

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**  
**СТРОИТЕЛЬСТВО**

**№ 4 (676)**  
Апрель 2015 г.

**Научно-теоретический журнал**  
**Издается с марта 1958 г.**  
**Выходит один раз в месяц**

*Главный редактор* В.Г. Себешев, почет. чл.  
РААСН, канд. техн. наук, проф.

*Редакционная коллегия:*

- А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.  
В.Л. Баладинский, д-р техн. наук, проф.  
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.  
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.  
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)  
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)  
Е.М. Лобанов, д-р техн. наук, проф.  
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.  
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.  
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.  
Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.  
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.  
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.  
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

*Адрес редакции:*

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113  
Тел./факс +7 (383) 266 28 59  
[www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) E-mail: [izvuz\\_str@sibstrin.ru](mailto:izvuz_str@sibstrin.ru)

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 06.04.15. Формат 70×108<sup>1/16</sup>  
Усл. печ. л. 11,37+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 7700

ООО «Партнеры Сибири»,  
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2015

**СОДЕРЖАНИЕ**

**Сколубович Ю.Л., Дегтярев В.В., Линовский С.В., Яненко А.П.**  
Развитие научной деятельности в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин) ..... 5

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

**Митасов В.М.** Новые подходы к расчету железобетонных конструкций ..... 14

**ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Инжутов И.С., Локтев Д.А., Рожков А.Ф.**  
Анализ влияния податливости узловых соединений деревянного сетчатого свода с ортогональной сеткой ... 24

**Гребенюк Г.И.** Совершенствование методов расчета и оптимизации динамически нагруженных стержневых систем ..... 33

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

**Бердов Г.И., Машкин Н.А.** Перспективные направления совершенствования составов и технологии строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ ..... 45

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

<b>Герасимов В.В., Коробова О.А., Исаков А.К., Михальченко О.Ю.</b> Управление безопасностью территориальных строительных систем .....	58
<b>ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО</b>	
<b>Кузнецов Г.И.</b> Накопители промышленных отходов в зоне вечной мерзлоты .....	65
<b>САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА</b>	
<b>Сколубович Ю.Л., Войтов Е.Л., Крутков А.Е.</b> Повышение эффективности очистки сточных вод предприятий угледобывающей промышленности .....	81
<b>Костин В.И.</b> Влияние нестационарных внутренних тепlopоступлений на выбор ограждающих конструкций .....	86
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ</b>	
<b>Абраменков Э.А.</b> Создание эффективных средств механизации технологических процессов в строительстве .....	92
<b>НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ</b>	
<b>Каримов А.М.</b> Методологические, инфраструктурные и организационные предпосылки модернизации градостроительной деятельности в современных социально-экономических условиях .....	98
<b>Колпакова М.Р., Туманик Г.Н.</b> Прогноз перспективного расселения в Сибири и на Дальнем Востоке .....	108
<b>НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	
<b>Федорова Н.Н., Вальгер С.А.</b> Моделирование взаимодействия потока воздуха с гибкой пластиной .....	118

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION  
OF CONSTRUCTION  
HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**NEWS OF HIGHER  
EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

# CONSTRUCTION

**Scientific-theoretical journal  
Published since March 1958  
Monthly**

**N 4 (676)**

April 2015

*Editor-in-Chief* V.G. Sebeshev, PhD, Prof.,  
Honour. Mem. RAACS

*Editorial Board:*

A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS  
V.L. Baladinsky, DSc (Eng), Prof.  
V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS  
V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.  
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)  
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)  
Ye.M. Lobanov, DSc (Eng), Prof.  
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS  
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.  
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS  
Yu.P. Pravdivetz, DSc (Eng), Prof.  
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS  
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.  
Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

*The editorial office's address:*

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008

 Phone number/fax +7 (383) 266 28 59  
 [www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) E-mail: [izvuz\\_str@sibstrin.ru](mailto:izvuz_str@sibstrin.ru)

## CONTENTS

**Skolubovich Yu.L., Degtyarev V.V., Linovsky S.V., Yanenko A.P.** Development of scientific activity in Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) ..... 5

### BUILDING CONSTRUCTIONS

**Mitasov V.M.** New approaches of the calculation reinforced concrete structures .. 14

### THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

**Inzhutov I.S., Loktev D.A., Rozhkov A.F.** Analysis of influence joints for wooden coving with an orthogonal mesh netting ... 24

**Grebnyuk G.I.** Perfection of methods of calculation and optimization of dynamically loaded rod systems ... 33

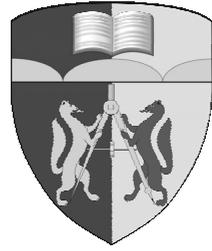
### BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

**Berdov G.I., Mashkin N.A.** Promising directions for improvement of mineral-based building materials technology ..... 45

### ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

**Gerasimov V.V., Korobova O.A., Isakov A.K., Mikhhalchenko O.Yu.** Safety management of territorial building systems ..... 58

<b>HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION</b>	
<b>Kuznetsov G.I.</b> Stores of industrial wastes in a permafrost zone .....	65
<b>SANITARY ENGINEERING</b>	
<b>Skolubovich Yu.L., Voitov E.L., Krutkov A.E.</b> Improving the efficiency of waste-water treatment for the coal industry .....	81
<b>Kostin V.I.</b> Influence of the non-stationary internal heatrevenues on the choice building envelopes .....	86
<b>BUILDING AND ROAD MACHINES</b>	
<b>Abramenkov E.A.</b> Creating an effective means of mechanization of technological processes in construction .....	92
<b>SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY</b>	
<b>Karimov A.M.</b> Methodological, infrastructural and organizational preconditions of modernization town-planning activity in the modern social and economic conditions .....	98
<b>Kolpakova M.R., Tumanik G.N.</b> Prediction of prospective resettlement in Siberia and Far East .....	108
<b>SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SECTION</b>	
<b>Fedorova N.N., Valger S.A.</b> Numerical modelling of interaction between flexible plate and airflow .....	118



## **РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НОВОСИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (Сибстрин)**

**Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ**, ректор университета,  
**В.В. ДЕГТЯРЕВ**, проректор по научной работе,  
**С.В. ЛИНОВСКИЙ**, первый проректор,  
**А.П. ЯНЕНКО**, советник университета

18 мая 1930 г. официально считается днем рождения Сибстрина, когда в соответствии с приказом ВСНХ СССР № 1381 на базе строительного факультета Томского технологического института был открыт Сибирский строительный институт — Сибстрин, позже переименованный в Новосибирский инженерно-строительный институт (НИСИ).

В 1930-х годах, в самом начале становления вуза его сотрудникам пришлось не только выстраивать основы преподавания различных дисциплин, формирующих высококвалифицированного инженера-строителя, но и стоять у истоков создания научных школ. Заместителем директора по научно-учебной работе в этот период был видный ученый-архитектор, профессор А.Д. Крячков.

К 1937 г. в научных исследованиях участвовали 15 кафедр. Научный поиск осуществлялся по 36 темам. В этом же году вышел первый сборник научных трудов института, а в июне 1938 г. состоялась первая научная конференция института, на которой было сделано 11 докладов, в том числе один студенческий. С первых дней существования Сибстрин в нем постоянно проводилась работа по подготовке научно-педагогических кадров. Первыми аспирантами в 1930 г. стали Г.А. Парамонов и Ф.Ф. Барицкий, который в 1934 г. первым в истории вуза защитил диссертацию.

В 1940-е годы, в период Великой Отечественной войны, ученым пришлось переориентироваться в исследованиях на военно-значимую тематику. Большинство сотрудников и студентов вуза ушли на фронт, причем значительная часть из них — добровольно. В сентябре 1941 г. в состав НИСИ влился Днепропетровский инженерно-строительный институт, эвакуированный с Украины, а 4 ноября этого же года вузу пришлось принимать и Московский инженерно-строительный институт с частью студентов и преподавателей. 29 декабря 1941 г. на базе вуза были созданы объединенные кафедры всех строительных институтов, разместившихся в Новосибирске.

В тот период времени в вузе работало много крупнейших ученых в области строительной науки и архитектуры: Герой Социалистического Труда, член-корреспондент АН СССР, профессор Н.С. Стрелецкий, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор А.А. Гвоздев, доктор технических наук, профессора Г.Г. Карлсен и П.Л. Пастернак, профессор Е.И. Беленя и др. Эти ученые оказали большое влияние на развитие научной деятельности института как в период их работы в НИСИ, так и на дальнейшую перспективу.

В годы войны не прекращалась работа и в области подготовки научных кадров. Профессор Н.С. Стрелецкий добился в Москве разрешения организовать на базе нашего вуза объединенный ученый совет, который координировал научно-исследовательскую работу, принимал к защите докторские и кандидатские диссертации. В годы войны это был единственный в СССР ученый совет по вопросам строительства.

В послевоенные годы при организации научно-исследовательской деятельности институт постоянно ориентировался на оказание помощи сибирским городам в решении градостроительных задач, совершенствовании строительных процессов, создании индустриальной базы и разработке наиболее эффективных проектов для строительства крупных промышленных объектов и инженерных сооружений.

С 1950 г. институт возобновил издание научных трудов. В 1957 г. Министерство высшего образования СССР поручило вузу издавать ежемесячный всесоюзный научно-технический журнал «Известия высших учебных заведений» по разделу «Строительство и архитектура».

В 1960-е годы активная работа выдвинула на ведущие позиции в нашей стране целую плеяду талантливых ученых НИСИ, ставших в дальнейшем признанными лидерами в своих областях. В это десятилетие докторские диссертации защитили И.А. Иванов, Г.И. Книгина, В.Г. Конусов, В.А. Первушин, А.А. Сандер, В.М. Хрулев, И.А. Чаплинский и др.

В 1970-е годы продолжился качественный и количественный рост научно-педагогического состава вуза. В этот период 141 сотрудник вуза защитил кандидатские диссертации, 7 — докторские. Произошли качественные улучшения в обеспечении кафедр и исследовательских подразделений современным научным оборудованием, измерительной аппаратурой, стендами.

1980-е — начало 1990-х годов — время интенсивного роста в вузе числа сотрудников с учеными степенями и званиями. За десятилетие было защищено 26 докторских и 146 кандидатских диссертаций. НИСИ был отнесен Министерством высшего образования к числу базовых учреждений по подготовке научных кадров для вузов Сибири, Дальнего Востока, Казахстана, Киргизии, а также для научно-исследовательских институтов и производственных организаций этих регионов. Созданная в вузе служба научно-технической информации стала выдавать в год до 25 тысяч единиц информации по заявкам кафедр.

В конце 1980-х годов начался заметный рост выполненных научно-исследовательских работ. Ряд крупных тем был включен в народнохозяйственный план РСФСР, многие разработки выполнялись по координационным планам Госкомитета по науке и технике, институтов АН СССР, комплексным программам Минвуза. В 1991 г. НИСИ включился в работу по научно-технической программе «Строительство» ГКНВШ РФ (впоследствии научно-техническая программа «Архитектура и строительство»), став не только одним из наиболее активных участников по числу выполняемых проектов и объектов финансирования, но и базовым вузом крупнейшего направления программы «Совершенствование строительных конструкций и методов их расчета». Научным руководителем этого направления до конца жизни был выдающийся ученый в области строительных конструкций, академик Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор В.В. Бирюлев.

В трудные для всех вузов 1990-е годы институт сумел сохранить и приумножить свой потенциал. Были созданы научно-исследовательские центры и лаборатории, успешно выполняющие работы в новых условиях. Несмотря на статус специализированного инженерно-технического вуза, в тот период в институте наряду с прикладными стали развиваться фундаментальные исследования.

В 1991 г. по инициативе НИСИ создан Новосибирский межвузовский координационный совет по фундаментальным наукам. Он объединил 7 технических вузов Новосибирска, а также университет и пединститут в выполнении НИР по конкретным направлениям математики и механики. Возглавил этот совет заведующий кафедрой теоретической механики НИСИ, доктор физико-математических наук, профессор В.Я. Рудяк.

В 1993 г. в вузе при общей численности профессорско-преподавательского состава более 600 человек 76 были докторами наук, профессорами. Подводя итоги работы вуза в этот период, аттестационная комиссия Министерства образования приняла решение о переводе НИСИ в разряд академий. К этому моменту НИСИ получил признание в России как успешно работающий базовый центр по обеспечению научно-педагогическими кадрами вузов, научно-исследовательских и научно-технических подразделений Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и Киргизии.

Наш университет стал ассоциированным и коллективным членом Международного института инженеров-строителей (ICE) со штаб-квартирой в Лондоне, Российской академии архитектуры и строительных наук, Академии наук высшей школы, Жилищно-коммунальной академии, Академии экологии и безопасности окружающей среды и человека, Академии экономики и инвестиций в строительстве и др. Итогом этой работы стало принятие решения аттестационной и аккредитационной комиссий Министерства образования РФ, работавших в вузе в 1998 г., о переводе его в разряд профильных университетов. После изменения статуса вуза темпы работ в области научных исследований возросли. Ученые вуза продолжали активно работать как над фундаментальными, так и над прикладными исследованиями. Отрадным явился тот факт, что ежегодно увеличивалось число заказов от хозяйственных предприятий и административных структур Сибирского региона на проведение различного рода научных исследований по хозяйственной тематике. В вузе работало 7 советов по защите докторских и кандидатских диссертаций не только по строительным наукам, но и по вопросам экономики, философии.

В 1999 г. на заседании координационного совета по строительству и архитектуре Межрегиональной ассоциации «Сибирское соглашение» Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (НГАСУ) и Томский ГАСУ были признаны лидерами Сибирского региона по вопросам подготовки и переподготовки инженерных кадров и проведения научных исследований. Им было поручено возглавлять подготовку инженерных и научно-педагогических кадров и осуществлять методическое обеспечение как учебного, так и научного направлений для всех учебных заведений, расположенных в зоне «Сибирского соглашения» и работающих на строительный комплекс.

За 85 лет в университете сформировались научные школы, получившие признание не только в нашей стране, но и за рубежом. Среди них необходимо отметить сибстриновскую школу строительных материалов, начало которой было положено заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, членом-корреспондентом Академии строительства и архитектуры СССР, профессором М.Н. Михайловым. Особых успехов эта школа добилась под руководством заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Г.И. Книгиной. Благодаря трудам Галины Ивановны и ее учеников в значительной мере была решена проблема использования горелых пород Кузбасса для изготовления бетона и вяжущих; высокую оценку получили исследования по разработке и совершенствованию технологий производства асфальтобетонов, жароупорных бетонов, газобетонов и других строительных материалов.

В проблемной лаборатории, открытой при кафедре строительных материалов, решались исключительно важные для Сибирского региона задачи использования местного сырья и отходов промышленности для производства эффективных строительных материалов. Часть сотрудников лаборатории занималась созданием экономичных и приспособленных для районов Сибири отделочных материалов для наружных стен.

В стране получили признание и широкую известность исследования по производству эффективных полимерных строительных материалов, выполненные под руководством доктора технических наук, профессора В.М. Хрулева. Были созданы новые клеи, разработаны рекомендации по изготовлению клееных деревянных конструкций, по улучшению свойств модифицированной древесины. Все это предназначалось для широкого использования в различных сферах строительства, включая шахтостроение и объекты сельскохозяйственного назначения. В настоящее время направление возглавляет заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор Н.А. Машкин.

Начиная с 1960-х годов большую известность в СССР и за рубежом получила сибирская научная школа по разработке рациональных и эффективных металлических конструкций и конструкций из дерева и пластмасс, их внедрению в практику строительства. Профессора В.В. Бирюлев, П.А. Дмитриев, А.В. Сильвестров и их ученики успешно разрабатывали и решали целый ряд масштабных и актуальных проблем. Основными направлениями исследований являлись разработка металлических конструкций с эффективными принципами регулирования напряжений; легкие металлические конструкции; создание теории формообразования стальных конструкций, работающих при низких температурах; вопросы коррозионной стойкости стальных конструкций; разработка облегченных армированных деревянных конструкций и т.д. Результаты этих научных работ широко применяются при освоении и разработке нефтяных и газовых месторождений Сибири, на Красноярской ГЭС, Братском лесопромышленном комплексе, Южно-Якутском угольном бассейне и многих других крупнейших промышленных объектах страны.

Серьезный вклад внесли ученые НИСИ в область исследования железобетонных конструкций. Профессор Н.И. Молотилев, а также член-корреспондент Академии строительства и архитектуры СССР, доцент Н.Э. Стребейко были признанными специалистами по железобетонным конструкциям в нашей стране. Сотрудники кафедры железобетонных конструкций сосредоточились на решении задач, выдвигаемых производством, по оценке прочности и напряженного состояния железобетона, методам усиления конструкций, созданию новых конструктивных форм. В настоящее время разработку крупных научных проблем в области теории железобетона возглавляет заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор В.М. Митасов.

Научные исследования в области оснований и фундаментов активно проводились под руководством члена-корреспондента Академии строительства и архитектуры СССР, доктора технических наук, профессора А.В. Силенко, а затем были продолжены его учениками. Разработка «Создание новой высокоэффективной технологии и механизмов для выштамповки котлованов под фундаменты и уплотнения грунтов оснований» (руководитель профессор В.С. Мионов), выполненная в кооперации с Институтом гидродинамики СО РАН, завершилась созданием технологии, оборудования и механизмов для уплотнения грунтовых оснований под фундаменты зданий и сооружений, которые нашли широкое применение на производстве. Ее внедрение только в Новосибирске дает экономию нескольких миллионов рублей на каждой строительной площадке при возведении жилых и общественных зданий.

Известной в стране стала научная школа динамики оснований и фундаментов, основателем и руководителем которой был доктор технических наук, профессор М.И. Забылин. Ее основное направление — теоретические и прикладные научные исследования по обеспечению безопасной эксплуатации оснований, фундаментов и подземных сооружений.

За годы истории вуза в его стенах проводились крупные исследования в области тепло- и водообеспечения промышленных объектов и городских сооружений. Кафедра водоснабжения и водоотведения внесла значительный вклад в решение вопросов эффективного водоснабжения различных потребителей городских и сельских районов Сибири, очистки сточных и промышленных вод. Результаты научных исследований по разработке эффективных методов водоочистки, выполненных доктором технических наук, профессором А.М. Фоминых, кандидатом технических наук, доцентом М.П. Васильченко, доктором технических наук, профессором Ю.Л. Сколубовичем и их учениками, успешно внедрены и используются на различных производственных и коммунальных предприятиях России.

Крупные исследования по проблемам теплогазоснабжения в вузе были проведены под руководством доктора технических наук, профессора А.А. Сандера. Им и его учениками решались сложные научные и инженерные задачи в области теории теплопередачи, очистки воздуха и теплоснабжения. Разработка теоретических основ панельного отопления, изучение эффективности систем теплогазоснабжения зданий, а также исследования по повышению эффективности методов очистки воздушной среды на промышленных предприятиях позволили обеспечить высокие эксплуатационные параметры качества новых систем в условиях Сибири и получить большую экономию.

Широко известна в стране школа гидротехников НГАСУ, установившая успешное сотрудничество с учеными Института гидродинамики СО РАН. Сложные задачи в области гидродинамики и термики слабопроточных и мелководных водоемов решены доктором технических наук, профессором Г.А. Распопиным, что важно для водохранилищ — охладителей тепловых и атомных электростанций, нижнего бьефа гидроэлектростанций, а также для гидромелиоративных работ. Премией Совета Министров СССР были отмечены исследования и инженерные разработки методов и оборудования для зимней гидромеханизации, теории грунтозаборных устройств (исполнители профессора Ю.А. Попов и Д.В. Рощупкин). Ценные для практики гидротехнического строительства исследования по эффективным методам бетонирования сооружений ГЭС выполнены доктором технических наук, профессором В.И. Зубковым в содружестве с канадскими учеными. Важные и перспективные результаты исследований по судопропускным гидротехническим сооружениям получены в работах докторов технических наук, профессоров В.В. Дегтярева и А.П. Яненко.

Значимы работы ученых Сибстрина в области организации и технологии строительного производства. Из научных разработок этого направления необходимо отметить труды докторов технических наук, профессоров А.С. Арбеньева и В.И. Зубкова, которыми были осуществлены глубокие исследования по теории и практике зимнего бетонирования, в том числе и массивных сооружений. Ими была решена сложная проблема производства бетонных работ в зимний период методом электроразогрева бетонной смеси с обеспечением высокой эффективности технологии, с гарантированным качеством и большим экономическим эффектом. Результаты этих исследований вошли в международный нормативный документ «Рекомендации по бетонированию в холодную погоду».

В 1980-е годы в вузе сформировалось под руководством докторов технических наук, профессоров И.А. Чаплинского и Г.И. Гребенюка направление по теории оптимального проектирования строительных конструкций. На рубеже 1980–1990-х годов установились устойчивые научные связи кафедры строительной механики вуза с ведущими учеными академических институтов СО РАН докторами физико-математических наук Ю.В. Немировским, А.Ф. Никитенко и др. в решении сложных и актуальных задач приложения методов теории пластичности и ползучести к расчету строительных конструкций. Значительные исследования на этой кафедре проводились с применением метода фотоупругости для оценки напряженно-деформированного состояния строительных конструкций под руководством доктора технических наук, профессора Г.И. Албаут.

Следует отметить, что в вузе развиваются научные исследования, относящиеся не только к строительному производству. Сформировалось несколько научных школ в области фундаментальных исследований. К ним, прежде всего, следует отнести школу под руководством заведующего кафедрой теоретической механики, доктора физико-математических наук, профессора В.Я. Рудяка. Результаты многочисленных научных исследований, проводимых на этой кафедре, посвященных изучению свойств дисперсных и многофазных жидкостей, следует рассматривать как существенный вклад в развитие теоретических представлений о гидромеханике гетерогенных сред. В многочисленных публикациях сотрудников этой кафедры, обобщающих результаты научных разработок, рассмотрены новые эффекты и закономерности многофазных систем в различных условиях, которые на основе современных методов были описаны соответствующими моделями.

Большую известность в стране и за рубежом получила школа доктора физико-математических наук, профессора Ю.Е. Воскобойникова. Им разработан теоретический подход к адаптации параметров алгебраических алгоритмов восстановления изображений в условиях существенной априорной неопределенности относительно числовых характеристик погрешностей задания проекционных данных и восстанавливаемого изображения, создан новый класс нелинейных алгоритмов дифференцированного сглаживания контрастных векторных изображений для эффективного решения задач, связанных с анализом метеорологических изображений. Разработанные на основе этого подхода алгоритмы позволяют успешно обрабатывать метеорологическую информацию и изображения со спутников, искаженные шумами «сложной» статистической природы.

Существенные научные исследования проводились в вузе и кафедрами экономического направления. Прежде всего, необходимо отметить научные разработки докторов экономических наук, профессоров В.З. Баликоева и Р.А. Гусейнова. Их исследования посвящены вопросам общей экономической теории и истории мировой экономики. Среди многочисленных публикаций ученых вуза в области экономики два учебника получили всероссийское признание: В.З. Баликоева «Общая экономическая теория», Р.А. Гусейнова «История экономики России». Эти учебники выдержали несколько изданий, а В.З. Баликов был удостоен премии Президента Российской Федерации.

Сфера научных интересов доктора исторических наук, профессора Ю.И. Казанцева сосредоточена на вопросах истории развития Сибири, возникновения и становления мощных промышленных предприятий этого региона, а также истории России в целом. Благодаря целенаправленной работе сотрудников кафедры истории отечества, на основе современных представлений об истории России, ими была выпущена «История России» (Москва, 2000 г.), рекомендованная

Министерством образования в качестве учебника для всех неисторических вузов страны.

В НГАСУ успешно работала школа философов, которую возглавляли О.С. Соина и В.Ш. Сабилов. Доктор философии, профессор О.С. Соина опубликовала цикл научных статей по проблемам философии морали и русской философии. Доктор философии, профессор В.Ш. Сабилов в издательстве Санкт-Петербургского университета издал монографию «Русская идея спасения. (Жизнь и смерть в русской философии)», вошедшую в государственные научно-исследовательские программы «Народы России: возрождение и развитие» и «Русская философская мысль как основа возрождения российской нравственности».

За последние 10 лет в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин) созданы новые лаборатории и научно-исследовательские центры, осуществляющие работы практически по всем направлениям строительства, жилищно-коммунального хозяйства, обследования зданий и сооружений и т.д. Укрепляются связи с институтами СО РАН, в некоторых из них созданы филиалы кафедр университета. Для проведения научно-исследовательских, хозяйственных работ и лабораторных исследований в университете существует 17 лабораторий, в которых находится 1120 единиц оборудования. Из этого числа наиболее успешны научно-исследовательская лаборатория «Реконструкция зданий и сооружений» (руководитель В.А. Беккер) и научно-исследовательская лаборатория «Усиления оснований и фундаментов» (руководитель А.В. Лубягин).

Сегодня НГАСУ — один из ведущих и динамично развивающихся учебно-научных центров в строительной отрасли. Научные исследования осуществляются по 10 основным направлениям, которые охватывают 7 отраслей наук. Работа проводится в соответствии со сводным тематическим планом НИР на каждый год, который включает более 100 тем.

В университете работают более 80 докторов наук, профессоров. В аспирантуре обучается значительное число аспирантов и соискателей степени кандидата наук по 29 специальностям, а также докторанты и соискатели степени доктора наук. Несмотря на трудности переаттестации диссертационных советов 2007–2008 гг., в вузе до 2012 г. работало три диссертационных совета по 9 научным специальностям по защитами кандидатских и докторских диссертаций.

Издаваемый университетом с 1958 г. журнал «Известия вузов. Строительство» является одним из лидеров в национальном рейтинге изданий по профилю строительства и архитектуры. Издателем, редакцией и редколлегией ведется работа по подготовке журнала к включению в международные аналитические информационные базы научного цитирования.

Регулярно осуществляется выпуск «Трудов НГАСУ (Сибстрин)», где публикуются статьи аспирантов и молодых ученых нашего университета и других вузов России и Казахстана. Ежегодно выходит в свет более 15 монографий.

Многие научные разработки университета представлялись на международных выставках и ярмарках, где получили высокую оценку и награждены медалями и дипломами. За последние годы отдельные разработки ученых университета были отмечены золотыми медалями. Продолжают укрепляться международные связи. В вузе открыто представительство международного института инженеров-строителей (ICE). За успехи в научно-производственной деятельности в начале 2000-х годов НГАСУ (Сибстрин) награжден «Американским золотым сертификатом международного престижа» и золотой медалью Французской ассоциации содействия промышленности.

В 2012 г. в составе управления по научно-исследовательским работам создан проектный институт Сибстринпроект, задачей которого является объединение усилий подразделений университета с целью разработки проектной и рабочей документации для внешних заказчиков.

Возобновил деятельность «Инновационно-технологический центр Сибстрин-инновация», созданный при финансовой поддержке областной администрации и эффективно осуществлявший работу с 2003 г. Благодаря его деятельности НГАСУ (Сибстрин) стал узнаваемым брендом на рынке инжиниринговых услуг; постоянным участником различных ярмарок и выставок, где происходит реклама и маркетинг разработок ученых вуза.

Активно ведется работа в центре (НОЦ) компьютерного моделирования «CADFEM-Сибстрин» (руководитель профессор Н.Н. Федорова), созданного на средства субсидии Министерства образования, науки и инновационной политики Новосибирской области, предоставленной НГАСУ (Сибстрин) в 2012 г. Сотрудники НОЦ проводят научно-практические семинары, мастер-классы, участвуют в выставках, конференциях, а также организуют лекции иностранных ученых и инженеров по актуальным вопросам. Так, в 2014 г. в рамках осенней сибирской инновационной школы инженеров «Индустриальная аэродинамика» прочитаны лекции по вопросам промышленной аэродинамики при участии сотрудников академических институтов СО РАН, НГТУ, доктора Уве Гайсбауэра (Штутгартский университет, Германия).

Помимо традиционных, в 2014 г. в НГАСУ (Сибстрин) прошли 3-я всероссийская конференция «Проблемы оптимального проектирования сооружений»; всероссийская научно-практическая конференция «Качество и инновации — основа современных технологий»; всероссийские конференции «Человеческий капитал как фактор инновационного развития России», «Экономические и организационно-управленческие проблемы развития строительного комплекса России». География иногородних участников этих конференций: Усть-Каменогорск, Красноярск, Оренбург, Иркутск, Кемерово, Рубцовск, Иваново, Абакан, Москва, Барнаул, Ханты-Мансийск, Пермь, Чистополь, Норильск, Томск, Тюмень, Кызыл, Улан-Батор.

Активизировал деятельность центр международной деятельности университета. Ведется работа по заключению договоров с зарубежными университетами стран Европы и Азии. Готовятся встречи со студентами, магистрантами и аспирантами для выявления контингента заинтересованных в участии в зарубежных обменных программах, стажировках и обучении, в том числе на базе коммерческого сотрудничества с «Oxford International Study Centre», с целью создания групп слушателей по обучению по индивидуально созданным краткосрочным комплексным программам. Подписано соглашение о сотрудничестве между Государственным инженерным университетом Армении (Политехник) и Институтом гидротехники и водных проблем им. академика И.В. Егиазарова. На основе этого соглашения прошли взаимные обмены учеными наших стран, в частности в рамках промышленной выставки «Развитие инфраструктуры Сибири (IDES 2014)».

В 2014 г. создан системно-аналитический центр «Стройконсалтинг». Основная задача центра состоит в развитии тесных связей образования, науки и производства, включая предприятия-изготовители строительной отрасли и строительномонтажные организации как Новосибирской области, так и Сибирского региона в целом.

Возобновилась работа молодежной творческой мастерской, выполняющей проектные работы, разработку рабочей документации, эскизных проектов комплексов жилых массивов, архитектурных макетов на основе использования

3D принтера. В августе 2014 г. молодые ученые вуза приняли участие в юбилейном всероссийском образовательном форуме «Селигер — территория смыслов».

Весной 2014 г. ученым советом вуза была принята «Комплексная программа развития университета», в которой на основе проведенного анализа предусмотрено существенное развитие деятельности подразделений университета по всем направлениям, особенно в области научных исследований.

Невозможно в одной статье полностью раскрыть весь научный потенциал вуза, те исследования, которые непрерывно идут в его многочисленных лабораториях. Для научных работников университета характерна практическая направленность решения многочисленных проблем, возникающих в процессе проектирования, возведения и эксплуатации различных строительных объектов.

Руководство вуза и весь его коллектив настроены на то, чтобы научные исследования в университете всегда находились на высоком уровне, так как в этом залог успеха и процветания строительной отрасли, которые, безусловно, будут способствовать процветанию всей нашей страны в целом.

*СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН  
ДЕГТЯРЕВ Владимир Владимирович, д-р техн. наук, проф.  
ЛИНОВСКИЙ Станислав Викторович, канд. техн. наук, проф.  
ЯНЕНКО Аркадий Петрович, д-р техн. наук, проф.*

## **DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC ACTIVITY IN NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING (Sibstrin)**

**Skolubovich Yuriy Leonidovich**, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of RAACS, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Degtyarev Vladimir Vladimirovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Linovsky Stanislav Viktorovich**, candidate of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Yanenko Arkadiy Petrovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.012

В.М. МИТАСОВ

### НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сделан анализ развития методов расчета железобетонных конструкций в России и за рубежом, отмечены достоинства и недостатки существующих методов, предложен новый метод сквозного расчета железобетонных конструкций, построенный на основе энергетического подхода. Надежность расчета железобетонных конструкций предлагается оценивать с использованием алгебры нечетких множеств.

Ключевые слова: методы расчета, разрушающие усилия, предельные состояния, диаграммно-энергетический метод, уравнение энергетического баланса, функции принадлежности, надежность, долговечность.

Ученым России принадлежит приоритет в разработке методов расчета железобетонных конструкций по разрушающим усилиям и по предельным состояниям, заменивших классический метод расчета по допускаемым напряжениям. Первые нормы расчета по разрушающим усилиям появились в нашей стране в 1938 г., а в 1955 г. вышли СНиП, в основу которых был положен метод расчета по предельным состояниям. Европейский комитет по бетону первый документ, в основу которого положен метод расчета по разрушающим усилиям, выпустил в 1964 г., а в 1978 г. появился кодекс-образец, базирующийся на предельных состояниях. На рис. 1 показано развитие методов расчета железобетонных конструкций [1].

Таким образом, на данном этапе развития в большинстве нормативных документов различных стран, в том числе и Еврокодах, за основу принят метод расчета по предельным состояниям. При ряде преимуществ данного метода он не свободен от недостатков. Главный из них — это различные исходные предпосылки для первой и второй групп предельных состояний. Так для первой группы предельных состояний в основу положен метод предельного равновесия, а надежность и долговечность конструкции обеспечивается полувероятностным подходом. Декларируется, что расчет ведется по третьей стадии, стадии разрушения. Однако значения сопротивления материалов, принимаемые в расчете, не являются предельными, а имеют высокий уровень обеспеченности (0,95 для нормативных характеристик материалов и 0,997 — для расчетных), при этом кинематическая гипотеза отсутствует.

Для расчета по второй группе предельных состояний (перемещения, углы поворота, трещиностойкость) принята гипотеза плоских сечений. Перед образованием трещин напряжения в растянутом бетоне принимаются равными расчетному сопротивлению растяжению по второй группе предельных состояний, т.е.  $R_{bt,ser} = R_{btn} = R_{bt}^{95}$ . При расчете по образованию трещин действуют принцип суперпозиции — принцип независимости действия сил, а также гипотеза плоских сечений.

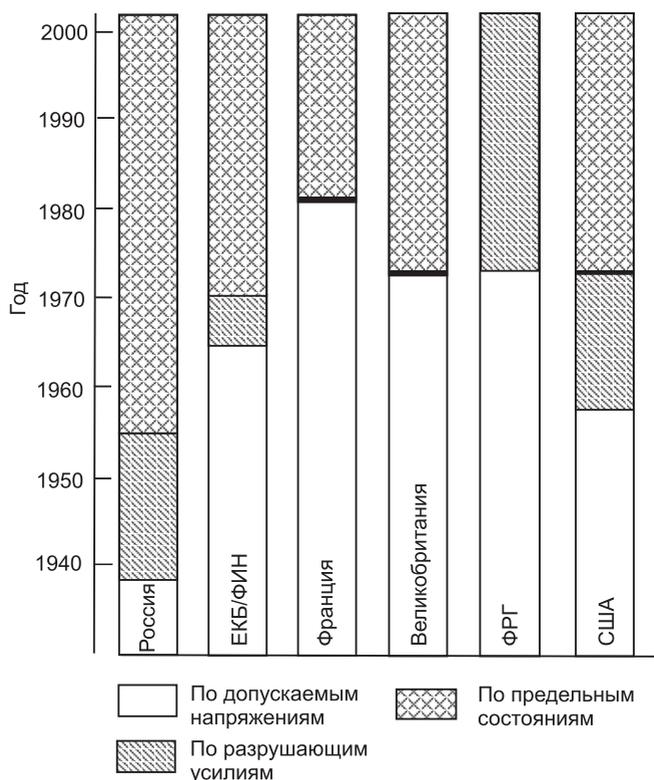


Рис. 1. Развитие методов расчета железобетонных конструкций

Железобетонные конструкции могут эксплуатироваться с видимыми невооруженным глазом трещинами в растянутой зоне с ограничением по ширине раскрытия. Расчет по образованию трещин ведется по стадии I НДС; расчет по раскрытию трещин — по стадии II НДС. До образования трещин выполняется условие совместной деформации арматуры и растянутого бетона.

Всего использовано четыре группы коэффициентов надежности.

**Первая группа** — ответственность зданий и сооружений.

Коэффициент надежности принимается не ниже:

1,1 — в отношении зданий и сооружений повышенного уровня ответственности;

1,0 — зданий и сооружений нормального уровня ответственности;

0,8 — зданий и сооружений пониженного уровня ответственности.

**Вторая группа** — нагрузки и воздействия (рис. 2).

Постоянные нагрузки — это вес несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, вес и давление грунтов, воздействие предварительного напряжения железобетонных конструкций.

Длительнодействующие нагрузки — это вес стационарного оборудования на перекрытиях; давление газов, жидкостей в емкостях; установленная норма часть временной нагрузки в жилых домах, в служебных и бытовых помещениях; нагрузки от подвесных кранов; снеговая нагрузка и т.д. Последние две составляют часть полного их значения и вводятся в расчет при учете длительности действия нагрузок этих видов на перемещения, деформации и образование трещин.

Кратковременные нагрузки — это вес людей, деталей, материалов; часть нагрузки на перекрытия жилых и общественных зданий; нагрузки

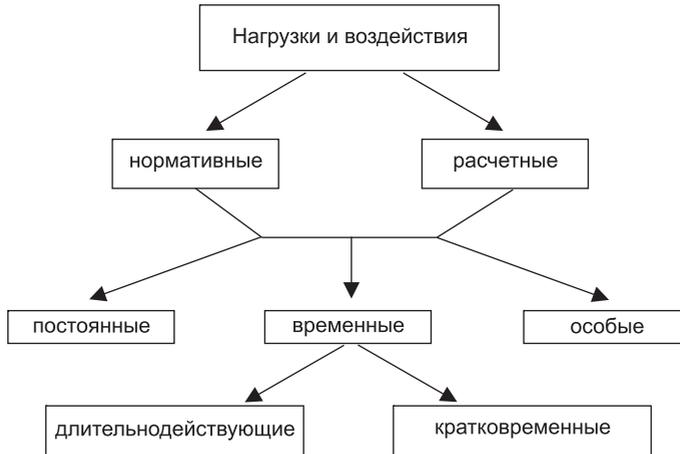


Рис. 2. Классификация нагрузок и воздействий

при изготовлении, перевозке и монтаже конструкций; снеговые и ветровые, а также нагрузки от температурно-климатических воздействий.

Особые нагрузки — это сейсмические и взрывные воздействия; воздействия неравномерных деформаций основания, ведущие к изменению структуры грунта.

Нормативные нагрузки  $q_n$  устанавливаются нормами по заранее заданной вероятности превышения средних значений или по номинальным значениям, т.е.  $q_n \approx 0,95$ . Нормативные постоянные нагрузки принимают по проектным значениям геометрических и конструктивных параметров и по средним значениям плотности. Нормативные временные технологические и монтажные нагрузки устанавливают по наибольшим значениям, предусмотренным для нормальной эксплуатации.

Снеговые и ветровые нагрузки вычисляют по средним из ежегодных неблагоприятных значений или по неблагоприятным значениям, соответствующим определенному среднему периоду их повторений.

Расчетные нагрузки  $q$  получают умножением нормативной нагрузки на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f > 1$ , значение которого варьируется от 1,1 до 1,6, т.е.  $q = q_n \gamma_f$ ,  $q \approx 0,997$ . При расчете предельных состояний данный коэффициент принимается  $\gamma_f = 1$ .

**Третья группа** — сопротивление материалов.

Значения сопротивлений представлены двумя основными величинами — нормативным сопротивлением с обеспеченностью не ниже 0,95 (рис. 3) и расчетным — с обеспеченностью не ниже 0,997. Аналогичный подход принят и для арматуры.

**Четвертая группа** — коэффициенты условий работы.

Коэффициенты учитывают особенности деформирования бетона, арматуры, все стадии, которые проходит конструкция от момента изготовления до конечной стадии эксплуатации, климатические условия, а также неучтенные в расчетных формулах параметры.

Более соответствует принятым гипотезам метод расчета по разрушающим усилиям, который, основываясь на третьей стадии напряженно-деформированного состояния, определяет момент (усилие) разрушения. В стадии эксплуатации этот момент уменьшается на коэффициент запаса, метод определения которого был заложен в нормативных документах. Для изгибаемых и внецентренно-сжатых элементов (случай больших экс-

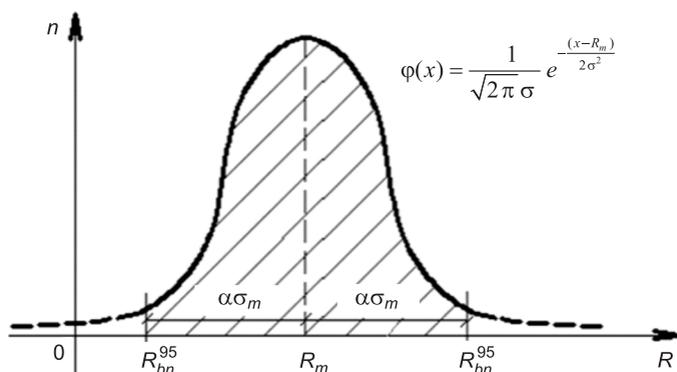


Рис. 3. Распределение плотности вероятности сопротивления бетона  
 $R_m$  — среднее значение;  $R_{bn}^{95}$  — сопротивление с обеспеченностью 0,95

центриситетов) прочность сжатой зоны имела свою характеристику  $R_{и}$ , отличающуюся от прочности бетона на сжатие  $R_b$ , однако в этом методе вторая группа предельных состояний отсутствовала.

Хотя общая идеология подхода к полувероятностным моделям расчета в российских и зарубежных нормах сохраняется (рис. 4), определенные отличия, безусловно, имеются (рис. 5).

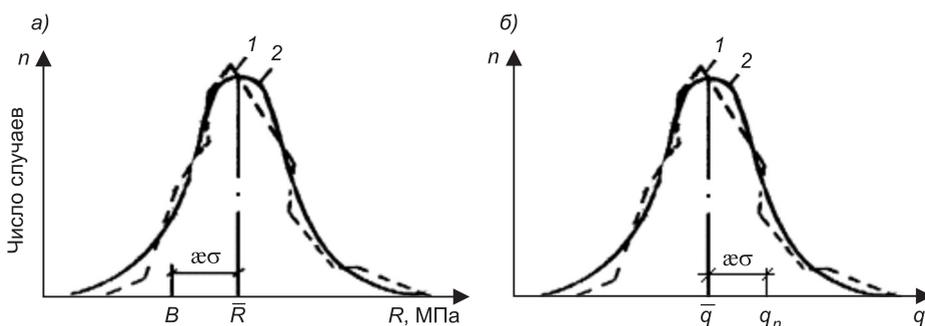


Рис. 4. Распределение плотности вероятности материала (а) и нагрузки (б)

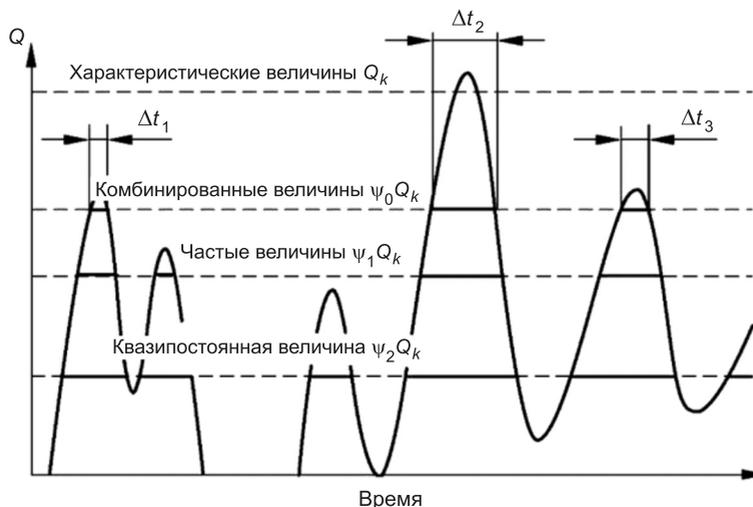


Рис. 5. Распределение репрезентативных значений во времени

В Еврокодах введено понятие репрезентативного значения воздействия как промежуточного между нормативным и расчетным [2]. Благодаря такой дифференциации, декларируется более высокая надежность Еврокодов по отношению к российским нормам. На самом деле, судя по результатам сравнительных расчетов, приведенных в таблице, это не повышение надежности, а повышение материалоемкости.

Все рассмотренные выше неточности и недостатки как в российских, так и зарубежных нормах могут быть в значительной степени сняты предлагаемым новым, диаграммно-энергетическим методом расчета. Решение систем уравнений, построенных по этому методу, позволяет одновременно получить результаты по прочности, жесткости и трещиностойкости, т.е. реализуется сквозной метод расчета железобетонных конструкций [3, 4].

В последнее время расчет железобетона в России и зарубежных странах начал различаться более существенно. За рубежом все активнее применяются программные комплексы, основанные на численном моделировании деформирования зданий и сооружений под нагрузкой, упрощаются методы расчета, а также в угоду технологии возведения вводятся ограничения, не предусмотренные в наших нормах.

