus

Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering

Scientific and Technical Journal
on Construction and Architecture

Founded in 2005, 1st issue was published in 2006.
Published monthly

Founders: Moscow State University of Civil Engineering (MGSU),
ASV Publishing House

The Journal enjoys the academic and informational support provided by the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International Association of Institutions of Higher Education in Civil Engineering

The Journal has been included in the list of the leading review journals and editions of the Highest Certification Committee of Ministry of Education and Science of Russian Federation in which the basic results of PhD and Doctoral Theses are to be published

Главный редактор
 акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Теличенко (МГСУ)

Редакционная коллегия:

А.Д. Потапов (зам. гл. ред., отв. секретарь, МГСУ),
Х.Й.Х. Броуэрс (Технический университет Эйндховена,
 Нидерланды),
А.И. Бурханов (ВолгГАСУ),
А.А. Волков (МГСУ),
О.Е. Горячева (отв. редактор, МГСУ),
О.В. Игнатьев (МГСУ),
Е.В. Королев (МГСУ),
О.И. Поддава (МГСУ),
А.П. Пустовгар (МГСУ),
А.В. Шамшин (Университет Центрального Ланкашира,
 Соединенное Королевство)

Редакционный совет:

А.А. Волков (председатель),
П.А. Акимов, **Ю.М. Баженов**,
О.О. Егорычев, **Е.А. Король**, **Н.С. Никитина**,
А.Д. Потапов (зам. пред., отв. секретарь),
В.И. Теличенко, **З.Г. Тер-Мартirosян** (МГСУ),
С.А. Амбарцумян (Концерн «МонАрх»),
А.Т. Беккер (ДФУ, ДВРО РААСН, Владивосток),
Н.В. Баничук, **С.В. Кузнецов** (ИПМ
 им. А.Ю. Ишлинского РАН),
Й. Вальравен (Технический университет Дельфты,
 Нидерланды),
Й. Вичан (Университет Жилина, Словакия),
З. Войчицки (Вроцлавский технологический
 университет, Польша),
М. Голицки (Институт Клокнера Чешского
 технического университета в Праге,
 Чешская Республика),
Н.П. Кошман (Ассоциация строителей России),
П. МакГи (Университет Восточного
 Лондона, Соединенное Королевство),
Н.П. Осмоловский (МГУ им. М.В. Ломоносова),
П.Я. Паль (Технический университет Берлина,
 Германия), **В.В. Петров** (СГТУ, Саратов),
Е.И. Пупырев (ГУП «МосводоканалНИИпроект»),
А.Ю. Русских (Государственная Дума Федерального
 Собрания Российской Федерации),
Ю.А. Табунщиков (МАРХИ),
О.В. Токмаджян (ЕГУАС, Армения),
В.И. Травуш (РААСН)

Адрес редакции:
 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, МГСУ.
 Тел./ факс +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,
 e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru
 Электронная версия журнала
<http://vestnikmgsu.ru>
 ISSN 2304-6600 (Online)

Периодическое научное издание
Вестник МГСУ. 2014. № 9
 Научно-технический журнал

Зав. редакцией журналов **О.В. Горячева**
 Редактор **В.Я. Пацля**
 Корректор **А.А. Дядичева**
 Верстка **А.Д. Федотов**
 Перевод на английский язык **О.В. Иванова**
 Библиограф **О.В. Берберова**

Подписано в печать 30.09.2014. Формат 70x108/16.
 Бумага офсетная. Печать трафаретная.
 Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 15.2. Уч.-изд. л. 13.6.
 Тираж 200 экз. Заказ № 352.

Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«Московский государственный строительный
 университет».**

Издательство МИСИ — МГСУ

www.mgsu.ru, ric@mgsu.ru

(495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ,

(499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Перепечатка или воспроизведение материалов
 номера любым способом полностью или по частям
 допускается только с письменного разрешения Издателя.
 Распространяется по подписке.
 Подписка по каталогу агентства «Роспечать».
 Подписной индекс 18077 (полугодовая),
 36869 (годовая)

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Орлов Е.В.** Использование водопровода специального назначения в зданиях 76
Офрихтер В.Г., Офрихтер Я.В. Прогноз напряженно-деформированного состояния твердых бытовых отходов с использованием модели слабого грунта 82

ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

- Волгин Г.В.** Влияние длины реализации пульсаций скорости на точность расчета турбулентных касательных напряжений 93
Медзелия М.Л. Учет поверхностного натяжения при гидравлическом моделировании водослива с острой кромкой 100
Радзинский А.В., Рассказов Л.Н., Саинов М.П. Плотины стометровой высоты с глиноцементобетонной диафрагмой по типу «стена в грунте» 106

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Малыха Г.Г., Решетова А.Ю., Черных В.Н.** Построение методики критериев при проведении торгов на проектирование в строительстве 116