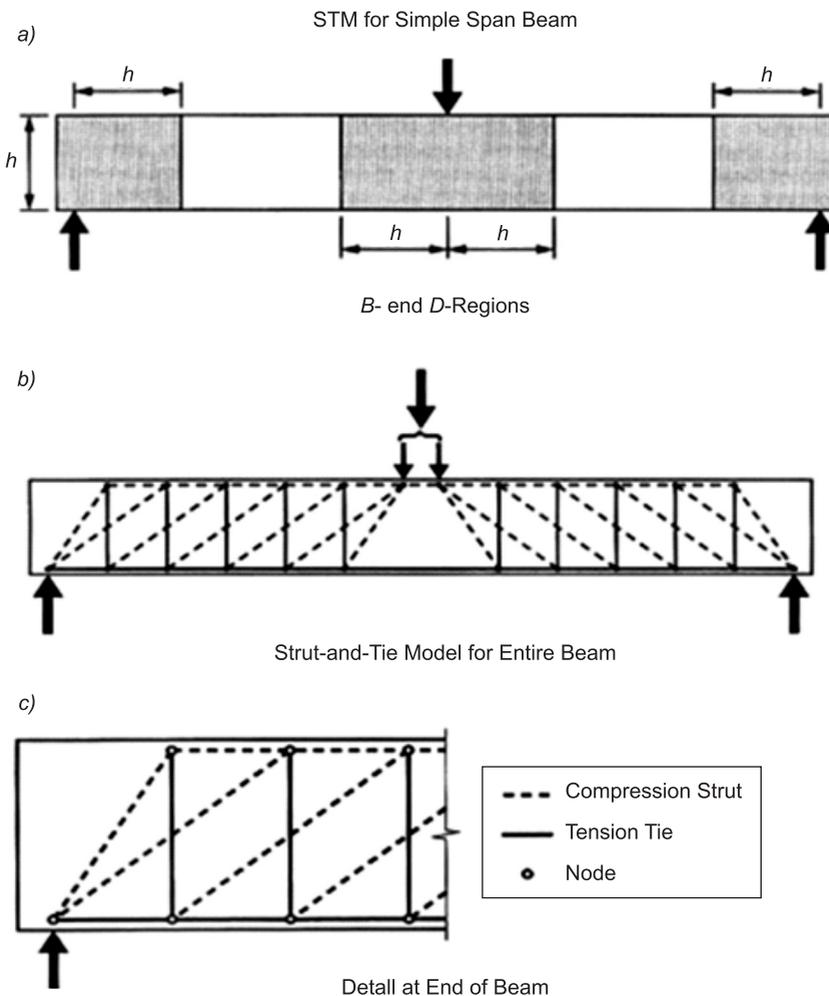


Рис. 6. Стержневая модель расчета железобетонной балки



Рис. 7. Коэффициенты надежности, используемые в Еврокодах

Так, сложная нелинейная система, представляющая собой разномодульный материал, дискретно армированный, с дискретно и стохастически образующимися трещинами, в Еврокоде заменен условно-стержневой системой (рис. 6), погрешность расчета которой страхуется дополнительными коэффициентами надежности (рис. 7).

Авторы книги, посвященной сравнительному анализу результатов расчета конструкций по нормам различных стран [1], выполнили сопоставительный расчет железобетонной балки и получили результаты, приведенные в таблице.

Из таблицы видно, что во всех случаях величина расхода арматурной стали, вычисленная по расчету по зарубежным нормам, значительно превосходит результаты расчета по российским. Следует также отметить, что по результатам расчета балки методами, принятыми в зарубежных нормах, требуется арматура в сжатой зоне, чего по идеологии деформирования изгибаемых железобетонных элементов быть не должно, ибо расчет следует проводить по первому случаю разрушения (пластическому), т.е. при относительной высоте сжатой зоны менее или равной граничной,  $\xi \leq \xi_R$ , при которой полностью используются механические свойства арматурной стали.

Основные гипотезы диаграммно-энергетического метода:

1. До образования первых трещин сечения при деформировании остаются плоскими (гипотеза Бернулли).

#### Сравнение результатов расчета железобетонной балки по нормам разных стран

Характеристика	Значение по нормам				
	СНиП-84	ВАЕЛ-91	СР 110	ДИН-1045	АСИ 318-83
Нормативные нагрузки $g_n + v_n$ , кН/м	50,60	50,60	50,60	50,60	50,60
Нормативные нагрузки $g_n + v_n$ , кН/м	59,40	71,90	75,64	50,60	77,48
Изгибающий момент от расчетных нагрузок $M$ , кНм	267,30	323,55	340,38	227,70	351,18
Требуемая площадь сжатой арматуры $A'_s$ , мм <sup>2</sup>	0	121	639	90	179,2
Требуемая площадь растянутой арматуры $A_s$ , мм <sup>2</sup>	1610	2275	2302	2130	2159,2
Требуемая суммарная площадь арматуры $A_s + A'_s$ , мм <sup>2</sup>	1610	2396	2941	2220	2338,4
Соотношение требуемой арматуры, %	100	148,8	182,7	137,9	145,2

2. Гипотеза Бернулли принимается и для нетреснувшей части сечения вплоть до момента достижения наибольших деформаций на фибровых волокнах. Трактовка границ применимости гипотезы Бернулли не уступает в строгости принятой в п. 1.

3. После образования трещины по высоте ее распространения деформация арматуры кинематически не связывается с деформацией бетона. Такая постановка позволяет при определении напряжений в арматуре учитывать геометрическую нелинейность деформирования сечения.

4. Работа внешних и внутренних сил при переходе системы из одного нагруженного состояния в другое зависит исключительно от этих двух состояний. Корни его уходят в закон сохранения энергии.

5. Для учета физической нелинейности связь напряжений и деформаций бетона и арматуры оценивается в соответствии с реальными диаграммами работы (деформирования) материалов.

6. При появлении трещины обратимая часть энергии треснувшей части растянутого бетона перераспределяется на арматуру. Образование трещин при загрузении кратковременной нагрузкой можно считать мгновенным.

Для практики проектирования и эксплуатации железобетона необходимо решить задачи по определению: момента образования трещин; величины трещин после их появления и роста при увеличении нагрузки; перемещения конструкции; несущей способности.

В трактовке В.И. Мурашева [5] при двузначной эпюре напряжений железобетонное сечение с возрастанием внутренних усилий от нуля до предельных значений проходит пять стадий напряженного состояния. В энергетической постановке введем дополнительную шестую — стадию 1б. На этой стадии рассматривается условное состояние железобетонного сечения, соответствующее нагрузке, при которой образовались трещины, иллюстрируется процесс образования, развития и стабилизации трещины. В отличие от широко принятого подхода к описанию напряженного состояния в окрестности трещины, рассмотрим изменение напряженно-деформированного состояния арматуры, которая выполняет роль тормозного элемента в трещине.

До образования трещины в арматуре накоплена потенциальная энергия  $W_s$ , соответствующая уровню внешнего нагружения:

$$W_s = \sum_j A_{sj} \int_0^1 \int_0^{\varepsilon_{sj}} \sigma_{sj}(z, \varepsilon) d\varepsilon dz, \quad (1)$$

при которой средняя плотность растянутого бетона должна быть равна удельной энергии разрушения центрально-растянутого бетона  $W_u^{bt}$ . Здесь  $\Delta \varepsilon_s^{st}$  — приращение деформаций в арматуре после перераспределения энергии растянутого бетона  $\Delta W_{cr}^{bt}$  на арматуру.

Внезапный характер появления трещины сопровождается мгновенным изменением напряженного состояния сечения, которое носит динамический характер. В работе [6] упоминается о таком эффекте, полученном экспериментально. В настоящее время этот тезис подтвержден и в работах зарубежных исследователей [7, 8]. Так как длина железобетонного элемента не изменяется (все перераспределения происходят в окрестностях одного сечения), определим напряжения в арматуре при наибольшем раскрытии только что образовавшейся трещины — динамическое значение  $\sigma_s^d$  из условия равенства приращения потенциальной энергии деформирования и

работы напряжений  $\sigma_s^{st}$  на полном приращении деформаций  $\sigma_s^d - \varepsilon_s^{st}$  (рис. 8):

$$\int_{\varepsilon_s^*}^{\varepsilon_s^d} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon = \sigma_s^{st} [\varepsilon_s^d - \varepsilon_s^*], \quad (2)$$

где  $\sigma_s^*$ ,  $\varepsilon_s^*$ ,  $\sigma_s^{st}$ ,  $\sigma_s^d$ ,  $\varepsilon_s^{st}$ ,  $\varepsilon_s^d$  — напряжения и деформации в арматуре соответственно перед образованием трещины, после перераспределения энергии растянутого бетона — «статические» напряжения и в момент максимального (неустойчивого) раскрытия трещины — «динамические» напряжения.

Составляя две системы уравнений: первая система — в момент образования трещины, когда напряжения в арматуре становятся максимальными  $\sigma_s^d$ ; вторая система — когда колебания заканчиваются и напряжения в арматуре стабилизируются  $\sigma_s^{stab}$ . Основное отличие в составе систем этих уравнений: уравнение равновесия, которое не выполняется в момент образования трещин (динамический процесс), заменено уравнением энергетического баланса:

$$W_{bt} + W_b + \delta A_k = W_{bt}^d + W_b^d + \Delta W_s^d + \Delta W_T, \quad (3)$$

$$\delta A_k = b \int_0^L P(z) \delta u(z) dz,$$

где  $\delta A$  — дополнительная работа внешних сил;  
 $W_b, W_{bt}, W_b^d, W_{bt}^d$  — работа сжатого и растянутого бетона до образования трещины и в динамическом состоянии;  
 $\Delta W_s^d$  — дополнительная работа внутренних сил;  
 $P(z)$  — эквивалентная нагрузка, вызывающая изгиб элемента;  
 $\Delta W_T$  — плотность рассеянной энергии в разрушенной части сечения;  
 $\delta u(z) = u^d(z) - u^*(z)$  — функция перемещения (прогиба) элемента соответственно до и после образования трещин.

В результате решения полученных систем уравнений определяются все необходимые параметры напряженно-деформированного состояния опасных сечений, а также перемещения, момент образования и раскрытия трещин на любой стадии нагружения — от начала до разрушения.

Для оценки надежности и долговечности используем алгебру нечетких множеств [9, 10]. В зависимости от случайных параметров нагрузки, сопротивления материалов, геометрических характеристик и пр. может быть построена подходящая модель плотности распределения вероятности. В качестве примера воспользуемся законом нормального распределения и графиком функции принадлежности (рис. 9).

В итоге определим надежность как вероятность того, что действующая нагрузка не превышает несущую способность конструкции (здания, сооружения) с принятой степенью обеспеченности (0,95 или 0,997).

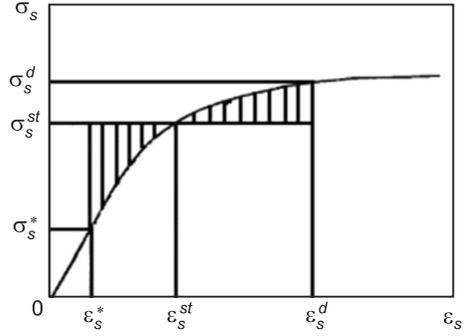


Рис. 8. Условная схема определения максимальных напряжений в арматуре в момент образования трещин

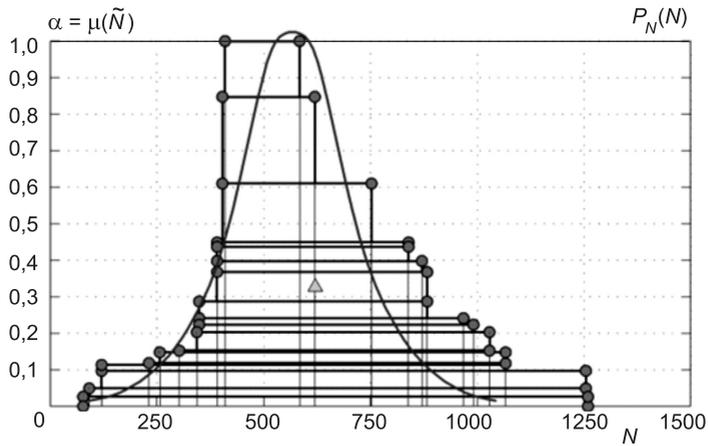


Рис. 9. Функция принадлежности

**Выводы.** 1. Предлагаемый метод позволяет проводить сквозной расчет по прочности, жесткости, трещиностойкости, решая одну систему уравнений.

2. При таком подходе нет необходимости рассматривать две группы предельных состояний.

3. Назначение эмпирических коэффициентов  $\psi_s$  и  $\psi_b$  заменяется строгим математическим решением задачи о трещине.

4. Полученные значения надежности принимаемых решений соответствуют исходным предпосылкам, в отличие от косвенных оценок существующего метода расчета по предельным состояниям [11].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колмогоров, А.Г. Расчет железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам [Текст] / А.Г. Колмогоров, В.С. Плевков. — Томск : Печат. мануфактура, 2009. — 496 с.
2. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1: Воздействия на сооружения. Стандарты EN 1991-1-1 и 1-3-1-7 [Текст] / Х. Гульванесян, П. Формичи, Ж.-А. Калгаро при участии Джеоффа Хардинга. — М. : МГСУ, 2011. — 340 с.
3. Митасов, В.М. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адишев // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 5. — С. 3–9.
4. Митасов, В.М. Основные положения теории сопротивления железобетона (энергетический вариант) [Текст] / В.М. Митасов. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. — 168 с.
5. Мурашев, В.И. Трещиностойчивость, жесткость и прочность железобетона [Текст] / В.И. Мурашев. — М. : Машстройиздат, 1950. — 258 с.
6. Карабаш, В.Г. Экспериментально-теоретическое исследование работы арматуры изгибаемых железобетонных элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / В.Г. Карабаш. — М., 1953. — 17 с.
7. Marder, M. Shock-wave theory for rupture of Rubber [Текст] / M. Marder // Physical Review Letters. — 2005. — Vol. 94. — Ser. 048001.
8. Guodzen, T.M. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture [Текст] / T.M. Guodzen, E.A. Jagla // Physical Review Letters. — 2005. — Vol. 95. — Ser. 224302.
9. Адишев, В.В. Метод построения функции принадлежности с «прямой» обработкой исходных данных [Текст] / В.В. Адишев, Д.С. Шмаков // Труды НГАСУ. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. — Т. 16, № 2(56). — С. 45–67.

10. М и т а с о в, В.М. Оценка надежности типовой конструкции платформенного стыка на основе результатов натурных обследований [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адисhev, В.Г. Себешев, А.Н. Нарушевич, Д.С. Шмаков // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 9–10. — С. 5–12.
11. М и т а с о в, В.М. К вопросу определения нормативных сопротивлений арматуры в изгибаемых железобетонных элементах [Текст] / В.М. Митасов, П.П. Бехтин // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1984. — № 11. — С. 10–12.

*МИТАСОВ Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 16.03.15

**Mitasov Valeriy Mikhailovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **NEW APPROACHES OF THE CALCULATION REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

The paper analyses the development of reinforced concrete calculation methods in Russia and abroad, the advantages and disadvantages of existing methods. The author suggests a new method of reinforced concrete crosscutting calculation that is based on energy approach. Reliability of reinforced concrete structures is proposed to evaluate using the algebra of indistinct sets.

**Key words:** calculation methods, breaking stresses, ultimate limit state, diagramme-energy method, the energy balance equation, membership functions, reliability, durability.

### REFERENCES

1. Kolmogorov, A.G. Calculation of reinforced concrete structures by Russian and foreign standards [Text] / A.G. Kolmogorov, V.S. Plevkov. — Tomsk : Printing factory, 2009. — 496 p.
2. Designer's guide to Eurocode 1: actions on buildings. EN 1991-1-1 and 1-3-1-7 [Text] / H. Gulvanessian, P. Formichi and J.-A. Calgaro with contributions from Geoff Harding. — M. : MGSU, 2011. — 340 p.
3. M i t a s o v, V.M. Main preconditions of creating energy theory of reinforced concrete strength [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 5. — P. 3–9.
4. M i t a s o v, V.M. Main regulations of reinforced concrete strength theory (energy option) [Text] / V.M. Mitasov. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2010. — 168 p.
5. M u r a s h e v, V.I. Crack-resistance, rigidity and strength of reinforced concrete [Text] / V.I. Murashev. — M. : Mashstroyizdat, 1950. — 258 p.
6. K a r a b a s h, V.G. Experimental and theoretical study of reinforcement work of flexible reinforced elements: Synopsis of a thesis [Text] / V.G. Karabash. — M., 1953. — 17 p.
7. M a r d e r, M. Shock-wave theory for rupture of Rubber [Text] / M. Marder // Physical Review Letters. — 2005. — Vol. 94. — Ser. 048001.
8. G u o d z e n, T.M. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture [Text] / T.M. Guodzen, E.A. Jagla // Physical Review Letters. — 2005. — Vol. 95. — Ser. 224302.
9. A d i s h c h e v, V.V. A method for constructing membership functions with the direct treatment of raw data [Text] / V.V. Adishchev, D.S. Shmakov // Proceedings NSUACE. — Novosibirsk, 2013. — Vol. 16, N 2(56). — P. 45–67.
10. M i t a s o v, V.M. Reliability evaluation of platform joint's type construction based on full-scale survey results [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev, V.G. Sebeshev, A.N. Narushevich, D.S. Shmakov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2014. — N 9–10. — P. 5–12.
11. M i t a s o v, V.M. On the determination of bending reinforced concrete elements valves regulatory resistance [Text] / V.M. Mitasov, P.P. Behtin // News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture. — 1984. — N 11. — P. 10–12.

## ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.074.3.011.1

И.С. ИНЖУТОВ, Д.А. ЛОКТЕВ, А.Ф. РОЖКОВ

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННОГО СЕТЧАТОГО СВОДА С ОРТОГОНАЛЬНОЙ СЕТКОЙ

Дана оценка влияния податливости узловых соединений деревянного сетчатого свода с ортогональной сеткой. Предложен метод численного исследования конструкции фрагмента свода в двух постановках: с учетом и без учета контактного взаимодействия элементов узловых соединений.

Ключевые слова: деревянный, сетчатый свод, ортогональная сетка, податливость, узловые соединения, контактное взаимодействие.

При расчете конструкций обычно оперируют идеализированными расчетными схемами, в которых соединения конструктивных элементов принимаются либо абсолютно жесткими, либо шарнирными. В действительности, соединения в конструкциях из дерева (кроме клеевых) являются упругоподатливыми и не всегда могут быть аппроксимированы идеальными [1].

Предложенные [2] конструктивные решения узловых соединений деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой с точки зрения их расчета обладают геометрическими (наличие монтажных пазов, отверстий, скошенные торцы деревянных элементов) и техническими (все тела в узле контактируют между собой только через контактное взаимодействие) особенностями, которые требуют их обязательного учета на проектной стадии.

В исследовании предложен метод численного эксперимента узловых соединений с использованием программного комплекса SolidWorks Simulation, который позволяет учесть все геометрические характеристики путем твердотельного моделирования, а также все возможные контактирующие между собой поверхности через предусмотренные для этого программные инструменты.

Достаточно сложным препятствием для оценки действительного напряженно-деформированного состояния (НДС) узловых соединений (особенно жестких) в строительных конструкциях является возможность задания им действительных граничных условий при их отдельном исследовании вне конструкции [3–5]. По этой причине в данном исследовании сами узловые соединения предложено проанализировать в составе фрагмента свода, включающего в себя три арки (рис. 1).

Применение фрагмента таких размеров сочетает в себе несколько преимуществ:

— все узловые соединения работают с фактическими граничными условиями, следовательно, их НДС достоверно;

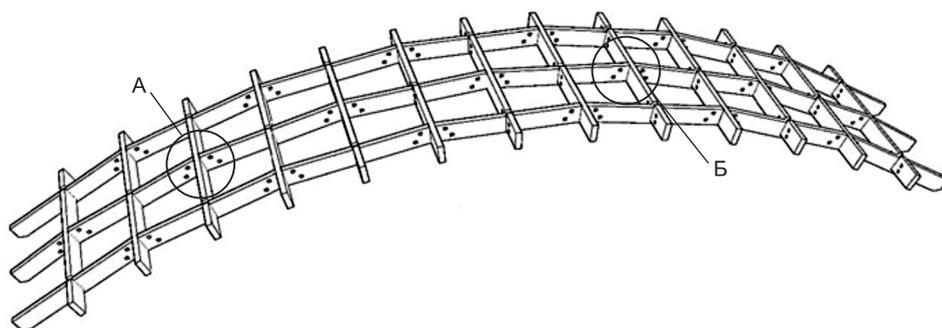


Рис. 1. Фрагмент свода с выделенными для исследования узловыми соединениями

— оценка прочностных и деформативных свойств всего покрытия осуществляется на основании работы его фрагмента;

— знание действительного НДС наиболее нагруженного узлового соединения позволяет создавать корректные расчетные модели для последующего расчета и анализа отдельных узловых соединений.

В качестве контрольного фрагмента выбран свод марки ДСС.1У (см. рис. 1). Геометрические параметры этого фрагмента следующие: пролет — 12 м, высота подъема — 2 м, размер ячейки (в осях) — 930×930 мм, сечение продольных и поперечных косяков — 70×220 мм. Подробное конструктивное решение узловых соединений фрагмента свода представлено в [2, рис. 4], а также на рис. 2.

Опорные узлы имеют известные конструктивные решения, их моделированием отдельно не занимались и, соответственно, НДС не анализировали.

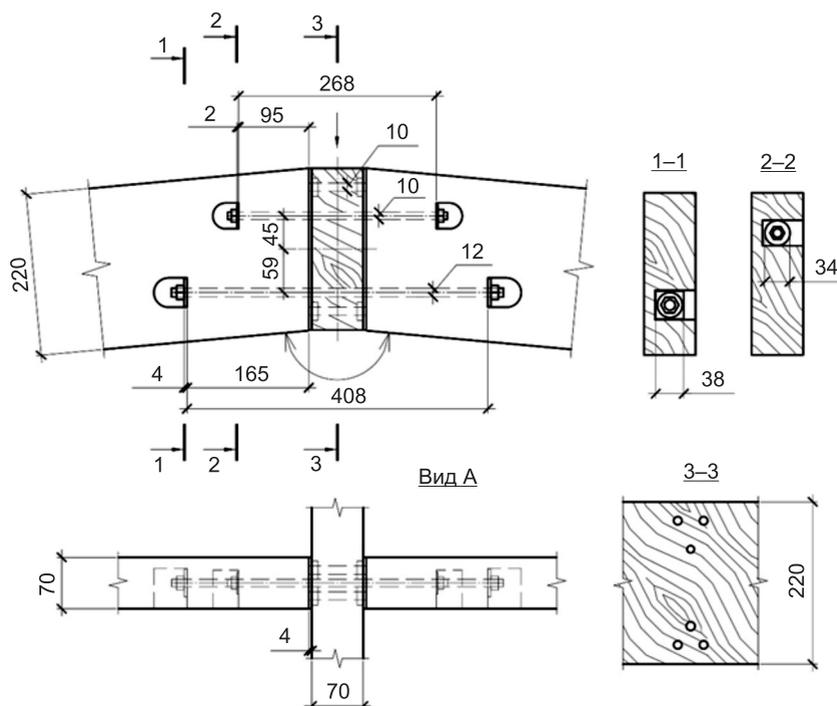


Рис. 2. Геометрические параметры исследуемых узловых соединений фрагмента свода

Принятые для исследования геометрические параметры узлового соединения (см. рис. 2) были получены на основании предварительных расчетов в соответствии с СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции» (актуализированная редакция СНиП II-25–80\*), а также расчетов на ЭВМ с использованием стержневых и оболочечных расчетных схем [6, 7]. В результате были определены диаметр шпилек и отверстий под них, расположение и размер монтажных пазов, размеры шайб.

Заметим, что для выявления прочности и податливости предлагаемого узлового соединения необходимо исследовать как минимум два узла фрагмента, поскольку само конструктивное решение по высоте несимметрично и при растянутой или сжатой верхней или нижней части сечения оно будет работать по-разному. На рис. 1 показаны наиболее нагруженные контрольные узловые соединения.

Все элементы фрагмента свода в ПК SolidWorks создавали при помощи твердотельной технологии построения геометрических моделей. Для каждого элемента изначально делали 2D-эскиз, который с применением встроенных графических инструментов программы преобразовывали в трехмерное тело с требуемыми геометрическими характеристиками и выполняли трехмерную сборку элементов фрагмента с сопряжениями, полностью соответствующими фактическим.

После трехмерной сборки фрагмента свода для каждого ее элемента назначали физические и механические характеристики материалов.

Для стали согласно СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» (актуализированная редакция СНиП II-23–81\*) принимали:

- модуль упругости  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа;
- коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ ;
- модуль сдвига  $G = 0,79 \cdot 10^5$  МПа.

Древесину моделировали как анизотропный материал с прочностными характеристиками согласно СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции»:

- влажность  $W$  древесины 10 %;
- модуль упругости древесины при сжатии вдоль волокон  $E_0 = 10000$  МПа;
- модуль упругости древесины при сжатии поперек волокон  $E_{90} = 400$  МПа;
- модуль сдвига древесины относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон  $G = 500$  МПа<sup>1</sup>;
- предел прочности при сжатии  $\sigma_{10} = 42,5$  МПа [8];
- коэффициент Пуассона древесины поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, принимали равным  $\mu_{90,0} = 0,45$ , а вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон,  $\mu_{0,90} = 0,018$ .

Для закрепления исследуемого фрагмента в рабочем пространстве использовали тип крепления — зафиксированный шарнир в опорных узлах. В условиях взаимодействия поверхностей деталей учитывался эффект трения. Коэффициент трения между поверхностями из древесины принимали 0,65, между древесиной и металлом — 0,4, между поверхностями из металла — 0,05 [9]. Всего учтенных контактных поверхностей в исследуемом фрагменте свода 1122, при 656 металлических и 55 деревянных отдельно смоделированных элементов.

<sup>1</sup> ГОСТ 16483.30–73. Древесина. Метод определения модуля сдвига. Введ. 1975–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с.

Построение сетки применительно к данной задаче производили автоматически после назначения типа контактных граничных условий. Для корректного сравнения численных результатов с физическим экспериментом в древесине средний глобальный размер конечного элемента принимали 20 мм, равный длине тензорезистора.

В соответствии с рекомендациями [10] в связи с наличием многозоновых контактных задач использовали решающую программу Directsparse. В связи с тем, что все реальные конструкции ведут себя нелинейно одним или другим образом при некоторых уровнях нагрузки, в расчетах учитывали нелинейность. Нелинейность может быть вызвана поведением материала, большими перемещениями и условиями контакта [10]. В данных исследованиях учтена геометрическая нелинейность.

Фрагмент свода загружали несимметричной снеговой нагрузкой для зданий со сводчатыми или близкими к ним по очертанию нагрузками для 4-го снегового района по СП 20.13330.2011. «Нагрузки и воздействия» (актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85\*), нагрузкой от покрытия (2,4 кПа) и собственным весом (задавался автоматически программой). Ветровое воздействие при заданных геометрических характеристиках фрагмента свода в соответствии с СП 20.13330.2011 оказывает разгружающий эффект, поэтому его в расчетах не учитывали.

Для оценки влияния податливости узловых соединений исследуемый фрагмент свода был решен в двух постановках:

1. Без учета контактного взаимодействия поверхностей элементов, т.е. сетка КЭ не имела разрывов, все элементы «склеены» между собой (расчетная модель 1);

2. С учетом контактного взаимодействия элементов (расчетная модель 2).

Для 1-й и 2-й расчетной модели оценивали максимальные значения напряжений и деформаций в узловых соединениях, напряжений в поперечных элементах фрагмента и перемещения его узлов.

Изополя максимальных нормальных напряжений в наиболее нагруженных узлах А и Б фрагмента свода представлены на рис. 3. Сечения для построения эпюр выбраны так, чтобы показать характер распределения напряжений и их пиковые значения в наиболее характерных местах узлового соединения: в монтажных пазах, на площадке соприкосновения поперечного элемента с продольным, в центре продольного элемента и во внеузловой части поперечного элемента. Кроме того, для каждого сечения с целью более эффективного анализа НДС узлового соединения построено по две эпюры: в плоскости, образованной осями шпилек (эпюры 1–7), и в плоскости, совпадающей с лицевой поверхностью поперечного элемента (эпюры 2.1–7.1). На рис. 3 штриховой линией показаны эпюры нормальных напряжений узловых соединений расчетной модели 1, черной сплошной линией — расчетной модели 2.

Проанализируем полученные результаты.

Для расчетной модели 1 в узле А согласно эпюре 2.1 в нижней зоне поперечного элемента образуются растягивающие напряжения величиной 6,11 МПа, в то время как в этом же узле расчетной модели 2 в нижней зоне поперечного элемента растягивающие напряжения отсутствуют, поскольку они полностью воспринимаются нижней шпилькой. Кроме того, различны и сжимающие напряжения в верхней зоне поперечных элементов узла А (эпюра 2.1): для расчетной модели 1 они равны 10,1 МПа, а для расчетной модели 2 — 12,1 МПа.

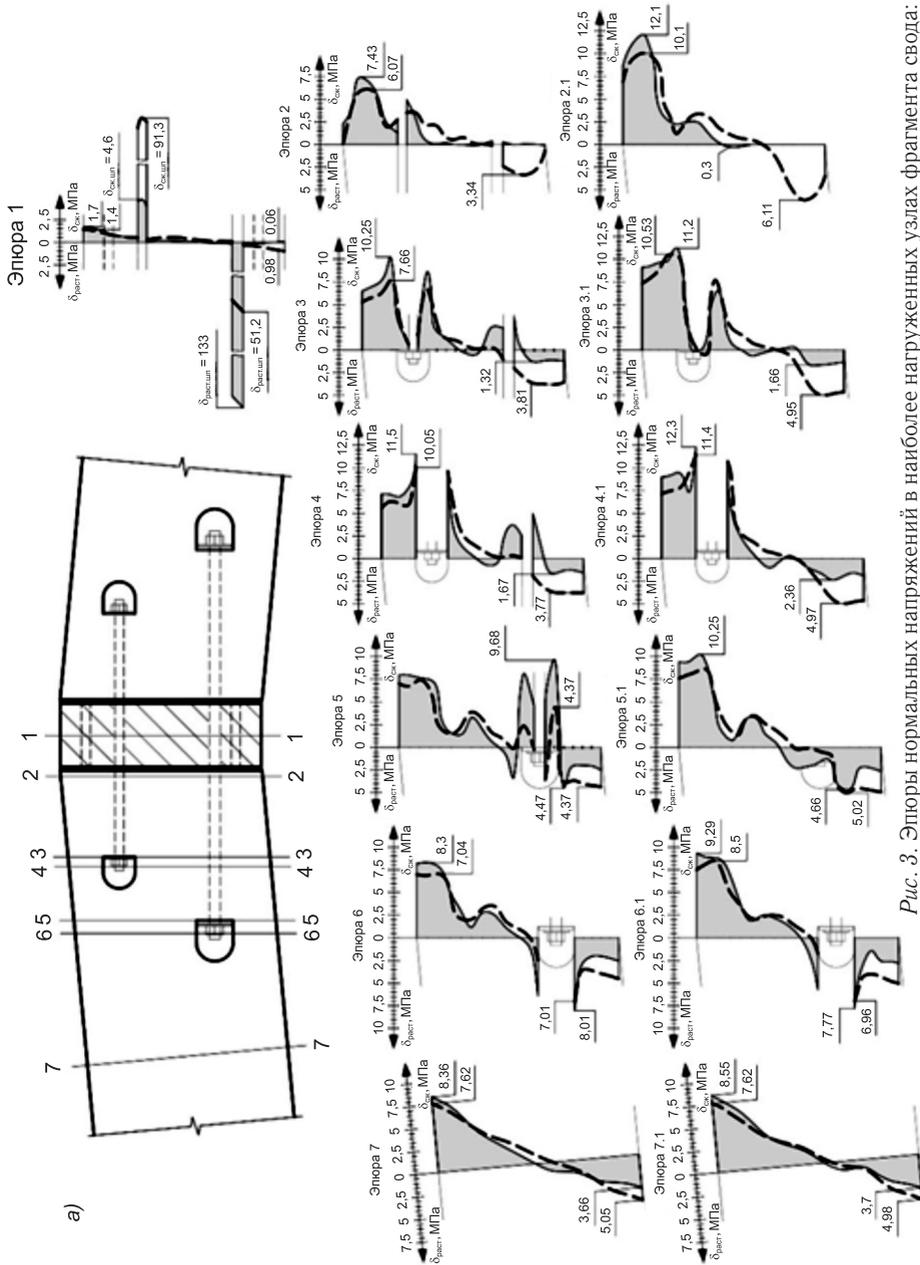
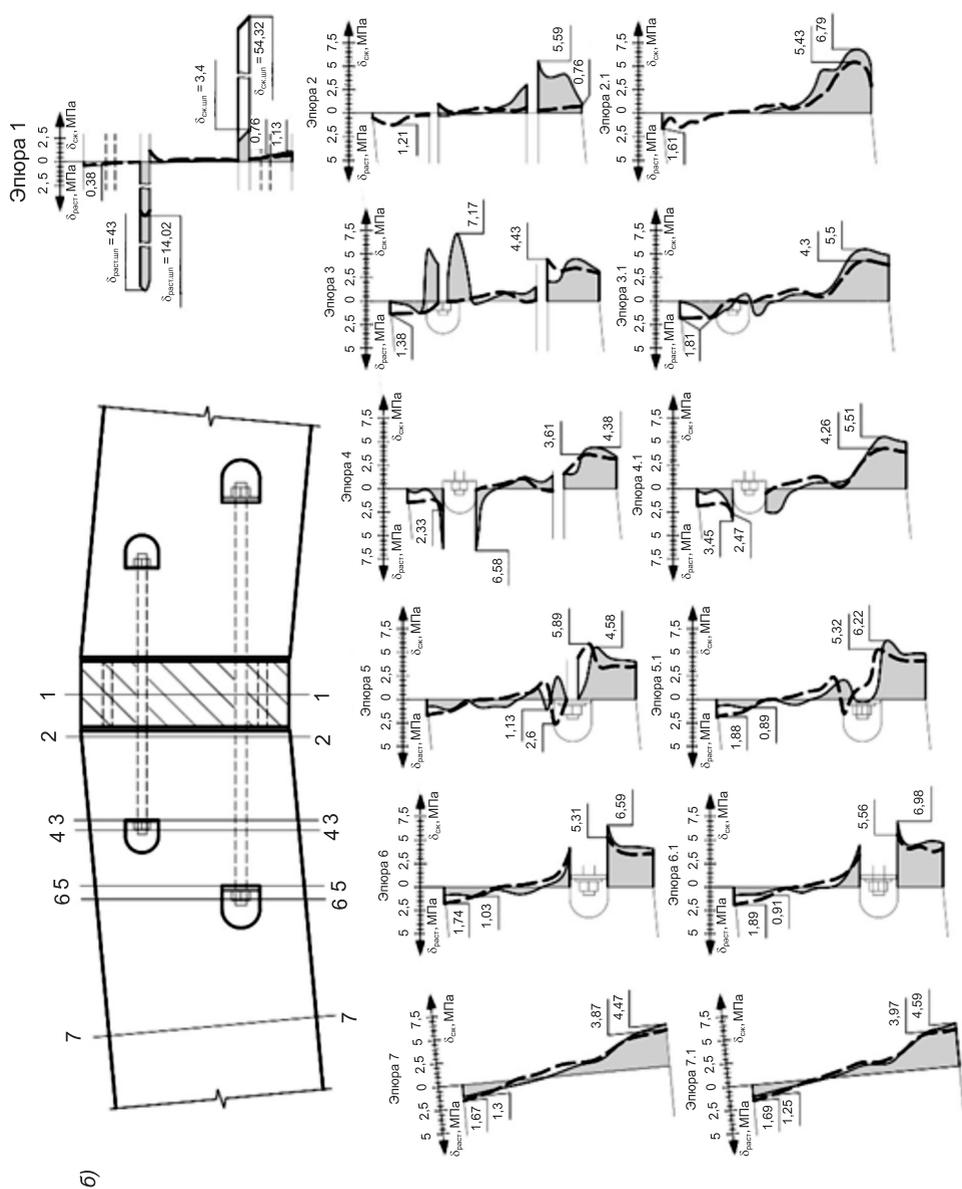


Рис. 3. Эпюры нормальных напряжений в наиболее нагруженных узлах фрагмента свода: а — узел А; б — узел Б

Отмечена существенная разница работы узловых соединений двух моделей в работе шпилек. В узле А в расчетной модели 1 растягивающие напряжения в нижней шпильке равны 52,1 МПа, а сжимающие напряжения в верхней шпильке — 91,3 МПа (см. рис. 3, эпюра 1). В расчетной модели 2 растягивающие напряжения в нижней шпильке узла А равны 133 МПа, а сжимающие напряжения в верхней шпильке — 4,6 МПа (см. рис. 3, эпюра 1). Такая разница обусловлена моделированием скольжения шпилек в теле древесины для расчетной модели 2. Этой же особенностью объясняется и разница в максимальных напряжениях в древесине в монтажных пазах (см. рис. 3, узел А — эпюра 5, узел Б — эпюра 3). К примеру, для расчетной модели 1 сжимающие напряжения под



шайбой нижней шпильки в монтажном пазу равны 4,37 МПа, а для расчетной модели 2 эти же напряжения достигают 9,68 МПа.

Отметим, что тангенциальные напряжения в узле практически отсутствуют.

В целом неучет контактного взаимодействия в работе узловых соединений приводит, в среднем, к 33 % росту максимальных напряжений в древесине и 170 % росту растягивающих напряжений в шпильках (сжимающие напряжения в шпильках не учитываются, так как в реальной конструкции они работают только на растяжение).

Деформации узловых соединений А и Б представлены на рис. 4, где верхнее значение (над линией) дано для расчетной модели 1 фрагмента свода, нижнее (под размером) — для расчетной модели 2 фрагмента. Все полученные значения посчитаны как разница между первоначальным,

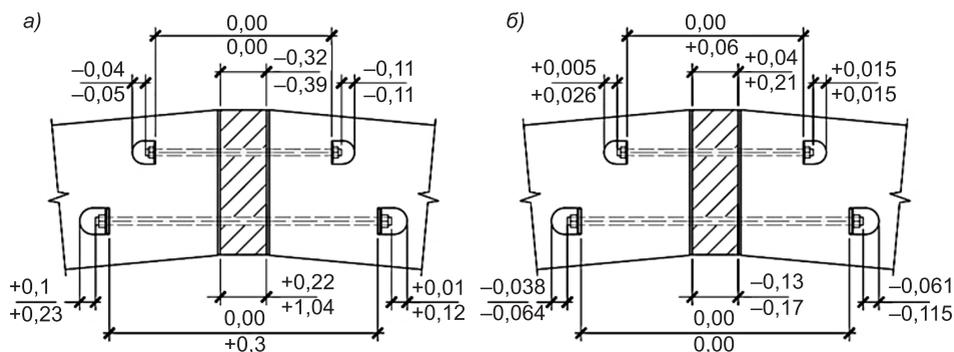


Рис. 4. Деформации наиболее нагруженных узловых соединений фрагмента свода, мм

т.е. до приложения нагрузки, контрольным размером и этим же размером после приложения нагрузки. Принятое правило знаков: если значение отрицательное — то размер уменьшился, если положительное — увеличился.

Деформации узловых соединений оценивали по следующим параметрам: схождение/расхождение верхних/нижних кромок поперечных косяков, сжатие/растяжение верхних/нижних шпилек, смятие древесины под шайбами растянутых шпилек в монтажных пазах.

Проанализируем полученные результаты деформаций узловых соединений с позиции учета/неучета контактного взаимодействия элементов узловых соединений.

Сравнительно хорошая сходимость величин деформаций отмечена для сжатых зон узловых соединений. Так, разница в деформациях сжатых шпилек не отмечена, а схождение кромок для расчетной модели 1(2) составило для узла А — 0,32(0,39) мм, для узла Б — 0,13(0,17) мм. Объясняется это совокупной работой на сжатие древесины поперечных элементов и упорных втулок внутри продольного элемента, работа которых в целом не столь зависима от наличия контактного взаимодействия элементов в этой части узла.

Ожидаемо низкая сходимость полученных результатов выявлена в растянутых зонах узловых соединений. Так, для расчетной модели 1(2) получены следующие данные: растяжение нижней шпильки узла А — 0,00(0,3) мм, верхней шпильки узла Б — 0,00(0,6) мм, расхождение кромок узла А — 0,22(1,04) мм, узла Б — 0,04(0,21) мм, смятие древесины в монтажных пазах узла А — 0,1(0,23) мм, узла Б — 0,005(0,026) мм. В целом учет контактного взаимодействия элементов в узловых соединениях обусловил восприятие всех растягивающих напряжений исключительно шпильками, что и повлекло за собой закономерно большие по значению деформации.

В итоге неучет контактного взаимодействия в работе узловых соединений приводит, в среднем, к 270 % росту максимальных деформаций.

Суммарный прогиб всего фрагмента свода для расчетной модели 1 составил: в левой части пролета 39,5 мм, в правой части — 29,8 мм; для расчетной модели 2: в левой части пролета — 31,9 мм, в правой части — 9,9 мм. Ось изгиба фрагмента свода под нагрузкой показана на рис. 5.

Таким образом, разница в максимальном прогибе для расчетной модели 1 и 2 составила, в среднем, 23 %.

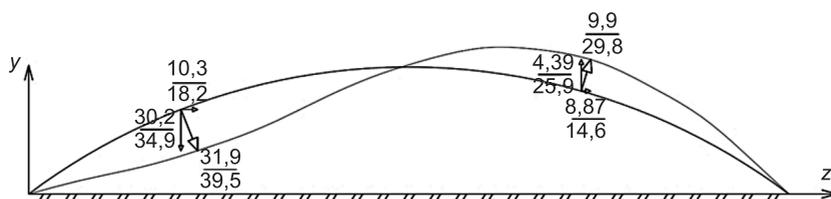


Рис. 5. Ось изгиба фрагмента свода с указанием величин прогиба для расчетной модели 1 (верхнее значение) и расчетной модели 2 (нижнее значение)

**Вывод.** Учет податливости узловых соединений через назначение контактных взаимодействий элементов узловых соединений приводит, в среднем, к увеличению на 33 % максимальных напряжений в древесине, 170 максимальных растягивающих напряжений в шпильках, 270 деформаций в узловых соединениях, 23 % максимальных прогибов фрагмента свода.

Максимальное напряжение вне зоны узла для расчетной модели 2 составило 8,55 МПа, при этом максимальное напряжение непосредственно в узле составило 12,1 МПа, что в 1,41 раза больше. Это позволяет сделать приблизительную оценку о том, что при расчете стержневой расчетной схемы свода, в которой учесть особенности узловых соединений невозможно, максимальное напряжение, возникающее в узле, не должно превышать 9,2 МПа ( $R_c = 13 \text{ МПа}/1,41$ ).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лабудин, Б.В. Расчет пространственных конструкций с учетом деформативности податливых связей [Текст] / Б.В. Лабудин // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 11–12. — С. 5–12.
2. Локтев, Д.А. Формообразование и конструирование деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой для покрытий зданий и сооружений [Текст] / Д.А. Локтев, И.С. Инжутов, А.Ф. Рожков // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 11–12. — С. 73–81.
3. Ишмаева, Д.Д. Жесткие узлы клееных деревянных балочных элементов на вклеенных стальных шайбах [Текст] / Д.Д. Ишмаева, В.М. Вдовин // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. — 2014. — № 1. — С. 189–195.
4. Коржов, О.В. Несущая способность и деформативность податливых узловых соединений стальных перекрестных балок: дис. ... канд. техн. наук (05.23.01) [Текст] / О.В. Коржов. — М., 2010. — 39 с.
5. Дмитриев, П.А. Соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание [Текст] / П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов, Г.А. Столповский // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 4. — С. 133–137.
6. Инжутов, И.С. Поиск рациональных геометрических параметров деревянного сетчатого свода на основе пластинчато-стержневой расчетной схемы в ПК SCAD [Текст] / И.С. Инжутов, С.В. Деордиев, Д.А. Локтев. — Одесса, 2011.
7. Инжутов, И.С. Анализ работы деревянного сетчатого свода с ортогональной ячейкой / И.С. Инжутов, Д.А. Локтев // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. тр. / Одесская гос. акад. стр-ва и архитектуры. — Одесса, 2010. — Ч. 1. — С. 62–67.
8. Отрешко, А.И. Справочник проектировщика. Деревянные конструкции [Текст] / А.И. Отрешко. — М. : Госстройиздат, 1957. — 262 с.
9. Šmelík, M. Физическая таблица [Текст] / M. Šmelík. — Либерец, 2001.
10. Dassault systems SOLIDWORKS Web Help. — URL: [http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/cworks/c\\_Analysis\\_Solvers.htm](http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/cworks/c_Analysis_Solvers.htm) (дата обращения: 04.03.2015).

*ИНЖУТОВ Иван Семенович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: ivaninzhutov@gmail.com*

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

*ЛОКТЕВ Дмитрий Александрович, асп.; E-mail: loktevda@gmail.com*

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

*РОЖКОВ Александр Федорович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: labsfu@yandex.ru*

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

Получено 06.03.15

**Inzhutov Ivan Semenovich**, doctor of technical sciences, professor, E-mail: ivaninzhutov@gmail.com, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Loktev Dmitriy Alexandrovich**, post-graduate student; E-mail: loktevda@gmail.com, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Rozhkov Alexander Fedorovich**, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: labsfu@yandex.ru, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

## **ANALYSIS OF INFLUENCE JOINTS FOR WOODEN COVING WITH AN ORTHOGONAL MESH NETTING**

The article assesses influence of compliance joints for wooden coving with an orthogonal mesh netting. To this end, proposed a method of numerical investigation of the structure fragment arch in two productions: with and without the contact interaction of elements of nodal connections.

**Key words:** wooden, coving net, orthogonal mesh, compliance, joints, contact interaction.

### REFERENCES

1. Labudin, B.V. Calculation of spatial designs taking into account deformativnosti of pliable communications [Text] / B.V. Labudin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 11–12. — P. 5–12.
2. Loktev, D.A. Forming and constructing wooden coving with an orthogonal mesh netting for covering buildings and constructions [Text] / D.A. Loktev, I.S. Inzhutov, A.F. Rozhkov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — № 11–12. — P. 73–81.
3. Ishmaeva, D.D. Hard nodes glued wooden beam elements glued to the steel washer [Text] / D.D. Ishmaeva, V.M. Vdovin // Bulletin of the Orenburg State University. — 2014. — N 1. — P. 189–195.
4. Korzhov, O.V. Bearing capacity and deformability compliant node interfaces steel cross beams : dis. ... candidate of technical sciences (05.23.01) [Text] / O.V. Korzhov. — M., 2010. — 39 p.
5. Dmitriev, P.A. Joints of wooden elements on the steel spiral cross-shaped rods working to an extraction [Text] / P.A. Dmitriev, V.I. Zhadanov, G.A. Stolpovskiy // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 4. — P. 133–137.
6. Inzhutov, I.S. Search rational geometric parameters of a set of wooden net-based plate-rod design scheme in PC SCAD [Text] / I.S. Inzhutov, S.V. Deordiev, D.A. Loktev. — Odessa, 2011.
7. Inzhutov, I.S. Analysis of the work of the wooden roof with an orthogonal mesh cell [Text] / I.S. Inzhutov, D.A. Loktev // Modern constructions of metal and wood: Sat. scientific. works / Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. — Odessa, 2010. — P. 1. — P. 62–67.
8. Otreshko, A.I. Directory designer. Wooden structures [Text] / A.I. Otreshko. — M. : Gosstroyizdat, 1957. — 262 p.
9. Čmelík, M. Physical table [Text] / M. Čmelík. — Liberec, 2001.
10. [Http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/cworks/c\\_Analysis\\_Solvers.htm](http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/cworks/c_Analysis_Solvers.htm) (date of access: 04.03.2015).

УДК 624.072.045

Г.И. ГРЕБЕНЮК

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены вопросы учета дополнительных сил инерции от местных нагрузок на стержневых элементах при неподвижных концевых сечениях и учета сдвиговых деформаций при построении матриц жесткости и масс отдельных конечных элементов и всей системы в целом. Предложены методики глобальной аппроксимации параметров состояния систем по обобщенным переменным проектирования во всей области поиска оптимального решения, которые обеспечивают необходимую точность при действии разнообразных динамических нагрузок.

Ключевые слова: стержневые системы, динамическое нагружение, силы инерции, сдвиги, оптимизация, декомпозиция, обобщенные параметры, аппроксимация, подобласти, линеаризация.

**Введение.** Исследование динамического деформирования конструкций [1–6] показало, что в ряде случаев для более корректной постановки задач оптимизации необходимы уточнения полученных ранее матричных соотношений для расчета. Это, прежде всего, относится к более корректному учету сил инерции в принятых расчетных схемах, а также учету влияния сдвиговых деформаций. В связи с этим в данной статье рассмотрены вопросы учета дополнительных сил инерции от местных нагрузок на стержневых элементах при неподвижных концевых сечениях и учета сдвиговых деформаций при построении матриц жесткости и масс конечных элементов.

Методики построения аппроксимаций параметров напряженно-деформированного состояния динамически нагруженных конструкций, основанные на локальной линейной аппроксимации в виде усеченного ряда Тейлора [7] и на глобальной аппроксимации полиномами Лежандра [8], не во всех случаях обеспечивают достаточное качество аппроксимаций. Поэтому в данной работе поставлена цель построения такой методики глобальной аппроксимации во всей области поиска оптимального решения, которая гарантировала бы необходимую точность при действии разнообразных динамических нагрузок. При этом предполагается использование предложенных ранее приемов декомпозиции пространства проектирования.

**Уточненные матричные соотношения для расчета.** Методика построения общей дискретной модели динамического деформирования упругих стержневых систем из однородных материалов не предполагает, как правило, учета ряда факторов, которые могут оказать существенное влияние на результаты расчетов, а в дальнейшем — и на результаты оптимизации. К таким факторам можно отнести инерционные силы от местных нагрузок на элементы в рамках методики расчета с позиции метода перемещений и влияние сдвиговых деформаций.

Принимая согласно методу перемещений КЭ за основные неизвестные линейные и угловые перемещения узлов системы, проанализируем составляющие матриц масс и жесткости.

**Учет дополнительных ускорений масс.** Векторы ускорений масс определяются суммами ускорений: от перемещений концевых сечений элементов и ускорений, соответствующих деформациям элементов с неподвижными концами от действующих на элементы распределенных нагрузок. Неучет дополнительных ускорений масс от местных воздействий на элементы в основной системе метода перемещений (МП) сдвигает вверх зону частот собственных колебаний, что может существенно сказаться на результатах оптимизации при активных ограничениях по собственным частотам колебаний.

Пренебрегая пока демпфированием, запишем матричное уравнение состояния в виде:

$$r_m \ddot{z}(t) + r_e z(t) + r_F F(t) + r_{mF} \ddot{F}(t) = 0, \quad (1)$$

где  $r_m$  — матрица реакций в связях основной системы МП от инерционных сил, связанных с единичными ускорениями узловых перемещений (матрица масс);

$r_e$  — матрица жесткости системы;

$r_F$  —  $[n \times f]$  — матрица узловых сил от единичных значений заданных возмущений;

$F(t)^T = [F_1(t) \dots F_f(t)]$  — транспонированный вектор заданных нагрузок;

$n$  — число неизвестных перемещений узлов (степеней свободы системы);

$f$  — число заданных нагрузок.

Определяя компоненты матриц  $r_m$ ,  $r_e$ ,  $r_F$ ,  $r_{mF}$  на основе теоремы о концевых усилиях, получим:

$$\begin{aligned} r_m &= \sum_{j=1}^r a^{(j)T} k_m^{(j)} a^{(j)}; & r_e &= \sum_{j=1}^r a^{(j)T} k_e^{(j)} a^{(j)}; \\ k_m^{(j)} r_F &= \sum_{j=1}^r a^{(j)T} S^{(j)}; & r_{mF} &= \sum_{j=1}^r a^{(j)T} k_{mF}^{(j)} q^{(j)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a^{(j)} = [a_1^{(j)} \dots a_n^{(j)}]^T$ ,  $a_i^{(j)}$  — матрица перемещений концевых сечений  $j$ -го элемента от единичного смещения  $i$ -й связи в основной системе МП;  $k_m^{(j)}$ ,  $k_e^{(j)}$  — матрицы масс и жесткости  $j$ -го элемента в локальной системе координат;

$S^{(j)}$  — матрица концевых усилий  $j$ -го элемента от единичных значений заданных воздействий;

$q^{(j)} = [q_1^{(j)} \dots q_f^{(j)}]$  — вектор-строка интенсивностей заданных поперечных нагрузок в пределах  $j$ -го элемента (учитываются только равномерно распределенные по  $j$ -му элементу нагрузки). Компоненты матриц  $k_{mF}^{(j)}$  находятся из соотношения:

$$k_{mF}^{(j)} = m^{(j)} \int_0^{l_j} v^{(j)}(u) v_q^{(j)}(u) du, \quad (3)$$

где  $v^{(j)}(u)$  — вектор-функция перемещений сечений  $j$ -го элемента от единичных смещений его концевых сечений в локальной системе координат;

$v_q^{(j)}(u)$  — функция перемещений сечений  $j$ -го элемента в основной системе МП от единичной равномерной нагрузки в локальной системе координат (в данной работе учитывается только поперечная нагрузка);

$m^{(j)}$  — интенсивность равномерно распределенной массы  $j$ -го элемента.

Вектор-функция  $v^{(j)}(u)$  и функция  $v_q^{(j)}(u)$  находятся путем рассмотрения нагружений элемента в основной системе МП. Например, для плоского элемента  $m-n$  с защемленными концами (рис. 1) составляющие  $v^{(j)}$  имеют вид:

— от единичного поворота концевое сечения с младшим порядковым номером

$$v_{\varphi(u)}^{(j)} = \frac{1}{l_j^2} (l_j^2 u - 2l_j u^2 + u^3); \quad (4)$$

— единичного смещения того же концевое сечения по нормали к оси стержня

$$v_{\Delta}^{(j)}(u) = \frac{l_j - u}{l_j} + \frac{1}{l_j^3} (l_j^2 u - 3l_j u^2 + 2u^3); \quad (5)$$

— единичной равномерно распределенной нагрузки

$$v_q^{(j)}(u) = \frac{1}{48EI^{(j)}} (2l_j^2 u^2 - 4l_j u^3 + 2u^4). \quad (6)$$

Выражения (4)–(6) найдены без учета влияния сдвигов.

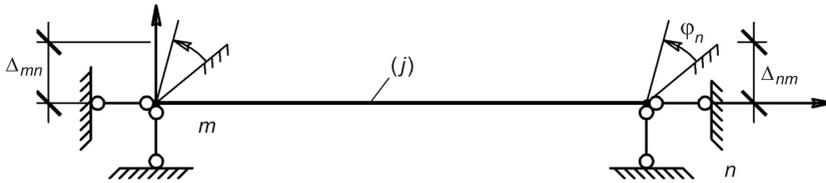


Рис. 1.

**Учет влияния сдвиговых деформаций.** Известно [5, 6], что деформация сдвига в некоторых случаях существенно влияет на динамические характеристики системы. Это влияние можно приближенно учесть с помощью уточненных выражений для координатных функций  $v^{(j)}(u)$ . В данной работе уточненные выражения были найдены методом Мора. С этой целью в основной системе МП были определены выражения  $\overline{M}^{(j)}(u)$  и значения  $\overline{Q}^{(j)}$  от единичных смещений узловых связей и величины  $M_F^{(j)}(u)$ ,  $Q_F^{(j)}(u)$  от произвольно расположенного единичного грузового воздействия, а далее использована формула Мора, учитывающая сдвиговые деформации. Уточненные выражения для координатных функций  $v^{(j)}(u)$  имеют вид (индекс  $j$  в выражениях опущен):

а) для плоского стержня с неподвижно защемленными в узлах концами  $m$ ,  $n$  (см. рис. 1)

$$v^{(j)}(u) = \begin{bmatrix} u(1-6c) - u^2(2-18c)/l + u^3(1-12c)/l^2 \\ 1-12uc/l - 3u^2(1-12c)/l^2 + 2u^3(1-12c)/l^3 \\ 12uc/l + 3u^2(1-12c)/l^2 - 2u^3(1-12c)/l^3 \\ -6uc - u^2(1-18c)/l + u^3(1-12c)/l^2 \end{bmatrix} \begin{matrix} \Phi_m = 1 \\ \Delta_{mn} = 1 \\ \Delta_{nm} = 1 \\ \Phi_n = 1; \end{matrix} \quad (7)$$

б) для плоского стержня с неподвижно защемленным концом  $m$  и шарнирно опертым концом  $n$

$$\mathfrak{v}^{(j)}(u) = \begin{bmatrix} (1-B)u - 3u^2(1-B)/2l + u^3(1-B)/l^2 \\ 1 - uB/l - 3u^2(1-B)/2l^2 + u^3(1-B)/2l^3 \\ -uB/l - 3u^2(1-B)/2l^2 + u^3(1-B)/2l^3 \end{bmatrix} \begin{matrix} \Phi_m = 1 \\ \Delta_{mn} = 1 \\ \Delta_{nm} = 1. \end{matrix} \quad (8)$$

В выражениях (7), (8) величины  $c$ ,  $B$  равны

$$c = kEI / (l^2 AG + 12kEI); \quad (9)$$

$$B = 3kEI / (l^2 AG + 3kEI), \quad (10)$$

где  $A$ ,  $I$  — площадь и момент инерции поперечного сечения стержня;  $E$ ,  $G$  — модули упругости и сдвига материала стержня;  $k$  — коэффициент формы поперечного сечения.

Аналогично можно построить (с использованием метода Мора и учетом сдвигов) функции прогибов  $\mathfrak{v}_q^{(j)}(u)$  от равномерно распределенной по стержню поперечной нагрузки единичной интенсивности.

Для плоского стержня с неподвижно защемленными в узлах концами  $m$ ,  $n$  (рис. 2) выражение  $\mathfrak{v}_q^{(j)}(u)$  имеет вид:

$$\mathfrak{v}_q^{(j)}(u) = \frac{1}{24EI} (l^2 u^2 - 2lu^3 + u^4) + \frac{k}{2GA} (ul - u^2), \quad (11)$$

где второй член учитывает влияние деформаций сдвига и находится путем сопряжения эпюр  $v$ ),  $e$ ).

Подобным образом можно получить соответствующее выражение для стержня с защемленным концом  $m$  и шарнирно защемленным концом  $n$ :

$$\mathfrak{v}_q^{(j)}(u) = \frac{1}{48EI} (3l^2 u^2 - 5lu^3 + 2u^4) + \frac{k}{2GA} (ul - u^2). \quad (12)$$

Используя полученные выражения (3)–(12), можно составить матрицы  $k_m^{(j)}$ ,  $k_e^{(j)}$ ,  $k_{mF}^{(j)}$  для элементов с учетом влияния сдвиговых деформаций, а по выражениям (2) — матрицы для расчета всей системы. Составляющая  $r_{mF} \ddot{F}(t)$  уравнения (1) учитывает дополнительно силы инерции масс элементов, связанные с локальным воздействием распределенных по элементам динамических нагрузок. В частности, при  $m(j) = \text{const}$  для стержня с защемленными концами

$$k_m^{(j)} = m_j \int_0^{l_j} \mathfrak{v}^i(u) \mathfrak{v}^j(u)^T du = \frac{m_j}{420} \begin{bmatrix} 4l^3 \alpha & 22l^2 \beta & 13l^2 \lambda & -3l^3 \mu \\ 22l^2 \beta & 156l \gamma & 54l \eta & 13l^2 \lambda \\ 13l^2 \lambda & 54l \eta & 156l \gamma & -22l^2 \beta \\ -3l^3 \mu & -13l^2 \lambda & -22l^2 \beta & 4l^3 \alpha \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где  $\alpha = 1 - 3c + 18c^2$ ;  $\beta = 1 - 3c + 72c^2 / 11$ ;

$$\lambda = 1 + 66c / 13 - 144c^2 / 13; \quad \mu = 1 + 4c - 24c^2;$$

$$\gamma = 1 - 54c / 39 + 72c^2 / 39; \quad \eta = 1 - 2c / 3 + 16c^2 / 3.$$

Аналогичным образом, выполняя соответствующие сопряжения, можно найти  $k_e^{(j)}$ ,  $k_{mF}^{(j)}$  для разных случаев закрепления элемента  $j$  в узлах.

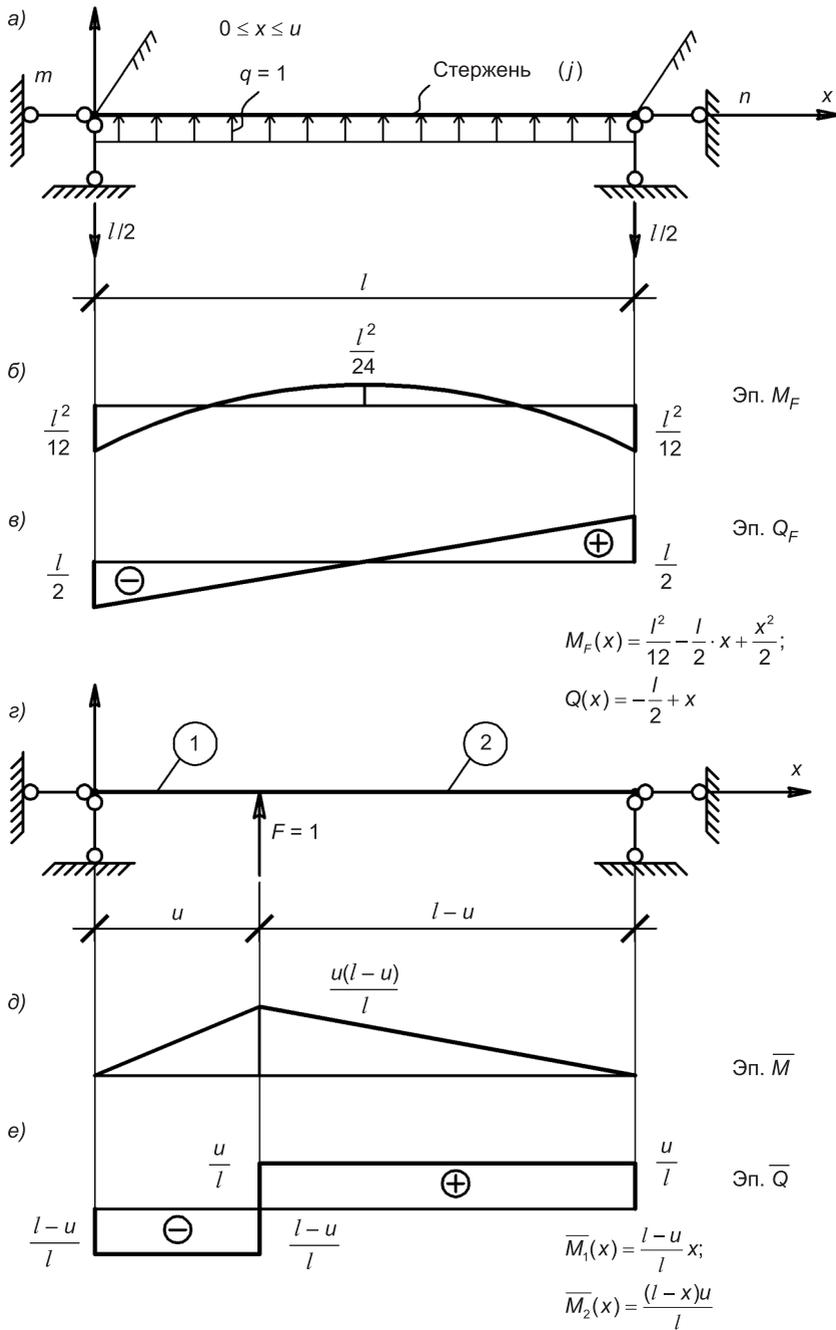


Рис. 2.

**Особенности реализации алгоритма оптимизации динамически нагруженных систем при декомпозиции пространства проектирования.** Процедура обобщения переменных проектирования на итерации состоит в определении соотношения

$$X = B^t Y; \quad Y \in E^r, \quad (14)$$

где  $X \in E^n$  — исходный вектор варьируемых параметров (переменных проектирования);

$Y \in E^n$  — вектор обобщенных параметров проектирования;  
 $r \ll n$  (как правило,  $r = 2, 3$ );

$B^t$  — матрица базисного преобразования на итерации  $t$ .

Процесс разделения групп оптимизируемых элементов на две обобщенные группы при действии на систему динамической нагрузки описан в [8]. Для обобщения, например, по нагруженности [8] необходимо определить достаточный для анализа динамического отклика интервал времени  $[t_H, t_K]$ . Будем полагать, что исследуемый временной интервал выявлен, и разделение групп оптимизируемых элементов на две обобщенные группы проведено, т.е.  $Y = \begin{Bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{Bmatrix} \in E^2$ . Введение обобщенных переменных

проектирования  $Y_1, Y_2$  значительно снижает трудоемкость процесса оптимизации динамически нагруженных систем, но одновременно замедляет сходимость, а при плохом качестве аппроксимаций параметров состояния систем приводит к осцилляциям и расходимости. Поэтому проблема построения качественных аппроксимаций параметров состояния по-прежнему весьма актуальна.

На предыдущих этапах исследований [8, 9] в качестве метода построения аппроксимаций параметров состояния динамически нагруженных систем были использованы разложение в ряд Тейлора и регрессионные квадратичные зависимости в двухмерной области поиска по обобщенным переменным проектирования на основе ортонормированных полиномов Лежандра. Квадратичная аппроксимация позволила ограничиться перерасчетами системы в девяти специально назначенных точках заданной области поиска. При этом свойство ортогональности аппроксимирующих функций позволило получить аналитические выражения для коэффициентов аппроксимации.

Недостатком квадратичной глобальной аппроксимации параметров состояния на основе полиномов (в том числе и полиномов Лежандра) является невозможность получения зависимостей, отражающих гиперболический характер изменения некоторых параметров состояния (например, зависимостей перемещений от жесткостных параметров конструкций). В силу этого в данной работе в качестве альтернативного рассматривается подход, основанный на аппроксимации в подобластях заданной двухмерной области поиска.

**Построение регрессионных зависимостей для параметров состояния с использованием методики кусочно-линейной аппроксимации и методики, основанной на притяжении к узлам сетки разбиения.** Разобьем область поиска оптимального решения  $[Y, \bar{Y}]$  на подобласти детерминировано заданной ортогональной сеткой (рис. 3).

Задаваясь числами  $n_1, n_2$ , найдем интервалы разбиения  $h_1 = \frac{\bar{Y}_1 - Y_1}{n_1 - 1}$ ,  
 $h_2 = \frac{\bar{Y}_2 - Y_2}{n_2 - 1}$  равномерной сетки и проведем перерасчеты системы на за-

данное периодическое воздействие при значениях варьируемых параметров, соответствующих узлам сетки разбиения. После определения значений  $P_j = (Y^{(e)}, t_{оп}^{jK})$ ,  $e = 1, \dots, n_1, n_2$  аппроксимацию параметра состояния  $P_j^K(Y)$  построим следующим образом.

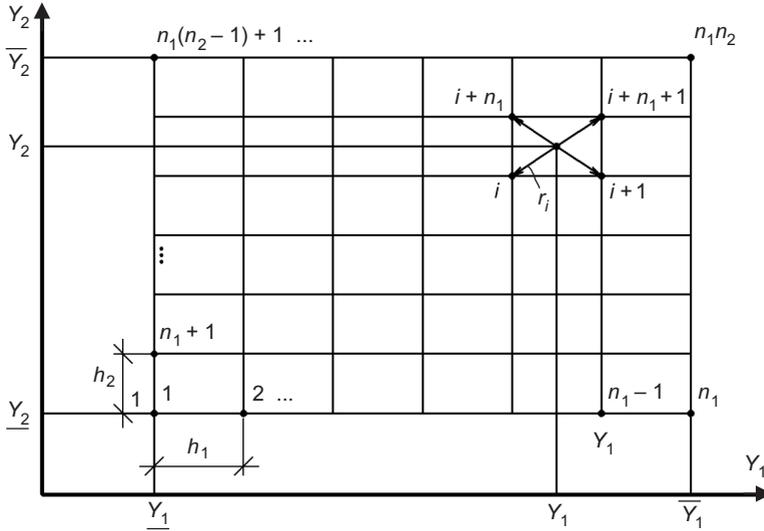


Рис. 3.

Пусть поисковая точка  $Y$  располагается в подобласти с номерами узлов  $i, i+1, n_1+i, n_1+i+1$ . Нумерацию узлов подобластей будем проводить таким образом, чтобы узел  $i$  был левым нижним узлом подобласти (см. рис. 3). Узлы с координатами, в число которых входят  $\bar{Y}_1, Y_1$ , не могут быть начальными (узел  $i$ ). Номер  $i$  узла подобласти связан с координатами поисковой точки следующим образом:  $i = \left[ \frac{Y_2 - \bar{Y}_2}{h_2} \right] n_1 + \left[ \frac{Y_1 - \bar{Y}_1}{h_1} \right] + 1$ , где  $[ ]$  — целая часть числа. В случаях, когда поисковая точка  $Y$  выходит на верхние границы  $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2$  области поиска, номер  $i$  назначается согласно соотношениям:

$$\begin{aligned} Y_1 = \bar{Y}_1, Y_2 < \bar{Y}_2, i &= \left[ \frac{Y_2 - \bar{Y}_2}{h_2} \right] n_1 + n_1 - 1; \\ Y_2 = \bar{Y}_2, Y_1 < \bar{Y}_1, i &= (n_2 - 2)n_1 + \left[ \frac{Y_1 - \bar{Y}_1}{h_1} \right] + 1; \\ Y_1 = \bar{Y}_1, Y_2 = \bar{Y}_2, i &= n_2 n_1 - n_1 - 1. \end{aligned} \quad (15)$$

В качестве аппроксимации  $P_j^K(Y)$  зависимость для параметра состояния в подобласти (см. рис. 3) предлагается следующая:

$$P_j^K(Y) = \sum_{e=1; i+1; n_1+i; n_1+i+1} \left( \frac{\frac{1}{(r_e + \varepsilon)^2} P_j(Y^{(e)}, t_{\text{оп}}^{jK})}{\sum_{e=1; i+1; n_1+i; n_1+i+1} \frac{1}{(r_e + \varepsilon)^2}} \right), \quad (16)$$

где  $r_e = \sqrt{(Y_1 - Y_1^{(e)})^2 + (Y_2 - Y_2^{(e)})^2}$ ;  $Y_1^{(e)}, Y_2^{(e)}$  — координаты узлов точек подобласти;  $\varepsilon \ll h_1, h_2$  — малая величина.

В случае приближения поисковой точки к узлу  $e$  на величину  $r_e \leq \varepsilon$  в алгоритме  $P_j^K(Y) = P_j(Y^{(e)}, t_{\text{оп}}^{jK})$  вычисления  $P_j^K(Y)$  можно предусмотреть присвоение.

Наряду с методикой «притяжения к узлам сетки» разрабатывалась «линейная» интерполяция в подобластях по четырем точкам.

Рассмотрим одну ячейку разбиения области поиска оптимального решения (рис. 4). Значения параметра состояния в узлах сетки будут  $P_1, P_2, P_3, P_4$ . Схема определения точки аппроксимации приведена на рис. 4.

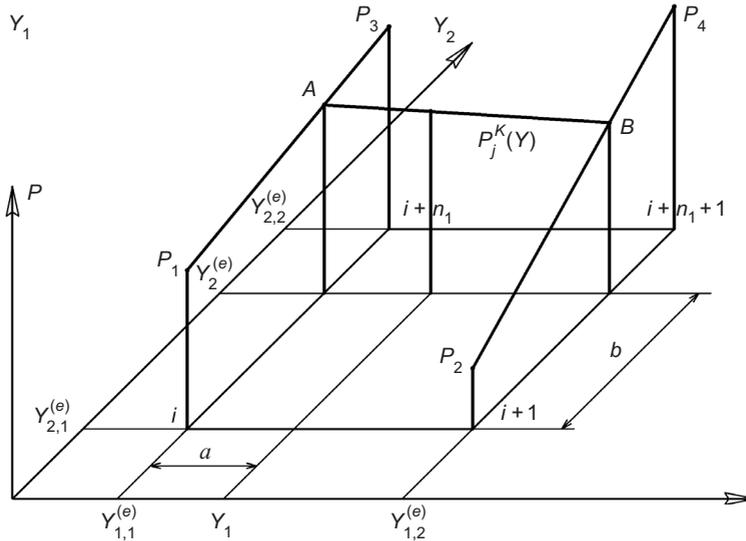


Рис. 4.

Проведем две линии  $P_1P_3$  и  $P_2P_4$ , на которых определим значения  $A$  и  $B$  с координатами  $(Y_{1,1}^{(e)}, Y_2)$  и  $(Y_{1,2}^{(e)}, Y_2)$  соответственно. По точкам  $A$  и  $B$  из уравнения (17) находим значение  $P_j^K(Y)$ .

$$A = \frac{P_3 - P_1}{\Delta Y_2} b; \quad B = \frac{P_4 - P_2}{\Delta Y_2} b; \quad P_j^{(K)}(Y) = \frac{B - A}{\Delta Y_1} a, \quad (17)$$

где  $\Delta Y_2 = Y_{2,1}^{(e)} - Y_{2,2}^{(e)}$ ,  $\Delta Y_1 = Y_{1,2}^{(e)} - Y_{1,1}^{(e)}$ .

**Пример расчета.** В качестве тестового примера, с помощью которого анализируется качество предложенных аппроксимаций, а также возможность их эффективного использования в алгоритме оптимизации, рассмотрена трехпролетная балка прямоугольного сечения (рис. 5). Конструкция разделена на 30 участков, каждый из которых считается группой элементов. Нумерация участков слева направо. Масса балки считалась равномерно распределенной в пределах участков (плотность материала  $\rho = 0,6 \text{ т/м}^3$ ).

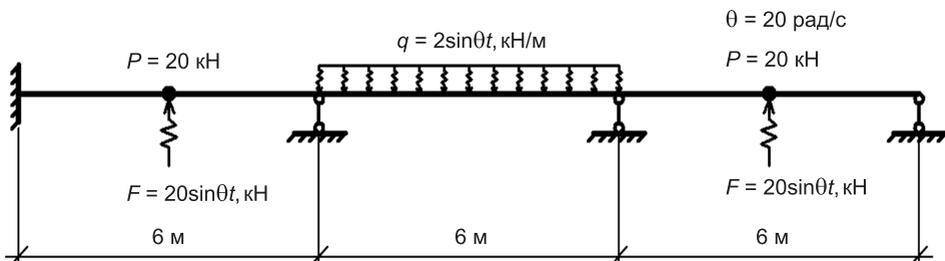


Рис. 5.

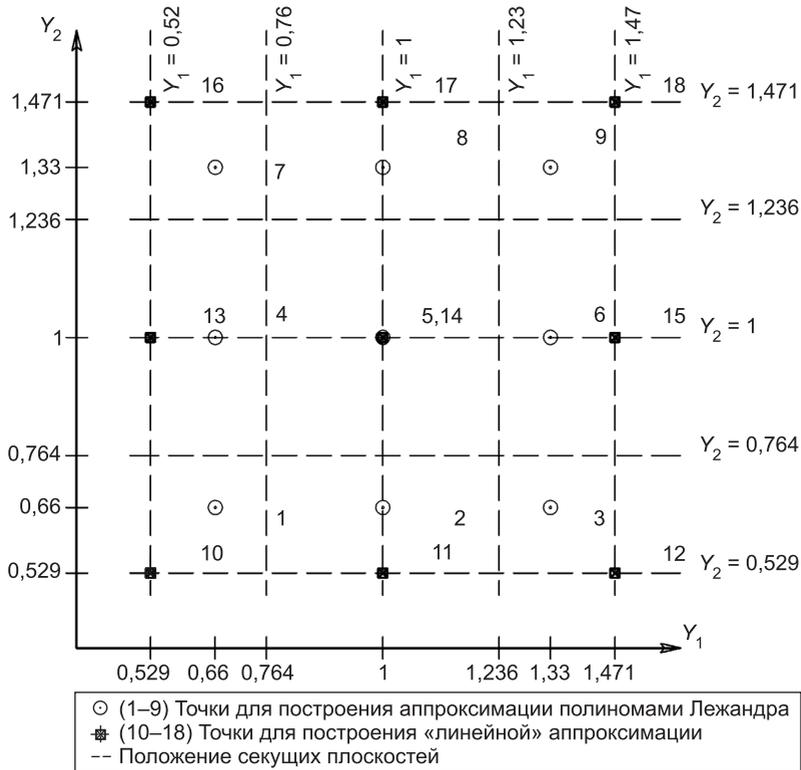


Рис. 6.

Для проверки качества аппроксимаций были взяты элементы, относящиеся к разным группам обобщенных переменных проектирования: элемент № 1 (первая группа) и элемент № 21 (вторая группа).

На рис. 6 приведена сетка разбиения области поиска, отмечены точки для построения аппроксимации полиномами Лежандра, точки для построения кусочно-линейной аппроксимации, пунктиром показано положение секущих плоскостей, используемых для построения графиков на рис. 7. Верхняя и нижняя границы области соответственно 1,471 и 0,529. Секущие плоскости позволяют наглядно показать аппроксимирующие функции при различных значениях  $Y_1$  и  $Y_2$ . В данном случае секущие плоскости проведены с интервалом 0,236, т.е. пять секущих плоскостей вдоль  $Y_1$  и соответственно пять вдоль  $Y_2$ . Для более детального отображения графиков значения функций вдоль каждой плоскости будем определять в одиннадцати точках.

Графики изменения максимальных изгибающих моментов в элементах № 1 и 21 приведены на рис. 7.

Согласно результатам расчетов использованные методы аппроксимации дают погрешности в процентах от точного значения, приведенные в таблице.

**Выводы.** Из полученных графиков видно, что аппроксимация полиномами Лежандра имеет форму параболы и, как следствие, для монотонно убывающих функций дает большую погрешность на верхней границе сетки. «Кусочно-линейная» аппроксимация и методика «притяжения к узлам» значительно сглаживают перегибы графика аппроксимируемой функции, что связано с недостаточным количеством точек для построения данных аппроксимаций.

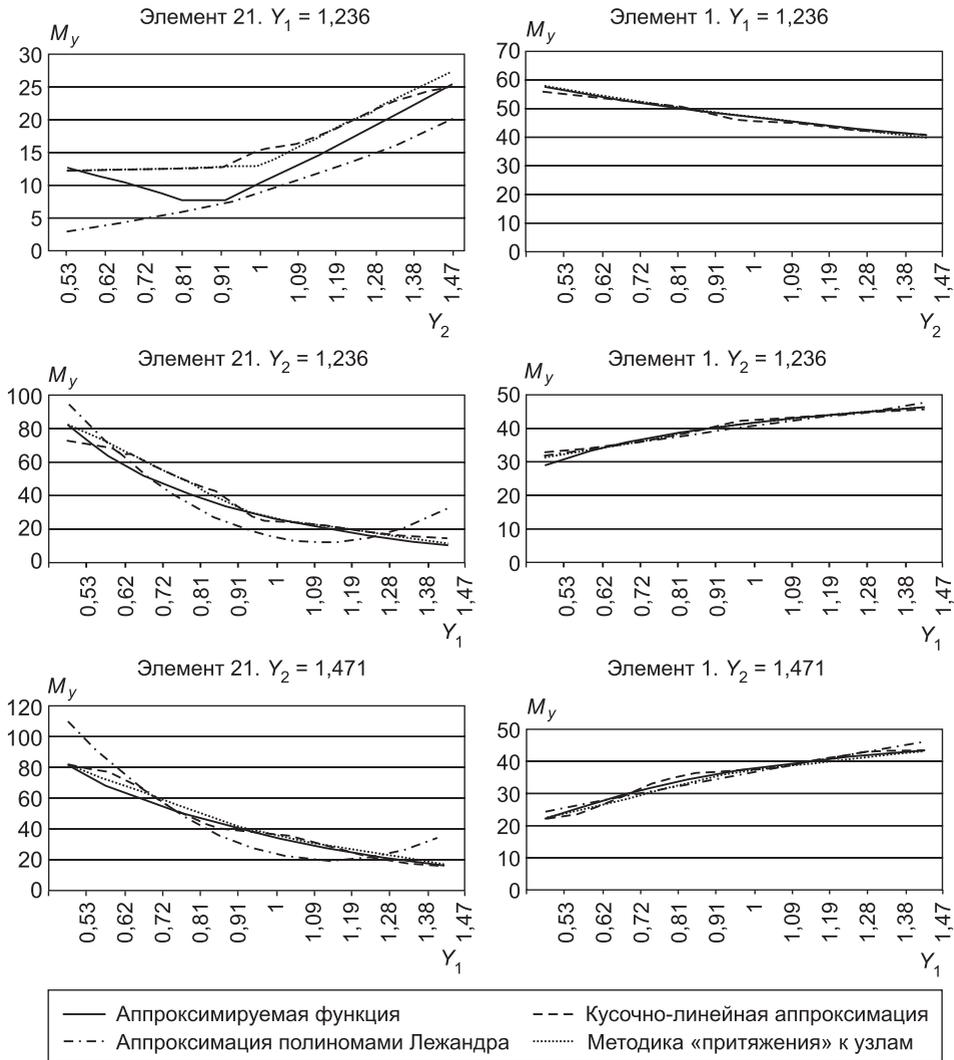


Рис. 7.

Анализ результатов расчетов показал, что средняя погрешность аппроксимации для наиболее нагруженного элемента находится в пределах инженерного допуска, а в недогруженных элементах величины ошибок достаточно велики. Так как в процессе оптимизации ограничения, относящиеся к менее нагруженному элементу, являются пассивными, то ошибки аппроксимации параметров состояния подобных элементов практически не скажутся на сходимости процесса оптимизации. Более предпочтительно использование аппроксимаций в подобластях, так как эти аппроксимации могут быть уточнены сгущением сетки.

**Погрешности аппроксимаций параметров состояния, %**

Тип аппроксимации	Элемент № 21	Элемент № 1
С использованием полиномов Лежандра	30	1,2
«Кусочно-линейная» интерполяция в подобластях	24	1,7
«Притяжение к узлам»	26	1,25

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гребенюк, Г.И. Формирование и решение задач оптимизации динамически нагруженных стержневых диссипативных систем [Текст] / Г.И. Гребенюк // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 4. — С. 43–50.
2. Ki-Cok Kim. Generalized dynamic reduction in finite element dynamic optimization [Текст] / Ki-Cok Kim, W. Anderson // AIAA Journal. — 1984. — Vol. 22. — N 11. — P. 1616–1617.
3. Mills-Curran, W.C. Structural optimization with dynamic behavior constraints [Текст] / W.C. Mills-Curran, L.A. Schmit // AIAA Journal. — 1985. — Vol. 23. — N 1. — P. 132–138.
4. Якимова, Х. Проектирование оптимальных динамически нагруженных конструкций [Текст] / Х. Якимова // Новые направления в строительном проектировании. — М. : Стройиздат, 1989. — С. 245–262.
5. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С.П. Тимошенко. — М. : Физматгиз, 1959.
6. Пановко, Я.Г. Введение в теорию механического удара [Текст] / Я.Г. Пановко. — М. : Наука, 1977.
7. Хог, Э. Анализ чувствительности при проектировании конструкций [Текст] / Э. Хог, К. Чой, В. Комков. — М. : Мир, 1998. — 428 с.
8. Гребенюк, Г.И. Построение поэтапных итерационных процессов оптимизации сложных систем с использованием направленного обобщения переменных проектирования [Текст] / Г.И. Гребенюк // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте: сб. науч. тр. III Междунар. науч.-техн. конф. — Самара, 2005. — С. 141–148.
9. Гребенюк, Г.И. Аппроксимация зависимостей для параметров состояния периодически нагруженных стержневых систем в пространстве обобщенных переменных проектирования [Текст] / Г.И. Гребенюк, А.С. Волков, Е.В. Яньков // Проблемы оптимального проектирования сооружений: докл. 2-й Всерос. конф., Новосибирск, 5–6 апр., 2011 г. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. — С. 137–146.

*ГРЕБЕНЮК Григорий Иванович, д-р техн. наук, проф.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 20.03.15

**Grebenyuk Grigoriy Ivanovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**PERFECTION OF METHODS OF CALCULATION  
AND OPTIMIZATION OF DYNAMICALLY LOADED ROD SYSTEMS**

Account questions for additional forces of inertia from local loadings on rod elements are considered at motionless trailer sections and questions of the account of shift deformations at construction of the rigidity matrixes and weights of separate final elements and all system as a whole. Techniques of global approximation of parametres of a condition of systems on the generalised parametres of designing in all area of search of the optimum decision are offered, which provide necessary accuracy at action of various dynamic loadings.

*Key words:* rod systems, dynamic loading, forces of inertia, shifts, optimisation, the decomposition, the generalised parametres, approximation, subareas, linearization.

REFERENCES

1. Grebenyuk, G.I. Formation and solution of optimisation problem for dynamically loaded the rod dissipative systems [Text] / G.I. Grebenyuk // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 4. — С. 43–50.

2. Ki-Cok Kim. Generalized dynamic reduction in finite element dynamic optimization [Text] / Ki-Cok Kim, W. Anderson // AIAA Journal. — 1984. — Vol. 22. — N 11. — P. 1616–1617.
3. Mills-Curran, W.C. Structural optimization with dynamic behavior constraints [Text] / W.C. Mills-Curran, L.A. Schmit // AIAA Journal. — 1985. — Vol. 23. — N 1. — P. 132–138.
4. Yakimova, H. Proektirovanie of the optimum dynamically loaded designs [Text] / H. Yakimova // New directions in building designing. — M. : Stroyizdat, 1989. — P. 245–262.
5. Timoshenko, S.P. Fluctuation in engineering [Text] / S.P. Timoshenko. — M. : Fizmatgis, 1959.
6. Panovko Ya.G. Introduction in the theory of mechanical blow [Text] / Ya.G. Panovko. — M. : Science, 1977.
7. Hog, E. Analiz's lumps at designing of designs [Text] / E. Hog, K. Choj, V. Komkov. — M. : Mir, 1998. — 428 p.
8. Grebenyuk, G.I. Construction of stage-by-stage iterative processes of optimisation of difficult systems with use of the directed generalisation of variables of designing [Text] / G.I. Grebenyuk // Sb. Proceedings of III International scientific and technical conference «Modern problems of perfection and development of metal, wooden, plastic designs in building and on transport». — Samara, 2005. — P. 141–148.
9. Grebenyuk, G.I. Approximation of dependences for parametres of a condition of periodically loaded rod systems in space of the generalised variables of designing [Text] / G.I. Grebenyuk, A.S. Wolkov, E.V. Yankov // Problems of optimum designing of constructions. Reports of 2nd All-Russia conference, Novosibirsk, on April, 5–6th, 2011. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2011. — P. 137–146.

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.002.3

Г.И. БЕРДОВ, Н.А. МАШКИН

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Представлены результаты исследований НГАСУ (Сибстрин) последних лет в области теории и технологии композиционных строительных материалов на основе техногенного сырья. Приведены теоретические основы выбора эффективных минеральных добавок для повышения эксплуатационных характеристик материалов на основе портландцемента, магнезиальных вяжущих, гипса. Показана эффективность высокочастотного диэлькометрического анализа цементных материалов. Приведены новые данные по изучению золошлаковых отходов Монголии и их использованию в дорожном строительстве. Разработаны составы сухих смесей уплотняющих растворов с применением добавок нанопорошков.

Ключевые слова: строительные материалы, минеральные вяжущие, минеральные добавки, диэлькометрический анализ, золошлаковые отходы, дорожный грунтозолобетон, сухие смеси, уплотняющие растворы, добавки нанопорошков.

**Влияние минеральных микронаполнителей на свойства композиционных строительных материалов.** Это влияние подробно исследовано на кафедре строительных материалов и специальных технологий НГАСУ (Сибстрин) на примере цементных, магнезиальных и гипсовых вяжущих [1–3].

Дисперсные минеральные наполнители (добавки) широко используются для модификации строительных материалов, изменения в требуемом направлении их технологических и эксплуатационных свойств. Применение добавок позволяет в большей мере реализовывать потенциальные возможности неорганических вяжущих веществ (цементных, магнезиальных, гипсовых) и полимерных материалов. Во многих случаях введение добавок сокращает расход дорогостоящих вяжущих веществ. Для обеспечения высокой эффективности действия минеральных микронаполнителей важны не только их свойства, но и вводимое их количество и дисперсность.