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- Волков А.А., Василькин А.А.** Развитие методологии поиска проектного решения при проектировании строительных металлоконструкций 123
Клашанов Ф.К., Зоткин С.П., Зоткина И.А. Разработка универсального Windows приложения для решения задач из теории графов на стадии формирования проектной строительной документации 138
Некрестьянов В.Н. Моделирование разрушений строительных сооружений 145

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

- Иващенко А.В., Знаменская Е.П.** Конфигурация Дезарга в архитектурном и дизайн-проектировании... 154
Полежаев Ю.О., Борисова А.Ю., Борисова В.А. Геометрические модели квадратично-прямоугольных множеств с частными примерами композиционных решений 161
Авторам 168

CONTENT

GENERAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION-RELATED SCIENCES AND OPERATIONS. UNIFICATION AND STANDARDIZATION IN CIVIL ENGINEERING

Deryushev L.G., Pham Ha Hai. The requirements to reliability of water supply systems in Vietnam..... 7

ARCHITECTURE AND URBAN DEVELOPMENT. RESTRUCTURING AND RESTORATION

Giyasov B.I., Antonov A.I., Matveeva I.V. Energy method for calculating the noise penetrating into flat rooms through walls..... 22

DESIGNING AND DETAILING OF BUILDING SYSTEMS. MECHANICS IN CIVIL ENGINEERING

Gabbasov R.F., Hoang Tuan Anh, Shikunov M.A. Generalized equations of finite difference method in the problems of dynamic load calculation for thin bending plates 32

Gustov Yu.I., Gustov D. Yu., Voronina I.V. Derivative criteria of plasticity and durability of metal materials 39

Kremnev V.A., Kuznetsov V.S., Talyzova Yu.A. Peculiarities of stress distribution in beamless floor plate as a result of prestressing forces 48

Shakhraman'yan A.M. Localization of the places of stress-strain state changes of building structures based on the vibrodiagnostic measurement data..... 54

RESEARCH OF BUILDING MATERIALS

Volodchenko A.A., Zagorodnyuk L.H., Prasolova E.O., Chin Sovann. Nontraditional clay raw materials as a component of inorganic dispersed phases..... 67

SAFETY OF BUILDING SYSTEMS. ECOLOGICAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION PROJECTS. GEOECOLOGY

Orlov E.V. Use of the water supply system of special purpose in buildings..... 76

Ofrikhter V.G., Ofrikhter Ya.V. Prediction of stress-strain state of municipal solid waste with application of soft soil creep model 82

HYDRAULICS. ENGINEERING HYDROLOGY. HYDRAULIC ENGINEERING

Volgin G.V. Effect of velocity fluctuations length on the calculation accuracy of turbulent shearing stresses 93

Medzveliyan M.L. Account for the surface tension in hydraulic modeling of the weir with a sharp threshold..... 100

Editor-in-chief
Member of the Russian Academy
of Architecture and Construction Sciences
(RAACS), DSc, Prof. **V.I. Telichenko**,
(MGSU)

Editorial board:

A.D. Potapov (Deputy Editor-in-Chief, Executive secretary, MGSU, Moscow, Russian Federation),
H.J.H. Brouwers (Eindhoven University of Technology, Netherlands),
A.I. Burkhanov (VSUCE, Volgograd, Russian Federation),
O.E. Goryacheva (Executive Editor, MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.V. Ignat'ev (MGSU, Moscow, Russian Federation),
E.V. Korolev (MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.I. Poddaeva (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.P. Pustovgar (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.V. Shamshin (University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom),
A.A. Volkov (MGSU, Moscow, Russian Federation)

Editorial council:

A.A. Volkov (Chairman),
P.A. Akimov, Yu.M. Bazhenov,
O.O. Egorychev, E.A. Korol, N.S. Nikitina,
A.D. Potapov (Deputy-Chairman, Executive secretary),
V.I. Telichenko, Z.G. Ter-Martirosyan (MGSU, Moscow, Russian Federation),
S.A. Ambartsumyan (MonArch Group, Moscow, Russian Federation),
A.T. Bekker (Far Eastern Federal University, FERD RAASN, Vladivostok, Russian Federation),
N.V. Banichuk, S.V. Kuznetsov (A. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow, Russian Federation),
M. Holický (Czech Technical University in Prague, Klokner Institut, Czech Republic),
N.P. Koshman (Builders Association of Russia, Moscow, Russian Federation),
P. McGhee (University of East London, United Kingdom),
N.P. Osmolovskiy (Lomonosov Moscow State University, Russian Federation),
P.J. Pahl (Technical University of Berlin, Germany),
V.V. Petrov (Saratov State Technical University, Russian Federation),
E.I. Pupyrev (MosvodokanalNIiproekt, Moscow, Russian Federation),
A. Yu. Russkikh (State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation),
Yu.A. Tabunshchikov (Moscow Institute of Architecture (State Academy), Russian Federation),
O.V. Tokmadzhyan (Yerevan State University of Architecture and Construction, Armenia),
V.I. Travush (Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russian Federation),
J. Vičan (University of Zilina, Slovakia),
J. Walraven (Delft University of Technology, Netherlands)
Z. Wójcicki (Wrocław University of Technology, Poland)