Дисперсные минеральные добавки могут оказывать следующие воздействия на структуру и свойства композиционных материалов:

1. Микроармируют структуру искусственного камня.
2. Обуславливают перераспределение механических напряжений между искусственным камнем и частицами добавки, при этом важно, чтобы модуль упругости (и соответственно твердость) материала добавки был выше, чем у искусственного камня.
3. Препятствуют распространению микротрещин в структуре материала.

4. Могут являться подложками для кристаллизации образующихся новых гидратных фаз.

5. Воздействуют на процесс гидратационного твердения вяжущего вещества.

В качестве критериев при выборе микронаполнителей могут быть рассмотрены такие их характеристики, как энергия кристаллической решетки, стандартная энтальпия образования и стандартная энтропия вещества.

Близкими  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $MgO$  значениями удельной стандартной энтальпии образования и удельной стандартной энтропии вещества обладают волластонит, диопсид. Эти материалы, а также аналогичные им по составу и структуре могут быть эффективно использованы для улучшения свойств строительных материалов (табл. 1).

Таблица 1. Удельные термодинамические свойства веществ

Соединения	Стандартная энтальпия образования вещества $-\Delta H_f(B)$ , кДж/кг	Стандартная энтропия образования вещества $S^0(B)$ , Дж/(г · К)
MgO	15,05	0,67
CaO	11,35	0,71
CaCO <sub>3</sub> (кальцит)	12,10	0,93
SiO <sub>2</sub>	15,18	0,70
3CaO · SiO <sub>2</sub> ( $C_3S$ , алит)	13,90	0,80
$\beta$ -2CaO · SiO <sub>2</sub> ( $C_2S$ , белит)	13,30	0,73
CaO · MgO · 2SiO <sub>2</sub> (диопсид)	14,80	0,66
CaO · SiO <sub>2</sub> (волластонит)	14,10	0,71
3MgO · 2SiO <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O (серпентинит)	15,61	0,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,42	0,50
3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> (муллит)	16,00	0,60
CaSO <sub>4</sub>	10,52	0,78

Большое значение имеет дисперсность добавки. Теоретический анализ на основе представлений о плотнейшей упаковке частиц в структуре материала показывает, что при близких значениях плотности и дисперсности вяжущего вещества и добавки оптимальное ее содержание составляет около 8 % от массы вяжущего вещества. Если дисперсность добавки больше чем вяжущего вещества, то ее оптимальное количество будет меньше. В приведенных ниже примерах удельная поверхность диопсида составляла 2200 см<sup>2</sup>/г, волластонита — 2900, портландцемента ПЦ 400 Д20 — 3200 см<sup>2</sup>/г.

Использование измельченного волластонита позволяет получить композиционное магнезиальное вяжущее, обладающее высокой механической прочностью и водостойкостью. При этом существенно уменьшается усадка образцов при твердении. Волластонит вводился в состав композиционного магнезиального вяжущего в количестве от 20 до 95 мас. %. В табл. 2 приведены водотвердое отношение (В/Т), плотность и прочность образцов после 28 сут твердения на воздухе. Для оценки упрочняющего действия минеральной добавки в табл. 2 значения прочности при сжатии  $R_{сж}$  приведены как отношения к прочности контрольных бездобавочных образцов  $R_{сж}/R_{контр}$ .

Таблица 2. Влияние волластонита на свойства магнезиального вяжущего после 28 сут твердения на воздухе

MgO, мас. %	Волластонит, мас. %	В/Т	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Относительная прочность, $R_{сж}/R_{контр}$
5	95	0,375	1850	0,52
10	90	0,44	1740	1,65
15	85	0,51	1710	2,79
20	80	0,81	1820	2,70
30	70	1,06	1630	2,79
40	60	1,01	1790	2,83
60	40	1,35	1480	1,70
80	20	1,85	1520	1,79

Максимальная механическая прочность образцов достигается при количестве вводимого волластонита 60–85 %. После длительного хранения в воде (90 сут) образцы композиционного вяжущего, содержащие волластонит, незначительно утрачивают прочность, а в ряде случаев увеличивают ее. Это может быть обусловлено образованием более прочных структур твердения, вследствие действия адсорбционного поля добавки в процессе гидратации MgO.

Введение микроармирующих минеральных добавок (волластонит, диопсид и др.) повышает прочность образцов цементного камня, цементно-песчаного раствора и бетона, полученного из смеси состава, кг/м<sup>3</sup> бетона: цемент ПЦ 400 Д20 — 323, песок — 551, щебень — 1288, вода — 215 (табл. 3).

Существенное увеличение прочности бетона обеспечивается как при использовании свежеприготовленного (исходного) цемента, так и хранившегося в течение 4 мес при повышенной влажности. Действие минеральной добавки проявляется при твердении бетона в нормальных условиях и при тепловлажностной обработке (см. табл. 3).

Таблица 3. Влияние количества диопсида и условий хранения портландцемента на прочность бетона при сжатии, МПа

Вяжущее	Количество добавки диопсида, мас. %					
	0	2	5	7	9	11
Твердение в условиях тепловлажностной обработки						
Исходный цемент	16,2	18,4	19,3	21,0	21,3	18,7
Цемент после 4 мес хранения во влажных условиях	11,8	16,2	17,1	18,0	17,8	16,6
Твердение в нормальных условиях						
Исходный цемент						
1 сут	3,7	4,0	4,2	4,2	4,5	3,9
3 сут	7,0	7,8	8,1	8,3	8,6	7,9
7 сут	11,4	13,5	14,4	14,8	15,1	13,7
28 сут	20,3	23,5	25,0	25,8	26,2	23,7
Цемент после 4 мес хранения во влажных условиях						
1 сут	2,7	2,9	3,4	4,0	4,2	3,0
3 сут	4,8	5,7	6,9	7,1	7,5	5,9
7 сут	8,5	11,0	11,9	12,3	13,1	11,7
28 сут	15,3	19,6	21,4	21,9	22,6	20,8

При введении дисперсных минеральных добавок изменяется пористая структура цементного камня. Весьма существенное различие отмечается для пор цементного камня диаметром менее 1,2 мкм. Их общий объем и соответственно суммарная поверхность значительно возрастают при введении добавки диоксида. Основная доля суммарной поверхности (более 95 %) приходится на поры диаметром 0,15 мкм и менее. При введении добавок характеристическая длина пор заметно увеличивается по сравнению с цементом без добавок. В то же время существенно снижается извилистость пор. Это может создать более благоприятные условия для перемещения части воды в соседние воздушные включения. Большое количество пор (капилляров) малого диаметра (менее 1 мкм) будет способствовать повышению морозостойкости бетона, так как вода в них в основном будет находиться в пленочном состоянии.

Таблица 4. Изменение предела прочности образцов при испытании на морозостойкость, МПа

Состав бетонной смеси	Число циклов замораживания–оттаивания					
	0	20	30	45	75	110
Контрольный	15,7	15,5	15,3	—	—	—
С добавкой 9 мас. % воластонита	21,6	—	21,5	21,4	—	—
С добавкой 9 мас. % диоксида	23,1	—	—	23,3	23,3	21,1

Таблица 5. Влияние добавки диоксида на свойства гипсовых образцов

Содержание диоксида, % от массы гипса	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность, МПа		В/Г
		при изгибе	при сжатии	
1	1,07	3,96	7,44	0,67
3	1,12	4,42	7,68	0,67
5	1,11	4,04	7,75	0,67
7	1,11	3,97	8,80	0,67
9	1,25	4,22	9,16	0,60
20	1,20	3,96	7,48	0,60
40	1,14	2,94	6,88	0,60
60	1,21	2,71	5,54	0,56
80	1,26	2,56	5,02	0,54

Введение дисперсных минеральных добавок, особенно 9 мас.% диоксида, повышает морозостойкость бетона от F150 до F300, также возрастает его прочность при сжатии (табл. 4). Добавление дисперсного диоксида способствует значительному повышению прочности гипсового камня (табл. 5) [2, 3]. Максимальная прочность при сжатии образцов достигается при количестве вводимого диоксида 9 %. Она увеличивается на 40 % по сравнению с бездобавочным гипсом. При этом четко прослеживается максимум прочности при сжатии в зависимости от количества введенной добавки.

**Высокочастотный диэлькометрический анализ цементных материалов.** Диэлькометрия (или диэлектрометрия) — метод исследования структуры и свойств веществ путем определения их диэлектрических свойств — диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  [4]. Диэлькометрия успешно применима в тех

случаях, когда одним из компонентов, участвующих во взаимодействии, является вода. Это характерно для процесса взаимодействия вяжущих веществ с водой и формирования структуры искусственного камня.

Молекулы воды обладают большим дипольным моментом  $6,17 \cdot 10^{-30}$  Кл·м. Их ориентация при наложении внешнего электрического поля обуславливает высокую диэлектрическую проницаемость воды, а при действии высокочастотного поля — высокий уровень диэлектрических потерь.

Диэлектрические свойства воды подробно изучены. При температуре  $20^\circ\text{C}$  и частоте около 1 МГц  $\epsilon = 78,2$ ,  $\text{tg}\delta = 0,4000$  [5]. Диэлектрические свойства портландцемента в исходном и гидратированном состояниях мало исследованы. Об их значениях можно судить по аналогии с другими силикатами и гидросиликатами, такими как волластонит, форстерит, слюда, тальк. Так, у керамики, основу которой составляет волластонит ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) при частоте 1 МГц и температуре  $20^\circ\text{C}$   $\epsilon = 6,5-7$ ,  $\text{tg}\delta = 0,0003-0,0004$ . У керамики на основе форстерита ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ) при тех же условиях  $\epsilon = 6,8-7,1$ ,  $\text{tg}\delta = 0,0001-0,0005$ . У кристаллических тел, содержащих полярные молекулы воды, диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери больше, чем у безводных веществ. Так, в работе [6] для кристаллического двухводного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) на частоте 1,5 МГц получено значение  $\epsilon = 26$ , для кристаллического талька ( $\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )  $\epsilon = 18$ .

При взаимодействии с портландцементом вода переходит в связанное состояние в составе гидросиликатов и гидроалюминатов. По уровню диэлектрических свойств можно исследовать изменение состояния воды при гидратации цемента и формировании структуры искусственного камня.

В работе исследован портландцемент производства ОАО «Искитимцемент» (Новосибирская область) марки ПЦ 500 ДО. Его минералогический состав, мас. %:  $\text{C}_3\text{S}$  — 60–65;  $\text{C}_2\text{S}$  — 16–20;  $\text{C}_3\text{A}$  — 8–13;  $\text{C}_4\text{AF}$  — 10–13. Удельная поверхность  $4100 \text{ см}^2/\text{г}$ . Химический состав цемента, мас. %:  $\text{SiO}_2$  — 19,1;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 6,3;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 4,4;  $\text{CaO}$  — 68,2;  $\text{MgO}$  — 1,2;  $\text{SO}_3$  — 0,4, п.п.п. — 0,5.

Образцы цементного камня имели размеры  $20 \times 20 \times 20$  мм. Их твердение происходило как в нормальных условиях в течение 3, 7, 14 и 28 сут, так и после тепловлажностной обработки по режиму: подъем температуры до  $80^\circ\text{C}$  — 3 ч, изотермическая выдержка — 7 ч, охлаждение — 2 ч.

Определение диэлектрических свойств проведено на измерителе добротности Tesla VM-560 на частоте 1,5 МГц при температуре  $20^\circ\text{C}$ . Такая частота наиболее информативна при исследовании твердых веществ, содержащих полярные молекулы воды [7].

На торцевые поверхности образца наносились графитовые электроды, подключение к измерителю добротности осуществлялось посредством стальных пластин, плотно контактирующих с графитовыми электродами. Каждый образец испытан не менее четырех раз, в каждой серии было не менее трех образцов. После диэлектрических измерений те же образцы испытывались на прочность при сжатии. Это позволяет корректно сопоставлять значения прочности и диэлектрических свойств цементного камня, которые определяются в данном случае, как и у других кристаллогидратов, полярными молекулами воды, прочностью их связи в структуре материала, а также степенью упорядоченности этой структуры. Во всех случаях проявляется тесная корреляционная связь между

Таблица 6. Изменение прочности и диэлектрических свойств образцов цементного камня

Свойства	Время твердения, сут			
	3	7	14	28
Твердение в нормальных условиях				
Прочность при сжатии, МПа	24,9	46,5	54,2	62,6
Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	34,3	34,8	28,2	24,5
Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$	0,746	0,721	0,731	0,665
Твердение после тепловлажностной обработки (80 °С, 10 ч)				
Прочность при сжатии, МПа	54,3	57,1	58,3	60,1
Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	29,2	26,8	25,9	25,4
Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$	0,735	0,746	0,731	0,719

значением прочности при сжатии цементного камня и его диэлектрическими свойствами (табл. 6).

У образцов, твердевших в нормальных условиях, значительное увеличение прочности (с 24,9 до 46,5 МПа) происходит в интервале от 3 до 7 сут твердения. Вместе с тем диэлектрические свойства цементного камня изменяются меньше, т.е. энергетическое состояние молекул воды, их способность к ориентации в высокочастотном поле остаются практически неизменными. По-видимому, протекают физические процессы, такие как сращивание кристаллов, перекристаллизация новообразований, приводящие к повышению прочности цементного камня.

От 7 до 14 сут твердения прочность образцов увеличивается с 46,5 до 54,2 МПа. Одновременно существенно уменьшается диэлектрическая проницаемость и возрастает добротность образцов, что является следствием снижения диэлектрических потерь, т.е. процесс упрочнения образца сопровождается усилением энергетической связи воды в структуре цементного камня.

От 14 до 28 сут происходит дальнейшее увеличение прочности. Диэлектрическая проницаемость снижается, а добротность повышается, хотя и значительно меньше, чем в интервале от 7 до 14 сут твердения.

У образцов, прошедших тепловлажностную обработку при температуре 80 °С с изотермической выдержкой в течение 7 ч, при дальнейшем твердении в нормальных условиях прочность увеличивается, а диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери снижаются (см. табл. 6). После 3 сут твердения образцов, подвергнутых термообработке по указанному режиму, прочность их при сжатии такая же, как после 14 сут твердения в нормальных условиях. Вместе с тем диэлектрическая проницаемость у образцов, прошедших термообработку, больше, а добротность меньше, чем у твердевших в течение 14 сут в нормальных условиях, т.е. при одинаковой механической прочности у образцов, прошедших термообработку, связь полярных молекул воды в структуре менее прочная. Такие молекулы активно участвуют в процессе поляризации материала в высокочастотном поле.

При дальнейшем твердении образцов, прошедших термообработку, их прочность увеличивается, уменьшаются диэлектрические потери и диэлектрическая проницаемость, т.е. происходит дальнейшее усиление энергетических связей молекул воды в структуре цементного камня.

Однако к 28 сут твердения рассматриваемые величины не достигают значений, соответствующих 28 сут твердения в нормальных условиях.

Таким образом, при гидратационном твердении цементного камня наряду с повышением механической прочности изменяются диэлектрические свойства (диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери), определяемые упорядоченностью структуры и степени энергетической связи в ней полярных молекул воды. Корреляционная связь этих показателей с прочностью может являться основой ее неразрушающей оценки. У образцов, прошедших тепловлажностную обработку, при равных значениях прочности с образцами, твердевшими в нормальных условиях, упорядоченность структуры и связь в ней полярных молекул воды меньше, что фиксируется значениями диэлектрических свойств. На основе диэлькометрического анализа может быть установлен оптимальный режим тепловой обработки цементных материалов.

Высокочастотный диэлькометрический анализ позволяет определить рациональные режимы процессов изготовления бетона, оптимальное количество вводимых в цемент добавок (минеральных наполнителей, электролитов, поверхностно-активных веществ). При этом может быть детально исследован процесс гидратационного твердения цемента на различных его стадиях.

**Возможности применения золошлаковых отходов ТЭЦ Монголии в автодорожном строительстве.** Среди промышленных отходов одно из первых мест по объемам занимают золошлаковые отходы (ЗШО) от сжигания твердых видов топлива (уголь разных видов, горючие сланцы, торф) на тепловых электрических станциях (ТЭЦ). Ежегодно, в целом по России, образуется более 60 млн т ЗШО, в том числе по Омским ТЭЦ-2, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 — около 2,5 млн т, по Новосибирским ТЭЦ-5, ТЭЦ-3, ТЭЦ-2 — 800 тыс. т ЗШО. В среднем, по этим городам мелкими потребителями утилизируется не более 5–6 % ЗШО. В то время как использование ЗШО в развитых странах мира составляет более 60 %.

Широко распространена практика строительства заводов при ТЭЦ по полной переработке ЗШО в различные строительные материалы. В среднем по России объем перерабатываемых ЗШО около 7 %, а в Монголии 3 % от их текущего выхода. Например, из 20–35 тыс. т ЗШО Дарханской и Эрдэнэтской ТЭЦ (Монголия) используется в строительстве не более 1 тыс. т в год. Причина этого кроется в недостаточной изученности ЗШО Монголии, отсутствии проверенных регламентированных составов строительных смесей с ЗШО, налаженного золоотбора, а также адаптированных для условий Монголии технологий переработки ЗШО в строительные материалы, среди которых наиболее перспективно использование ЗШО при строительстве местных автомобильных дорог [8].

Для изучения свойств ЗШО Дарханской и Эрдэнэтской ТЭЦ были использованы методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с рентгеноспектральным микроанализом и рентгенофазового анализа (Институт катализа СО РАН). Применены приборы: сканирующий электронный микроскоп «JSM-6460 LV» с приставкой INCA Oxford Instruments для рентгеноспектрального микроанализа и рентгеновский дифрактометр Bruker D-8 Advance (Германия).

По данным комплекса методов ЗШО обеих ТЭЦ имеют близкий минерально-фазовый и химический состав. На рисунках представлены данные исследования зол ТЭЦ Дархана с помощью СЭМ (рис. 1), а также рентгенограммы зол (рис. 2). Элементный состав приведен в табл. 7.

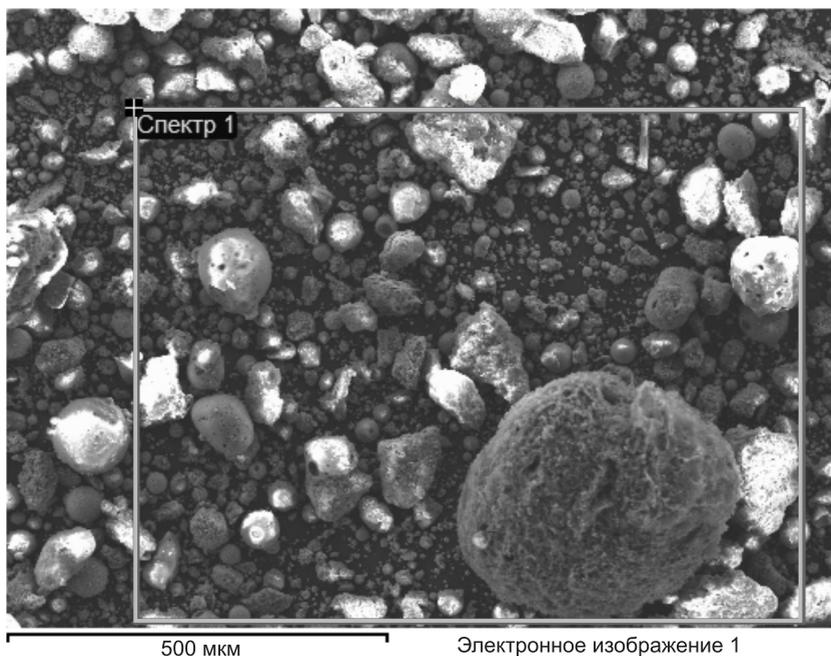


Рис. 1. СЭМ-изображение золы ТЭС Дархана

По результатам рентгеноспектрального микроанализа золы Дарханской и Эрдэнэтской ТЭС — высокоуглеродистые, малокальциевые. В Дарханской золе среднее содержание Са 0,95 % (от 0,28 до 7,41 %); в Эрдэнэтской — 1,41 %. Частицы круглой формы на СЭМ-изображениях представляют собой глобулы сажи (чистый углерод). Остальные фазы — это в основном оксиды Fe, Al, Si, Mg, часто в виде шпинели

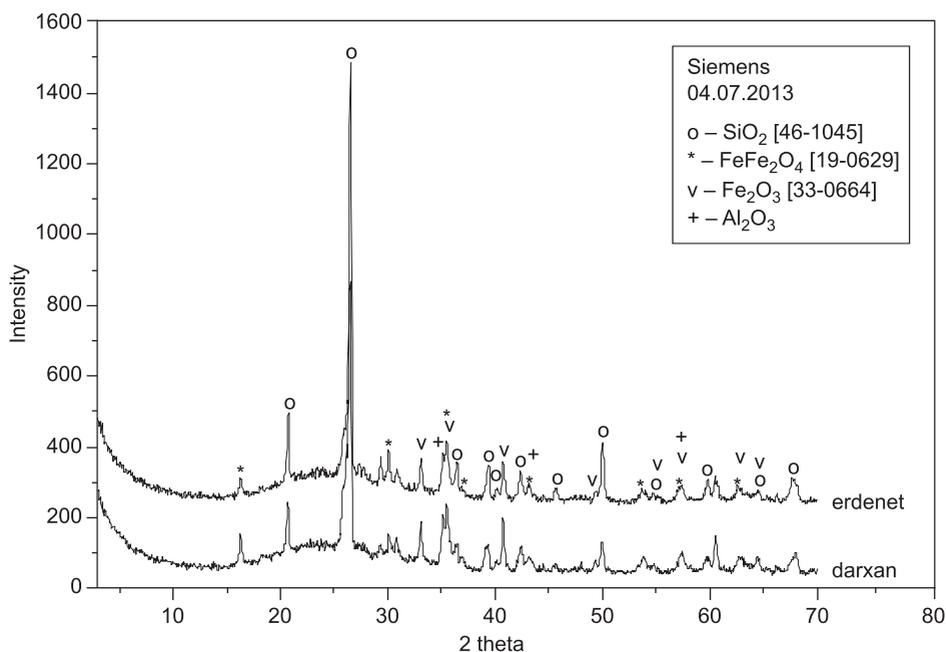


Рис. 2. Рентгенограммы зол Дарханской и Эрдэнэтской ТЭС

Таблица 7. Состав образца ЗШО Дарханской ТЭЦ

Количество, %	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
Вес.	22,60	49,80	0,29	0,56	7,49	12,36	0,69	1,41	0,52	4,31
Атом.	31,95	52,87	0,21	0,39	4,71	7,47	0,30	9,60	0,18	1,31

( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$  или  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ). На СЭМ-изображениях хорошо видно распределение железа, оно имеет ярко-белый цвет.

Данные рентгенофазового анализа (см. рис. 2) показывают близкое соответствие фазового состава ЗШО ТЭЦ Дархана и Эрдэнэта. Это же следует из данных рентгеноспектрального микроанализа. Оба вида золы имеют кислый, высокоуглеродистый состав. Такие золы, содержащие мало кальция, обладают низкими вяжущими свойствами. Они будут иметь хорошее сцепление с теми грунтами, в которых достаточно соединений кальция (высокоизвестковый грунт). В случае применения таких зол в грунтозолобетонах для устройства оснований автомобильных дорог рекомендуется использовать добавки цемента, извести или природного известняка [9].

В табл. 8 приведены результаты испытаний образцов грунтозолобетона (7,07×7,07×7,07 см), твердевшего на пористом основании в течение 28 сут.

Из табл. 8 видно, что грунтозолобетон на основе золы Дарханской ТЭЦ набирает прочность до 4,7 МПа при введении 20–30 % золы и 7–10 % цемента. Дополнительное снижение расхода цемента до уровня менее 7 % возможно при введении соединений кальция в виде извести (известняка).

Таблица 8. Результаты лабораторных испытаний грунтозолобетона

Смесь, №	Состав, % по массе			Вода, % (осадка конуса 8 см)	Прочность при сжатии, МПа (28 сут)
	цемент (ПЦ 400)	зола (Дархан)	грунт (супесь)		
1	10	27	63	30	4,7
2	10	25	65	30	4,3
3	10	20	70	30	4,3
4	10	18	72	30	4,7
5	9	28	63	28	4,6
6	9	25	66	28	4,3
7	9	22	69	28	4,3
8	9	20	71	28	4,6
9	8	27	65	26	4,3
10	8	25	67	26	4,3
11	8	22	70	26	4,5
12	8	20	72	26	4,3
13	7	30	63	24	4,3
14	7	29	64	24	4,4
15	7	28	65	24	4,2
16	7	27	66	24	4,2

**Разработка и исследование составов сухих смесей уплотняющих растворов с использованием добавок нанопорошков.** Испытания проводились в лабораториях кафедры СМСТ НГАСУ (Сибстрин) и на строительных объектах г. Новосибирска. В работе принимали участие ООО ПСК «Фундамент», ООО «Бардаханов» и ООО «Геркулес-Сибирь».

Подготовка, строительство и контроль состояния оснований фундаментов зданий и сооружений — актуальные задачи строительного и жилищно-коммунального комплекса. Они приобретают особую значимость при строительстве, реконструкции и ремонте технически сложных объектов. Это, прежде всего, — укрепление грунтов с низкой несущей способностью (большинство грунтов на территории Новосибирска и области) для оснований фундаментов зданий и сооружений жилого фонда, автомобильных и железных дорог, взлетно-посадочных полос и многих других объектов. Сущностью укрепления и уплотнения грунтов методом высоконапорного инъецирования является нагнетание активных растворов в грунты под давлением через специальные устройства — иньекторы. В процессе инъецирования раствора происходит разрыв сплошности грунта с образованием зон разрыва, заполнение этих зон уплотняющим раствором с одновременным уплотнением грунта, прилегающего к раствору в направлении замещения грунта раствором.

В Западно-Сибирском регионе нередко наблюдаются факты резко повышения уровня грунтовых вод, сопровождаемые переувлажнением лессовых почв и непредсказуемыми просадками и провалами грунтов вблизи и непосредственно под жилыми и промышленными зданиями в черте городов и поселений. По данным детальных геолого-минералогических исследований (опубликовано в работах Н.Г. Стениной [10, 11]), вышеупомянутый геологический фактор заключается в следующем. Структурно-химически связанная в минеральном веществе (в виде аквакомплексов) вода высвобождается и становится видимой, если минеральная система попадает в неравновесное состояние. Аргиллитовые (глинистые) породы разлагаются на песок, карбонаты, силикаты и воду. Вода насыщает грунты, ее избыток может выходить на поверхность. В результате, резко снижается прочность и несущая способность грунтов.

В современных строительных условиях более предпочтительно и экономически и технологически оправдано не приготовление уплотняющих растворов на строительной площадке, в частности, путем перемешивания глины, песка и цемента, а приготовление их из специальных сухих смесей. Поэтому был разработан и реализован метод создания инъекционных уплотняющих растворов на основе сухих смесей (СС) вяжущих, песка, золы, нанопорошков и других минеральных модифицирующих добавок. Важной особенностью данных сухих смесей является замена глин промышленными отходами — золой ТЭЦ. При создании СС с целью регулирования реологических свойств инъекционных растворов, а также для повышения прочности раствора и деформационных характеристик уплотненного геокомпозита была испытана серия наносиликатов (нанопорошков «Таркосил»).

Для получения СС использованы зола ТЭЦ и нанопорошки (в частности, наносиликаты, ООО «Бардаханов»), способствующие улучшению водоудерживающих свойств растворов, сохранению их пластичности, повышению прочности и деформационных характеристик уплотненного геокомпозита. В ООО «Геркулес-Сибирь» произведена опытно-промышленная партия сухой смеси, успешно примененная для уплотнения грунтов на строительных объектах ООО ПСК «Фундамент».

Регламентированные свойства сухих строительных смесей для уплотняющих растворов:

- марка по прочности не менее М25;
- подвижность не менее 160 мм;
- водоудерживающая способность не менее 99 %;
- технологическая жизнеспособность не менее 2 ч.

В результате серии экспериментов для промышленных испытаний был предложен оптимальный состав смеси, %: цемент ПЦ 400 Д20 — 10 % (от массы смеси), зола ТЭЦ-5 — 27, песок 0,63 мм — 63, химические добавки: эфир крахмала — 0,01 и ПАВ Esaron — 0,01, минеральная добавка (нанопорошок Б19) — 0,01. Ее свойства:

вода 29 % от СС;

подвижность 11 см;

водоудержание 98 %;

расслоение 3,5 %;

прочность при сжатии: 3 сут 1,0 МПа; 7 сут 2,3 МПа; 28 сут 4,2 МПа.

Цемент, зола, песок, добавка (эфир крахмала) предоставлены ООО «Геркулес-Сибирь», нанопорошок — ООО «Бардаханов». Подвижность смеси оценивалась по глубине погружения конуса СтройЦНИИЛ стандартным методом ГОСТ 5802. Подвижность смеси доводилась до значения 10–11 см путем варьирования количества добавляемой воды. Расслаиваемость и водоудерживающая способность раствора определялись стандартным методом по ГОСТ 5802, расплыв по Суттарду (РК) — по методу, используемому при определении марки строительного гипса, ГОСТ 23789.

Для равномерного распределения нанопорошка по объему сухой смеси на первом этапе ее приготовления наноразмерный порошок диоксида кремния «Таркосил» предварительно перемешивался с цементом. В полученной смеси наночастицы порошка связаны с цементом, что позволяло их добавлять в заводскую смесительную установку для равномерного перемешивания с остальными компонентами сухой смеси (рис. 3). Приготовленная сухая смесь транспортировалась на стройплощадку, где готовился ее водный раствор и нагнетался в грунт по технологии ООО ПСК «Фундамент».

Установлена принципиальная возможность и эффективность использования в строительстве сухих смесей с нанодобавками. Помимо широкого применения в технологиях усиления грунтов оснований фундаментов зданий и сооружений, усилении оснований автомобильных и железных дорог в сложных грунто-геологических условиях, нанодобавки могут использоваться и в стандартных технологиях тяжелых и легких (ячеистых) бето-



Рис. 3. Смесительная установка для приготовления сухой смеси

нов. Однако наиболее перспективным может стать разработка и производство комплекса сухих смесей различного строительного назначения с наноматериалами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бердов, Г.И. Влияние минеральных микронаполнителей на свойства композиционных строительных материалов: моногр. [Текст] / Г.И. Бердов, Л.В. Ильина, В.Н. Зырянова; Новосиб. гос. архитектурно-строит. ун-т (Сибстрин). — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. — 124 с.
2. Завадская, Л.В. Влияние дисперсных минеральных добавок на структуру и прочность гипсового камня [Текст] / Л.В. Завадская, Г.И. Бердов, Я.С. Агалакова, Е.А. Шишмакова // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 10. — С. 18–22.
3. Завадская, Л.В. Упрочнение гипсового камня с введением дисперсных минеральных добавок [Текст] / Л.В. Завадская, Г.И. Бердов, Я.С. Агалакова, Е.А. Шишмакова // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 8. — С. 47–50.
4. Заринский, В.А. Диэлектрики [Текст] / В.А. Заринский // Химическая энциклопедия. — М.: Сов. энцикл., 1990. — Т. 2. — С. 210.
5. Заринский, В.А. Высоочастотный химический анализ [Текст] / В.А. Заринский, В.И. Ермаков. — М.: Наука, 1970. — 200 с.
6. Хиппель, А.Р. Диэлектрики и их применение: Пер. с англ. [Текст] / А.Р. Хиппель. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. — 336 с.
7. Водопьянов, К.А. Температурно-частотная зависимость для диэлектрических потерь в кристаллах с полярными молекулами [Текст] / К.А. Водопьянов // Докл. АН СССР. — 1952. — Т. 94, № 5. — С. 919–921.
8. Применение зол уноса и золошлаковых отходов при строительстве автомобильных дорог: Обзор. информ. [Текст] / Е.И. Путилин, В.С. Цветков. — М.: ФГУП «СоюздорНИИ», 2003. — 31 с.
9. Машкин, Н.А. Золошлаковые отходы ТЭЦ Монголии и их применение [Текст] / Н.А. Машкин, Н.Г. Стенина, А.Н. Машкин, А. Хадбаатар // Сб. науч. тр. по материалам III Всерос. науч.-практ. конф. «Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение» (3–4.03.2014). — Якутск: СВФУ им. М.К. Аммосова, 2014. — С. 323–326.
10. Stenina, N.G. Evolution of the mineral matter of the earth: Theory and implications. Energy paradigm of geological processes: Scientific electron book. — URL: [www.stenina.geo.com](http://www.stenina.geo.com) (дата обращения: 12.03.2015).
11. Стенина, Н.Г. Строительная индустрия в свете решения проблемы связывания воды в силикатном веществе: моногр. [Текст] / Н.Г. Стенина. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2014. — 54 с.

*БЕРДОВ Геннадий Ильич, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*МАШКИН Николай Алексеевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: [mashkin@sibstrin.ru](mailto:mashkin@sibstrin.ru)*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 16.03.15

**Berdov Gennady Ilyich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Mashkin Nikolay Alekseevich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: [mashkin@sibstrin.ru](mailto:mashkin@sibstrin.ru), Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

#### **PROMISING DIRECTIONS FOR IMPROVEMENT OF MINERAL-BASED BUILDING MATERIALS TECHNOLOGY**

Shown NSUACE (Sibstrin) research in recent years in the field of theory and technology of composite materials based on man-made raw materials. Given theoretical basics of effective mineral additives to improve the performance of materials based on Portland cement, magne-

sia cement, gypsum. Shows the efficiency of high-frequency LCR-analysis of cement materials. Lists the new data on the ash wastes of Mongolia and their use in road construction. Developed formulations of dry mixes sealing solutions with the use of supplements, powders.

**Key words:** construction materials, mineral binders, mineral supplements, LCR-analysis, ash-slag wastes, road soil-ash concrete, dry mixes, sealing solutions supplement powders.

#### REFERENCES

1. Berdov, G.I. Mikronapolnitelej effect of mineral on properties of composite building materials: monograph [Text] / G.I. Berdov, L.V. Ilina, V.N. Zyryanova; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin). — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2013. — 124 p.
2. Zavadsкая, L.V. Influence of dispersed mineral additives on the structure and strength of gypsum [Text] / L.V. Zavadsкая, G.I. Berdov, Ya.S. Agalakova, E.A. Shishmakova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 10. — P. 18–22.
3. Zavadsкая, L.V. Strengthening gypsum with the introduction disperse mineral supplements [Text] / L.V. Zavadsкая, G.I. Berdov, Ya.S. Agalakova, E.A. Shishmakova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 8. — P. 47–50.
4. Zarinskiy, V.A. LCR-analysis [Text] / V.A. Zarinskiy // Chemical encyclopedia. — M., 1990. — Vol. 2. — P. 210.
5. Zarinskiy, V.A. A chemical analysis of the high frequency [Text] / V.A. Zarinskiy, V.I. Ermakov. — M. : Nauka, 1970. — 200 p.
6. Hippel, A.R. Dielectrics and applications [Text] / A.R. Hippel. — M.; L. : Gosenergoizdat, 1959. — 336 p.
7. Vodopyanov, K.A. Temperature and frequency dependence of dielectric losses in crystals with polar molecules [Text] / K.A. Vodopyanov // Papers of Academy of Sciences of the USSR. — 1952. — Vol. 94, N 5. — P. 919–921.
8. Application of fly ash and ash wastes in the construction of highways: Overview [Text] / E.I. Putilin, V.S. Tsvetkov. — M. : Federal State Unitary Enterprise «Soyuzdornii», 2003. — 31 p.
9. Mashkin, N.A. Power plant ash-slag wastes of Mongolia and their application [Text] / N.A. Mashkin, N.G. Stenina, A.N. Mashkin, A. Hadbaatar // Sat. researcher. works on the mater. (III) Vseross. Scient. conf. «Modern problems of construction and life-support systems: safety, quality, energy and resource saving» (3–4.03.2014). — Yakutsk : SVFU them M.K. Ammosova, 2014. — P. 323–326.
10. Stenina, N.G. Evolution of the mineral matter of the earth: Theory and Implications. Energy paradigm of geological processes: Scientific electron book. — URL: [www.stenina.geo.com](http://www.stenina.geo.com) (date of acces: 12.03.2015).
11. Stenina, N.G. The construction industry in the light of the decision of problems of water silikatnom binding substance: The monograph [Text] / N.G. Stenina. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2014. — 54 p.

## **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**УДК 69.003:658.387**

**В.В. ГЕРАСИМОВ, О.А. КОРОБОВА, А.К. ИСАКОВ,  
О.Ю. МИХАЛЬЧЕНКО**

### **УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Проблема безопасности функционирования и развития территориальных строительных систем обусловлена сложностью архитектуры производств и недостаточно разработанными научной и методической базами для управления территориальными образованиями. В настоящее время еще не созданы нормативная и методическая базы для основных структурообразующих организаций — кластеров, что затрудняет процессы реагирования на изменения внешней среды и снижает эффективность их деятельности. В статье рассмотрены вопросы интеграции инфраструктуры, которые позволят получить достоверные данные о влиянии системы факторов на эффективность деятельности.

Предложен методический подход к управлению надежностью деятельности строительных организаций на основе учета системного взаимодействия организационных, технологических, экономических, финансовых факторов работоспособности потенциала.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** управление, системная надежность, деятельность, потенциал, факторы работоспособности.

Территориальная строительная система (ТСС) представляет собой распределенную производственно-логистическую и строительную базы предприятий и организаций, решающих задачу обеспечения строительными услугами территориальных объектов. При этом работоспособность предприятий и организаций характеризуется возможностью производства достигать наибольшего объема предоставления услуг, надежность — измерением степени производственного потенциала, а риск — уровнем потери результата деятельности.

ТСС формируется архитектурой строительных комплексов на основе рыночных принципов, которые предопределяют необходимость учета факторов риска и связанного с ними уровня безопасности деятельности объектов системы. Уровень безопасности представляет собой положение оценки состояния организации в области допустимых значений доходности и результативности деятельности, а опасности — критические значения состояния в области превышения предельных уровней доходности и результативности организации. Доходностью характеризуется экономическая, а результативностью — функционально-целевая сторона деятельности [1].

Практика показывает, что наиболее сложной задачей проектирования и планирования деятельности территориальных организаций является

© Герасимов В.В., Коробова О.А., Исаков А.К., Михальченко О.Ю., 2015

ся разработка методической базы стохастических нормативов опасностей в области четырех зон их формирования: организационных, которыми отражается уровень изменения или отклонения структурных форм организаций, технологических — ресурсных процессов, экономических — затрат, финансовых — денежных потоков организаций [2].

В настоящее время использование этих характеристик затруднено из-за недостаточно разработанной нормативно-методической базы территориальных систем. В практике плановой экономики такие разработки включали нормативы удельных капитальных вложений, удельных укрупненных расходов ресурсов и затрат строительной сферы, продолжительности строительства и др. Однако эти разработки требуют корректировки применительно к рыночным условиям.

Анализом практики управления в рыночных условиях установлены особенности учета влияния надежности на эффективность объектов территориальных систем:

— территориальные системы включают в себя распределенные объекты, что создает проблемы интегрирования надежности их деятельности;

— надежность может быть определена только в среднесрочном периоде, а для долгосрочных решений требуются специальные методы;

— надежность территориальных объектов должна комплексироваться в рамках взаимодействия организационно-технологических и финансово-экономических решений;

— исследование надежности требует специальных подходов к формированию нормативов, ориентированных на результат деятельности объектов территориальных систем.

В соответствии с этими положениями сформулированы следующие требования для решения проблемы:

— обеспечение коммуникативности объектов системы на основе интегрированных потоков «ресурс — продукция — товар» в формате кластерных объединений, дающих синергетический и экономический эффект;

— использование методологии непрерывного планирования, обеспечивающей последовательное формирование достоверных плановых параметров в долгосрочном периоде развития потенциала системы;

— применение методологии проектного анализа, гарантирующего эффективные проектные, плановые, управленческие решения;

— использование методологии имитационного моделирования случайных отклонений параметров в качестве инструментария исследования работоспособности системы, включающей структуры, процессы, функции; надежности, учитывающей оценки вероятности работоспособности и опасности, содержащей области состояния экономической эффективности деятельности объектов системы.

Ниже первое требование представлено архитектурой структурных моделей комплекса процессов территориальной организации объектов, второе — структурно-процессным подходом, третье — интегрированной системой в рамках организационно-технологических и финансово-экономических оценок, четвертое — имитационным моделированием случайных событий.

В соответствии с этими положениями основные концептуальные модели надежности комплекса ТСС имеют следующий вид:

— интегрированная надежность объектов

$$Нд(ТСС) = \{Нд(Кпл), Нд(Кпп), Нд(Ксл), Нд(Ксм)\}, \quad (1)$$

где  $Нд(ТСС)$  — надежность системы;

$Нд(Кпл)$  — надежность производственно-логистического кластера;

$Нд(Кпп)$  — надежность производственного промышленного кластера;

$Нд(Ксл)$  — надежность строительно-логистического кластера;

$Нд(Ксм)$  — надежность строительного кластера;

— оптимальная надежность системы

$$Нд(ТСС) \rightarrow \max\{P_y\} = Нд(ТСС)^*, \quad (2)$$

где  $P_y$  — ресурсы управления надежностью;

\* — индекс оптимальности;

— управление надежностью системы

$$\Delta Нд(ТСС) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $\Delta$  — отклонения фактической надежности от плановой;

— эффективность управления надежностью системы

$$\mathcal{E}у(Нд) = \{C(Нд) + \mathcal{E}фу(Нд)\} / C(Нд) > 1, \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}у(Нд)$  — эффективность управления надежностью;

$C(Нд)$  — стоимость объекта с учетом надежности;

$\mathcal{E}фу(Нд)$  — эффект управления надежностью.

Уравнениями (1)–(4) устанавливаются основные характеристики управления надежностью в условиях функционирования и развития кластерной структуры системы на основе принципов системности, сбалансированности, оптимальности. Принципами системности должна обеспечиваться взаимосвязь блоков оценок надежности; сбалансированности — согласованность затрат и ресурсов; оптимальности — максимизация результативности деятельности объектов системы.

Принципами определяются требования, которые должны обеспечивать согласованность стохастических параметров в установленных уровнях безопасности системы.

Безопасность ТСС имеет вид:

$$БЗ = f\{P(N), D_x\} \text{ при } D_x > 0 \text{ и } D_x < 0, \quad (5)$$

где  $P(N)$  — риск, определенный уровнем надежности;

БЗ — безопасность системы в формах зон опасностей  $D_x > 0$ ,  $D_x < 0$ ;

$D_x$  — доходность системы.

В уравнении (5) отображается риск как основная оценка и соответствующие границы безопасности деятельности.

Методология содержит систему моделей и методов, приведенную в табл. 1.

Технология создания управления надежностью включает последовательность процессов формирования: структуры объектов строительства; потоков работ кластера; структуры кластеров ТСС; потенциала кластеров ТСС; надежности нормативов параметров ТСС.

Структура объектов строительства ТСС представляется как

$$ТСС = UKл(УП), \quad (6)$$

где  $UKл$  — множество специализированных кластеров;

(УП) — множество предприятий кластера.

Таблица 1. Система моделей и методов ТСС

№	Объект	Модель	Метод	Объекты решений
1	ТСС	Структуризации	Декомпозиции	Формы организации
2	Поток ресурсов	Процессная	Сетевой	Потенциал потоков
3	Функции управления	Матричная	Цепной подстановки	Потенциал структур
4	Комплексирование кластеров	Коммуникаций	Кластеризации	Потенциал предприятий
5	Кластеры ТСС	Работоспособности	Надежности	Риск

Структура потоков работ кластера имеет вид:

$$\{Оп(Кпл) \rightarrow Оп(Кпп) \rightarrow Оп(Ксл) \rightarrow Оп(Ксм)\}, \quad (7)$$

где Оп — объем продукции кластерных структур: для Кпл — логистика материалов, Кпп — производство изделий, Ксл — логистика строительства, Ксм — строительно-монтажные работы.

Структура объектов кластеров содержит:  
— специализированные кластеры

$$Ксп = (Кпл, Кпп, Ксл, Ксм), \quad (8)$$

где Ксп — комплекс специализированных кластеров;  
— виды отображения деятельности и параметры надежности

$$Кпн = \{Ор(Омт, Отр, Омх), Тх(Ммт, Мтр, Ммх), \\ Эк(Змт, Зтр, Змх, Зи), Фн(Зв, Зн)\}, \quad (9)$$

где Кпн — комплекс кластеров по надежности;  
Ор — организационные решения;  
Омт, Отр, Омх — параметры объемов по материалам, труду, механизмам;  
Тх — технологические решения;  
Ммт, Мтр, Ммх — параметры мощности по материалам, труду, механизмам;  
Эк — экономические решения;  
Змт, Зтр, Змх, Зи — параметры затрат по материалам, труду, механизмам, инвестициям;  
Фн — финансовые решения;  
Зв, Зн — параметры затрат по выручке, налогам.

Потенциал кластеров имеет вид:

$$Пт(К) = (UKij)_{\max}, \quad (10)$$

где Пт(К) — потенциал кластерной системы;  $Kij$  — кластер  $i$ -й специализации  $j$ -го параметра надежности вида деятельности.

Потенциал кластера определен возможностью использования ресурсов для реализации продукции инфраструктурных объектов с учетом надежности параметров деятельности.

Интегрированная надежность ТСС может быть представлена оценкой безопасности:

— функционирования ТСС

$$Нд(ТСС) = Пт(К)_ф / Пт(К)_н; \quad (11)$$

$$БЗ: P(N) \leq Cд; \quad ПЗ: P(Нд) = Cд; \quad КЗ: P(Нд) \geq Cд, \quad (12)$$

где ф, н — индексы фактической и нормативной надежности потенциала системы;

БЗ, ПЗ, КЗ — индексы безопасной, предельной и кризисной зоны;  
 Р(Нд) — риск по надежности;  
 Сд — ставка доходности;  
 — преобразования ТСС

$$\text{БЗ(ТСС)}_{t+1} \Rightarrow \text{БЗ(ТСС)}_t, \quad (13)$$

где  $t + 1, t$  — индексы состояния систем после и до преобразований.

Исследованиями определены значения надежности ТСС [3–5]. В основе вариаций для исследований принимались: жилые дома различной этажности и материалов стен, промышленные предприятия и логистические организации, обслуживающие строительные организации Новосибирска.

На основании принятой методологии и исследований блоков ТСС установлены оптимальные параметры надежности и сформированы управляющие модули по классам определителей: предметной специализации — логистика, производство, строительство; видам деятельности — организация, технология, экономика, финансы; типам категорий оценок — работоспособность, надежность, риск, опасность.

Исследования надежности включали проведение следующих работ:

1. Формирование концепции надежности сложных строительных систем.

2. Разработка модельного комплекса.

3. Исследование работоспособности объектов системы.

4. Формирование аналитических моделей надежности.

5. Формирование нормативной базы надежности объектов.

6. Разработки методологических основ использования нормативов в проектах и программах ситуационного планирования и управления развитием объектов.

Локальные результаты исследований приведены в табл. 2 и 3.

Из таблиц следуют положения:

— количественные значения надежности определяются группами факторов в блоках системы предприятия;

— системная надежность имеет большее снижение надежности по сравнению с локальными оценками и определяет интегрированную оценку состояния безопасности системы объекта;

**Таблица 2. Оценки безопасности ТСС (фрагмент блока Ор)**

Оценки безопасности	Блоки процессов ТСС				ТСС	Нп, 5	Нп, 10	Нп, 15	Нп, 20
	Лп	Пп	Сл	См					
Нд	0,997	0,996	0,997	0,995	0,985				
Рк	3	4	3	5	15				
Об	1	1	1	1		3	3	2	1

Примечание. В табл. 2, 3: Нд — индекс надежности; Рк — индекс риска; Об — индекс области безопасности; Нп — норма прибыли.

**Таблица 3. Оценки безопасности ТСС (фрагмент блока См)**

Оценки безопасности	Блоки решений ТСС				ТСС	Нп, 5	Нп, 10	Нп, 15	Нп, 20
	Ор	Тх	Эк	Фн					
Нд	0,995	0,998	0,996	0,997	0,986				
Рк	5	2	4	3	14				
Об	1	1	1	1		3	3	2	1

— области безопасности объекта изменяются в зависимости от установленной ставки доходности объектов системы;

— в целом норматив надежности применительно к ТСС может составить до 60 % и соответственно риска — 40 %.

**Выводы.** 1. Проведенными исследованиями надежности на примере жилищного строительного комплекса и его кластерных систем определены нормативы надежности, которые можно использовать при формировании документов — бизнес-планов, среднесрочных планов развития объектов и др.

2. Нормативы интегрированной надежности должны быть дополнены вариантами оценок на основе стандартных методов (PEST, SWOT и др.) в качестве приложения к методологии оценки надежностей системы.

3. Предложенный подход может быть использован при проектном программировании и в ситуационном планировании развития ТСС.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов [Текст]. — М. : Госстрой РФ, 1999. — 623 с.
2. Герасимов, В.В. Управление безопасностью социально-экономических систем [Текст] / В.В. Герасимов, Е.С. Лабутин, Н.В. Пятых // Новые технологии в строительном материаловедении. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. — С. 161–166.
3. Герасимов, В.В. Управление программными рисками территориальных систем [Текст] / В.В. Герасимов, Е.А. Саломатин, Н.В. Пятых // Новые технологии в строительном материаловедении. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. — С. 156–161.
4. Герасимов, В.В. Инжиниринг управления экономической безопасностью строительных объектов [Текст] / В.В. Герасимов, Н.В. Пятых, Е.С. Лабутин // Социально-экономические проблемы совершенствования управленческой деятельности: теория и практика: междунар. сб. науч. тр. — Новосибирск : НГАУ, 2013. — С. 14–18.
5. Герасимов, В.В. Оценка эффективности стратегии развития кластеров региона [Текст] / В.В. Герасимов, А.К. Исаков // Экономика и организационно-управленческие проблемы развития строительного комплекса России: сб. науч. тр. Всесоюз. конф. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2014. — С. 124–128.

*ГЕРАСИМОВ Виталий Владимирович, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*КОРОБОВА Ольга Александровна, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ИСАКОВ Алексей Константинович, канд. экон. наук, доц.*

*Сургутский государственный университет*

*МИХАЛЬЧЕНКО Олег Юрьевич, канд. техн. наук, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 27.03.15

**Gerasimov Vitaliy Vladimirovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Korobova Olga Alexandrovna**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Isakov Alexey Konstantinovich**, candidate of economical sciences, assistant professor, Surgut State University, Russia

**Mikhailchenko Oleg Yurievich**, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **SAFETY MANAGEMENT OF TERRITORIAL BUILDING SYSTEMS**

The problem of safety of functioning and development of local building systems due to the complexity of architecture, plants and insufficiently developed scientific and methodological basis for management of territorial entities. Currently not yet developed regulations and guidelines for the basic structure-forming organizations — clusters, making it difficult to respond to changes in the external environment and reduces the efficiency of their operations. The article discusses the issues of integration of environmental factors that will generate reliable data on the impact of system factors on performance.

The methodical approach to the management of reliability activities of construction organizations on the basis of the system of interaction between organizational, technological, economic, and financial factors health potential.

**Key words:** management, system reliability, operation, capacity, serviceability.

### REFERENCES

1. Methodical recommendations according to efficiency of investment projects [Text]. — M. : Gosstroy of the Russian Federation, 1999. — 623 p.
2. Gerasimov, V.V. Security Management of socio-economic systems [Text] / V.V. Gerasimov, E.S. Labutin, N.V. Pyatyh // New technologies in building materials science. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2012. — P. 161–166.
3. Gerasimov, V.V. Control of software risks of territorial systems [Text] / V.V. Gerasimov, E.A. Salomatin, N.V. Pyatyh // New technologies in building materials science. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2012. — P. 156–161.
4. Gerasimov, V.V. Engineering economic security management of construction objects [Text] / V.V. Gerasimov, N.V. Pyatyh, E.S. Labutin // Socio-economic problems of managerial improvement: theory and practice: Int. SB. nauchn. works. — Novosibirsk : NSAU, 2013. — C. 14–18.
5. Gerasimov, V.V. Assessment of the effectiveness of the strategy of cluster development in the region [Text] / V.V. Gerasimov, A.K. Isakov // Economics and management and organizational problems of development of the construction complex of Russia: In Proc. scientific.tr. All-Union conferences. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2014. — P. 124–128.

## ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.514:624.139

Г.И. КУЗНЕЦОВ

### НАКОПИТЕЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Рассмотрены результаты многолетних натурных наблюдений за фильтрационно-температурным режимом гидротехнических сооружений хвостохранилищ на Енисейском Севере и в Якутии. Ограждающие дамбы построены на вечномерзлых основаниях и претерпели серьезные термокарстовые деформации вследствие значительной льдонасыщенности. Выполнен анализ характерных особенностей, в том числе положительных факторов, определяющих устойчивость.

Ключевые слова: хвосты, грунты, дамба, лед, термокарст, наблюдения.

**1. Общие сведения.** Термин «накопители» объединяет класс многочисленных и разнообразных по конструкции и режиму эксплуатации сооружений, общими признаками которых являются их назначение (хранение твердых и жидких промышленных отходов) и отрицательное влияние на экологию (загрязнение поверхностных и подземных вод при фильтрации токсичных стоков, переливах и разрушениях дамб, ветровая эрозия складированных отходов и загрязнение атмосферы и почвы, разрушение природных ландшафтов, опасные криогенные процессы).

Условно накопители можно разделить на четыре основные группы:

- хвостохранилища обогатительных фабрик цветной и черной металлургии;
- шламонакопители в различных отраслях промышленности — химической, металлургической, целлюлозно-бумажной;
- золоотвалы тепловых электростанций;
- отстойники промышленных стоков.

Наиболее опасны в экологическом отношении шламонакопители, так как складированные в них отходы относятся к наиболее токсичным и длительное время находятся в разжиженном состоянии, не образуя слоя плотных отложений. В золоотвалах и особенно в хвостохранилищах золошлаки и хвосты постепенно формируют слой плотных намывных отложений; по мере наращивания мощности этого слоя происходит его консолидация и возрастает фильтрационное сопротивление, т.е. даже при отсутствии специальных экранов фильтрация может постепенно уменьшаться, а в отдельных случаях практически прекращаться.

В шламонакопителях относительно слабо проявляется экранирующий эффект неконсолидированного слоя шламов. Фильтрация, начавшаяся через дамбу и незащищенное ложе, в большинстве случаев уменьшается незначительно и может даже постепенно усиливаться с ростом уровня заполнения. Исключения составляют лишь те объекты, на кото-

рых происходит кольматация ложа мельчайшими частицами шламов или выпадающими из раствора химическими соединениями.

Из прочных зернистых отходов, складываемых в накопителях (хвосты, золошлаки), могут возводиться первичные ограждающие дамбы, тепло- и гидроизоляционные экраны, дамбы наращивания и другие конструктивные элементы. При этом дамбы наращивания могут отсыпаться на ранее намывтый, уплотненный и дренированный массив отходов. Слабопрочные, медленно консолидирующиеся шламы обычно не используются в качестве основания и материала дамб наращивания. Соответственно, хвостохранилища и золоотвалы могут быть многоярусными, поэтапно наращиваемыми сооружениями, тогда как шламонакопители, как правило, являются одноярусными и возводятся сразу на полную проектную высоту. Фильтрационные утечки из накопителей *талого* типа возможны при любом способе экранирования; их можно существенно уменьшить, но предотвратить весьма сложно. Полное отсутствие фильтрации может быть достигнуто только в накопителях *мерзлого* типа при промораживании противофильтрационного контура на всей длине напорного фронта. В отдельных случаях может оказаться целесообразным сохранение в естественном талике под мерзлой дамбой управляемого фильтрационного потока, перехватываемого локальным незамерзающим дренажом.

Накопители характеризуются непрерывным изменением во времени конструктивных и технологических параметров — напора, контуров сооружения в плане, поперечных и продольных профилей и материала ограждающих дамб, мощности слоя складываемых отходов, их физико-механических свойств, рельефа дна и глубины отстойного пруда. Происходят также сезонные и многолетние изменения тепловых и фильтрационных параметров, определяющих сложные процессы теплообмена в системе атмосфера — накопитель — основание.

**2. Эксплуатация и натурные исследования накопителей.** Эксплуатация накопителей в криолитозоне существенно осложняется оттаиванием и деформациями вечномерзлых грунтов, глубоким сезонным и многолетним промерзанием дамб, развитием наледей на участках высачивания фильтрационных потоков, образованием и последующим оттаиванием слоев льда, замытого в толще намывных отложений, деформациями откосов сложного криогенного строения и другими факторами. Поэтому результаты длительных наблюдений за формированием фильтрационно-теплого режима этих сооружений и результаты оценки тепловой, статической и фильтрационной устойчивости таломерзлых намывных массивов представляют значительный научный и практический интерес. Ниже рассмотрены характерные особенности формирования фильтрационно-теплого режима дамб двух крупных хвостохранилищ, построенных в Якутии и на Енисейском Севере.

**Хвостохранилище № 1** расположено в долине ручья на сплошном массиве вечномерзлых грунтов. Эксплуатация этого сооружения завершена в 1994 г., его высота достигает 60 м. Внешняя упорная призма образована из вскрышных пород, а также хвостовых отложений пляжной зоны. Эксплуатация сопровождалась оттаиванием основания дамбы и неравномерными деформациями оттаивающих грунтов, глубоким (более 4 м) сезонным и многолетним промерзанием фильтрующего откоса и, как следствие, формированием сложного безнапорно-напорного режима фильтрации. На участке высачивания фильтрационного потока, сосредоточенного в пределах талика под руслом перекрытого дамбой ручья, ежегодно развивались

мощные наледы у подошвы дамбы, создающие местный подпор и снижающие устойчивость низового откоса. В течение ряда лет на этом сооружении не удавалось осуществить равномерный по всей длине дамбы намыв пляжа достаточной ширины, что в сочетании со значительной водопроницаемостью каменной наброски также поспособствовало формированию постоянного фильтрационного потока. В хвостовых отложениях пляжной зоны неоднократно наблюдалось образование и последующее оттаивание слоев замытого льда, сопровождавшееся термокарстом и сосредоточенной фильтрацией по карстовым провалам и полостям.

Температура мерзлых пород на глубине 8–30 м равна  $-5,6$ – $6,2$  °С, мощность слоя сезонного оттаивания составляет 0,3–2,5 м. Коренные породы представлены мерзлыми трещиноватыми известняками, мергелями, доломитами и песчаниками с прослойками и гнездами льда в трещинах; средняя льдистость равна 0,19. До глубины 10–13 м они разбиты трещинами до состояния щебня и мелких глыб; ниже трещиноватость заметно уменьшается.

С поверхности коренные породы перекрыты мощным (до 6,4 м) слоем щебенисто-галечниковых отложений и суглинков. Наиболее льдонасыщены (льдистость до 0,4 м и выше) суглинки.

В поверхностном слое выявлены тела погребенного льда мощностью до 2,4 м. В интервале глубин от 6,4 до 10 м льдистость грунтов уменьшается до 10–15 % и продолжает снижаться с глубиной. В талом состоянии суглинки приобретают текучепластичную консистенцию, а их коэффициент фильтрации возрастает до 5 м/сут. Криогенная структура суглинка — слоистая слоисто-сетчатая, с линзами льда толщиной до 15 см. Высокая льдистость суглинка определяет значительную осадку при оттаивании. Льдистость галечникового грунта достигает 0,4; толщина ледяных линз 5–15 см; максимальная относительная осадка при оттаивании — 0,44. Ниже залегает галечниковый грунт мощностью от 2 до 12 м с незначительным содержанием суглинистого заполнителя и, соответственно, с меньшей льдистостью, равной 0,24; его относительная осадка при оттаивании не превышает 0,27. Максимальная мощность слоя этого грунта имеет место в русле ручья, чем и определяется наибольшая глубина оттаивания основания на этом участке.

Первичная дамба и дамбы наращивания отсыпаны из вскрышных пород — известняка, мергеля, песчаника и доломита. Высота первичной дамбы в русловом сечении равна 10 м, длина 800 м, ширина гребня 10 м; заложение верхового откоса 1:3, низового — 1:2. Намыв хвостов на пляж и наращивание из них внешней упорной призмы производились в теплый период года при температуре воздуха выше  $-10$  °С. Зимой при постоянном уровне воды в отстойном пруде складирование хвостов осуществлялось из сосредоточенных незамерзающих выпусков под лед и на борта чаши. При отступлениях от этой технологии в массиве отложений образовались мощные (до 2 м) слои замытого льда, что привело к развитию термокарстовых воронок на пляже. Коэффициент фильтрации хвостовых отложений пляжа изменяется от 0,206 до 3,11 м/сут. Наблюдения за тепловым и фильтрационным режимом дамбы выполнялись в период с 1976 по 1994 г.

Значительное влияние на положение депрессионной кривой оказывает ширина пляжа. При его намыве на завершающей стадии эксплуатации целесообразно обеспечивать ширину пляжа не менее 50 м.

Измерения температур выполнялись в наиболее характерные периоды эксплуатации — в феврале, апреле, августе и ноябре. Измерения в апреле характеризуют минимальную температуру грунтов; в августе — учитывают влияние сезонного оттаивания.

Поперечное сечение дамбы приведено на рис. 1, где показаны стабильное (среднее за 1986–1987 гг.) положение кривой депрессии и геотермограммы, характеризующие тепловой режим.

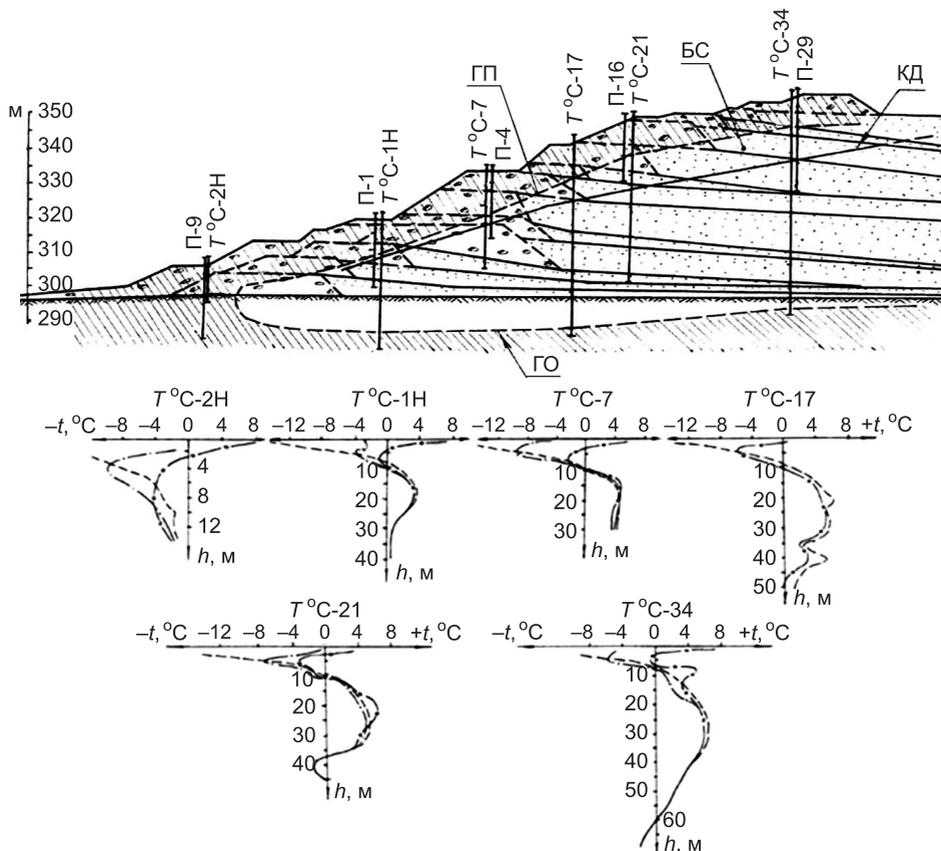


Рис. 1. Фильтрационно-тепловой режим ограждающей дамбы хвостохранилища № 1. Геотермограммы в створе I–I в начальной стадии промерзания зоны высачивания (1989 г.) КД — кривая депрессии; ГП — глубина промерзания; БС — сохраняющийся буферный слой; ГО — граница зоны оттаивания в основании

Проектные решения и условия эксплуатации определили формирование ограждающей дамбы талого типа с замкнутыми талыми зонами в бортовых примыканиях. Основная часть профиля дамбы находилась в талом состоянии при относительно высоком положении депрессионной кривой. Тепловой режим тела и основания внешней призмы определялся влиянием постоянного фильтрационного потока при высокой водопроницаемости дамбы.

Постоянная фильтрация и максимальная глубина оттаивания основания (до 12,5 м) отмечалась в русловой части дамбы (створ II–II). На участках ее сопряжения с бортами долины фильтрация проявлялась менее интенсивно, что подтверждается как меньшей глубиной оттаивания основания, не превышающей 3 м, так и смыканием с мерзлым основанием поверхностного мерзлого панциря, образовавшегося на низовом откосе.

Важнейшим результатом наблюдений на этом объекте следует считать вывод о том, что на участке постоянной фильтрации фильтрационно-тепловой режим дамбы являлся благоприятным для устойчивости промерзающего низового откоса. Даже при относительно высоком положении депрессионной поверхности мерзлый водонепроницаемый панцирь отделен от нее «буферным» талым слоем, в котором не проявляются фильтрационные силы, отрывающие мерзлый панцирь от основного массива откоса.

Исключение составляли локальные зоны у подошвы дамбы на участках ее бортовых примыканий, где поверхностный мерзлый панцирь при отсутствии фильтрационного высачивания смыкается с вечномерзлым основанием. На таких участках маломощный фильтрационный поток движется уже не по нормали к оси дамбы, а стекает по поверхности мерзлого борта к расположенному ниже подрусловому талику, являющемуся природной водосборной дренажной. Отдельные слабые и разобщенные фильтрационные выходы на бортовых участках практически не влияли на общую картину фильтрации, в основном сосредоточенной в пределах заполненного галечниковым грунтом подрусового талика.

Эти положения подтверждены наблюдениями, проведенными на аналогичных объектах вплоть до 2012 г. и продолжают в настоящее время.

**Хвостохранилище № 2** отличается тем, что его ограждающая дамба высотой 45–56 м возведена методом намыва из мелкозернистых хвостов на вечномерзлом основании. Температура супесчано-суглинистых отложений  $-2-3$  °С, криогенная текстура — слоисто-сетчатая, объемная льдистость 30–40, иногда 90–100 %, тепловая осадка превышает 15 %.

Ширина пляжа при намыве составляет 50–100 м, местами имеет уклон 1:20, среднее заложение намывного низового откоса 1:4.

Глубина отстойного пруда 3,5–5 м, средняя температура пульпы в период намыва пляжа не превышала 15 °С.

Определяющее влияние на криогенные процессы и обусловленные ими деформации в намывном массиве оказывали температурные, технологические и фильтрационные факторы. До 1966 г. выпуск пульпы производился на верховой и низовой откосы наращиваемой дамбы. Сброс хвостов под лед впервые осуществлен зимой 1966/67 г. До 1967 г. в зимнее время отстойный пруд покрывался слоем льда толщиной от 1 до 3 м и при весьма малых глубинах (часто не более 3,0 м) пруд почти полностью промерзал на значительной площади.

В теплое время замороженный в пруде лед полностью не оттаивал и замывался хвостами (рис. 2). Этими обстоятельствами объясняется наличие в теле дамбы и в ложе пруда нескольких мощных слоев и линз льда. Средняя суммарная мощность ледяных тел в целом 25 % от общей мощности талых и мерзлых отложений. Толщина ледяных включений 25 % от высоты дамбы, на отдельных пикетах достигает 35 % (13,0 м). В среднем по чаше мощность ледяных тел 31 % от общей мощности отложений. В отдельных скважинах суммарная мощность льда 85 %. В основном пласты льда залегали в толще мерзлых отложений, но в некоторых скважинах выявлены слои льда на контакте с талыми грунтами при температурах, близких к 0 °С.

Выход пластов льда на поверхность низового откоса зафиксирован на многих участках эрозионно-термокарстового разрушения. Многолетняя



Рис. 2. Выпуск пульпы на ледяной покров отстойного пруда и образование слоев замкнутого льда в массиве хвостовых отложений

консервация замкнутых ледяных тел была признаком стабильности теплового режима замороженных зон. Локальные термокарстовые деформации в этих зонах наблюдались на сравнительно незначительной площади пляжа и низового откоса. В то же время на участке, где низовой откос был подтоплен теплыми стоками, развивались опасные деформации (общее смещение откоса в сторону нижнего бьефа и продольные трещины на гребне), являвшиеся следствием таяния льда или его вязкопластического течения при повышении температуры.

Профиль низового откоса, гребня и пляжа сформирован циклами отсыпки дамб обвалования. Рыхлая поверхность верхнего яруса откоса высотой 4–8 м не уплотнялась и легко осыпалась. Откос этого яруса имел уклон 1:1, 1:0,5. Естественное выравнивание и уплотнение поверхности откоса происходило только в нижней его части на тех участках, где этот процесс не осложнялся фильтрационными и термокарстовыми деформациями. Поверхность выровненной части откоса, образующей его нижний ярус, обычно имела уклон от 1:5 до 1:10. Переход крутого верхнего рыхлого яруса в пологий нижний ярус на большей части длины дамбы характеризовался наличием рыхлого излома, в пределах которого активно развивались мерзлотные явления и деформации. Восстановительный намыв из более крупнозернистых хвостов обеспечивал заложение откоса порядка 1:4–1:6. Плотный, монолитный, не содержащий ледяных включений массив восстановленного откоса был значительно более устойчив к поверхностной эрозии, чем рыхлый и крутой первоначальный откос.

Формирование мощных включений техногенных льдов и соответственно сложное криогенное строение дамбы, тепломассообмен в промерзающих — оттаивающих отложениях и технологические факторы определяли комплекс криогенных деформаций, существенно снижавших устойчивость хвостохранилища. Наиболее существенное воздействие на фильтрационную и статическую устойчивость низового откоса оказывали следующие формы криогенных процессов и деформаций, наблюдавшихся в период с 1967 по 1980 г.

1. *Эрозионный размыв поверхности* гребня и низового откоса, связанный с недостатками технологии намыва, наблюдался повсеместно и происходил вследствие утечек пульпы при намыве дамбы и при разрывах пульпопроводов. Наиболее подвержен размыву верхний крутой ярус от-

коса. В меньшей степени данная форма размыва проявлялась на пологой, уплотнившейся поверхности нижнего яруса. Участки, намытые гидроциклонами из крупнозернистых хвостов, более устойчивы к этой форме эрозии. При размыве оттаявших с поверхности отложений образовались промоины шириной до 10 м и глубиной до 2 м или более узкие вертикальные щели шириной до 1 м и глубиной до 3–4 м. Основными мероприятиями по борьбе с данным типом эрозии являются:

— совершенствование технологии возведения дамбочек обвалования и тщательный контроль за выпусками пульпы и деформациями пульповодов;

— своевременная и тщательная заделка эрозионных русел в основном при помощи восстановительного намыва из хвостов крупных фракций;

— создание необходимых уклонов на пляже, обеспечивающих быстрое его обезвоживание вблизи гребня дамбы.

2. *Эрозионный размыв и местные обрушения низового откоса* (рис. 3) при вытаивании погребенных снежников. Мощные (до 4–5 м) отложения снега на откосе и у подошвы его верхнего, крутого яруса способствовали появлению своеобразной формы эрозии в сочетании с местными сплывами переувлажненных намывных отложений. Снежники образовывались по всей длине дамбы на уровне излома, разделяющего крутой и пологий ярусы низового откоса, а также практически во всех имеющихся к началу зимы промоинах и других провальных образованиях. К концу зимы на поверхности снежников накапливался теплоизолирующий шлейф из рыхлых хвостов, обзанный своим происхождением зимней ветровой эрозией (пылению), оплыванию и обрушению крутых рыхлых откосов над снежниками. Благодаря теплоизолирующему эффекту шлейфа снежники не вытаивали полностью в течение лета; снег пропитывался водой и превращался в особый вид погребенного льда. Вытаивание этих льдов в течение ряда лет приводило к образованию глубоких (до 3–5 м) воронок и эрозионных промоин с почти вертикальными стенками, являвшихся причиной интенсивных местных сплывов откосов над ними.



Рис. 3. Эрозионный размыв откоса при вытаивании погребенных снежников

Медленное таяние снежников питало многочисленные ручьи, усиливая эрозию откоса. На участках деградации погребенных снежников оплывающая поверхность откоса формировалась в виде ледяного козырька — уступа высотой 0,5–1 м, с которого в течение всего лета стекали разжиженные хвосты и талые воды. Основными внешними индикаторами начальной стадии процесса вытаивания снежников являлись многочисленные воронки и столбчатое растрескивание всей поверхности шлейфа, прикрывавшего снежники.

3. *Карстовые полости*, наблюдавшиеся на глубине до 1 м под поверхностью низового откоса, возникали вследствие эрозионных процессов, происходивших под мерзлой коркой сезоннопромерзающих отложений. Эти полости формировались в виде узких промоин вдоль склона, с очень слабым сводом, обрушавшимся под действием собственного веса, оттаивания и эрозии.

4. *Провальные термокарстовые воронки* (рис. 4) на поверхности гребня и пляжа дамбы. Эти деформации являлись индикаторами процесса вытаивания замкнутых пластов и линз льда под воздействием положительной температуры воды в пруде, не опускающейся ниже 3 °С, сезонного оттаивания промороженного за зиму слоя хвостов на пляже и фильтрации в талых зонах.

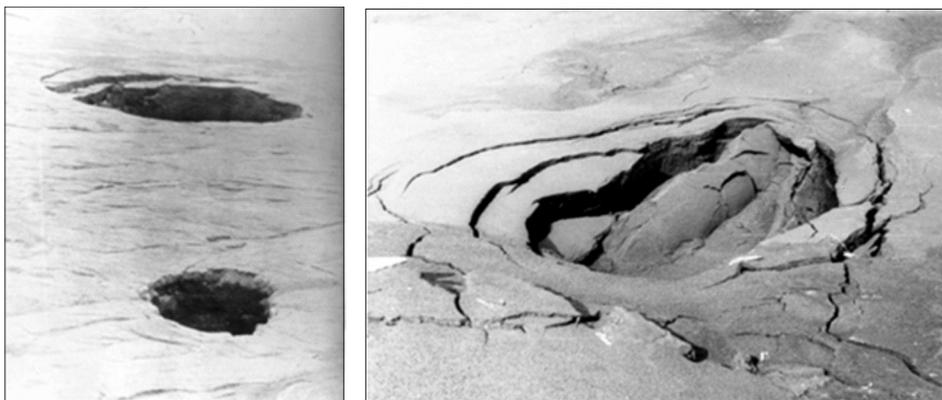
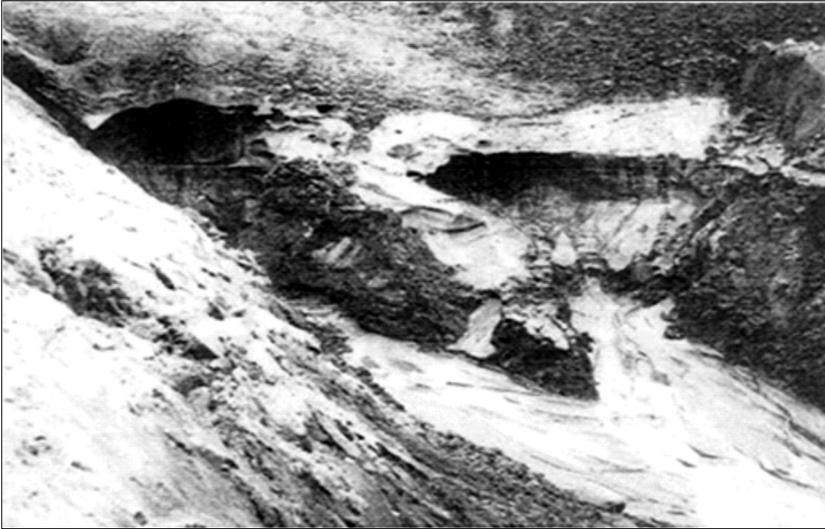


Рис. 4. Провальные термокарстовые воронки

Диаметр воронок достигал 10 м, глубина 2 м. Воронки были окружены сетью концентрических трещин глубиной 0,5–1 м. В конце периода сезонного оттаивания пляжа воронки достигали своего предельного развития, часто сливались между собой и образовывали на площади в несколько десятков квадратных метров термокарстовый провальный рельеф пляжа. На участках верхового откоса, пораженных термокарстовыми процессами, намывные отложения находились в разжиженном состоянии и были лишены какой-либо структурной прочности.

5. *Термокарстовые пещеры* (рис. 5) на низовом откосе дамбы образовывались при вытаивании пластов и линз льда и обрушении вмещающих его намывных отложений. Вытаивание льда происходило при сезонном оттаивании, фильтрации и эрозионном размыве хвостов на поверхности откоса. Пещеры возникали в различных местах по длине дамбы на любой ее высоте и являлись весьма опасной формой деформации, проникающая в толщу откоса на глубину до 5 м. Доступная для осмотра внешняя часть пещер располагалась внутри или под слоем льда, образующего свод



*Рис. 5. Термокарстовые пещеры на низовом откосе*

и наружный торец пещеры. Окружающее пещеру обнажение образовывало вертикальную ледяную стенку. Устье пещеры (диаметр 1,2–2 м) переходило в глубокое (до 2 м) эрозионное русло. Намывные отложения вокруг пещеры были структурно неустойчивыми, постоянно оплывали и обваливались в теплое время. Потоки воды, вытекавшие из пещер, содержали взвешенные частицы хвостов.

6. *Фильтрационно-термокарстовые* (термоэрозионные) воронки (рис. 6) в зоне выхода напорного фильтрационного сосредоточенного потока, круглые или овальные в плане, с отвесными, почти вертикальными стенками, глубиной до 10–12 м и диаметром до 50 м формировались на низовом откосе практически на любой его высоте. В центре воронки наблюдался небольшой гриффон или медленное высачивание. Нижний край



*Рис. 6. Фильтрационно-термокарстовое разрушение намывного массива низового откоса*

воронки полностью разрушался вытекавшим из нее потоком, создававшим вдоль склона эрозионное русло. Наблюдалась также серия воронок, расположенных уступами вдоль склона. Возникновению воронки или очередному этапу роста ее диаметра предшествовали плавное понижение поверхности откоса на глубину 1–2 м и появление системы глубоких вертикальных трещин, образующих концентрические окружности по периметру начавшегося провала. Иногда развитие воронок и образование «цепочки» воронкообразных провалов происходили вдоль продольной оси дамбы; наблюдались движение фильтрационного потока по уклону «цепочки» и высачивание в центре каждой воронки. Смыкающиеся между собой воронки образовывали сплошную провальную террасу, рассекавшую дамбу на длине 50–100 м. Незамерзающие, постоянные в течение зимы выходы фильтрационных вод являлись причиной развития наледных процессов внутри воронок.

7. *Наледи и гидролакколиты* (рис. 7) связаны с высачиванием напорных фильтрационных вод на поверхность низового откоса по фильтрующим таликам. В местах постоянных выходов напорных фильтрационных вод в процессе сезонного промерзания поверхности откоса развивались



Рис. 7. Гидролакколиты у подошвы низового откоса дамбы

наледи, диаметр (или длина вдоль откоса) которых достигал 100–130 м. Наледи включали в себя плоские участки и бугры пучения — гидролакколиты, развивавшиеся над сосредоточенными фильтрационными выходами. До проведения восстановительного намыва гидролакколиты располагались на уровне излома откоса и вблизи его подошвы. На тех участках, где была произведена отсыпка дренажной призмы, гидролакколиты развивались за призмой и далее по откосу, вплоть до его нижней кромки в русле незамерзающего ручья, являвшегося естественным, постоянно действующим дренажом для талых фильтрующих зон дамбы. Выше дренажной отсыпки появление гидролакколитов не отмечалось. Все гидролакколиты развивались в форме пологих куполов диаметром до 10–15 м, высотой 3–5 м. Под действием напора воды, высачивающейся в основании купола, и в процессе роста толщины льда в течение зимы гидролакколиты пересекались трещинами, из которых высачивалась вода.

Многие трещины были заполнены выпученными снизу разжиженными хвостами; некоторые бугры были рассечены трещинами на полную высоту, а стенки трещин ориентированы вертикально; раскрытие трещин достигало 1–1,5 м. Повторные, многолетние бугры имели слоистое строение купола; толщина отдельных слоев изменялась от 0,1 до 2 м. Встречались бугры, сложенные хвостами, без ледяных включений. По форме и размерам эти бугры совпадали с ледяными. В некоторых буграх под слоем хвостов на глубине 0,7 м был замечен лед. По периметру многих крупных бугров располагались мелкие ледяные куполы высотой до 0,6–0,7 м и диаметром 0,5–0,8 м. В декабре — феврале, при наиболее низких температурах воздуха, наряду с растрескиванием ледяных куполов наблюдался опаснейший вид деформации — взрыв с образованием отдельных глыб и кусков льда, достигающих в поперечнике 2 м. При взрыве обломки льда разлетались на расстояние до 100 м. В основании взорвавшихся гидролакколитов сохранялись незамерзающие выходы фильтрационных вод. Поверхность откоса в основании взорвавшегося бугра представляла кратер глубиной до 1 м, заполненный разжиженными хвостами, легко размываемыми и стекающими вниз по откосу в летнее время.

Несколько иной тип бугра пучения наблюдался в полости фильтрационно-термоэрозионной воронки. В результате промерзания конуса хвостов, вынесенных из толщи откоса сосредоточенным потоком, конус покрывался тонкой водонепроницаемой коркой. Под действием напора воды эта корка разрушалась, на разрушенную поверхность конуса изливалась вода и замерзала, прикрывая ледяной коркой пустоты в теле деформированного конуса. Многократное образование, последующее разрушение и быстрое восстановление ледяных и льдогрунтовых корок сопровождалось ростом бугра, под верхней куполообразной коркой которого наблюдались многочисленные мелкие гриффыны высачивающихся фильтрационных вод. Структура бугра — рыхлая; тело его состояло из отдельных пластинок мерзлых хвостов и льда. Это очень непрочное образование, легко разрушавшееся под действием напора на тонкую верхнюю корку. Расход высачивавшегося потока был недостаточным для заполнения водой многочисленных полостей, каверн и рыхлых напластований. Этими особенностями генезиса и строения данный тип бугра пучения существенно отличается от основной формы — льдогрунтового купола, рассекаемого глубокими трещинами или уничтожаемого взрывом. Формирование этого пористого гидролакколита не менее опасно для устойчивости дамбы.

Обилие гидролакколитов являлось убедительным доказательством наличия талых фильтрующих зон в теле дамбы. Устойчивость дамбы на этих участках могла быть обеспечена при промораживании таликов или устройстве местного незамерзающего дренажа.

Для сравнения укажем, что при эксплуатации других гидроотвалов на мерзлых основаниях, оттаивание которых сопровождалось развитием интенсивной фильтрации по оттаивающему слою, также формировались мощные многолетние поверхностные наледы на низовом откосе и в нижнем бьефе вдоль фильтрующих русловых таликов, являвшихся естественными дренажами. Высота подъема таких наледей по откосу достигала 15 м, толщина слоя льда 10 м и длина вдоль лога до 2 км. Наледь в сочетании с сезонным промерзанием создавала предпосылки для формирования напорного фильтрационного потока в намывном массиве низового

откоса. Давление этого потока на нижнюю поверхность водоупорной мерзлой зоны (включающей в себя и тело наледи) приводило к снижению устойчивости сооружения.

Деформации технологического, фильтрационного, термокарстового происхождения вызвали повсеместную глубокую эрозию откоса на всем его протяжении. Отдельные ручьи талых и фильтрационных вод, эрозионные русла, промоины и полости различного генезиса, термокарстовые провалные образования в совокупности определяли чрезвычайно сложный и неустойчивый характер рельефа откоса. Даже его плотная пологая часть и восстановленные участки подвергались повторным деформациям.

Аналогичное льдообразование в намывных отложениях и обусловленные им термокарстовые процессы происходили при эксплуатации ряда других хвостохранилищ и золоотвалов. Вследствие несвоевременного наращивания дамб и недостаточной для подледного складирования емкости отстойных прудов допускался намыв пульпы на поверхность промерзающего пляжа и выпуск пульпы на ледяной покров пруда. При намыве пляжа весной замывались не успевшие оттаять лед и сезонная мерзлота. В результате на этих сооружениях также образовались слои замытого льда и льдистых намывных отложений. Из-за теплоизолирующего эффекта слоя отложений, перекрывающего замывые мерзлые слои, они оттаивали весьма медленно (хвостохранилище Коршуновского ГОК, золоотвал Аркагалинской ГРЭС и др.).

Наблюдениями за формированием теплового режима намывной дамбы (1967–1980 гг.) установлено наличие в теле дамбы четырех характерных мерзлотно-температурных зон (рис. 8).

1. Зона талых намывных отложений мощностью до 11–18 м со средней температурой от 0,4 до 1,5 °С. Она включала в себя часть гребня и пляжа и являлась областью формирования локальных напорных фильтрационных потоков, распространявшихся по откосу. Талое состояние этой зоны определялось тепловым влиянием пруда и конвективным тепломассопереносом вследствие фильтрации и инфильтрации при намыве.

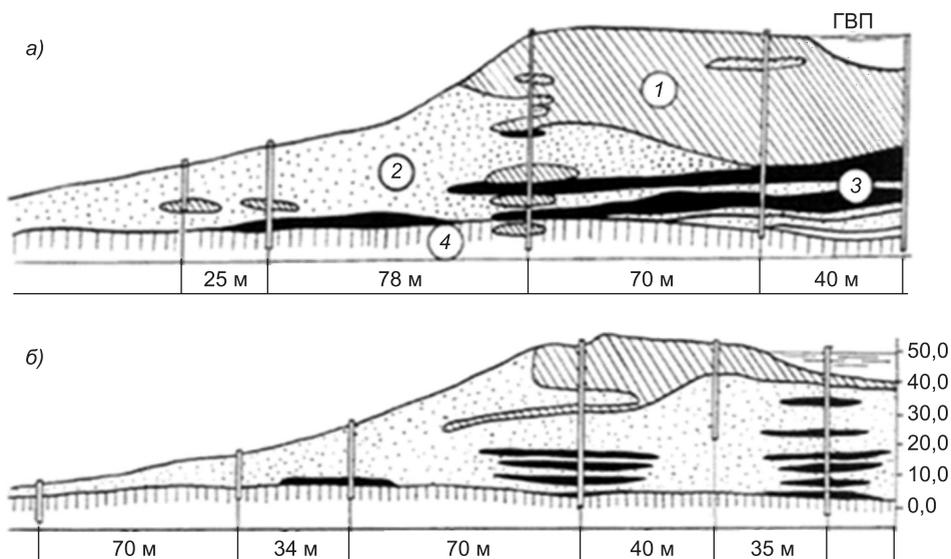


Рис. 8. Криогенное строение и тепловой режим ограждающей дамбы хвостохранилища № 2  
1 — талая зона; 2 — мерзлая зона; 3 — замывые льды; 4 — вечномерзлое основание

2. Зона беспорядочного чередования талых и мерзлых отложений до прекращения в 1976 г. намыва характеризовалась неустойчивым тепловым режимом вследствие тепломассопереноса фильтрационными потоками. Данная зона шириной 10–20 м и мощностью до 12 м с температурой, изменявшейся от 0,3 до –2,1 °С, простиралась по всей дамбе (4 км) и выклинивалась в виде продольной полосы на поверхность низового откоса, где наблюдалось сосредоточение рассмотренных выше криогенных процессов и деформаций. Эта зона занимала переходное между талым массивом первой, верхней зоны и подстилающим массивом промороженных льдонасыщенных отложений четвертой зоны.

3. Зона, включающая нижнюю промерзшую часть низового откоса, характеризовалась стабильностью поля отрицательных температур, изменявшихся от –6,8 до –8,2 °С. Сплошной мерзлый массив этой зоны можно рассматривать, как упорную призму, повышающую устойчивость откоса.

4. Зона, расположенная в центральной части профиля дамбы, содержащая высокольдистые намывные отложения и пласты замытого льда суммарной мощностью до 15 м; длина ледяных пластов в пределах дамбы, без учета простирания их в область отстойного пруда, может превышать 100 м. Как указывалось выше, лед залегает на различных глубинах по всей площади хвостохранилища в пределах нижней трети его высоты. Тепловой режим данной зоны в течение всего периода наблюдений отличался незначительными изменениями, зависящими от крутизны низового откоса в данном створе, его ориентации, определяющей приток солнечной радиации, от мощности снежников на откосе и процесса их таяния, а также от ширины гребня и пляжа. Средняя температура намывных отложений в нижней части этой зоны изменялась от –0,4 до –0,9 °С, в пределах гребня — от –0,4 до –1,6 °С и в средней части — от –0,7 до –1,9 °С.