Address:
MGSU, 26, Yaroslavl'skoye shosse, Moscow,
129337, Russian Federation
Tel./ fax +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,
e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru
online version of the journal
<http://vestnikmgsu.ru/>

Editorial team of issues:
Head of journal editorial office **O.V. Goryacheva**
Editor **V.Ya. Patsiya**
Corrector **A.A. Dyadicheva**
Layout **A.D. Fedotov**
Russian-English translation **O.V. Ivanova**
Bibliographer **O.V. Berberova**

Reprint or reproduction of material numbers by any means in whole or in part is permitted only with prior written permission of the publisher – MGSU.
Distributed by subscription

Radzinskiy A.V., Rasskazov L.N., Sainov M.P. Clay-cement concrete diaphragm of the type "slurry wall" in the 100 meter high dam..... 106

ECONOMICS, MANAGEMENT AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION PROCESSES

Malykha G.G., Reshetova A.Y., Chernykh V.N. Criteria procedure development for tender in construction design 116

INFORMATION SYSTEMS AND LOGISTICS IN CIVIL ENGINEERING

Volkov A.A., Vasil'kin A.A. Development of the methodology of the design decision searching in the process of structural metalwork design..... 123

Klashanov F.K., Zotkin S.P., Zotkina I.A. Development of generic Windows application for solving the tasks of the theory of graphs on design documentation stage 138

Nekrest'yanov V.N. Collapse simulation of building constructions 145

ENGINEERING GEOMETRY AND COMPUTER GRAPHICS

Ivashchenko A.V., Znamenskaya E.P. Configuration of Desargue in architectural and design engineering 154

Polezhaev Yu.O., Borisova A.Yu., Borisova V.A. Geometrical models of quadratic-rectangular sets with particular examples of composite solutions..... 161

For authors 168

Памяти Александра Дмитриевича Потапова



18 сентября 2014 г. после тяжелой и продолжительной болезни на 68 году жизни скончался заместитель главного редактора, ответственный секретарь редколлегии нашего журнала Александр Дмитриевич Потапов, заслуженный геолог РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и геоэкологии.

Вся его жизнь была неразрывно связана с МИСИ — МГСУ, где он прошел путь от студента до заведующего кафедрой инженерной геологии и геоэкологии, руководителя учебно-методического управления (1987—2003), ученого секретаря университета (2003—2014).

Невозможно себе представить Александра Дмитриевича в отрыве от научно-педагогической деятельности. Его научные интересы охватывали такие инновационные направления, как инженерная геология, экология, геоэкология, экологическая безопасность. Он был одним из основателей и руководителей научной школы геоэкологии МГСУ. В общей сложности А.Д. Потаповым опубликовано свыше 300 научных статей и монографий, учебников и учебных пособий. Поколения студентов и ученых воспитываются на таких его работах как «Экология», «Основы геологии, минералогии и петрографии», «Инженерная геология», «Специальная инженерная геология», «Землетрясения: причины и последствия», «Экологическая безопасность строительства», «Геоэкология», «Основы экологической безопасности строительства», «Управление в чрезвычайных ситуациях», «Природоведческий словарь для строителей» и др. Под научным руководством Александра Дмитриевича защитили кандидатские диссертации по геоэкологии 10 аспирантов и 3 докторанта.

А.Д. Потапов обладал не только огромным научным кругозором, но и большим практическим опытом работы в отрасли. Александр Дмитриевич принимал непосредственное участие в инженерно-геологических изысканиях для строительства таких уникальных объектов, как Рижская ГЭС, Приморская ГРЭС, Киевская ТЭЦ, Калининская и Нововоронежская АЭС, Южно-Уральская ТЭС, Сарыязинская и Копетдагская плотины, Аксинские дамбы Кара-Кумского канала и др. Только за последние 4 года Александр Дмитриевич провел свыше 900 экспертиз по инженерно-геологическим изысканиям для строительства различных объектов в г. Москве, осуществлял научное руководство работами по мониторингу строительства олимпийских объектов в Сочи и объектов наукограда в Сколково.

Опыт Александра Дмитриевича был широко востребован при разработке основополагающих документов в области инженерных изысканий для строительства. Он автор ряда СНиПов, ГОСТов, Территориальных строительных норм по проектированию и строительству полигонов хранения ТБО и др. Использование данных нормативных документов всеми изыскательскими организациями в стране привело к существенной оптимизации изысканий, значительно повышению экономической эффективности работ.