Основание дамбы в контрольных створах находилось в мерзлом состоянии. Средняя, практически стабилизировавшаяся температура основания составляла –0,9...–2,5 °С. Прекращение намыва оказало благоприятное воздействие на тепловой режим дамбы. За период 1974–1976 гг. отмечено общее понижение температуры талых зон на 0,8 °С. За этот же период температура мерзлых зон понизилась в среднем на 1–2 °С; наблюдалось перемерзание и уменьшение размеров некоторых фильтрующих таликов, ориентированных вдоль наблюдательных створов. В целом по дамбе тенденция к стабилизации отрицательных температур в мерзлых зонах усилилась даже вблизи таликов. Происходило постепенное понижение температуры и продолжалось промерзание низового откоса на тех участках напорного фронта, где затухала локальная фильтрация в таликах и не имело места отепляющее воздействие отложений снега.

**3. Выводы и рекомендации.** На устойчивость и экологическую безопасность накопителей в криолитозоне влияет комплекс температурных, криогенных, фильтрационных и технологических факторов.

Постоянная интенсивная фильтрация и максимальное оттаивание основания наблюдается в русловой части части дамб талого типа. На участках сопряжения с бортами долин фильтрация имеет локальный и временный характер, усиливается при намыве хвостов в летнее время и уменьшается при сезонном промерзании. Колебания депрессионной поверхности в русловых створах, связанные с изменением уровня пруда и сезонным промерзанием — оттаиванием, составляют 1–2 м.

Определяющее влияние на формирование фильтрационного потока в намывном массиве и на оттаивание основания оказывает конструкция

первичной дамбы — водонепроницаемой или фильтрующей, в частности, отсыпанной из вскрышных пород.

Первичные дамбы из каменной наброски — эффективный дренаж и упор для намывного массива лишь при надежной теплоизоляции и сохранении начальной пористости насыпи в течение всего периода эксплуатации. Из-за высокой размокаемости и деформируемости полускальных вскрышных пород под действием фильтрации и многократного промерзания — оттаивания прочность наброски снижается, а ее пустоты заполняются продуктами разрушения — рыхлой суглинисто-щебенистой массой. Уменьшение водопроницаемости наброски приводит к повышению депрессионной поверхности; участок высачивания перемещается вверх по намывному откосу, что неблагоприятно влияет на его устойчивость. Поэтому внутренняя дренажная призма в теле первичной дамбы должна быть отсыпана из прочного и морозостойкого материала и защищена грунтовой теплоизоляцией. Фильтрат необходимо сбрасывать в нижний бьеф концентрированно по отводящему дренажному коллектору, ориентированному вдоль природного талика. Такая схема обеспечивает существование достаточно мощного теплоисточника, исключающего промерзание коллектора зимой и его деформирование при неравномерных осадках оттаивающего основания.

Целесообразно также для обеспечения стабильной прочности и водопроницаемости дамб из вскрышных пород осуществлять контролируемый замыв наброски хвостами или золошлаками.

Необходимо совершенствовать технологию намыва внешних упорных призм накопителей и не допускать замыва пластов льда и слоев льдистых замороженных хвостов или золошлаков; нужно полностью исключить формирование ослабленных прослоек илистых шламов. При наличии таких зон в намывном массиве ограждающей дамбы оценку ее фактической устойчивости необходимо выполнять, располагая потенциально опасные поверхности скольжения в талой области профиля сооружения на контакте с указанными слабopочными включениями.

Для укрепления откосов и повышения их статической и фильтрационной устойчивости в потенциально опасных зонах (в частности, на участках развития наледей, трещин и местных обрушений) рекомендуется своевременный намыв пляжей шириной не менее 25 м, планировка крутых участков откосов, устройство локальных незамерзающих дренажей и пригрузок.

При проведении фильтрационных и температурных наблюдений следует обращать особое внимание на возможный подъем депрессионной поверхности и увеличение мощности водонепроницаемого мерзлого слоя на поверхности низового откоса. В этом случае можно ожидать формирования безнапорно-напорного режима фильтрации, при котором депрессионная поверхность в нижней своей части смыкается с нижней поверхностью мерзлого слоя и на нее передается давление фильтрационного потока в пределах его напорной области.

На всех накопителях, образованных фильтрующими дамбами *талого* типа, у подошвы низового откоса в сезонноталом слое в теплый период появляются надмерзлотные грунтовые воды в результате вытаявания льда, инфильтрации осадков и фильтрации воды. Талик не промерзает и в зимнее время, а глубина его обычно составляет 4–5 м и более. Это важное обстоятельство подтверждено наблюдениями в течение более 25 лет.

Важнейшим результатом натуральных наблюдений, проведенных на хвостохранилищах овражного типа, является тот факт, что зона постоянной фильтрации и максимальная глубина оттаивания основания ограждающей дамбы формируется в пределах днища лога. На этом участке фильтрационно-тепловой режим дамбы благоприятен для устойчивости промерзающего низового откоса. Внешний водонепроницаемый мерзлый слой отделен от депрессионной поверхности промежуточным талым («буферным») слоем. Следовательно, здесь не создаются предпосылки для появления напорной фильтрации и, соответственно, не возникают фильтрационные воздействия, отрывающие поверхностный мерзлый слой от массива откоса.

При определенных мерзлотно-климатических условиях возможно возведение намывных дамб *мерзлого типа* с естественным промораживанием зимой каждого слоя, намытого в теплый период года.

**Для успешного возведения такой дамбы необходимы:**

— равномерный по всей длине дамбы намыв пляжа, исключающий образование глубоких понижений на подводной поверхности верхового откоса — потенциальных контуров питания фильтрующих таликов;

— отсутствие локальной фильтрации из отстойного пруда по слою, недостаточно промороженному в зимний период;

— своевременная заделка понижений и промоин на низовом откосе, исключающая образование в них скоплений снега и развитие термоэрозии;

— регулирование такой интенсивности ежегодного наращивания дамбы, при которой обеспечивается полное сезонное промерзание каждого намытого летом слоя.

В заключение отметим некоторые важные преимущества дамб мерзлого типа, определяющие актуальность разработки методов регулирования теплового состояния этих сооружений:

— Устойчивость мерзлого низового откоса обеспечивается при более крутом его заложении, что дает возможность при том же объеме намываемого грунта получить большую глубину и емкость отстойного пруда, т.е. улучшить условия для зимнего подледного намыва и осветления пульпы.

— Технология замыва пруда практически не влияет на прочность и противофильтрационные свойства мерзлого массива.

— Повышается прочность поверхностной зоны низового откоса, в мерзлом массиве которого отсутствует сосредоточенная фильтрация и связанные с ней участки высачивания, мерзлотные явления и деформации.

— Конструкция намывной дамбы существенно упрощается, так как отпадает необходимость устройства дренажей, теплозащитных слоев и противофильтрационных элементов из связных грунтов или пленки.

— При отсутствии фильтрации в промороженном намывном массиве отходов обеспечивается техносферная, в том числе экологическая безопасность накопителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сысоев, Ю.М. Проектирование и строительство золоотвалов [Текст] / Ю.М. Сысоев, Г.И. Кузнецов. — М. : Энергоатомиздат, 1990.
2. Кузнецов, Г.И. Экологически безопасные накопители промышленных отходов на Крайнем Севере [Текст] / Г.И. Кузнецов, Н.В. Балацкая // Экологические системы и приборы. — 2013. — № 3.

*КУЗНЕЦОВ Георгий Иванович, д-р техн. наук, проф.  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

Получено 30.03.15

**Kuznetsov Georgiy Ivanovich**, doctor of technical sciences, professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

## **STORES OF INDUSTRIAL WASTES IN A PERMAFROST ZONE**

Results of long-term natural supervision over filtrational and temperature conditions of hydraulic engineering constructions of tailings storages on the Yeniseisk North and in Yakutiya are considered. The protecting dams are constructed on the permafrost bases and underwent serious thermokarst deformations owing to a considerable icesaturation. The analysis of typical peculiarities, including the positive factors defining stability, has made.

Key words: tailings, soil, dam, ice, thermokarst, supervision.

### REFERENCES

1. Sysoyev, Yu.M. Design and construction of ash dumps [Text] / Yu.M. Sysoyev, G.I. Kuznetsov. — M. : Energoatomizdat, 1990.
2. Kuznetsov, G.I. Ecologically safe stores of industrial wastes on Far North [Text] / G.I. Kuznetsov, N.V. Balatskaya // Ecological systems and devices. — 2013. — N 3.

## САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628.3:622

Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ, Е.Л. ВОЙТОВ, А.Е. КРУТКОВ

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Произведен анализ качественного состава производственных сточных вод предприятий угольной отрасли промышленности, технологических схем очистки шахтных и карьерных вод.

Приведены результаты экспериментальных исследований очистки сточных вод предприятий угледобывающей промышленности. Разработана технология очистки шахтных и карьерных вод. Представлены результаты лабораторных исследований новой технологической схемы очистки. Доказаны преимущества предлагаемой технологии очистки сточных вод угольной промышленности.

**Ключевые слова:** угледобывающая промышленность, шахтный и карьерный водоотлив, взвешенные вещества, нефтепродукты, фенолы, технологическая схема, конгломераты, фильтрующая загрузка, промывка, отстойник-регулятор, реактор-осветлитель, скорый фильтр.

Добыча полезных ископаемых — перспективное и стратегическое направление экономики России. В частности, добыча угля в Кузбассе является основой развития региона. В то же время угледобывающая промышленность оказывает негативное воздействие на окружающую среду и состояние водных ресурсов. Влияние горных работ на речной сток выражается в увеличении разгрузки подземных вод в реку за счет шахтного или карьерного водоотлива, который по Кузбассу составляет более 1 млн м<sup>3</sup> в сутки [1].

Анализ качественного состава сточных вод показал, что при подземном способе добычи угля загрязнение воды происходит интенсивнее, чем при открытой угледобыче карьерами, в частности взвешенными веществами в 2,5 раза, нефтепродуктами в 3, фенолами в 10 раз. Биохимическая потребность в кислороде возрастает в 4,4 раза [1]. В связи с этим вопросы по очистке шахтных вод являются наиболее сложными, разрешение которых благотворно скажется на состоянии биосферы.

Большое содержание взвешенных веществ в шахтных водах обуславливает выбор такой технологической схемы очистных сооружений, которая позволила бы с максимальной эффективностью снизить значения по этим загрязнителям до норм ПДК на сброс в водоем или до требований к качеству воды на технологические нужды предприятия. Достижение такого результата позволит добиться снижения количества остальных примесей, присутствующих в исходной воде. Поэтому удаление взвешенных веществ — это первостепенная задача любой технологии очистки шахтных вод.

Механическая (безреагентная) очистка шахтных вод в прудах-отстойниках, фильтрующих дамбах не позволяет удалять мелкодисперсные взвешенные вещества. Однако использование физико-химических (реа-

гентных) методов очистки шахтных вод способствует достижению требуемого показателя очищенной воды по взвешенным веществам.

В 80-х годах прошлого столетия в НИСИ им. Куйбышева была разработана технология очистки шахтных вод [2], которая хорошо себя зарекомендовала и была внедрена на восьми шахтах Кемеровской области. Данная технология предусматривала регулирование неравномерного поступления шахтных вод в непроточном отстойнике-регуляторе, обработку шахтной воды полиакриламидом и фильтрование на фильтрах в направлении снизу вверх через слой горелых пород. Профильтрованная шахтная вода обеззараживалась хлором и отводилась в резервуар чистой воды.

Развитие отечественной и мировой промышленности в конце XX и начале XXI вв. привело к модернизации очистного оборудования, а именно: усовершенствовались фильтровальные устройства и оборудование для реагентной обработки воды. Благодаря этому стало возможно создание более эффективной технологии очистки шахтных вод, основанной на реагентной обработке.

Согласно новой технологии очистки шахтных вод (рис. 1), разработанной в НГАСУ (Сибстрин), предполагается предварительная обработка шахтной воды флокулянтам в отстойнике-регуляторе перед ее поступлением из горных выработок. В отстойнике-регуляторе производится как

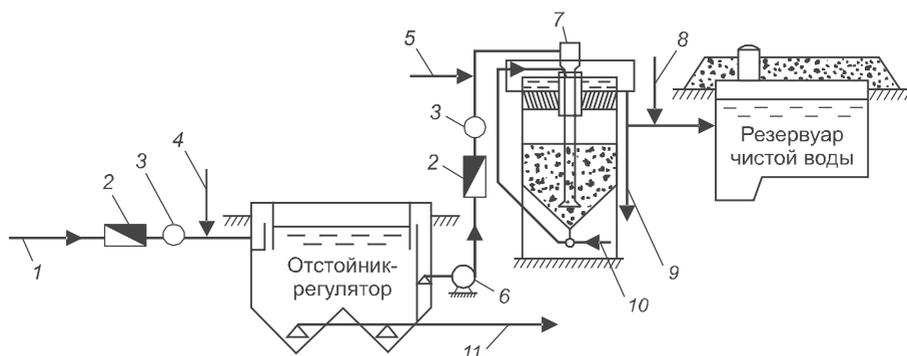


Рис. 1. Технология очистки шахтных вод

1 — подача шахтной воды; 2 — расходомер; 3 — мутномер; 4 — ввод флокулянта; 5 — ввод химических реагентов; 6 — насос; 7 — реактор-осветлитель; 8 — ввод гипохлорита натрия; 9 — сброс промывной воды на дальнейшую обработку; 10 — подача промывной воды; 11 — осадок в шламо-накопитель

отстаивание, так и усреднение шахтных вод. Это позволяет добиться стабильного качества шахтной воды с содержанием в ней допустимого количества взвешенных веществ перед осветлением на фильтрах. Фильтрование шахтных вод предусматривается на новом устройстве для очистки воды — реакторе-осветлителе, разработанном в НГАСУ (Сибстрин) [3]. Перед фильтрованием производится вторичная обработка шахтной воды химическими реагентами для повышения эффективности ее очистки на фильтре. После осветления шахтной воды необходимо ее обеззараживание гипохлоритом натрия перед поступлением в резервуары чистой воды. Очищенная шахтная вода может использоваться на производственные нужды предприятий угледобывающей промышленности, либо сбрасываться в поверхностный водный объект.

В 2014 г. нами проведены экспериментальные исследования с целью подтверждения гипотезы о возможности применения новой технологии для очистки шахтных вод. В лаборатории НГАСУ (Сибстрин) изучены

процессы реагентного отстаивания сточных вод из горных выработок шахты «Юбилейная» (Кемеровская обл.) и произведено моделирование процесса осветления воды на реакторе-осветлителе.

Необходимость использования химических реагентов для отстаивания шахтных вод определялась в статических условиях. Степень очистки реагентным отстаиванием устанавливалась экспресс-анализами воды на мутномере (мутность в размере 1 NTU  $\approx$  0,58 мг/л по взвешенным веществам). В ходе эксперимента подбирались наиболее оптимальные реагенты и их дозировки для обработки двух типов шахтных вод: высокомутных до 1100 NTU и маломутных до 210 NTU. Результаты отстаивания высокомутных вод приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты реагентного отстаивания в течение 30 мин высокомутных шахтных вод (1100 NTU)

Доза реагента, мг/л	Флокулянт		
	Praestol 650TR	Magnafloc LT20	Zetag 8165
1,2	187,0	65,4	143,7
1,9	132,0	49,5	32,3
2,5	99,0	49,4	48,6
3,1	59,6	45,8	28,4
3,7	42,6	56,1	24,6

Исследования показали, что использование флокулянтов для очистки высокомутных шахтных вод дает хороший результат при 30-минутном отстаивании. Наилучший эффект отстаивания высокомутных шахтных вод достигается при использовании флокулянта Zetag 8165 дозой 1,95 мг/л. Поскольку на высокомутных шахтных водах лучшим оказался флокулянт Zetag 8165, в дальнейших исследованиях по отстаиванию маломутных шахтных вод использовался только этот флокулянт. Результаты отстаивания маломутных вод приведены в табл. 2.

Эксперимент показал, что использование флокулянта Zetag 8165 на маломутных шахтных водах не позволяет достичь должного эффекта очистки. Поэтому был произведен опыт по совместному использованию флокулянта Zetag 8165 и коагулянта «Аква-Аурат™30» для статического отстаивания маломутных шахтных вод (табл. 3).

В исследованиях установлено, что при совместном использовании коагулянта и флокулянта на маломутных шахтных водах можно добиться лучшего результата по сравнению с дозированием только флокулянта.

Опыты подтвердили целесообразность обработки шахтных вод химическими реагентами перед отстаиванием. После реагентного отстаивания мутность и соответственно содержание в воде взвешенных веществ ниже, чем требуется при подаче на фильтрование предварительно осветленной воды. Можно предположить, что данное обстоятельство благотворно скажется на продолжительности фильтроцикла, что в свою очередь по-

Таблица 2. Результаты реагентного отстаивания в течение 30 мин маломутных шахтных вод (210 NTU)

Доза реагента, мг/л	Флокулянт Zetag 8165
1,2	140,0
1,9	107,0
2,5	101,0
3,1	113,0
3,7	108,0

Таблица 3. Результаты реагентного отстаивания маломутных шахтных вод при совместном использовании коагулянта и флокулянта (280 NTU)

Доза коагулянта «Аква-Аурат™30», мг/л	Доза флокулянта Zetag 8165, мг/л	Мутность, NTU, при отстаивании 30 мин
15,0	0,5	85,60
15,0	1,0	38,60
15,0	1,5	38,30
15,0	2,0	35,00
15,0	2,5	49,40

влечет повышение эффективности фильтрования шахтной воды в направлении убывающей крупности фильтрующей загрузки.

Вторая серия экспериментов была нацелена на уточнение возможностей реактора-осветлителя при очистке шахтных вод. Следует отметить, что новое устройство для очистки воды обладает рядом характеристик, которые могут повысить эффективность фильтрования шахтных вод. В реактор-осветлитель исходная вода подается со скоростью восходящего потока, позволяющей обеспечить минимальное взвешивание загрузочного материала (до 10 %). При этом увеличиваются межпоровое пространство и грязеемкость загрузки. В толще фильтрующего материала реактора-осветлителя исключено образование конгломератов угольных частиц, за счет периодической промывки загрузки с помощью гидроэлеватора. В гидроэлеваторе создаются большие скорости потока, возникает значительное трение частиц загрузки друг о друга, что дает возможность эффективно удалять отложения угольного осадка с фильтрующей загрузки. Кроме того, при подобной регенерации в 2–3 раза уменьшается количество промывной воды по сравнению с обычной промывкой контактных осветлителей.

Экспериментальные исследования проведены в лаборатории НГАСУ (Сибстрин) на модели реактора-осветлителя. Изучена безреагентная очистка воды, замутненной порошкообразным активированным углем с размером частиц до 10 мкм. Исходная концентрация взвешенных веществ составляла 200 мг/л, а на выходе из реактора-осветлителя в пределах от 3 до 10 мг/л. Фильтроцикл был завершён после достижения показаний мутности свыше 10 мг/л, так как предполагалось, что вода подается на производственные нужды угледобывающего предприятия, и в ней мутность не должна превышать 10 мг/л. Время фильтроцикла около 8 ч. Результаты исследований показали, что эффективность очистки воды от взвешенных веществ составляла от 98,5 до 95 % (рис. 2).

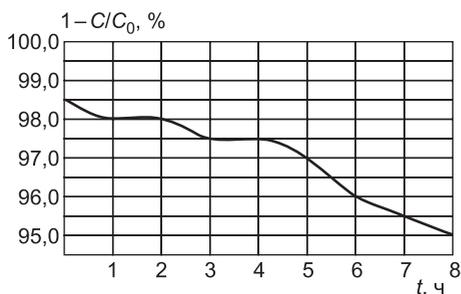


Рис. 2. Эффективность очистки воды от взвешенных веществ отстаивания при обработке реагентами и без них

На основании экспериментальных исследований доказана возможность использования реактора-осветлителя на второй ступени очистки шахтных вод. В дальнейшем планируется апробация всей технологии очистки шахтных вод в полупроизводственных условиях на шахтах Кузбасса. Разработанная технологическая схема очистки углесодержащих сточных вод в реакторах-осветлителях позволит при минимальном количестве реагентов достичь каче-

ства очистки шахтных вод до 1 мг/л по содержанию взвешенных веществ и использовать воду для хозяйственно-бытовых нужд предприятий угольной промышленности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Счастливцев, Е.Л. Техногенное воздействие угледобывающих предприятий на окружающую среду: на примере Кузбасса: дис. ... д-ра техн. наук [Текст] / Е.Л. Счастливцев. — Кемерово, 2006. — 349 с.
2. Фоминих, А.М. Очистка шахтных вод от взвешенных веществ [Текст] / А.М. Фоминих, В.А. Фоминых, Ю.Л. Сколубович // Химия и технология воды. — 1989. — № 12. — С. 1116–1118.
3. Пат. 23070754 РФ, МКИ C02F 1/52. Устройство для очистки воды [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович; опубл. 27.09.2007, Бюл. № 27.

*СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ВОЙТОВ Евгений Леонидович, д-р техн. наук, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*КРУТКОВ Алексей Евгеньевич, асп.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 30.03.15

**Skolubovich Yuriy Leonidovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Voitov Evgeniy Leonidovich**, doctor of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Krutkov Alexey Evgenyevich**, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

#### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT FOR THE COAL INDUSTRY**

Analyze the qualitative composition of industrial wastewater of the coal industry, the existing technological schemes of clearing mine and quarry water.

Here are the results of experimental studies of wastewater discharge from the coal mining industry. The purification technology of mine and quarry water developed. Results of laboratory studies of a new technological purification scheme presented. Proved the advantages of the proposed wastewater treatment technology of the coal industry.

**Key words:** coal mining, mine and quarry dewatering, suspended solids, oil products, phenols, process flow diagram, conglomerates, filter loading, washing, settling tank regulator, the reactor-clarifier, fast filter.

#### REFERENCES

1. Schastlivtsev, E.L. Technological impact of coal mines on the environment: The example of Kuzbass: thesis for the degree of doctor of technical sciences [Text] / E.L. Schastlivtsev. — Kemerovo, 2006. — 349 p.
2. Fominih, A.M. Mine water treatment from suspended solids [Text] / A.M. Fominih, V.A. Fominih, Yu.L. Skolubovich // Chemistry and technology of water. — 1989. — N 12. — P. 1116–1118.
3. Pat. 23070754 RF, MКИ C02F 1/52. Device from water purification [Text] / E.L. Voitov, Yu.L. Skolubovich; publ. 27.09.2007, Bull. N 27.

УДК 69.022:536.2

В.И. КОСТИН

**ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ  
ВНУТРЕННИХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ  
НА ВЫБОР ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Затраты на искусственное охлаждение зданий зависят не только от климатических условий, но и от типа ограждающих конструкций. В данной работе показывается возможность строительства зданий с нестационарными внутренними теплопоступлениями из облегченных двухслойных конструкций. В качестве конструктивного слоя могут применяться кирпичная кладка толщиной 0,38 м, сборный и монолитный железобетон.

Ключевые слова: внутренние теплопоступления, ограждающие конструкции, выбор.

**Постановка задачи.** Конструкции наружных ограждений зданий влияют как на стабильность теплового решения помещений, так и на затраты на поддержание температуры в них ( $t_b$ ) в соответствии с санитарными (технологическими) стандартами. Правильный, с технологической точки зрения, выбор конструкций особенно важен, если требуется искусственное охлаждение помещения, которое может вызываться климатическими или технологическими условиями. На стабильность температурного режима помещения влияют изменение внешних  $Q_{in}$  и внутренних  $Q_b$  тепло-, холодопоступлений и энергопоступлений приточного воздуха  $Q_{пр}$ , подаваемого без охлаждения (нагрева).

Возникает вопрос, целесообразно ли сооружать здания с искусственным охлаждением, в частности при расположении в них производств с повышенными требованиями к стабильности температуры  $t_b$ , из облегченных конструкций. Современные теории теплоустойчивости помещений позволяют дать ответ на этот вопрос. Законченный инженерный метод расчета теплоустойчивости помещений создал В.Н. Богословский [1]. Новый метод, основанный на решении системы уравнений теплового обмена помещения, разработал Ю.А. Табунщиков [2]. Им также проведены натурные исследования, которые показали, что наружные тепловые воздействия практически полностью затухают в кирпичной стене толщиной 0,38 м [3]. Сопоставление влияния этих воздействий на тепловой режим помещения при различных вариантах конструкций стен и защиты окон от проникновения солнечной радиации произведено в книге [2]. В помещение подавался неохлаждаемый приточный воздух с кратностью  $n$  от 1 до 6. Таким образом, он, наряду с теплопоступлениями от ограждающих конструкций, являлся источником тепловых возмущений в помещении. Анализируя результаты своих вычислений, авторы книги [2] пишут: «Амплитуда колебаний нагрузки на систему кондиционирования воздуха определяется коэффициентом теплопоглощения внутренней поверхности ( $B_i$ ). Устройство на внутренней поверхности ограждения слоя материала с высоким коэффициентом теплопоглощения будет способствовать снижению максимальной нагрузки на систему кондиционирования».

В табл. 1 приведены результаты вычислений, заимствованные из табл. 3.3 Б и 3.5 [2]. Из нее видно, что амплитуды колебаний внутреннего

Таблица 1. Результаты расчетов амплитуды колебаний температуры внутреннего воздуха  $A_{тв}$

Конструкции и материалы	Толщина утеплителя, м	$B_{пл}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$A_{тв}$ , °C
1. Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной $\delta = 0,38$ м	—	4,5	2,8
2. Панель типа «Сэндвич» с утеплителем из плиточного пенопласта с обшивкой с двух сторон металлическими листами	0,175	0,81	8,2
	0,35	0,83	9,1
3. Двухслойная панель с утеплителем из плиточного пенопласта и со слоем бетона с наружной стороны толщиной $\delta = 0,145$ м	0,06	0,67	8,1
4. То же со слоем бетона с внутренней стороны	0,06	5,94	2,4

воздуха  $A_{тв}$  для вариантов 1 и 4 близки. Следовательно, целесообразно применение как кирпичных, так и железобетонных стен с наружным утеплением.

Целью данной работы является изучение воздействия внутренних (технологических) теплоступлений на тепловой режим помещения.

**Расчетная часть.** Расчеты производились для двух помещений. Помещение № 1 располагалось на первом этаже многоэтажного здания, имело две наружные стены с ориентацией на север и юг. Степень остекления наружных стен 20 %, объем помещения 10800 м<sup>3</sup>.

Помещение № 2 имело те же размеры, располагалось на верхнем этаже, имело четыре наружные стены, из них две торцевые глухие, стены с окнами имели ориентацию на север и юг.

Режим работы в помещениях односменный, с 8 ч утра. Теплонапряженность помещений в рабочее время за счет внутренних теплоступлений  $Q_{в}$  3 Вт/м<sup>3</sup>, кратность воздухообмена — 4.

Теплозащитные свойства ограждающих конструкций принимались в соответствии с требованиями СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция. 2012 г.».

Рассматривались три варианта конструктивного слоя.

1. Кирпичная кладка из сплошного глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе плотностью  $\rho = 1800$  кг/м<sup>3</sup>, толщиной  $\delta = 0,51$  м.

2. То же  $\delta = 0,38$  м.

3. Железобетон плотностью 2500 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 0,145 м. На стадии предварительных расчетов рассматривался вариант с толщиной  $\delta = 0,12$  м. Результаты вычислений для обеих толщин практически совпали.

Утеплитель: URSA с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,042$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C), теплоемкостью  $c = 71,4$  кДж/(м<sup>2</sup>·°C).

Варьировались следующие места расположения объекта: Москва, Мурманск, Краснодар, Новосибирск, Владивосток.

Вычисления производились по программе Р НП «АВОК» 5.1-2008 «Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных теплоступлениях».

Рассматривались три задачи:

1. Определение расчетной холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха из условия круглосуточного поддержания в помещении постоянной температуры  $t_{в} = 20$  °C. Источниками тепловых воз-

Таблица 2. Расчетная холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха, кВт

Город	Помещение № 1			Помещение № 2		
	варианты			варианты		
	1	2	3	1	2	3
Москва						
$q_{\max}$	16,03	16	16,05	23,82	23,28	23,41
$q_{\text{ср}}$	14,12	14,19	14,33	22,1	21,56	21,84
$q_{\min}$	11,86	11,84	12,03	19,86	19,34	19,69
Краснодар						
$q_{\max}$	16,87	17,07	16,82	27,68	27,29	27,23
$q_{\text{ср}}$	15,11	15,32	15,18	26,03	25,64	25,76
$q_{\min}$	12,79	13,04	12,92	23,85	23,43	23,69
Новосибирск						
$q_{\max}$	15,71	15,28	15,08	22,48	21,71	21,92
$q_{\text{ср}}$	13,9	13,49	13,23	20,72	19,87	20,31
$q_{\min}$	11,83	11,02	10,82	18,47	17,54	18,14

мущений здесь являлись внутреннее  $Q_{\text{в}}$  и внешнее  $Q_{\text{in}}$  теплоступления. (Для помещения № 1  $Q_{\text{в}} \gg Q_{\text{in}}$ .) Определялись максимально-суточная  $q_{\max}$ , среднесуточная  $q_{\text{ср}}$  и минимально-суточная  $q_{\min}$  холодопроизводительности (табл. 2) и относительная амплитуда  $Aq$  суточного изменения холодопроизводительности (табл. 3).

$$\overline{Aq} = \frac{q_{\max} - q_{\text{ср}}}{q_{\text{ср}}}$$

Для помещения № 2  $\overline{Aq}$  меньше, чем для помещения № 1. Это объясняется тем, что максимум теплоступлений в помещение № 2 через покрытие происходит после окончания рабочего дня.

Таблица 3. Относительная амплитуда  $\overline{Aq}$  суточного изменения холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха, %

Город	Помещение № 1			Помещение № 2		
	варианты			варианты		
	1	2	3	1	2	3
Москва	12,73	12,72	12	7,78	8	7,19
Мурманск	12,99	12,56	11,82	8,32	8,45	7,54
Краснодар	11,61	11,35	10,8	6,22	6,43	5,63
Владивосток	13,24	14,19	12,8	8,82	8,89	8,17
Новосибирск	13,02	13,23	13,98	8,49	9,26	7,93

Из табл. 2 и 3 видно, что разница результатов между тремя рассмотренными вариантами конструкций лежит в пределах точности расчета.

2. Расчет нестационарного суточного теплового режима помещения при заданной холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха  $q_0$ . Здесь рассматривались три случая: а) охлаждение производилось за счет подачи приточного воздуха в рабочее время с постоянной температурой (20 °С); б) и в) охлаждение помещения осуществлялось за счет работы вентиляции при  $q_0 = 0$ . В случае б) работа вентиляции преду-

Таблица 4. Температурный режим расчетного помещения при заданной холодопроизводительности системы кондиционирования воздуха  $q_0$

Случай	Расчетный показатель, °С	Помещение № 1			Помещение № 2		
		варианты			варианты		
		1	2	3	1	2	3
а)	$t_{срв}$	23,14	23,19	23,22	23,98	23,98	24,08
	$A_{тв}$	0,19	0,2	0,22	0,41	0,41	0,41
б)	$t_{срв}$	26,76	26,85	26,92	27,17	26,59	27,02
	$A_{тв}$	0,7	0,67	0,64	0,54	0,58	0,6
в)	$t_{срв}$	22,7	22,17	22,18	22,51	22,51	22,49
	$A_{тв}$	2,96	2,96	2,93	2,89	2,94	2,94

сматривалась только в рабочие часы, в случае в) — круглосуточно. Во всех трех случаях система вентиляции становилась дополнительным источником тепловых возмущений.

В табл. 4 приведены результаты расчета для Москвы: среднесуточной температуры  $t_{ср}$  и амплитуды колебания температуры  $A_{тв} = t_{максв} - t_{срв}$ . Как и для предыдущей задачи, результаты расчетов для всех трех конструкций практически совпадают.

3. Влияние теплонапряженности  $\bar{Q}_в$  на стабильность теплового режима. Расчет производился для трех значений  $\bar{Q}_в$  и среднесуточной теплонапряженности  $\bar{Q}_{срв}$ . Результаты вычислений для Москвы приведены в табл. 5, из которой видно, что амплитуда изменения холодопроизводительности  $Aq$  увеличивается с ростом теплонапряженности. Принципиальной же разницы в результатах расчетов для всех трех конструкций в данном случае тоже нет.

Для помещения № 2 был сделан дополнительный расчет, при котором теплоступления  $Q_в$  изменялись по закону синусоиды с максимумом в 12 ч (табл. 6). Выводы из этих расчетов те же, что и из предыду-

Таблица 5. Влияние теплонапряженности помещения на расчетную холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха

Рассчитываемые показатели	Помещение № 1			Помещение № 2		
	варианты			варианты		
	1	2	3	1	2	3
$\bar{Q}_в = 3, \bar{Q}_{срв} = 1$						
$q_{ср}$ , кВт	14,12	14,19	14,33	22,1	21,56	21,84
$\bar{A}q$ , %	12,73	12,72	12	7,78	8	7,19
$\bar{Q}_в = 7, \bar{Q}_{срв} = 2,33$						
$q_{ср}$ , кВт	26,02	26,03	26,74	33,81	33,27	33,84
$\bar{A}q$ , %	15,87	15,85	15,29	12,32	12,52	11,78
$\bar{Q}_в = 10, \bar{Q}_{срв} = 3,33$						
$q_{ср}$ , кВт	34,84	34,81	34,98	42,59	42,05	42,67
$\bar{A}q$ , %	17,03	16,95	16,56	14,1	14,29	13,6

Таблица 6. Расчетная холодопроизводительность системы кондиционирования воздуха при синусоидальном законе теплопоступлений  $Q_v$ , кВт

Расчетная нагрузка	Варианты		
	1	2	3
$q_{\max}$	19,08	18,54	18,92
$q_{\text{ср}}$	18,12	17,59	18,07
$q_{\min}$	16,68	16,16	16,67

щих. Следует иметь в виду, что приведенные в данной работе расчеты учитывают лишь суточные колебания внешних теплопоступлений  $Q_{in}$ . Для районов с резко континентальным климатом (Урал, Сибирь и т.д.) характерны также недельные циклы колебаний  $Q_{in}$ . И здесь следует вспомнить, что кирпичная стена  $\delta = 0,38$  м аккумулирует в 2 раза больше тепловой энергии, чем железобетонная толщиной 0,145 м.

В то же время в России начато производство панелей, где толщина железобетона равна 0,24 м. С точки зрения аккумуляции тепловой энергии, такая конструкция конкурентоспособна по отношению с кирпичной стеной.

**Выводы.** 1. Конструкции стен из кирпича толщиной  $\delta = 0,38$  м и из железобетона  $\delta = 0,12...0,145$  м обеспечивают требуемую тепловую устойчивость помещений при наличии в них переменных внутренних теплопоступлений.

2. Для районов с резко континентальным климатом предпочтительнее применение конструкций стен из кирпича или сборных панелей с толщиной железобетона 0,24 м.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика [Текст] / В.Н. Богословский. — М. : Высш. шк., 1970. — 326 с.
2. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. — 194 с.
3. Tabunshchikov, Yu.A. Mathematical models of thermal conditions in buildings [Текст] / Yu.A. Tabunshchikov. — Boca Ration, FL, USA : CRC Press, 1993.

*КОСТИН Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 25.02.15

**Kostin Vladimir Ivanovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

#### **INFLUENCE OF THE NON-STATIONARY INTERNAL HEATREVENUES ON THE CHOICE BUILDING ENVELOPES**

Costs of artificial cooling of buildings depend not only on climatic conditions, but also on type of the building envelopes. In this work possibility of construction of buildings with non-stationary internal heatreceipts from the facilitated two-layer designs is shown. As a

constructive layer can be applied: bricklaying 0,38 m thick, precast and monolithic reinforced concrete.

Key words: internal heatreceipts, the building envelopes, choice.

#### REFERENCES

1. Bogoslovskiy, V.N. Building thermophysics [Text] / V.N. Bogoslovskiy. — M. : Higher school, 1970. — 326 p.
2. Tabunshchikov, Yu.A. Mathematical modelling and optimization of thermal efficiency of buildings [Text] / Yu.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach. — M. : ABOK-PRESS, 2002. — 194 p.
3. Tabunshchikov, Yu.A. Mathematical models of thermal conditions in buildings [Text] / Yu.A. Tabunshchikov. — Boca Ration, FL, USA : CRC Press, 1993.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001.24

Э.А. АБРАМЕНКОВ

### СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Представлен краткий отчет о некоторых результатах научного направления, достигнутых коллективом кафедры «Строительные машины, автоматика и электротехника» за предыдущее 50-летие.

Ключевые слова: пневматические ручные молотки, навесные молоты, дроссельное воздухораспределение, металлические трубы-кожухи, трубопроводы водоотведения.

Исторически научная работа, проводимая на кафедре «Строительные машины», включала направления: подбор и обоснование технологического процесса и оборудования для производства глиняного кирпича из местного сырья; смесительное оборудование для заводов ЖБИ; землеройные машины многоковшовые; прицепные уплотняющие катки; вибрационные машины и ручные машины с пневмоприводом. Наиболее устойчивым и плодотворным направлением, которое продолжает развиваться и в настоящее время, — это создание машин с пневмоприводом: пневматические ручные навесные трамбующие машины (руководитель доктор технических наук Д.Г. Суворов) и пневматические ручные молотки и пневмомолоты (руководитель доктор технических наук Э.А. Абраменков). Наиболее привлекательными для исследований пневматических ручных молотков и навесных молотов были системы беззолотникового, бесклапанного, дроссельного и струйного воздухораспределения. Если беззолотниковые и бесклапанные системы были известны с XVIII в., то дроссельные получили свое рождение на кафедре в начале второй половины, а струйные — в середине второй половины XX в. Мировая новизна дроссельной системы воздухораспределения пневматических ударных механизмов зафиксирована патентами Великобритании, Германии, Италии, Канады, США, Швеции, Франции и Японии.

Теоретические, экспериментальные исследования и практическая проверка в производственных условиях на предприятиях Минсредмаша и Минстроя СССР осуществлялась в тесном сотрудничестве кафедры и лаборатории «Пневматические ручные машины ударного действия» Института горного дела СО АН СССР (позднее ИГД СО РАН) (руководитель лауреат Государственной премии СССР, заслуженный изобретатель РСФСР, доктор технических наук, профессор Николай Александрович Клушин).

После объединения с кафедрой «Автоматики и электротехники» кафедра «Строительные машины, автоматика и электротехника» приняла статус выпускающей и определилась в развитии пневматических машин ударного действия следующих типов назначения: ручные машины; навес-

ные пневмомолоты и свайные пневмомолоты; пневмомолоты для бестраншейной проходки скважин без отбора грунта и с отбором грунта по трассе проходки скважины; пневмомолоты для погружения металлических труб-кожухов; пневмомашин ударного действия для бестраншейной протяжки трубопроводов водоотведения.

В работе по научному направлению принимали участие студенты, бакалавры, магистранты, аспиранты кафедры. Выпускные дипломные проекты и магистерские диссертации выполнялись с элементами изобретений с оформлением заявочных материалов на патент РФ на изобретение, где содержались рабочие чертежи пневматических машин ударного действия, принципиальные схемы которых защищены 40 патентами РФ на изобретения (заявитель НГАСУ (Сибстрин)).

На конкурсах дипломных проектов, проводимых Министерством образования и науки РФ, получено 4 диплома первой степени, 2 диплома второй степени и 1 диплом третьей степени.

Сотрудниками кафедры, работающими по научному направлению, опубликовано на конец марта 2015 г. в журнале «Известия вузов. Строительство» 148 статей, в научных журналах и материалах НТК САН ВШ РФ, Казахстана, Белоруссии, Узбекистана, Латвии и РФ издано 126 статей, 9 монографий [1–9] общим объемом 166 п.л., 6 томов монографии-справочника «Физико-математические модели и расчет пневматических механизмов машин ударного действия» общим объемом 140 п.л.

Отдельные научные и практические достижения и образцы ручных машин представлены в учебниках и учебных пособиях дисциплин направления «Строительство» (издатели НГАСУ (Сибстрин), Владимирский ГУ, Болашак-Баспа (Караганда), Фолиант (Астана), LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG (Германия)).

Сотрудниками кафедры СМАЭ НГАСУ (Сибстрин) получено 194 авторских свидетельства СССР, 60 патентов РФ и 10 зарубежных патентов. Написаны и получили государственную регистрацию 14 отчетов о выполнении научно-исследовательских работ по молоткам и трамбовкам с пневматическим приводом.

Получено 5 грантов Минобразования СССР; 3 серебряные и 3 бронзовые медали ВДНХ СССР за разработку ручных машин для строительства и машиностроения.

Разработаны элементы теории баро- и термодинамики пневматических механизмов машин ударного действия с дроссельным воздухом распределением, программа расчета физико-математической модели и методика инженерного расчета.

Сконструированы и переданы в производство на ряд заводов рабочие чертежи следующих типов: пневматические зачистные молотки с энергией удара 2 и 4 Дж; рубильные молотки — 8, 12, 16 Дж; отбойные молотки — 30, 42, 46, 50, 55 Дж; ломы — 63, 80 и 90 Дж; навесной молот — 600 Дж.

Разработаны на уровне технических заданий с чертежами: пневматические навесные молоты на 1; 1,6 и 2,4 кДж; свайные молоты — 10, 20 и 40 кДж; пневмопробойники — 1; 2,5 и 3 кДж; пневмоударники для забивания металлических труб кожухов — 1 и 2,5 кДж; пневматические ударные машины для протяжки труб водоотведения — 600 и 900 Дж.

За период с 1965 по апрель 2015 г. на кафедре СМАЭ НГАСУ (Сибстрин) выполнены и защищены по пневматическим машинам ударного действия с дроссельным воздухом распределением 3 докторские дис-

сертации и 11 кандидатских диссертаций, 2 докторские диссертации по машинам для погружения свай и ручным машинам по трамбованию грунтов в стесненных условиях строительства, 4 кандидатских диссертации по гидромолотам навесного типа, уплотнительным каткам, траншейному экскаватору и ручным машинам для уплотнения грунтовых отсыпок в стесненных условиях городского строительства.

Создатели машин нового поколения уверены в необходимости дальнейших исследований и разработок, поскольку в основе своей сжатый воздух в качестве энергоносителя позволяет создавать экологически чистые машины и оборудование.

Введение в терминологию теоретических исследований понятий «баростатика», «бародинамика», «баромеханика», «бародинамический КПД» [10–18] позволяет рассматривать воздух, как энергоноситель, более широко и глубоко с большей перспективой его использования в пневматических приводах машин и оборудования.

Сотрудники кафедры, работающие по тематике научного направления, ежегодно участвуют в инициативной форме, в соответствии с заявляемыми темами, в Тематическом плане исследований НГАСУ (Сибстрин).

По-прежнему, хотя и в меньшем количестве, работает коллектив научной школы «Пневматические машины ударного действия» при кафедре СМАЭ НГАСУ (Сибстрин).

Ожидается перспективным развитие направления «Гидравлические машины ударного и комбинированного действия» при кафедре совместно с ИГД СО РАН (руководитель доктор технических наук Л.В. Городилов).

Коллектив, работающий по научному направлению, считает обязательным отметить внимательное и доброжелательное отношение к развитию и укреплению научного направления кафедры СМАЭ НГАСУ (Сибстрин) специалистов-пневматиков ИГД СО РАН: лауреата Ленинской премии, заслуженного изобретателя РСФСР, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Б.В. Суднишникова; лауреата Государственной премии СССР, заслуженного изобретателя РСФСР, доктора технических наук, профессора Н.А. Клушина; заслуженного изобретателя РСФСР и заслуженного изобретателя СССР, доктора технических наук, профессора Н.Д. Костылева; заслуженного изобретателя РСФСР, доктора технических наук, профессора Б.Н. Смоляничко; старшего научного сотрудника, кандидата технических наук А.М. Петреева; лауреата Ленинской премии, кандидата технических наук Н.Н. Есина; заслуженного изобретателя РСФСР, лауреата премии Болгарской АН и АН СССР, доктора технических наук, профессора А.И. Федулова; заслуженного изобретателя РСФСР, лауреата премии Болгарской АН и АН СССР, доктора технических наук, профессора К.К. Тупицына; заслуженного изобретателя РФ, лауреата премии Болгарской АН и АН СССР, доктора технических наук, профессора А.Я. Тишкова.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абраменков, Д.Э. Средства механизации и технология строительного производства [Текст] / Д.Э. Абраменков, А.В. Грузин, В.В. Грузин. — Saazbrucken, Germany: Lap LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. — 327 с.
2. Абраменков, Д.Э. Пневматические молоты для разрушения мерзлых грунтов [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.А. Кутумов. — Saazbrucken, Germany: Lap LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. — 402 с.