А.Д. Потапов вел активную научно-общественную деятельность, являясь академиком Российской академии естественных наук, академиком Европейской академии естественных наук, членом-корреспондентом общественной Академии промышленной экологии, членом-корреспондентом общественной Международной Академии экологической реконструкции. Александр Дмитриевич успешно работал в национальной группе Международной организации инженерной геологии, Научном совете РАН

по инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии, Российском обществе механики грунтов, геотехники и фундаментостроения, Экологическом совете Парламентского союза России и Беларуси, Национальном объединении изыскателей, городской экспертно-консультационной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям при Правительстве Москвы, редколлегиях журналов «Геоэкология», «Вестник МГСУ», «Инженерные изыскания».

Многолетняя и плодотворная деятельность А.Д. Потапова отмечена многочисленными наградами и званиями. Он был удостоен званий «Заслуженный геолог РФ», «Лауреат премии Правительства РФ в области образования», «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», «Почетный работник науки и техники РФ», «Почетный строитель РФ», «Почетный ученый Европы». Награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, медалью «В память 850-летия Москвы», медалью им. Ю.А. Гагарина, медалью им. Н.А. Цыговича, медалью им. Л. Эйлера, медалью им. А. Гумбольдта, медалью им. В. Лейбница, медалями МГСУ трех степеней.

Несмотря на тяжелую болезнь, Александр Дмитриевич до последних своих дней активнейшим образом участвовал в работе редколлегии нашего журнала, рассматривал вновь поступившие статьи, рекомендовал рецензентов, готовил к публикации собственные и с участием соавторов материалы, тем самым оставив нам пример подвижничества своему делу.

Выдающийся ученый, яркий, талантливый педагог, Александр Дмитриевич Потапов был чутким доброжелательным и обаятельным человеком. Он был и навсегда останется для нас товарищем, всегда готовым оказать помощь и поддержку.

Выражаем глубокое соболезнование родным и близким Александра Дмитриевича, скорбим о его безвременной кончине. Светлая память о нем навсегда сохранится в сердцах всех, кто его знал.

От коллектива МГСУ, редколлегии и редакции журнала «Вестник МГСУ»

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 628.1(597)

Л.Г. Дерюшев, Фам Ха Хай

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

НОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ВЬЕТНАМА

Приведены рекомендации по разработке дополнительных нормативных требований к надежности систем водоснабжения Вьетнама. В результате исследований надежности водопроводных объектов Вьетнама и России получены оценки надежности действующих водопроводных сооружений. На основе математических методов оценки надежности технических объектов обоснованы и систематизированы методики оценки надежности водопроводных сооружений и систем. Предложено систематизировать сбор статистических данных о надежности оборудования и сооружений систем водоснабжения по единым правилам. Изложенные методы оценки надежности водопроводных сооружений и систем могут быть использованы для формирования нормативных требований надежности при проектировании водопроводных объектов Вьетнама.

Ключевые слова: Вьетнам, система водоснабжения, методика оценки, надежность, водопроводные объекты, нормативные требования, водопроводные сооружения.

В действующих строительных правилах проектирования систем водоснабжения надежность водопроводных объектов не нормируется. Системы водоснабжения классифицируются на три категории, для которых формулируются условия выполнения функций при подаче воды потребителям. Качество выполнения этих функций не предусматривается оценивать количественно. Принятие проектных решений без количественной оценки их качества нарушает системный подход при выполнении строительных и проектных работ, который сложился в мировой практике.

Действующие нормативные правила по проектированию и строительству водопроводных сооружений Вьетнама¹ практически полностью аналогичны строительным правилам по проектированию водопроводных сооружений Российской Федерации (СП 31.13330.2012², СП 32.13330.2012³. Традиционно все изменения, которые вносятся в строительные правила РФ, предусматри-

¹ TCVN 33—2006. Water Supply — Distribution System and Facilities — Design Standard. С 2-80. 190 p.

TCVN 7957:2008. Drainage and sewerage — External Networks and Facilities — Design Standard. Vietnam, 2008. 98 p.

² СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02—84. М. : Минрегион России, 2012. 124 с.

³ СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03—85. М. : Минрегион России, 2012. 86 с.

ваются к рассмотрению для внесения в строительные правила Вьетнама. Авторитет школы специалистов РФ для инженеров Вьетнама остается непоколебимым.

Постановлением Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»⁴ утверждено Положение о составе разделов проектной документации и требования к их содержанию. В случае если для разработки проектной документации на объект капитального строительства недостаточно требований по надежности и безопасности, установленных нормативными техническими документами, или такие требования не установлены, разработке документации должны предшествовать разработка и утверждение в установленном порядке специальных технических условий.

Поскольку требованиями СП 31.13330.2012 количественная оценка надежности проектируемого объекта не нормируется, обеспечение качества системы водоснабжения негласно переносится на усмотрение экспертов. Но, очевидно: сколько экспертов, столько и мнений.

Если нет единой методики, по которой оценивается надежность объекта, то и проектные решения могут быть самыми разнообразными, за которые не предусмотрены меры ответственности или вознаграждения.

С переходом на коммерческую основу взаимоотношений между заказчиком и исполнителем ставится под сомнение требование условного обеспечения надежности товара, в частности водопроводного объекта.

На отечественный рынок в настоящее время поставляются материалы, оборудование, машины и механизмы многочисленными поставщиками с различной репутацией. Поставщики не несут ответственности за рекламу своей продукции, а потребители не владеют теми инструментами, которые бы позволили оценить качество предлагаемого товара. Во всем мире качество продукции оценивается методами, которые применяются в теории надежности: математического моделирования, математической статистики. В свою очередь, все эти методы базируются на теории вероятностей, негласно носящей название «русской науки». Сейчас нет области знания, в которой не использовались бы перечисленные методы. Они общеизвестны [1, 2], но, к сожалению, редко когда применяются правильно. В этой связи после констатации факта о необходимости количественной оценки надежности водопроводного объекта рассмотрим последовательность его анализа, которой целесообразно руководствоваться на стадии принятия проектных решений.

Во-первых, любой водопроводный объект необходимо рассматривать как систему с элементами, соединенными последовательно или параллельно.

Это требование необходимо учитывать и при проектировании зонированных систем. Особенно, если количество зон в системе более 3, а зонирование выполнено по параллельной и последовательной схемам. Формальное нормирование расходов воды на пожаротушение по каждой зоне приводит к избыточным расчетным расходам воды в системах водоснабжения. Например, для

⁴ Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию». С изменениями и дополнениями от: 18.05, 21.12.2009 г., 13.04, 7.12.2010 г., 15.02.2011 г., 25.06, 2.08.2012 г., 22, 30.04, 8.08.2013 г., 26.03.2014 г. Режим доступа: <http://base.garant.ru/12158997/#text>.

системы со смешанным зонированием объекта на 10 зон возможно принятие 10...20 одновременных пожарных расходов, если проектные решения принимать четко по действующим нормам.

Деление объекта на элементы системы весьма условно. Элемент — это такой объект, надежность которого изучается сама по себе, независимо от его структуры и надежности составляющих его частей. Если надежность объекта можно оценить при «испытании», то он рассматривается как одно целое. В противном случае объект рассматривается как система, которая состоит из отдельных элементов с заданной (или полученной в ходе «испытания») надежностью. Таким образом, один и тот же объект может рассматриваться и как элемент, и как система. Сочетание элементов формирует простую или сложную систему с точки зрения методов ее расчета надежности. Существует точная математическая связь между надежностью системы и надежностью ее элементов.

Уровень надежности элемента определяется из испытаний, которые дают информацию об интенсивности отказов λ . Чем прочнее элемент, тем меньшей интенсивностью отказов он будет обладать. Действительная интенсивность отказов, определяющая вероятность безотказной работы, зависит от случайных факторов, действующих в процессе производства, и от случайных изменений условий эксплуатации элемента. Она зависит от соотношения между прочностью, закладываемой в элемент (оборудование, сооружение) при проектировании, и многообразия условий функционирования.

Расчеты надежности водопроводных систем основаны на двух важных операциях:

- 1) на оценке с максимально возможной точностью надежности элементов, используемых в заданных условиях работы системы;
- 2) расчетах надежности различных комбинаций этих элементов.

Моделью надежности системы из последовательных элементов называют систему, в которой отказ любого элемента приводит к ее отказу.

Степень точности результатов расчета не зависит от аппарата теории вероятностей, так как вероятностные соотношения сами по себе совершенно точны; достоверность расчетов зависит в основном от точности данных о надежности отдельных элементов.

В расчетах надежности системы используются следующие основные правила теории вероятностей:

- 1) если A и B — два независимых события, вероятности которых $P(A)$ и $P(B)$, то вероятность того, что имеют место оба события, равна произведению $P(AB) = P(A)P(B)$; (1)

- 2) если достаточно, чтобы из двух совместимых событий произошло хотя бы одно — A или B — или оба вместе, то $P(A \vee B) = P(A) + P(B) - P(A)P(B)$; (2)

- 3) если события несовместимы, т.е. когда происходит одно, другое событие не может произойти, формула (2) упрощается:

$$P(A \vee B) = P(A) + P(B); \quad (3)$$

- 4) если два события не только несовместимы, но и противоположны, т.е. когда не происходит A , то происходит $B(\bar{A})$, и, наоборот, из (3) получаем

$$P(A) + P(B) = 1. \quad (4)$$

Следовательно, из n параллельных элементов допускается отказ $n - (n - l)$ элемента, и это не приводит к отказу системы при условии, что один оставшийся элемент удовлетворительно выполняет требуемую функцию.