3. Грузин, А.В. Грунтовые среды в условиях статического и динамического нагружения: моногр. [Текст] / А.В. Грузин, В.В. Грузин, Э.А. Абраменков. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. — 135 с.
4. Кутумов, А.А. Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов: моногр. [Текст] / А.А. Кутумов, Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. — 376 с.
5. Абраменков, Д.Э. Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные, комбинированные: моногр. [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Ф.Ф. Кириллов, А.А. Кутумов. — Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. — 435 с.
6. Абраменков, Д.Э. Методология научного творчества [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, В.В. Грузин. — Караганда: Болашак-Баспа, 2001. — 328 с.
7. Абраменков, Э.А. Средства механизации для подготовки оснований и устройства фундаментов [Текст] / Э.А. Абраменков, В.В. Грузин. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 1999. — 215 с.
8. Абраменков, Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: справ. изд. [Текст] / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1993. — 430 с.
9. Абраменков, Д.Э. Техника и наука строительства: ист. аспект [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, В.В. Грузин. — Астана: Изд-во КазАТУ, 2014. — 186 с.
10. Абраменков, Д.Э. Введение в теорию дроссельного пневматического механизма машины ударного действия [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков // Труды НГАСУ. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 1999. — Вып. 1(4). — С. 76–78.
11. Абраменков, Д.Э. Закономерности контактов рабочего тела в баро- и термодинамическом процессе пневматического механизма машины ударного действия [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков // Труды НГАСУ. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2001. — Вып. 4(15). — С. 185–196.
12. Абраменков, Э.А. Характерные бародинамические процессы пневматических машин ударного действия [Текст] / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Т.Ю. Виговская, Р.Ш. Шабанов // Труды НГАСУ. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2000. — Т. 3, № 1(8). — С. 57–68.
13. Малышева, Ю.Э. Необходимый и достаточный объем камеры рабочего хода пневмоударного механизма дроссельного типа [Текст] / Ю.Э. Малышева, Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Г.А. Мазалов // Труды НГАСУ. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2005. — Т. 8, № 1(31). — С. 5–13.
14. Абраменков, Э.А. Методология баро- и термодинамики рабочего процесса пневматической машины ударного действия [Текст] / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков // Актуальные проблемы современности: междунар. сб. науч. тр. — Караганда: Болашак-Баспа, 2005. — Вып. 2. — С. 267–274.
15. Кутумов, А.А. Баро- и термодинамика дроссельного пневмоударного механизма навесного молота [Текст] / А.А. Кутумов, Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Т.Ю. Виговская // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 3. — С. 78–86.
16. Абраменков, Д.Э. Показатели удельной энтальпии воздуха в камерах пневматического механизма машины ударного действия [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Т.Ю. Виговская // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 7. — С. 72–81.
17. Абраменков, Д.Э. Принципиальные особенности рабочего процесса поршневой пневматической машины-двигателя [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков // Труды НГАСУ. — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. — Т. 12, № 1(44). — С. 5–13.
18. Абраменков, Д.Э. О применении бародинамического и термодинамического КПД для оценки совершенства рабочего процесса пневматического механизма машин ударного действия [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 7. — С. 75–82.

*АБРАМЕНКОВ Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 02.03.15

**Abramenkov Eduard Alexandrovich**, doctor of technical sciences, professor,  
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **CREATING AN EFFECTIVE MEANS OF MECHANIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN CONSTRUCTION**

Offer information is a brief report about some of the scientific directions results achieved by the staff of the Department «Construction machinery, automation and electrical engineering» for the previous 50 years.

Key words: manual pneumatic hammers, hinged hammers, throttle the air supply, metal pipe casings, pipelines wastewater.

### REFERENCES

1. A b r a m e n k o v, D.E. Means of mechanization and technology of building production [Text] / D.E. Abramenzov, A.V. Gruzin, V.V. Gruzin. — Saazbrucken, Germany: Lap LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. — 327 p.
2. A b r a m e n k o v, D.E. Pneumatic hammers to break the frozen ground [Text] / D.E. Abramenzov, E.A. Abramenzov, A.A. Kutumov. — Saazbrucken, Germany: Lap LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. — 402 p.
3. G r u z i n, A.V. Groundwater protection under static and dynamic loading: monograph. [Text] / A.V. Gruzin, V.V. Gruzin, E.A. Abramenzov. — Omsk: Univ. OmSTU, 2009. — 135 p.
4. K u t u m o v, A.A. Mounted pneumatic hammers for frozen soils: monograph. [Text] / A.A. Kutumov, D.E. Abramenzov, E.A. Abramenzov. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 2008. — 376 p.
5. A b r a m e n k o v, D.E. Rod pneumatic mechanisms machines Impact: butterfly, inkjet, bezzolotnikovye, valveless, combined: monograph. [Text] / D.E. Abramenzov, E.A. Abramenzov, F.F. Kirillov, A.A. Kutumov. — Tomsk: Publishing house of Tomsk state architectural-building university, 2008. — 435 p.
6. A b r a m e n k o v, D.E. Methodology of scientific creativity [Text] / D.E. Abramenzov, E.A. Abramenzov, V.V. Gruzin. — Karaganda: Bolashak-Baspa, 2001. — 328 p.
7. A b r a m e n k o v, E.A. Means of mechanization for ground and installation of foundations [Text] / E.A. Abramenzov, V.V. Gruzin. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 1999. — 215 p.
8. A b r a m e n k o v, E.A. Pneumatic machinery machines Impact: ref. ed. [Text] / E.A. Abramenzov, D.E. Abramenzov. — Novosibirsk: Publishing house novosib. univ., 1993. — 430 p.
9. A b r a m e n k o v, D.E. Technique and science of construction: the historical aspect [Text] / D.E. Abramenzov, E.A. Abramenzov, V.V. Gruzin. — Astana: Univ. KazATU, 2014. — 186 p.
10. A b r a m e n k o v, D.E. Introduction to the Theory of throttle pneumatic mechanism machine percussion [Text] / D.E. Abramenzov, E.A. Abramenzov // Proceedings NSUACE. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 1999. — Vol. 1 (4). — P. 76–78.
11. A b r a m e n k o v, D.E. Laws of the contacts of the working fluid in the thermodynamic process baro- and pneumatic mechanism machine percussion [Text] / D.E. Abramenzov, E.A. Abramenzov // Proceedings NSUACE. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 2001. — Vol. 4 (15). — P. 185–196.
12. A b r a m e n k o v, E.A. Typical processes barodinamicheskie pneumatic machines percussion [Text] / E.A. Abramenzov, D.E. Abramenzov, T.Yu. Vigovskaya, R.Sh. Shabanov // Proceedings NSUACE. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 2000. — Vol. 3, N 1(8). — P. 57–68.

13. Malysheva, Yu.E. Necessary and sufficient volume of the chamber stroke air percussion mechanism throttle-type [Text] / Yu.E. Malysheva, E.A. Abramnikov, D.E. Abramnikov, G.A. Mazalov // Proceedings NSUACE. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 2005. — Vol. 8, N 1(31). — P. 5–13.
  14. Abramnikov, E.A. Methodology baro- and thermodynamics workflow pneumatic machine percussion [Text] / E.A. Abramnikov, D.E. Abramnikov // Actual problems of our time: Int. Sat. scientific. tr. — Karaganda: Bolashak-Baspa, 2005. — Vol. 2. — P. 267–274.
  15. Kutumov, A.A. Barothermodynamics of airflow percussion valve mechanism of beetling hammer [Text] / A.A. Kutum, D.E. Abramnikov, E.A. Abramnikov, T.Yu. Vigovskaya // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007. — N 3. — P. 78–86.
  16. Abramnikov, D.E. Values of specific enthalpy of air in chambers of pneumatic mechanism of impact-action machine [Text] / D.E. Abramnikov, E.A. Abramnikov, T.Yu. Vigovskaya // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 7. — P. 72–81.
  17. Abramnikov, D.E. The principal features of the workflow pneumatic piston-engine car [Text] / D.E. Abramnikov, E.A. Abramnikov // Proceedings NSUACE. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 2009. — Vol. 12, N 1(44). — P. 5–13.
  18. Abramnikov, D.E. About application of barodinamicheskoy and thermodynamic efficiency for the estimation of perfection of working process of the pneumatic mechanism of cars of shock action [Text] / D.E. Abramnikov, E.A. Abramnikov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 7. — P. 75–82.
-

## НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.4–112

А.М. КАРИМОВ

### МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ, ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МОДЕРНИЗАЦИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Основой градостроительных предпосылок повышения качества жизни должна быть идеология градостроительства, которая создаст необходимую «партитуру развития», объединяющую различные факторы среды обитания: производство, жилье, социокультбыт, инженерно-транспортную инфраструктуру, методы повышения качества воды, воздуха, почвы, а также цельный архитектурно-художественный образ города, основанный на историко-культурном наследии.

Ключевые слова: градостроительная «партитура развития», идентичность и красота русских городов, биосферная совместимость, всемирный закон градостроительства.

*Партитура: собрание в одно всех частей или партий  
В.И. Даль*

Основу «партитуры развития» территории составляют взаимоувязанные градостроительные документы, которые объединяют различные факторы среды обитания (производство, жилье, социокультбыт, инженерно-транспортную инфраструктуру, методы повышения качества воды, воздуха, почвы и т. п.) и формируют пространственные предпосылки повышения качества жизни.

Однако до сего времени *мы не имеем научно обоснованной, законодательно закрепленной так называемой «градостроительной партитуры», т. е. перечня количественных и качественных пространственных параметров (определенных по принципу «минимакса», когда при минимальных затратах достигается наибольший социальный эффект), обеспечивающих идентичность и красоту российских городов, гармонию и комплексность среды обитания, безопасность и устойчивость развития поселений.*

Реализация долгосрочных градостроительных документов возможна только при преемственности власти, которую удалось обеспечить, когда в г. Омске в течение тридцати лет не менялся главный архитектор, что позволило в рамках генерального плана последовательно выполнить более 90 градостроительных работ, не имеющих аналогов в России, среди них геополитический статус Омска; территориальная комплексная схема охраны природы; карта заболеваемости в жилых районах; шумозащитная

карта города; проект пригородной зоны; комплексная транспортная схема города; схема развития инженерных коммуникаций, включая газификацию города; схема упорядочения промзон; концепция регенерации районов малоэтажной застройки; схема инженерной защиты города от подтопления с организацией сети гидрорежимных скважин; проект водоохранных зон; архитектурная концепция размещения высотных акцентов; генеральная схема непрерывного озеленения; проект лесопаркового пояса вокруг города; проект окружной дороги; схема размещения площадок жилищного строительства с мерами по их инженерному обеспечению; схема градостроительного ценового зонирования с определением понятия ренты; предложения по изменению границ избирательных округов на основе цельного градостроительного модуля и др.

Продолжая тему «градостроительной партитуры», уместно провести аналогию с музыкальной партитурой, которая понимается как *«нотная запись многоголосого музыкального произведения для оркестра, хора, камерного ансамбля и т. п., в которой сведены партии для всех отдельных голосов и инструментов...»*. Градостроительный подход к развитию территорий способен свести воедино организационно-законодательные, социально-экономические, пространственно-инфраструктурные факторы и тем самым обеспечить целенаправленные действия власти по формированию полноценной среды обитания. В этом заключается значимость *«градостроительной партитуры» (новый термин в градостроительной практике), которую мы позиционируем, как необходимый научно обоснованный состав взаимосвязанной градостроительной документации, выполняемой в развитии и детализации генплана.*

Эффективность управления развитием поселений можно достичь лишь при условии, что состав «градостроительной партитуры» (как и всей градостроительной документации) законодательно утвержден и обязателен для исполнения. Следовательно, градостроительная деятельность является необходимым условием реализации конституционного права граждан России иметь полноценную среду обитания, поэтому градостроительный подход к развитию территорий и деятельность главных архитекторов (как основного «инструмента» реализации градостроительной политики) должны быть провозглашены *важнейшей частью государственной политики России.*

*Без возрождения и развития института главных архитекторов, деятельность которых обеспечивает комплексность застройки и целостность территории (включая целостность государства); безопасность проживания и здоровье народа; идентичность и красоту русских городов, невозможно обеспечить лучшее будущее России.* К сожалению, существующая земельная и градостроительная «гильотина» не обеспечивает градостроительного подхода к развитию территорий, в отсутствие которого вновь разбуженный «инстинкт частной собственности» работает не на созидание, а на разрушение (при «слабой» власти происходит повальная коммерциализация среды обитания, разрушающая ее целостность и комплексность). *Недаром еще в программной «Афинской хартии» (1958 г.) было сказано, что «градостроительство есть проявление разума эпохи, а право общее и право частное должны дополнять друг друга тем ценным, что есть в каждом из них».*

Градостроительный подход способен предложить тот сценарий развития, когда будут созданы предпосылки для социальной ориентации бизнеса, который необходимо рассматривать не как цель, а как средство реализации задач повышения качества жизни граждан социального государства, коим является Россия согласно ее Конституции.

Ключевыми вопросами, обеспечивающими гармонию территориального развития и служащими основой законодательной, организационной и творческой деятельности главных архитекторов, являются семь основных предпосылок:

**I. Государственность.** *Провозглашение градостроительной деятельности как важнейшей части государственной политики России* (градостроительная деятельность создает необходимые пространственные предпосылки для повышения качества жизни и реализации конституционного права граждан России (социального государства) иметь полноценную среду обитания).

**II. Закон.** *Реализация «Всемирного закона градоустройства» («Альбградо»)* [1] (обеспечение единства мировоззренческих, биосферосовместимых, социальных, экономических, архитектурных, инфраструктурных факторов (условно названных: *бог, дух, польза, гармония, устойчивость*) как необходимого условия создания искусственной среды обитания).

**III. Приоритеты.** *Принятие градостроительной доктрины* (достижение приоритета градостроительного подхода над землеустроительным, создание единого правового поля, гарантирующего социальную ориентацию рыночных отношений).

**IV. Управление.** *Создание федеральной управленческой структуры, обеспечивающей территориальное планирование и градостроительное развитие* (создание вертикали градостроительного управления и возрождение института главных архитекторов).

**V. Качество среды.** *Лицензирование градостроительной деятельности* (результаты градостроительства необратимы и связаны с качеством среды жизнедеятельности миллионов граждан России, ибо целями градостроительной политики являются: здоровье населения, улучшение демографии, безопасность проживания, сохранение и развитие национальных культур, эффективность капиталовложений).

**VI. Стратегия.** *Разработка новой методологии генплана на основе использования научного потенциала РААСН* (разработка новой методологии должна быть основана на методах симбиоза и метаболизма, предполагающих долгосрочную схему территориального развития (без излишней детализации) и ее конкретизацию на основе принципов дефиниций и девелопмента).

**VII. Методология.** *Определение необходимого состава градостроительной документации для развития, углубления и детализации генплана и обязательность ее исполнения* (ни один генплан в своих прогнозах не исполняется, ибо его показатели не подтверждены экономически, поэтому градостроительную стратегию необходимо разрабатывать не вширь, а вглубь, определяя количественные и пространственные показатели качества жизни (образ города, понятие комплексности, качество воды, почвы, воздуха, определение геопатогенных зон, проблемы водопонижения, предложения по конструкциям фундаментов, картотека объектов, перевод документации на вербальный язык и т.п.)).

Безусловно, современная «градостроительная партитура» должна способствовать реализации «новой градостроительной политики», необходимость которой была провозглашена в послании президента России В.В. Путина Федеральному собранию.

Основными предпосылками развития новой градостроительной политики России, как необходимого «инструмента» социальной ориентации рыночных отношений являются следующие задачи, которые необходимо решать на государственном уровне:

1. *Формирование кластеров роста на основе и единстве отраслевого и территориального планирования* (схема размещения производительных сил, являющаяся основой экономического развития страны и определения перспективы развития градообразующей базы).

2. *Концепция пространственного развития России и сохранение территориальной целостности государства* (создание транспортной схемы позволит дать жизнь малым и средним поселениям — основному опорному каркасу расселения — и сможет превратить огромное пространство России в ресурс развития).

3. *Ориентация законодательства на решение социальных проблем и создание пространственных предпосылок для повышения качества жизни* (Градостроительный кодекс служит лишь инструкцией для землепользования и недаром его действие было приостановлено при решении градостроительных задач по развитию Сочи и Сколково).

4. *Приоритет градостроительного подхода над землеустроительным* (градостроительный сценарий при определении форм и границ землепользования позволит обеспечить целостность и комплексность территорий и предотвратит социальные потрясения и экономические издержки, когда поспешно приватизированные земли будет выкупать государство по рыночным ценам для решения социальных вопросов).

5. *Определение состава, стандартов и эталонов градостроительной документации и обязательность ее исполнения* (на решение этих задач направлена идеология формирования на научной основе «градостроительной партитуры»).

Новая методология градостроительного проектирования, построенная на принципах метаболизма, должна определять главные направления развития территорий, гибко реагирующие на изменение социальных, экономических и градостроительных парадигм. Она должна быть основана на реализации принципа девелопмента, решать вопросы комплексности, безопасности, избыточности инфраструктуры, повышения качества воды, воздуха, почвы и т.п.

Поэтому одной из важных задач научной деятельности РААСН должно быть создание новой методологии разработки генпланов, принимая во внимание, что ни один современный генплан поселений России, как и ни один экономический прогноз, не выполнены (коммунизм не построен к 1980 г.; жители России не получили, каждый, квартиру к 2000 г.; планы реализовать национальные проекты постепенно исчезли из политических задач и т.п.).

*В основу научного подхода к разработке новой методологии генплана должны быть положены стратегия и принципы управления развитием территорий, предполагающие единство решений мировоззренческих, социально-экономических, архитектурно-инфраструктурных вопросов (рис. 1).*



Рис. 1.

Научный подход к разработке новой модели генплана должен основываться на более «мелком» планировочном модуле квартальной застройки, сомасштабном человеку и связанном с повышением плотности (капиллярности) транспортных магистралей.

Научная методология разработки градостроительной документации *предполагает, прежде всего, междисциплинарный подход* (который возможно реализовать в научном пространстве РААСН и который должен сформулировать количественные и качественные показатели, формирующие пространственные параметры качества жизни):

1. Параметры биосферосовместимой сферы жизнедеятельности.
2. Принципы создания агломерации и освоения пригородных зон поселений.
3. Создание планировочных и технических предпосылок повышения качества воды, почвы, воздуха.
4. Разработка гидрогеологического атласа города и предложения по конструктивным решениям фундаментов.
5. Решение проблем водопонижения и организация систем гидрорезимных скважин для определения принципов миграции подземных вод.
6. Выявление геопатогенных зон.
7. Формирование градостроительного образа города, основанного на идентичности мировоззренческих факторов, создание целостности архитектурных ансамблей, размещение высотных акцентов.
8. Реализация принципа дефиниций (государственная поддержка социально ориентированного бизнеса).
9. Проведение градостроительного девелопмента (объединение ресурсов власти и бизнеса для выполнения реальных градостроительных программ).

Существенным организационным фактом, определяющим практическую реализацию и конкретную ответственность за исполнение градостроительного подхода к развитию территорий, является необходимость перевода градостроительной документации на так называемый «вербальный язык», т.е. подразделения администрации в контексте реализации генпланов составляют планы по своим конкретным направлениям перспективной деятельности (рис. 2–4).



Рис. 2.

Научно обоснованная и законодательно закреплённая «градостроительная партитура» непосредственно связана с изменением методологии подготовки кадров будущих градостроителей и кардинальным изменением концепции законодательства в области градостроительства. Учитывая социальную значимость и цели создания пространственных предпосылок для повышения качества жизни, можно сделать основополагающий вывод, что градостроительство является высшей формой архитектурной деятельности.

Градостроительная деятельность, реализующая научный подход к развитию территории, должна стать важнейшей частью государственной политики, основанной на единстве решения мировоззренческих, социально-экономических и архитектурно-инфраструктурных вопросов, только при подобном методологическом подходе возможно осуществить цели, обеспечивающие развитие социального государства, прописанные в Конституции России.

**Мировоззренческие аспекты**, реализующие менталитет, традиции и идентичность поселений, связаны с решением следующих вопросов: образ города, развитие традиций, возрождение национального менталитета.

**Социально-экономические вопросы:** реализация индекса человеческого развития; достижение инвестиционной привлекательности поселений.



Рис. 3.

**Архитектурно-инфраструктурные факторы:** целостность архитектурного облика; комплексность застройки; достижение нормативных параметров социальной и инженерно-транспортной инфраструктуры.

Чтобы решать значимые государственные задачи, связанные с формированием полноценной среды жизнедеятельности, необходимо разработать соответствующую методику подготовки кадров градостроителей,



Рис. 4.

которая внедряется в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин) и Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ).

Опять привлекая музыкальную аналогию и основываясь на многолетней педагогической практике, можно сделать вывод, что, *как нельзя выучить на композитора, писателя, ученого, так и невозможно выучить на полноценного профессионала градостроителя*. Способности к градостроительному мышлению должны быть дарованы человеку и эти способности необходимо вовремя разглядеть и развить. Этими, данными природой, способностями у будущего градостроителя должны быть: *ощущение гармонии пространства, синергетическое мышление, гражданская позиция*.

После завершения полного курса архитектурного образования и соответствующего отбора будущий градостроитель (как и будущий главный архитектор) должен получить дополнительные знания по следующим основным предметам: *философия, экономика, экология (биосферная совместимость), юриспруденция, синергетика, проксемика, принципы формирования инфраструктуры, энвайронментальная социология, космопланетарная интеграция, видеоэкология, ведическая архитектура и т.п.*

Способность создавать «градостроительную партитуру» развития связана не только с соответствующей подготовкой градостроителя и главного архитектора города, но и с кардинальным изменением идеологии законодательства в области градостроительства (цели) и землеустройства (средства), которые должны образовать правовое поле для реализации следующих основных вопросов развития государства:

1. Повышение качества жизни и обеспечение безопасности проживания.
2. Социальная ориентация рыночных отношений.
3. Сохранение территориальной целостности государства.

Научный подход к определению концепции законодательства в области градостроительства должен быть основан на взаимосвязанном решении следующих вопросов:

1. Совершенствование процесса подготовки специалистов в области архитектуры и градостроительства.
2. Формирование новой методологии разработки генпланов (вместо застывшей градостроительной схемы, не обеспеченной финансированием, гибкая модель пространственного развития, каркас которой наполняется по принципу девелопмента).
3. Определение необходимой структуры и состава градостроительной документации, устанавливающих пространственные параметры качества жизни, с учетом решения мировоззренческих, социально-экономических, архитектурно-инфраструктурных аспектов градостроительной деятельности.

«Градостроительная партитура» развития регионов на современном этапе становления страны, как объединяющий сценарий, обеспечивающий преемственность и взаимодействие властей всех уровней, должна быть ориентирована на организацию решения следующих основных проблем:

1. *Повышение рентабельности* и коммерциализация территории на основе долгосрочных градостроительных программ, что позволит сориентировать бизнес на целостность и комплексность застройки, а также *разре-*

шить противоречия между частными, общественными и государственными интересами.

2. *Ориентация на малоэтажное строительство* и квартальный модуль застройки с учетом применения автономных и альтернативных источников инженерного обеспечения (солнце, ветроэнергетика и т.п.), ибо высотное жилищное строительство социально ущербно, опасно, затратно и способно окончательно развалить ЖКХ.

3. *Разработка стратегий социально-экономического развития*, определение геополитического статуса, градообразующей базы и формирование социально значимой идеи, основываясь на пространственно-инфраструктурных факторах качества жизни.

*Главным инструментом разработки и реализации «градостроительной партитуры» развития является деятельность главных архитекторов (своеобразных композиторов среды обитания), направленная на комплексность застройки и целостность государства, безопасность проживания и здоровье народа, идентичность и красоту русских городов. Поэтому уничтожение института главных архитекторов связано с разрушением пространства жизни и будущего России.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каримов, А.М. Всемирный закон градостроительства [Текст] / А.М. Каримов, Ю.М. Куксенко // Градостроительство. — 2012. — № 2(18). — С. 42–44.
2. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферно-совместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичев. — М. : РААСН, 2008. — 25 с.
3. Каримов, А.М. Градостроительный подход к реализации стратегии социально-экономического развития Сибири до 2020 г. [Текст] / А.М. Каримов. — М. : РААСН, 2012. — 90 с.
4. Каримов, А.М. Программа корректировки генерального плана г. Омска (инфраструктурный подход к развитию территорий) [Текст] / А.М. Каримов. — Омск : Главоомскаrchитектура, 2000. — 73 с.
5. Каримов, А.М. Градостроительный подход к развитию территорий как необходимое условие для формирования пространственных и инфраструктурных предпосылок для повышения качества жизни [Текст] / А.М. Каримов. — М. : РААСН, 2012. — 120 с.

*КАРИМОВ Альберт Миниханович, канд. архитектуры, проф., акад. РААСН; E-mail: karimovalbert-omsk@yandex.ru  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), г. Омск*

Получено 16.03.15

**Karimov Albert Minikhanovich**, candidate of architecture, professor, academician RAACS; E-mail: karimovalbert-omsk@yandex.ru, Siberian State Motor Roads Academy (SibADI), Omsk, Russia

#### **METHODOLOGICAL, INFRASTRUCTURAL AND ORGANIZATIONAL PRECONDITIONS OF MODERNIZATION TOWN-PLANNING ACTIVITY IN THE MODERN SOCIAL AND ECONOMIC CONDITIONS**

The basis for creation of town-planning preconditions for improvement of life quality should be ideology of town-planning which will create necessary «the development score», based on unification of various factors of inhabitancy: manufacture, habitation, social condition of life,

an engineering-transport infrastructure, methods of water, air, soil quality improvement, and also creation integral architecturally-artistic image of a city based on a historical and cultural heritage.

**Key words:** the town-planning score of development, identity and beauty of Russian cities, biosphere compatibility, the world law of town-planning.

#### REFERENCES

1. Karimov, A.M. The world law of town-planning [Text] / A.M. Karimov, Yu.M. Kuksenko // *Gradostroitelstvo*. — 2012. — N 2(8). — P. 42–44.
  2. Il'ichev, V.A. Principles of transformation of a city to biosphere-compatible one and developing the person [Text] / V.A. Il'ichev. — M. : RAACS, 2008. — 25 p.
  3. Karimov, A.M. Town-planning method of approach to realization of strategy of social and economic development of Siberia till 2020 [Text] / A.M. Karimov. — M. : RAACS, 2012. — 90 p.
  4. Karimov, A.M. The program of updating of the general layout for Omsk (the infrastructural method of approach to development of territories) [Text] / A.M. Karimov. — Omsk : Glavomskarkhitektura, 2000. — 73 p.
  5. Karimov, A.M. Town-planning method of approach to development of territories as a necessary condition for formation of spatial and infrastructural preconditions for improvement of life quality [Text] / A.M. Karimov. — M. : RAACS, 2012. — 120 p.
-

УДК 711.4(571.1/.5)

М.Р. КОЛПАКОВА, Г.Н. ТУМАНИК

**ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАССЕЛЕНИЯ В СИБИРИ И НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ**

Опираясь на определяющую роль Сибири и Дальнего Востока в развитии экономики России, обозначены негативные тенденции на современном этапе формирования расселения и закрепления населения на восточных территориях России. Приведены отдельные предложения ученых и специалистов по развитию системы расселения в новых условиях современной геополитики, авторские предложения по трансконтинентальной скоростной магистрали и новой столице Российской Федерации.

**Ключевые слова:** геополитика, градостроительство, расселение, транспортные магистрали, новая столица.

Трудно переоценить значение, которое приобрели и продолжают приобретать для развития экономического и духовного потенциала Российского государства Сибирь и Дальний Восток с их природными богатствами, гигантскими территориальными и водными ресурсами, наконец, со сложившейся сетью городов и поселков, с людьми, которые, как отмечают многие, отличаются нравственным здоровьем, оптимизмом и трудолюбием. В то же время будущее этой части России, в течение ряда столетий являвшейся сырьевой кладовой центральной части страны, источником поступления в государственную казну доходов от добычи драгоценных металлов, нефти, газа, леса, пушнины, рыбы и т.д., остается неопределенным.

Исследователи, занимавшиеся проблемами освоения восточных регионов страны и развития здесь городов (В.И. Кочедамов, Д.Я. Резун, Р.С. Васильевский, Б.И. Оглы, Л.К. Минерт, Е.А. Ащепков, А.П. Окладников, Н.И. Никитин и др.), отмечали, что продвижение русских землепроходцев в Зауралье было явлением естественным в развитии России как многонационального государства. В отличие от освоения Америки, Австралии и ряда других регионов, где коренное население было почти полностью уничтожено, заселение русскими обширных восточных земель можно считать достаточно гуманным по отношению к малым народам. «Освоение Севера и Сибири, хотя и было насильственным, но имело своеобразный, исторически мягкий, демократический характер, приведший в итоге к действительному союзу народов. С моей точки зрения его нельзя сравнить с классическим понятием колонизации, например, Индии, Африки, Америки со стороны Европы, где были ружье, власть, рабство. Сибирское евразийство — уникальное явление, о чем говорил еще Потанин», — писал академик В.П. Казначеев.

Присоединение восточных (за Уральским хребтом) территорий к России происходило на протяжении длительного времени (середина XVI — первая половина XVIII вв.). Градостроительное освоение территорий Сибири и Дальнего Востока продолжается до сегодняшнего дня, причем если в историческом прошлом в этом процессе преобладали позитивные моменты, связанные со стремлением государства к заселению пус-

тующих территорий, к закреплению населения в Сибири и на Дальнем Востоке, то в настоящий момент доминирует миграция населения с севера на юг, с востока на запад, оголяющая и без того слабозаселенные территории.

Целенаправленная политика по развитию системы расселения: прокладка Московско-Сибирского тракта, строительство Транссибирской железнодорожной магистрали, Турксиба, Байкало-Амурской железной дороги, освоение гидроэнергоресурсов, добыча нефти и газа и возникновение на этой основе новых городов и других поселений — все это остается в прошлом. Сегодня наблюдается эксплуатация месторождений полезных ископаемых без должного внимания к градоформирующей деятельности на перспективных для развития экономики страны территориях. Импульсивные, точечные действия государственной власти и ее отдельных представителей в Ханты-Мансийске, Анадыре, Владивостоке и др. не могут сформировать целостную картину дальнейшего развития системы расселения в Сибири и на Дальнем Востоке. Отсутствуют даже попытки разработать некую стратегию последовательного градоостроительного освоения чрезвычайно важных для страны территорий.

Все это происходило и происходит на фоне усиления геополитической роли территории Российской Федерации как своеобразного коммуникационного пространства, объединяющего наиболее мощные современные полюса экономического развития: Европу, Азиатско-Тихоокеанский регион и Американский континент.

«Сегодня для России жизненно важно обрести структуру расселения и пространственной организации, отвечающую новым реалиям. В частности, такая структура должна учитывать, что все больший экономический и политический вес приобретают страны Азиатско-Тихоокеанского региона. В этих условиях значительно повышается роль Сибирского и Дальневосточного федеральных округов. Соответственно восточное направление становится ключевым в новой пространственной организации страны» [1]. Подобные суждения возникают довольно часто и на разных уровнях. Институт демографии, миграции и регионального развития опубликовал весьма интересный проектно-аналитический доклад «Сибирь — новая Центральная Россия, или как Юг Западной Сибири станет экономическим центром Планеты». Опираясь на исключительные по своим масштабам природные ресурсы региона, уникальное географическое положение и человеческий потенциал, авторы доклада (руководитель Ю.В. Крупнов) убедительно показали, что «на Юге Западной Сибири сегодня сложились все необходимые условия для создания мощного нового индустриального района, создания крупных машиностроительных производств различного характера, начиная от тяжелого машиностроения (производства горнодобывающего оборудования, промышленного оборудования, станков, разного рода автоматического оборудования, судостроения) и оборонной промышленности — до сложного и точного машиностроения, опирающегося на крупнейшие мировые научно-исследовательские центры: Новосибирск, Томск, Красноярск» [2].

Один из наиболее крупных отечественных архитекторов-градостроителей академик РААСН И.Г. Лежава с коллегами давно работает над глобальной темой расселения на территории России. Вектор развития и совершенствования системы расселения направлен на восток. Оригинальный линейный город Сибстрим формируется на мощной инфраструктурной платформе вдоль высокоскоростной железнодорожной

магистрالی и выступает альтернативой «мегаполисной урбанизации». В статье Г.Г. Дюментона и И.Г. Лежавы [3] обоснована линейно-руслевая система расселения России, отвечающая фундаментальной стратегической концепции территориальной целостности и безопасности страны с оптимальным размещением промышленности и сельского хозяйства. Центральная ось русла — это система транспортного и железнодорожного маршрутов вдоль евразийского русла с Запада на Восток с тремя поперечными ветвями с Севера на Юг. В русле концентрируется основная часть населения, жилые территории, объекты торговли, предприятия, склады, объекты социально-обслуживающей инфраструктуры, медицинские, образовательные, культурные и научные учреждения. К руслу примыкают сельскохозяйственные зоны. Разработка природных ресурсов проводится вахтовым методом с использованием «бескрылетов» как экологически чистых транспортных средств» (из аннотации к статье).

В центральной части предлагаемой линейной структуры развивающейся системы расселения на территории Сибири и Дальнего Востока вполне вероятно размещение и формирование новой столицы Российской Федерации. «Новый город-столица станет не только организующим центром нового развития России и центральным механизмом позитивной смены элит, но и символом геополитической мощи нашей страны» [1].

Глобальные градостроительные идеи и проектные концепции российских ученых и ведущих специалистов страны разворачиваются, к сожалению, на фоне кризиса отечественного градостроительного законодательства и отечественного градостроительства в целом как одной из важнейших сфер внутренней государственной политики.

Важными задачами, которые могли бы вывести градостроительное дело из глубокого кризиса, безусловно, являются:

- проведение стабильной государственной экономической политики, ориентированной на интересы страны, благосостояние народа;
- формирование градостроительного законодательства, защищающего интересы города и его жителей, обеспечивающего создание удобной, гармоничной и безопасной среды обитания человека;
- разработка долгосрочных программ развития всех без исключения территорий России с учетом изменения геополитической ситуации в мире;
- выработка основных направлений перспективного развития и совершенствования теории и практики отечественного градостроительства [4].

Известно, что города и особенно крупные городские поселения играют важнейшую роль в формировании систем расселения, являясь основными центрами промышленного производства, науки, культуры, образования, крупными транспортными узлами, форпостами освоения новых территорий. Особое значение эта форма расселения приобретает в условиях Сибири с ее слабой заселенностью территорий, спецификой природно-климатических условий и значительной территориальной оторванностью от сложившегося исторически политического, административного и культурного центра страны.

Исторически расселение в Сибири велось на протяжении нескольких столетий в основном в бассейнах судоходных рек, а также, начиная с XVIII в., по главным транспортным путям, вначале по Московскому

(Сибирскому) тракту, а затем по железнодорожным магистралям, первой из которых стал Транссиб.

Научно-исследовательские работы, выполненные в 1970–1980-е гг. в ЛенЗНИИЭП и СибЗНИИЭП, были направлены на определение перспективных путей формирования системы расселения в районах нового промышленного освоения севера Сибири. Предложения по созданию перспективной системы расселения на всей территории Сибири, сделанные в 1980-е гг., остаются актуальными. Специфика географических, природно-климатических, демографических особенностей Сибири предполагает особый подход к системе расселения на этих обширных территориях, особенно в современных условиях, когда отсутствует ясность в перспективах развития этого региона.

Особенностью системы расселения в Сибири и Дальнем Востоке является ее тотальная незавершенность; процесс формирования системы находится в стадии перманентного, длительного становления. Можно говорить о достаточно устойчивом поясе расселения и многослойности поселений вдоль главной транспортной артерии восточных территорий — Транссибирской магистрали, а также ее южных (Алтай, Кузбасс) и северных (Томск, Братск) ответвлений. Для этих районов характерно наличие достаточно крупных очагов расселения, крупнейших, крупных и больших городов с численностью населения от 250 тыс. жителей, до 1 млн чел. и более. Как правило, к главным центрам расселения в обжитой части Сибири тяготеют и более мелкие поселения как городского, так и сельского типа, численность населения которых колеблется от 5 до 100 тыс. чел. В то же время не исследована часть дисперсных поселений сельского и промыслового типа, разбросанных по значительным трудноосваиваемым территориям и, как правило, лишенных постоянных надежных транспортных связей с обжитыми районами. Этот тип расселения характерен не только для северных таежных территорий, но и, в какой-то мере, для южных районов Горного Алтая, Кемеровской области, Хакасии, Тувы.

Можно предвидеть два основных направления в развитии Сибири в XXI в. Не желая рассматривать худший из них (усиление центробежных течений, сепаратистские устремления, переориентация восточных территорий на усиливающиеся государства Азиатско-Тихоокеанского региона), целесообразно обратиться к положительному прогнозу и наметить основные направления формирования Сибирского региона, естественно, в составе России. Главным направлением политики государства в этом случае должно быть укрепление позиций градостроительства, поскольку с ним связано развитие устойчивой системы расселения на востоке страны и, в конечном счете, создание условий для диверсификации экономики и формирования достойных условий для жизни населения.

В ряде градостроительных законодательных документов, в том числе в Градостроительном кодексе Российской Федерации, принятом в 1998 г., была подтверждена устоявшаяся классификация поселений на территории России, позволяющая определить тип населенного пункта (города, села) в зависимости от численности населения, проживающего в нем. Классификация предусматривала наличие сложившейся системы расселения, что характерно, в первую очередь, для европейской части государства, где, несомненно, имеются все вышеуказанные в Кодексе населенные пункты. Были выделены сверхкрупные города с населением свыше

3 млн чел.; крупнейшие — с населением от 1 до 3 млн; крупные — с населением от 250 тыс. до 1 млн чел.; большие — с населением от 100 до 250 тыс.; средние — с населением от 50 тыс. до 100 тыс.; малые города и поселки — с населением до 50 тыс.; крупные сельские поселения — с населением свыше 5 тыс.; большие — с населением от 1 до 5 тыс.; средние — с населением от 200 до 1000; малые сельские поселения — с населением менее 200 чел.

В 2004 г. Градостроительный кодекс–98 был заменен новым документом, который полностью исключил термин «типы поселений». При этом был размыт сам смысл градостроительства как деятельности, направленной на создание благоприятной среды обитания человека. Очевидно, что такое положение дел должно быть радикально пересмотрено. В градостроительные законодательные документы должна быть внесена ясность, касающаяся классификации населенных мест для регионов Сибири и Дальнего Востока. Так, здесь при сохранении настоящих демографических и социальных тенденций, исключая вариант глобального изменения в структуре народонаселения (заселение сибирских территорий мигрантами из стран Азиатско-Тихоокеанского региона), не предвидится появление сверхкрупных городов с населением свыше 3 млн чел., хотя некоторые города имеют значительный территориальный и экономический потенциал для своего дальнейшего роста и развития в мегаполисы. Вполне логично, что один из этих городов (Новосибирск), имеющий благоприятные тенденции роста, претендовал и получил категорию сверхкрупного города с населением 1,5 млн чел. и стал экономическим и политическим центром Сибирского федерального округа, центром агломерации и центром международных связей. Радиус влияния центра должен охватывать территорию до 2,5–3,0 тыс. км. В этом центре произойдет концентрация административных, внешнеэкономических, международных, транспортных, научно-образовательных, культурных функций федерального значения. Пока эту роль выполняет Новосибирск, но интенсивное развитие в последние десятилетия Омска и Красноярска позволяет предполагать, что может произойти дальнейшее развитие системы *крупнейших городов-центров* (рис. 1).

В Западной и Восточной Сибири особое место занимают города-центры — основные элементы расселения, расположенные на главной транспортной артерии — Транссибе. Это крупнейшие города, население которых уже превышает или приближается к 1 млн чел. Как и центр Сибирского региона — это международные транспортные узлы, центры внешнеэкономических связей, промышленные, научно-образовательные, историко-культурные центры региона. Радиус их влияния не менее 1000–2000 км. К ним относятся уже перечисленные выше такие исторические города, как Омск, Тюмень, Красноярск, Иркутск — центры формирующихся агломераций.

*Центрами очагового расселения* являются крупные сибирские города: Томск, Барнаул, Кемерово, Новокузнецк, Улан-Удэ, Чита, численность населения которых находится в диапазоне от 250 тыс. до 1 млн чел. Радиус влияния таких городов достигает 200–500 км. Все они находятся на крупных железнодорожных магистралях и на судоходных реках, представляют собой крупные транспортные, промышленные, административные, научно-образовательные, историко-культурные центры. Вокруг них в XX в. сложилась сеть средних и малых городских и сельских поселений, тяготеющих к ним в административном и экономическом плане.



Особый тип населенных мест Сибири, характерный для районов нового промышленного и перспективного освоения, — *города — опорные центры расселения* с населением от 100 до 250 тыс. чел. К ним можно отнести города Бийск, Тобольск, Сургут, Ханты-Мансийск, Нижневартовск, Ноябрьск, Енисейск, Братск, Бодайбо, Норильск. Радиус их влияния колеблется от 100 до 250 км. Вышеназванные города характеризуются многопрофильным производством, развитой строительной базой, относительно высоким уровнем комфорта городской среды и являются опорными центрами формирующейся системы расселения малообжитых районов Сибири. Благодаря этим центрам становится более реальным дальнейшее освоение территорий севера Сибири.

В 70-е гг. XX в. появился еще один тип сибирского поселения — это так называемые *города — базовые центры расселения* в малоосвоенных северных районах. Но такой тип поселения, по-видимому, получит свое распространение и в южных (приграничных) районах Сибири. Население этих центров может колебаться от 50 до 100 тыс. чел., радиус влияния — 50–100 км. Эти города служат базами обслуживания вахтовых поселков, должны иметь развитую местную строительную базу для производства мобильных элементов и для собственного строительства. В таких центрах необходимо развивать многопрофильное производство, формировать повышенный комфорт городской среды и надежную транспортную связь с опорными центрами и центрами расселения. Во второй половине прошлого века такие базовые города возникли в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах (Радужный, Лангепас, Муравленко, Надым, Уренгой и др.). В южной части Сибири, в приграничных районах предстоит укреплять и развивать сеть поселений, к которым уже сейчас можно отнести Карасук, Рубцовск, Горно-Алтайск и др.

Помимо базовых городов с многопрофильным производством в суровых районах севера Сибири, по-видимому, целесообразно предусмотреть развитие городов и поселков городского типа, население которых не будет превышать 10–50 тыс. жителей, а радиус влияния 20–50 км. Поселения этого типа характеризуются монопрофильным производством, включением в городскую (поселковую) застройку мобильных элементов (до 50–70 %) полного заводского изготовления, развитой транспортной и обслуживающей базой и новыми видами транспорта для вахтового освоения территорий. Для *базовых поселений*, к которым можно отнести и совершенно новый тип — *город-порт* на Северном Ледовитом океане, должны быть разработаны новые архитектурные и инженерные формы, новые виды транспорта, отличные от существующих. Только таким способом можно создать комфортные условия для труда и быта людей, которые будут осваивать районы с экстремальными природно-климатическими условиями.

Базовые центры освоения будут создаваться для того, чтобы формирующаяся вокруг них сеть *вахтовых поселков* могла функционировать в нормальном ритме. Вахтовые поселки, как и базовые поселки городского типа, это большей частью временные поселения в суровых районах промышленного освоения. Число их обитателей может колебаться от 10 до 100–500 чел. Для их существования необходимо создание надежных транспортных связей с базовыми центрами расселения в радиусе 1,5–2-часовой транспортной доступности с применением новых, более совершенных видов транспорта, формирование комфортной жизненной

среды при помощи мобильной архитектуры, а также повышенный контроль за охраной среды при создании и ликвидации таких поселений.