При рассмотрении элементов с неэкспоненциальным распределением отказов необходимо учитывать, что интенсивности их отказов не постоянны, а являются функцией работы этих элементов во времени T . Поэтому, для времени, для которого определяется надежность, необходимо использовать интенсивность отказов элемента λ , соответствующую его наработке T к данному моменту.

Нередко закономерности отказов элементов в системе удается описать экспоненциальной функцией, если момент возникновения отказов учитывается за время суммарной наработки системы или когда элементы работают только в течение своего периода нормальной эксплуатации (т.е. проводится профилактическая замена). В случае, когда интенсивность отказов λ постоянна, с экспоненциальным распределением формулы (1) и (2) могут быть представлены в виде

$$P_{\text{посл}} = P_1 P_2 P_3 \dots P_n = \prod_{i=1}^n P_i; \quad (5)$$

$$P_{\text{посл}}(t) = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t} = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i\right); \quad (6)$$

$$F_{\text{посл}}(t) = 1 - P_{\text{посл}}(t) = 1 - \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i\right); \quad (7)$$

$$P_{\text{пар}} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_n); \quad (8)$$

$$P_{\text{пар}}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_1 t})(1 - e^{-\lambda_2 t}) \dots (1 - e^{-\lambda_n t}); \quad (9)$$

$$F_{\text{пар}}(t) = F_1 F_2 \dots F_n = (1 - e^{-\lambda_1 t})(1 - e^{-\lambda_2 t}) \dots (1 - e^{-\lambda_n t}). \quad (10)$$

Сложные системы обычно состоят из большого числа элементов или блоков, соединенных последовательно, что означает, что система отказывает при отказе любого элемента или блока. В некоторых случаях к заведомо малонадежным элементам системы для повышения надежности подключаются резервные элементы; иногда к целым группам элементов подключаются такие же или подобные группы, включаемые параллельно. Случай двух параллельно работающих водоводов, каждый из которых имеет 70...100% пропускную способность. Каждый из водоводов имеет только один ремонтный участок (трубопровод, который ограничивается переключающими устройствами) — элемент.

Такие параллельные соединения из двух или более элементов или групп элементов можно рассматривать как блоки, соединенные последовательно, т.е. система отказывает, если отказывает такой блок в целом.

Формула (5) является фундаментальной формулой для расчета надежности сложных систем. Эта формула называется законом произведения надежностей.

В качестве простого примера рассмотрим водовод, состоящий из «последовательно» соединенных ремонтных участков одинаковой длины с экспоненциальным законом надежности. Ремонтные участки (элементы) смонтированы: 1 — из стальных труб с защитными покрытиями; 2 — из чугунных труб с защитными покрытиями; 3 — из полимерных труб.

Допустим, что все элементы имеют равные наработки времени $t_1 = t_2 = t_3$ с момента монтажа и эксплуатируются в единых условиях. Их надежность оценивается по следующим параметрам интенсивности отказов:

$$1) \lambda_1 = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}; \quad 2) \lambda_2 = 2,28 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}; \quad 3) \lambda_3 = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}.$$

Сначала складываем интенсивности отказов элементов системы:

$$\sum \lambda_i = (5,7 + 2,28 + 3,8) 10^{-6} = 11,78 \cdot 10^{-6} \cdot \text{1/ч}.$$

Если система восстанавливается планомерно после каждого интервала времени $t = 8760$ ч (время работы от ревизии до ревизии), то с вероятностью $P_{\text{посл}}(t) = e^{-0,00001178 \cdot 8760} = e^{-0,103} = 0,902$ можно ожидать, что она имеет среднюю наработку на T отказ $T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,00001178} = 84889 \text{ ч} = 9,7 \text{ г}$.

Если ремонт или восстановление водовода выполняется по мере возникновения отказа (разрушения труб), то вероятность безотказной работы его на интервале времени $t = 8760 \cdot 20 = 175200$ ч (20 лет — нормативный срок полной амортизации стальных труб) составит:

$$P_{\text{посл}}(t) = e^{-0,00001178 \cdot 175200} = e^{-2,064} = 0,127,$$

а вероятность отказа составит $F_{\text{посл}}(t) = 1 - P_{\text{посл}}(t) = 1 - 0,127 = 0,873$.

Очевидно, подобный уровень надежности системы не может быть признан удовлетворительным. Ее необходимо резервировать, повышать уровень надежности. Для системы из двух параллельных водоводов (горячий резерв) вероятность безотказной работы будет равна:

$$P_{\text{посл}}(t) = 1 - [1 - P_{\text{посл}}(t)][1 - P_{\text{посл}}(t)] = 1 - 0,873 \cdot 0,873 = 0,238,$$

а средняя наработка на отказ

$$t = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{0,00001178} + \frac{1}{0,00001178} = 169779,29 \text{ ч} = 19,4 \text{ лет}.$$

В системе водоводов могут работать и задвижки. Надежность задвижек, обратных и предохранительных клапанов, которые работают совместно с трубопроводами и насосами, часто выражают количеством циклов при переключениях. Время работы трубопровода — непрерывная величина, а цикл задвижки — периодическая. Складывать эти величины, как это часто делается инженерами, — недопустимо. Необходимо переводить значение интенсивности отказов за рабочий цикл в единицы интенсивности отказов за время работы системы. Только после этого для численных расчетов можно использовать формулы (5)—(10). Число циклов можно связать с наработкой, измеряемой в часах, особенно в тех случаях, где существует некоторая регулярность рабочих циклов. Такой переход приводит надежность элемента к общему параметру и значительно упрощает математические выкладки.

Перевод в интенсивность отказов за время t работы необходим также для элементов со случайными промежутками занятости в течение общего периода работы системы (например, насос на насосной станции, запорная арматура), хотя интенсивность их отказов тоже выражается числом отказов за время t .

Время t в формуле (6) — время работы системы. Только в том случае, когда элемент работает в системе непрерывно, время его работы совпадает с временем работы системы. Например, если элемент должен работать всего $1/1000$

времени работы системы t , то интенсивность его отказов в масштабе времени работы системы будет $\lambda'/1000$.

В общем виде, когда элемент работает в среднем t_1 час за t работы системы, интенсивность отказов элемента в масштабе времени работы системы выражается формулой

$$\lambda = \frac{\lambda' t_1}{t}. \quad (11)$$

Эта приведенная интенсивность отказов элемента может быть использована в (10) для элементов со случайными промежутками занятости. Если t_1 составляет весьма малую часть t , то элемент может оказаться высоконадежным в масштабе времени работы системы, даже если интенсивность его отказов сравнительно высока при непрерывной работе.

Формула (5) основана на предположении, что в отключенном состоянии элемент имеет нулевую интенсивность отказов, хотя система в это время работает. Если λ' — интенсивность отказов в рабочем, а λ'' — в выключенном состоянии и если элемент в течение t час работы t_1 час находится в рабочем состоянии, а $t_2 = t - t_1$ час — в выключенном, то поведение элемента в системе будет описываться средней интенсивностью отказов, равной

$$= \frac{\lambda' t_1 + \lambda'' t_2}{t}. \quad (12)$$

Если интенсивность отказов элемента выражается в единицах рабочих циклов, т.е. значением λ_c за один рабочий цикл, и если элемент в среднем совершает c операций за t час работы системы, элемент в системе будет иметь интенсивность отказов

$$\lambda = \frac{c \lambda_c}{t}. \quad (13)$$

Но если элемент к тому же обладает зависящей от времени интенсивностью отказов λ' во включенном состоянии и интенсивностью отказов λ'' — в выключенном, интенсивность отказов элемента в масштабе времени работы всей системы будет равна

$$\lambda = \frac{c \lambda_c + \lambda' t_1 + \lambda'' t_2}{t}. \quad (14)$$

Очевидно, что в этой формуле $t_1 + t_2 = t$, где t — заданное время работы системы.

Формулу (12) можно рассматривать как общую формулу для расчета интенсивностей отказов элементов в масштабе времени работы системы. Для большинства элементов (переключателей, регулирующей арматуры) величиной λ'' можно пренебречь, за исключением тех случаев, когда воздействие нагрузок на элемент в работающей системе очень велико, даже если сам элемент выключен (из-за коррозии металла и отсутствия восстановления). Интенсивность отказов некоторых устройств, в частности переключающих (запорной арматуры), почти полностью определяется величиной λ_c , так что в этих случаях величиной λ' также можно пренебречь; для других элементов, в частности для элементов, включаемых на длительное время, определяющей является как раз зависящая от времени интенсивность отказов λ' . Но имеется и категория элементов, для которых необходимо учитывать как λ_c , так и λ' . Такие элементы обычно явля-

ются надолго включаемыми элементами, поскольку в них возникают процессы износа при включениях и выключениях, а также коррозии.

Практически влияние переключения не будет столь значительным, так как сумма зависящих от времени интенсивностей отказов других элементов в системе обычно гораздо больше, чем интенсивность отказов за цикл переключающих устройств, которые совершают один цикл переключений за время выполнения задания.

Однако, если переключающее устройство совершает большое число циклов за время выполнения задания или если система содержит много переключающих устройств, чувствительных к перепадам давлений, вызванным переключениями, то частота включения и отключения этих устройств за время t должна учитываться при расчетах надежности системы.

Иногда возникает вопрос, не лучше ли, не экономичнее оставлять такие элементы включенными даже когда не требуется работа системы? Что выгоднее с точки зрения надежности — определяется отношением вероятности безотказной работы за t пребывания во включенном состоянии, когда в этом нет необходимости, к вероятности безотказной работы за цикл одного включения. Таким образом, критерий для выбора режима использования объекта получается в виде отношения ожидаемых чисел отказов для двух случаев

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (c_i \lambda_{ci} + T_{1i} \lambda'_1 + T_{2i} \lambda'_1)}{\sum_{i=1}^n \lambda_{ci}}, \quad (15)$$

где $T_1 + T_2 = T$. Когда $\rho > 1$, более высокая надежность достигается выключением системы на T -часовой промежуток, когда не требуется функционирование системы. Если $\rho < 1$, более высокая надежность достигается, когда систему оставляют включенной на T -часовой промежуток времени, т.е. вплоть до начала выполнения следующего задания. Но, очевидно, что ρ может стать меньше единицы, только если в формуле (15) числитель будет меньше знаменателя. Это может случиться, например, если за промежуток времени T , когда система остается включенной, ни один элемент не переключается, т.е. $c = 0$. Если за время T все элементы системы включены, среднее число отказов будет $\sum_{i=1}^n \lambda_{ci}$.

Оно должно быть меньше среднего числа отказов системы за одно включение $\sum_{i=1}^n \lambda_{ci}$. Требование $\rho < 1$ выполняется, если длительность промежутка T меньше отношения интенсивности отказов системы за один переключающий цикл или за одно включение к интенсивности отказов за один час непрерывной работы:

$$T < \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{ci}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}. \quad (16)$$

Очевидно, что величина T может быть важна только для систем, которые содержат элементы со сравнительно высокой интенсивностью отказов λ_c и ког-

да эти элементы (трубопроводы) не подвержены переключениям во время нормальной работы системы.

Об экономичности системы, когда ее элементы включены без выполнения заданных функций, можно судить по эксплуатационным затратам за время t . Но более важным является тот факт, что в нагруженном состоянии (трубы заполнены водой) большинство трубопроводов подвержено износу в меньшей степени, чем в состоянии простоя (не заполненных водой).

Очевидно, что трубы, смонтированные и уложенные в землю должны работать длительный срок без перекладки. Со временем они теряют свою работоспособность. Поэтому их целесообразно относить к стареющим элементам.

В теории надежности [1—5] элемент называется стареющим, если с течением времени t монотонно возрастает λ при $t_1 < t_2$, $\lambda(t_1) \leq \lambda(t_2)$. И если рассматривается случай со стареющим элементом (системой), то говорят: стареющая величина λ , стареющее распределение $F(t)$. Для стареющего элемента характерно, что его функция $\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(x) dx$ выпукла вниз. В частности, стареющим является показательное распределение.

Предположение о том, что элемент — стареющий, весьма естественно. Если не учитывать периоды испытаний (приработки), то практически все элементы водопроводных систем можно отнести к стареющим объектам.

Выше отмечалось, что методы оценки надежности всех водопроводных сооружений разработаны с множеством вариантов [1, 5]. Необходимо только выбрать из них оптимальный вариант и строго соблюдать правила по оценке надежности объектов.

На практике соединение элементов в системе водоснабжения (в смысле надежности) чаще всего приводится к комбинации последовательных и параллельных соединений. В этом случае, применяя многократно формулы последовательного и параллельного соединения элементов, нетрудно рассчитать надежность системы в последовательности, приведенной на рис. 1, 2.

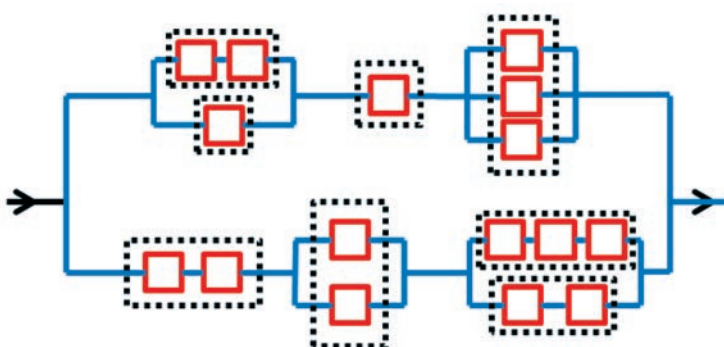


Рис. 1. Схема итераций преобразования сооружений объекта в модель надежности системы

Рассчитывая надежность каждой из обведенных пунктиром групп, которая рассматривается как один элемент с известной надежностью, можно получить новую систему.