В отличие от европейской части России, где преобладают территории с сельскохозяйственным укладом производства, для Сибири с ее рискованным земледелием, по-видимому, более характерными будут не сельские поселения в их чистом виде, а поселки городского типа в сельскохозяйственных районах южной обжитой зоны Сибири с собственной базой по переработке сельхозпродукции, которые станут административными и промышленными центрами районов, имеющими надежные транспортные связи (от 10 до 50 км) с *малыми поселками*. Основная деятельность жителей поселков с населением от 50 до 1000 чел. будет связана с обслуживанием транспортных коммуникаций, водных путей, рыболовством, охотничьим промыслом и сельскохозяйственной работой.

Выработка стратегии градостроительного развития сибирских поселений неразрывно связана с определением стратегии дальнейшего развития Сибири, Дальнего Востока и Севера в составе Российской Федерации с учетом всех особенностей современной геополитической, политической и экономической ситуации. Это возможно осуществить только в процессе выполнения консолидированной «Генеральной схемы расселения на территории Российской Федерации». При выполнении этого проекта прогнозного характера необходимо найти комплексное решение проблем развития Сибири и Дальнего Востока. Одной из проблем, которые предстоит решать в ближайшее время, если государство заинтересовано в формировании устойчивого расселения на данных территориях, является создание широтной транспортной артерии, дублирующей Транссиб (как это решено на востоке страны со строительством БАМа), которая смогла бы объединить опорные центры расселения, перечисленные выше. Одновременно с этим необходимо продолжить и укрепить транспортные коммуникации, идущие в меридиональном направлении, которые свяжут обжитые районы с вновь осваиваемыми. По-видимому, следует обратить особое внимание на развитие всей инфраструктуры восточных регионов и проводить государственную политику, направленную на создание, сохранение, модернизацию и укрепление не только промышленных, энергетических, транспортных и оборонных объектов, но и выработать стратегию развития научного, образовательного, градостроительного и культурного потенциала восточной части страны в целом (рис. 2).

Особое внимание необходимо уделить созданию и функционированию городов — базовых центров расселения в малообжитых северных и южных (приграничных) территориях. Такие города с населением от 50 до 100 тыс. чел., являющиеся базами обслуживания вахтовых поселков и дисперсных сельских поселений, находятся в достаточно сложном положении из-за неясности перспектив дальнейшего освоения этих районов. Однако при наличии многопрофильного производства, развития сферы обслуживания, транспорта, культуры, местной строительной базы, при условии создания достаточно комфортной жизненной среды города могли бы стать центрами очагового расселения в районах с относительно благоприятными условиями проживания.

Кроме того, назрел вопрос о создании системы железнодорожных магистралей в южных районах Сибири, своеобразного Транссиба-3, отдельные участки которого функционируют уже не один десяток лет. Необходимо решить вопрос развития и усовершенствования системы вахтовых поселений в районах с неблагоприятными природно-климатическими

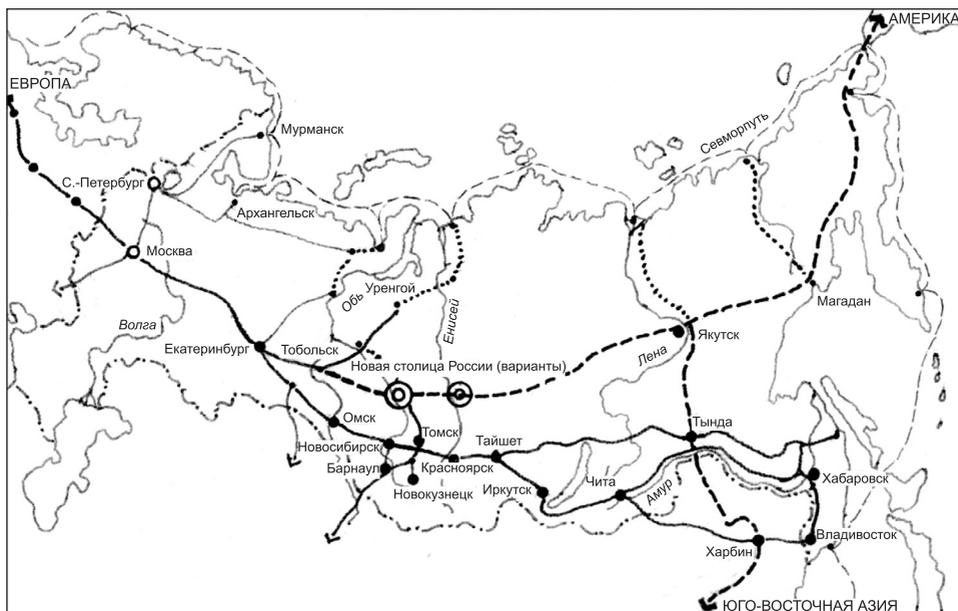


Рис. 2. Сибирская трансконтинентальная скоростная железнодорожная магистраль (авторские разработки)

условиями. Как известно, человек, являясь существом не только социальным, но и биологическим, трудно переносит значительные и частые смены климатических и часовых поясов. Северные сибирские территории неблагоприятно воздействуют на физическое и психическое здоровье человека, затрудняют процесс акклиматизации людей, прибывающих из южных районов. Этот процесс может быть смягчен нормальными жизненными условиями не во временных поселениях, а в базовых городах — центрах расселения, находящихся в пределах 1,5–2-часовой транспортной доступности от мест приложения труда. Несомненно, нужно искать более современные виды транспорта и способы доставки людей к местам приложения труда, совершенствовать способы добычи полезных ископаемых, применять новые типы жилых и общественных комплексов, в том числе и мобильных элементов, отвечающих современным требованиям, проектировать и строить поселения в районах с суровым климатом на совершенно другом, более высоком уровне, чем это имело место во второй половине XX в. [5].

Несомненно, XXI в. потребует иного отношения к восточным регионам нашей страны. Приходится решать главный вопрос: осваивать, обживать эти территории или же допустить окончательное превращение их в полигон по добыче природных богатств и складированию отходов. От того, как он будет решен, в конечном итоге зависит будущее России.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Криво в, А.С. Города, градостроительство, система расселения России [Текст] / А.С. Криво в // Отечество. зап. — 2012. — № 3(48).
2. Крупн о в, Ю.В. Сибирь — новая Центральная Россия, или как Юг Западной Сибири станет экономическим центром Планеты [Текст] / Ю.В. Крупн о в. — М. : Ин-т демографии, миграции и регион. развития, 2013. — 27 с.: ил.

3. Дюментон, Г.Г. На путях к новому расселению в России при переходе к информационному обществу, основанному на сочетании науки и техники [Текст] / Г.Г. Дюментон, И.Г. Лежава // Архитектура и современные информационные технологии. — 2012. — № 4(21).
4. Колпакова, М.Р. Стратегия градостроительного развития сибирского города [Текст] / М.Р. Колпакова. — Новосибирск : НГАХА, 2000. — 207 с.: ил.
5. Туманик, Г.Н. Отечественное градостроительство: современные проблемы развития сибирского города [Текст] / Г.Н. Туманик, М.Р. Колпакова. — Новосибирск : НГАХА, 2007. — 172 с.: ил.

*КОЛПАКОВА Марина Ростиславовна, д-р архитектуры, проф.; E-mail: m.kolpakowa2009@yandex.ru*

*Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия  
ТУМАНИК Геннадий Николаевич, д-р архитектуры, проф., член-кор. РААСН;  
E-mail: g.tumanik@yandex.ru*

*Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия*

Получено 19.03.15

**Kolpakova Marina Rostislavovna**, doctor of architecture, professor; E-mail: m.kolpakowa2009@yandex.ru, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

**Tumanik Gennadiy Nikolaevich**, doctor of architecture, professor, corresponding member of Russian academy of architecture and building sciences; E-mail: g.tumanik@yandex.ru, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

## **PREDICTION OF PROSPECTIVE RESETTLEMENT IN SIBERIA AND FAR EAST**

In connection with the decisive role of Siberia and the Far East in the economic development of Russia the authors marks the negative trends in the present stage of resettlement and fastening of population in the eastern territories of Russia and also adduces some proposals from scientists and specialists for the development of settlement system in new conditions of modern geopolitics, proposals for a transcontinental highway and the new capital of the Russian Federation.

**Key words:** geopolitics, urban development, system of settlement, main lines, new capital of Russia.

### REFERENCES

1. Krivov, A.S. City, urban development, the system of settlement of Russia [Text] / A.S. Krivov // Domestic notes. — 2012. — N 3(48).
2. Krupnov, Yu.V. Siberia such as new Central Russia, or South Western Siberia will become the economic center of the world [Text] / Yu.V. Krupnov. — M. : Institute of demography, migration and regional development, 2013. — 27 p.: ill.
3. Dumenton, G.G. On the ways to the new resettlement in Russia during the transition to informational society, based on a combination of science and technology [Text] / G.G. Dumenton, I.G. Lezhava // Architecture and the contemporary informational technologies. — 2012. — N 4(21).
4. Kolpakova, M.R. Strategy for urban development of the Siberian city [Text] / M.R. Kolpakova. — Novosibirsk : NGAHA, 2000. — 207 p.: ill.
5. Tumanik, G.N. Our town: modern problems of development of the Siberian city [Text] / G.N. Tumanik, M.R. Kolpakova. — Novosibirsk : NGAHA, 2007. — 172 p.: ill.

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 534.121.1:539.371:51-74

Н.Н. ФЕДОРОВА, С.А. ВАЛЬГЕР

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА С ГИБКОЙ ПЛАСТИНОЙ\*

Нестационарное ветровое воздействие на гибкую конструкцию приводит к возникновению аэроупругих колебаний, которые могут быть опасны для объекта. Моделирование аэроупругих колебаний требует решения сопряженной задачи о движении воздушной среды и деформировании конструкции под действием нестационарного потока с учетом обратного влияния движения конструкции на внешний поток.

Представлены результаты расчетов нестационарной задачи о воздействии несжимаемого турбулентного потока воздуха на гибкую пластину, расположенную по нормали к потоку и жесткозакрепленную одним концом на подложке. Моделирование выполнено в пакете ANSYS на основе полных моделей механики сплошной среды с учетом двустороннего взаимодействия воздушной среды и упругой пластины.

Ключевые слова: взаимодействие потоков со структурами, вихревое течение, напряженно-деформированное состояние, турбулентность, аэроупругие колебания.

**Введение.** При проектировании строительных конструкций необходимо учитывать аэроупругие эффекты, возникающие в результате взаимодействия аэродинамических сил и вызванных ими упругих механических реакций конструкции. В практике строительства известны примеры, когда возбуждение аэроупругих колебаний конструкций приводило к нарушению их эксплуатационных свойств вплоть до разрушения. Наиболее ярким примером катастрофического влияния аэроупругих эффектов на строительный объект можно назвать разрушение подвесного моста через пролив Такома-Нэрроуз в штате Вашингтон в 1940 г. По результатам экспертиз о причинах разрушения моста было установлено, что конструкция не была рассчитана на динамические ветровые нагрузки. При воздействии сильных порывов ветра гибкая конструкция моста испытывала сильные вертикальные и крутильные колебания, что привело к разрушению центрального пролета<sup>1</sup>. Не менее громкой катастрофой, причиной которой стало динамическое воздействие ветра на конструкцию, стало разрушение в 1965 г. трех градирных башен электростанции Феррибридж в Западном Йоркшире, Великобритания<sup>2</sup>. Причиной разрушения послужила совокупность многих факторов, включая возникновение до-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № 211, задание № 2014/140 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания) и совместной российско-германской программы «Михаил Ломоносов» 2014–2015 гг.

<sup>1</sup> Billah K.Y., Scanlan R.H. Resonance, Tacoma Narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks // Am. J. Physics, 1991. Vol. 59, N 2, P. 118–124.

<sup>2</sup> Report of the committee of Inquiry into Collapse of Cooling Towers at Ferry bridge, November, 1965 (Central electricity Generating Board).

полнительных динамических воздействий ветра на градирни в результате интерференционных эффектов, не учтенных на стадии проектирования ТЭС. В отечественной практике также известен случай возникновения резонансных колебаний конструкции под действием ветровой нагрузки (Волгоградский мост, 2010 г.<sup>3</sup>).

Таким образом, на стадии проектирования конструкций необходимо учитывать аэроупругие эффекты, возникающие при динамическом ветровом воздействии. Это позволит предотвратить катастрофические последствия путем разработки дополнительных защитных мероприятий, направленных на усиление конструкции и гашение колебаний. В 2011 г. в России было выпущено «Национальное приложение к Еврокоду 1», содержащее рекомендации к проведению проверок на возникновение аэроупругой неустойчивости (галопирование, дивергенция, флаттер и др.)<sup>4</sup>.

Для описания аэроупругих эффектов необходимо решить сопряженную задачу движения внешней воздушной среды, ее динамическом воздействии на упругую конструкцию, приводящем к деформации конструкции, и обратного влияния возникающих деформаций на внешнее течение. Задачи взаимодействия потоков со структурами (FSI) являются чрезвычайно сложными. Для решения используются аналитические модели, основанные на замене реальных объектов упрощенными динамическими системами. Поведение динамических систем с ограниченным количеством степеней свободы описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями с заданной периодической правой частью, моделирующей внешнюю нагрузку [1]. Такой подход позволяет моделировать аэроупругие эффекты, однако, как отмечено в [1], он не может решать практические инженерные задачи.

В настоящее время наряду с натурным экспериментом для решения задач аэроупругости применяется математическое моделирование. Использование современных численных методов и реализующих их пакетов прикладных программ предоставляет возможность моделировать процессы двунаправленного взаимодействия твердого деформируемого тела и жидкости/газа (2FSI) на основе полных моделей механики сплошной среды. Это позволяет определить динамическое напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции под действием нестационарной ветровой нагрузки в условиях, когда деформации и перемещения конструкции приводят к изменению качественных и/или количественных характеристик внешнего течения.

В настоящей работе представлены результаты моделирования взаимодействия гибкой пластины из алюминия и внешнего стационарного/периодического воздушного потока. В качестве средств моделирования 2FSI задачи использована расчетная среда ANSYS Workbench с модулем ANSYS Mechanical для расчета НДС твердого тела и модулем ANSYS CFX для расчета внешнего течения, а также специальные алгоритмы связывания гидродинамического и прочностного расчетов. Исследованы структура потока в окрестности пластины и ее НДС при различных режимах обтекания. Определены характерные частоты колебаний пластины и частоты срыва вихрей с кромок пластины.

<sup>3</sup> Рутман Ю.Л., Мелешко В.А. Применение технологии FSI для определения аэроупругих колебаний сооружений // ANSYS Advantage. Русская редакция. 2011. № 16. С. 7–9.

<sup>4</sup> [http://www.standards.ru/collection.aspx?control=40&id=5323367&catalogid=eurocode\\_aus](http://www.standards.ru/collection.aspx?control=40&id=5323367&catalogid=eurocode_aus)

**1. Физико-математическая постановка задачи.** Рассмотрим турбулентное течение воздуха в окрестности пластины, установленной по нормали к потоку и жесткозакрепленной одним концом на плоской подложке. Геометрия расчетной области показана на рис. 1. Высота пластины составляет  $h = 0,75$  м, толщина  $d = 1/300 h$ . Пластина выполнена из сплава алюминия, его плотность  $\rho = 2770$  кг/м<sup>3</sup>, модуль Юнга  $E = 7,1 \cdot 10^{10}$  Па, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,33$ ; предел текучести  $\sigma_{\tau} = 2,8 \cdot 10^8$  Па. Моделирование проведено для расчетной области с характерными размерами  $(14,5h + d) \times 6h$ . Кроме того, на рисунке показаны точки мониторов  $O1$  с координатами  $(-0,02; 0,75$  м) и  $O2$  с координатами  $(0; 0,78$  м), в которых ниже проведены «замеры» параметров потока.

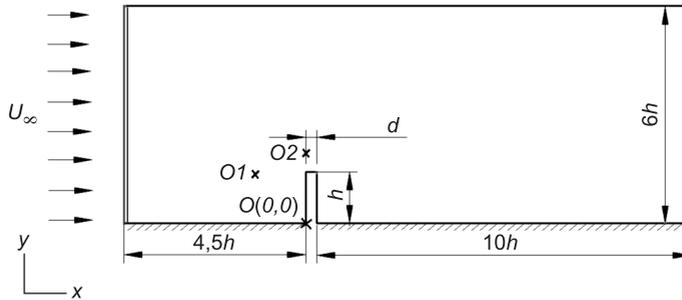


Рис. 1. Схема расчетной области

Расчеты выполнены для атмосферного воздуха с постоянными плотностью  $\rho_{\text{в}} = 1,225$  кг/м<sup>3</sup> и вязкостью  $\mu_{\text{в}} = 1,789 \cdot 10^{-5}$  Нс/м<sup>2</sup>. Течение предполагается турбулентным. Интенсивность турбулентных пульсаций на входе в расчетную область составляет 0,3 %, в качестве характерного масштаба турбулентных пульсаций принята высота пластины  $h$ . На подложке и поверхности пластины задано граничное условие прилипания. На выходе из расчетной области принято условие постоянства статического давления  $\Delta P = P_{\text{ст}} - P_0 = 0$  атм. На верхней границе расчетной области выполняется условие симметрии, обеспечивающее отсутствие потока через эту границу. В качестве начальных условий для области воздуха приняты следующие распределения параметров в расчетной области:  $P_0 = 1$  атм,  $U_0 = 5$  м/с.

Задача решается в несколько этапов, описание которых приведено в табл. 1. На первом этапе выполнено моделирование обтекания пластины стационарным потоком воздуха со скоростью набегающего потока

Таблица 1. Описание расчетных задач

Этап	Задача	Описание	Скорость набегающего потока $U_{\infty}$ , м/с	Тип расчета
1	0	Стационарный внешний поток, абсолютно жесткая пластина	5	Гидродинамический
	1	Стационарный внешний поток, гибкая пластина	5	2FSI
2	2	Периодический внешний поток, абсолютно жесткая пластина	$5 \sin(3t) + 5$	Гидродинамический
	3	Периодический внешний поток, гибкая пластина	$5 \sin(3t) + 5$	2FSI

$U_\infty = 5$  м/с. Для предварительного исследования структуры течения сначала проведен гидродинамический (несвязанный) расчет течения в окрестности абсолютно жесткой пластины (задача 0). Далее при тех же параметрах потока выполнено двустороннее связывание гидродинамического расчета течения воздуха и прочностного расчета упругой пластины (задача 1). На втором этапе рассмотрено обтекание пластины нестационарным потоком в рамках гидродинамического (задача 2) и связанного 2FSI расчета (задача 3). В задачах 2, 3 скорость во входном сечении изменяется по гармоническому закону  $U_\infty = 5\sin(3t) + 5$  с характерным периодом  $T = 2,08$  с. Максимальная скорость воздуха в ядре потока  $U_{\infty \max} = 10$  м/с, а число Рейнольдса, вычисленное по характерному линейному масштабу  $L = h$  и максимальной скорости набегающего потока, составляет  $Re \approx 5,1 \cdot 10^5$ .

Кроме того, с помощью модуля ANSYS Workbench Modal рассчитаны собственные частоты конструкции.

**2. Методы расчета.** Численное моделирование течения внешней воздушной среды проведено в изотермическом приближении на основе 2D нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса, записанных в физических переменных [2] и дополненных комбинированной моделью переноса сдвиговых напряжений  $k-\omega$  SST [3]. Аппроксимация уравнений выполнена на основе конечно-объемной схемы с решением уравнения для давления второго порядка по пространственным и временной переменным. Процессы в твердом теле (пластина) описаны нестационарными уравнениями теории упругости, условием совместности деформаций и законом Гука [4], для решения которых применен метод конечных элементов [5, 6].

Для связывания гидродинамического и прочностного расчетов использован итерационный алгоритм сопряжения [7]. На каждом шаге по времени отдельно решаются уравнения гидродинамики и прочности, затем через интерфейс между воздушной средой и пластиной происходит обмен данными. При решении гидродинамической задачи на пластине задается кинематическое граничное условие, обеспечивающее равенство скоростей внешней среды и подвижной стенки. Движение границы определяется перемещениями пластины, передаваемыми из прочностного решателя. Для уравнений прочности в качестве граничных условий на стенках пластины задается полученное в гидродинамическом расчете распределение давления. Критерием сходимости итераций сопряжения на каждом шаге по времени является достижение условия  $|z^{n+1} - z^n| < 10^{-3}$ , где  $z^n$  — относительное значение передаваемого параметра (усилия и перемещения) на  $n$ -й итерации.

Гидродинамический расчет выполнен на нестационарной сетке, адаптирующейся к изменению расчетной области. Для перемещений узлов сетки в области газа на каждом шаге по времени итерационным методом решается уравнение диффузии:

$$\Delta(\Gamma_{disp} \nabla \delta) = 0, \quad (1)$$

где  $\delta$  — перемещение узла сетки относительно его первоначального положения, а коэффициент  $\Gamma_{disp}$  определяет сеточную жесткость:

$$\Gamma_{disp} = \left( \frac{L_{ref}}{d} \right)^{C_{stiff}}. \quad (2)$$

Здесь  $d$  — расстояние от перемещаемого узла до ближайшего граничного узла,  $L_{ref} = 1$  м,  $C_{stiff}$  — коэффициент сеточной жесткости.

В данных расчетах использовано значение  $C_{stiff} = 1$ . Как видно из уравнения (2), сеточная жесткость обратно пропорциональна расстоянию  $d$ . Это позволяет исключить существенные деформации объемов расчетных ячеек вблизи границ расчетной области газа путем поглощения основной доли перемещений удаленными от границ сетки ячейками.

В условиях неконформности расчетных сеток на границе сопряжения двух сред необходим алгоритм интерполяции данных, передаваемых из «источника» в «приемник». Интерполяция данных в узел  $\varphi$  сетки «приемника» производится по формуле:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \omega_i \varphi_i, \quad (3)$$

где  $\omega_i$  — весовой коэффициент в  $i$ -м узле сетки «источника»;

$\varphi_i$  — значение интерполируемой величины в  $i$ -м узле сетки «источника» [8] или на  $i$ -й контактной поверхности ячейки [9];

$n$  — количество узлов сетки «источника» в области сопряжения.

При передаче перемещений  $\vec{d}(\Delta d_x, \Delta d_y)$  из прочностного в гидродинамический расчет весовые коэффициенты  $\omega_i$  вычисляются по алгоритму проекций [8]. При передаче усилий  $\vec{F}(F_x, F_y)$  из гидродинамического в прочностной расчет для определения весовых коэффициентов  $\omega_i$  используется алгоритм сопряжения сеток (GGI) [7], обеспечивающий выполнение законов сохранения импульса на интерфейсной границе.

### 3. Результаты расчетов.

3.1. *Сеточная сходимость.* По описанной выше методике выполнены расчеты задач, указанных в табл. 1. С целью получения сеточно-независимого решения для всех задач проведена серия расчетов на сгущающихся сетках, параметры которых даны в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики расчетных сеток

Сетка	Кол-во узлов расчетной сетки в гидродинамическом расчете, $N_{CFD}$	Кол-во конечных элементов на пластине (для прочностного расчета), $N_{FEA}$
1	16 000	150
2	32 000	300
3	64 000	600
4	128 000	1200

На рис. 2 представлены зависимости от времени статического давления  $P_{ст}$  в точке  $O1$  (см. рис. 1), полученные на различных сетках в расчетах задачи 3. Как показано на рис. 2, данные сеток 3 и 4 отличаются незначительно, поэтому в дальнейших расчетах была использована сетка 3.

3.2. *Расчет жесткой пластины в стационарном потоке.* На первом этапе проведен гидродинамический расчет течения в окрестности абсолютно жесткой пластины (задача 0), в результате которого получено установившееся решение. Структура течения соответствует стандартной схеме в окрестности плохообтекаемого 2D тела [10]. На рис. 3 показаны линии тока установившегося течения воздуха в окрестности пластины. Перед пластиной формируется отрывная зона (1), продольный размер

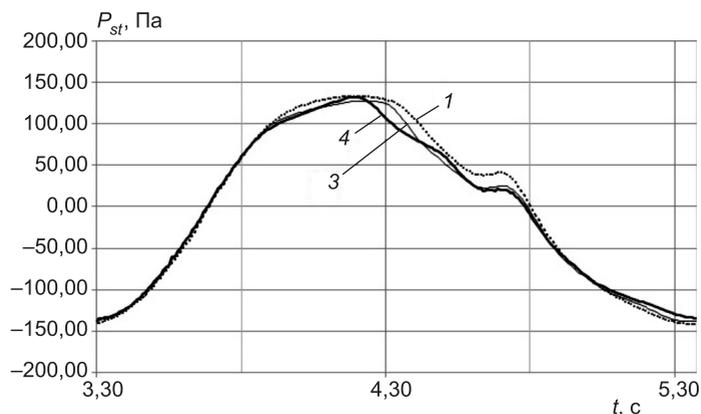


Рис. 2. Расчетное статическое давление  $P_{ст}$  в точке  $OI$  в зависимости от времени, полученное на различных расчетных сетках  
1 — сетка 1; 3 — сетка 3; 4 — сетка 4

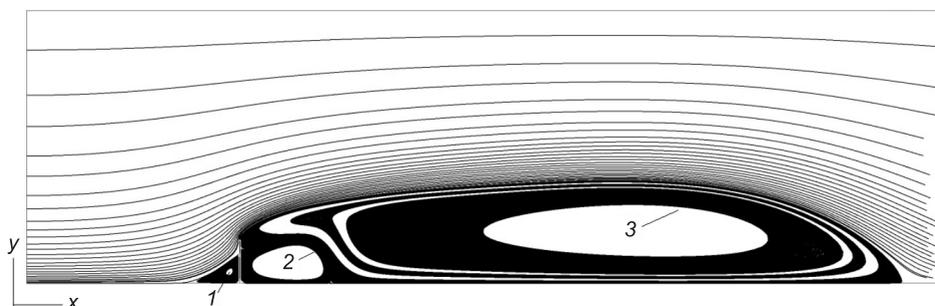


Рис. 3. Линии тока в течении в окрестности жесткой пластины (задача 0)

которой достигает  $h$ . За пластиной образуется массивная рециркуляционная зона (3) протяженностью  $\sim 10h$  и вторичная отрывная зона (2) во внутреннем угле, образованном задней кромкой пластины и подложкой. Внешний поток обтекает отрывные зоны как единое препятствие. Максимальная скорость  $U_x = 8,97$  м/с достигается во внешнем потоке в сдвиговом слое вдоль обтекаемой рециркуляционной зоны за пластиной.

3.3. Расчет гибкой пластины в стационарном потоке. С целью определения НДС пластины в потоке, а также воздействия НДС пластины на течение в рамках этой же постановки выполнены связанный гидродинамический и прочностной расчеты. На рис. 4 показана полученная в расчетах зависимость максимальных перемещений пластины  $\Delta d_{x, \max}$  от времени  $t$ . В начальный момент времени под действием внешнего потока гибкая пластина деформируется, отклоняясь от исходного положения в направлении потока. Максимальное отклонение пластины в направлении оси  $x$  составляет 7,3 см.

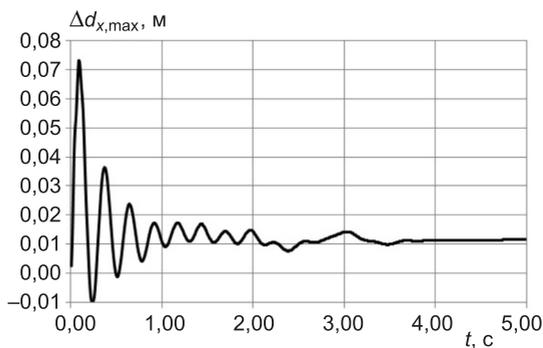


Рис. 4. Зависимость максимальных горизонтальных перемещений пластины от времени для задачи 1

Далее пластина совершает колебательные движения с характерной частотой 4,2 Гц, которые в условиях стационарного входного потока затухают через  $t = 3,7$  с, после чего величина отклонения пластины становится постоянной  $\Delta d_x = 1,25$  см.

*3.4. Расчет жесткой пластины в нестационарном потоке.* На следующем этапе рассмотрены задачи с периодическим граничным условием на входе в расчетную область, имитирующем нестационарное ветровое воздействие. Нестационарное внешнее поле течения генерирует осциллирующую внешнюю нагрузку, вызывающую незатухающие колебания пластины. Анализ расчетных данных позволяет выявить общие закономерности, характеризующие рассматриваемое нестационарное течение и особенности динамического НДС пластины.

На рис. 5 представлены линии тока течения, показывающие развитие его структуры в окрестности пластины за характерный период времени  $T_b = 2\pi/3 \approx 2,08$  с, который можно разбить на несколько этапов.

Началом **этапа 1** будем считать момент времени  $t_0 = 1,7$  с, когда скорость внешнего течения достигает минимума. В окрестности пластины существуют несколько вихрей: вихри 1, 2 за пластиной и вихри 3, 4 перед пластиной, сформировавшиеся на предыдущем периоде. В условиях роста скорости набегающего потока вихрь 1 растет, объединяясь с рециркуляционной зоной 2 за пластиной (рис. 5, а).

На **этапе 2** в условиях дальнейшего роста скорости набегающего потока образовавшийся в результате взаимодействия вихря 1 и рециркуляционной зоны 2 единый вихрь 6 за пластиной растет (рис. 5, б) и воздействует на подветренную сторону пластины. Внешний поток обтекает пластину с образовавшейся массивной вихревой структурой 6. Вихри 3 и 4 под действием интенсивного внешнего потока разбиваются на более мелкие и примыкают к наветренной стороне пластины.

На **этапе 3** под воздействием нарастающей скорости внешнего течения вихрь 6 смещается вниз по потоку (рис. 5, в). За пластиной вновь образуется вихревая зона 2, которая увеличивается, «вытягиваясь» вдоль подветренной стенки пластины. Перед пластиной образуется небольшая отрывная зона 7.

На **этапе 4** в момент времени  $t_1 = 2,64$  с скорость внешнего потока, достигнув максимума, начинает снижаться. Вихрь 6 за пластиной укрупняется и смещается в направлении, обратном основному потоку. Вторичная отрывная зона 2 в угле за пластиной испытывает влияние вихря 6. Рециркуляционная зона перед пластиной также растет, сдвигается вдоль нижней стенки навстречу основному потоку, формируя вихри 3 и 4 (рис. 5, г) при взаимодействии с внешним потоком. Когда скорость в ядре потока опять начинает нарастать ( $t_2 = 3,78$  с), повторяется этап 1: по мере того, как вихревая структура 6 сносится вниз по потоку, рециркуляционные зоны 3, 4 перед пластиной уменьшаются и смещаются к передней стенке пластины. На верхней кромке пластины вновь происходит срыв и развитие вихря 1 (см. рис. 5, а). Далее этапы 1–4 периодически повторяются.

*3.5. Расчет гибкой пластины в нестационарном потоке.* Поведение деформируемой пластины в периодическом потоке (задача 3) моделируется на основе решения сопряженной задачи (2FSI подход). Анализ результатов расчетов показывает, что развитие вихревой структуры течения аналогично описанному выше для случая недеформируемой пластины.

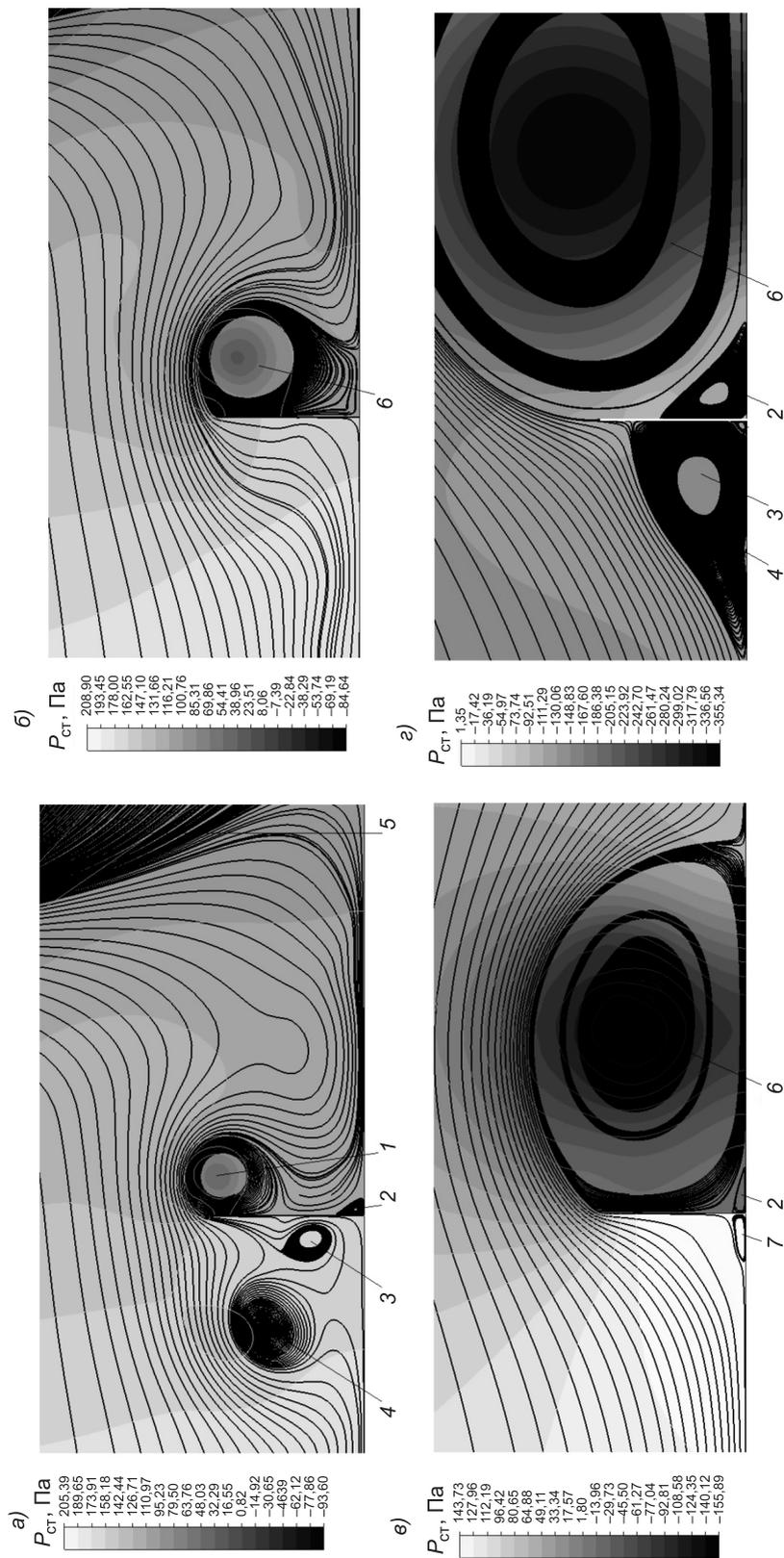


Рис. 5. Поля относительного статического давления и линии тока для задачи 2 в различные моменты времени  $t = 2.04$  с (а),  $t = 2.13$  с (б),  $t = 2.45$  с (в),  $t = 3.11$  с (г)

ны. В динамике процесса деформирования пластины можно выделить четыре характерных этапа, которые показаны на рис. 6, представляющем зависимость от времени максимальных горизонтальных перемещений пластины  $\Delta d_x$ . Началом этапа 1 будем считать момент времени, когда пластина максимально наклонена навстречу потоку, а скорость набегающего потока минимальна. Под действием растущего скоростного напора пластина отклоняется в направлении потока. На этапе 2 статическое давление с обеих сторон пластины выравнивается, и пластина под действием силы упругости пытается вернуться в исходное положение (рис. 6, этап 2). На этапе 3 пластина, не достигнув своего первоначального положения, опять начинает смещаться в направлении основного потока (рис. 6, этап 3) под действием основного потока в условиях низкого давления на подветренной стороне. Этап 4 соответствует уменьшению скорости набегающего потока и движению вихревой структуры *б* (см. рис. 5, *з*) в направлении, обратном основному потоку, что приводит к отклонению пластины в направлении, обратном основному потоку (рис. 6, этап 4). Этапы 1–4 периодически повторяются.

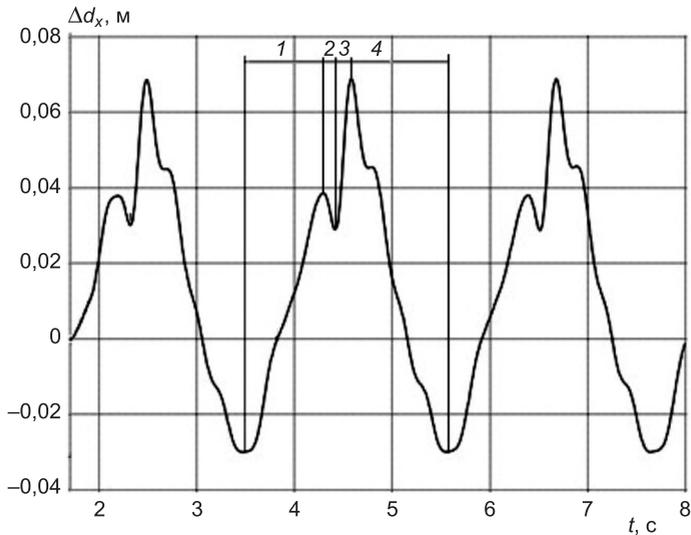


Рис. 6. Максимальные горизонтальные перемещения пластины в зависимости от времени для задачи 3  
1–4 — этапы развития процесса деформирования

Максимальное отклонение верхней кромки пластины от исходного положения  $\Delta d_{x,\max} = 0,07$  м наблюдается на границе этапа 3 и 4 (момент времени  $t = 4,57$  с). Максимальные положительные нормальные напряжения  $\sigma_{x,\max} = 7,392$  МПа и  $\sigma_{y,\max} = 51,5$  МПа (зона растяжения) и минимальные отрицательные нормальные напряжения  $\sigma_{x,\min} = -7,365$  МПа и  $\sigma_{y,\min} = -51,5$  МПа (зона сжатия) отмечаются в окрестности закрепленного нижнего конца пластины в моменты, соответствующие максимальным отклонениям пластины от исходного положения в направлении потока.

Максимальные в пластине напряжения по Мизесу [6] составляют  $\sigma_{\max} \sim 44$  МПа, что существенно ниже предела текучести, используемого в расчетах сплава алюминия  $\sigma_r = 280$  МПа, и свидетельствует об упругой стадии работы материала пластины.

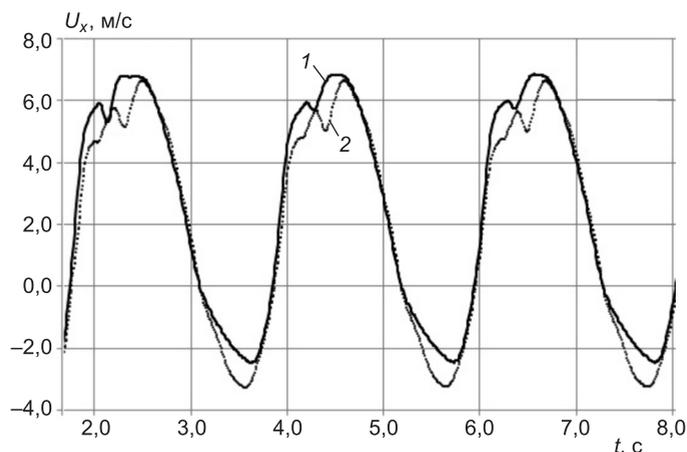


Рис. 7. Горизонтальная скорость  $U_x$  в точке  $O2$ , расположенной вблизи верхней кромки пластины, полученная в расчетах с жесткой (1) и упругой (2) пластиной

На рис. 7 представлена зависимость от времени горизонтальной компоненты скорости  $U_x$  в точке  $O2$  (см. рис. 1) для абсолютно жесткой (1) и упругой (2) пластины. Как видно, влияние деформаций и перемещений пластины на структуру течения выражается в изменении количественных характеристик течения и, в частности, скорости воздуха в окрестности пластины, однако не влияет на частоты вихреобразования, которые определяются основной частотой.

Так, на этапе 1, соответствующем отклонению пластины вниз по потоку, значения продольной компоненты скорости  $U_x$  вблизи передней кромки упругой пластины на 18,5 % ниже, чем в случае абсолютно жесткой пластины в такой же период течения. Это можно объяснить тем, что деформированная пластина наклонена под меньшим углом к набегающему потоку. Внешний поток испытывает меньшее сужение при обтекании податливой пластины, и его скорость возрастает в меньшей степени. Следует отметить, что в случае обтекания абсолютно жесткой пластины этап 2 наступает раньше (на  $t = 0,16$  с), так как более высокие скорости в окрестности пластины инициируют более ранний отрыв вихря 1 с кромки пластины.

Данные о значениях продольной компоненты скорости в точке  $O2$  для задач 2, 3 были обработаны с помощью быстрого преобразования Фурье<sup>5</sup>, на основе которого получены три первые частоты процесса:  $f_1 = 0,48$ , соответствующая внешней частоте периодического течения, и две субгармоники  $f_2 = 0,96$  Гц и  $f_3 = 1,44$  Гц. Следует отметить, что частоты на несколько порядков ниже собственных частот конструкции ( $f_1 = 3,8$  кГц и  $f_2 = 24,1$  кГц), полученных путем модального анализа.

**Заключение.** Разработана расчетная методика для решения сопряженной задачи обтекания упругой пластины, расположенной по нормали к набегающему потоку. Выполнены расчеты 2D задачи обтекания пластины из алюминия стационарным/периодическим потоком воздуха. Показано, что периодические колебания пластины в стационарном потоке быстро затухают. Описаны основные этапы нестационарного течения в окрестности жесткой и упругой пластины. Учет упругих деформаций пластины не влияет на частотные характеристики конструкции, но приводит к 20%-му изменению поля скорости в окрестности пластины.

<sup>5</sup> Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1972. 142 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фершинг, Г. Основы аэроупругости: пер. с нем. [Текст] / Г. Фершинг. — М. : Машиностроение, 1984. — 600 с.
2. Blazek, J. Computational fluid dynamics: principles and applications [Текст] / J. Blazek. — Elsevier, 2005. — 465 p.
3. Menter, F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications [Текст] / F.R. Menter // AIAA Journal. — 1994. — Vol. 32, N 8. — P. 1598–1605.
4. Норри, Д. Введение в метод конечных элементов: пер. с англ. [Текст] / Д. Норри, Ж. де Фриз. — М. : Мир, 1981. — 304 с.
5. Морозов, Е.М. Метод конечных элементов в механике разрушения [Текст] / Е.М. Морозов, Г.П. Никишков. — М. : Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — 256 с.
6. ANSYS Mechanical [Электронный ресурс] // ANSYS Software [Официальный веб-сайт]. — URL: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Structural+Analysis/ANSYS+Mechanical> (дата обращения: 30.03.2015).
7. ANSYS Fluid-Structure Interaction [Электронный ресурс] // ANSYS Software [Официальный веб-сайт]. — URL: [http://www.ansys.com/Resource+Library/Presentations/Automotive+Fluid%E2%88%92Structure+Interaction+\(FSI\):+Concepts,+Solutions+and+Applications+-+Presentation](http://www.ansys.com/Resource+Library/Presentations/Automotive+Fluid%E2%88%92Structure+Interaction+(FSI):+Concepts,+Solutions+and+Applications+-+Presentation) (дата обращения: 30.03.2015).
8. Jansen, K.E. Fast projection algorithm for unstructured meshes [Текст] / K.E. Jansen, F. Shakib, T.J.R. Hughes // Computational nonlinear mechanics in aerospace engineering (ed. S.N. Atluri). — AIAA, Washington D.C., 1992. — P. 175–204.
9. Galpin, P.F. Three-dimensional navier stokes predictions of steady state rotor/stator interaction with pitch change [Текст] / P.F. Galpin, R.B. Broberg, B.R. Hutchinson // Proceeding of third annual conf. of the CFD society of Canada, Banff, Alberta, Canada, June 1995.
10. Вальгер, С.А. Моделирование несжимаемых турбулентных течений в окрестности плохообтекаемых тел с использованием ПК ANSYS Fluent [Текст] / С.А. Вальгер, А.В. Федоров, Н.Н. Федорова // Вычислит. технологии. — 2013. — Т. 18, № 5. — С. 27–41.

*ФЕДОРОВА Наталья Николаевна, д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail: [nfed@itam.nsc.ru](mailto:nfed@itam.nsc.ru)  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

*ВАЛЬГЕР Светлана Алексеевна, мл. науч. сотр.; E-mail: [swetla-ya@mail.ru](mailto:swetla-ya@mail.ru)  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 31.03.15

**Fedorova Natalya Nikolayevna**, doctor of physics and mathematics sciences, professor; E-mail: [nfed@itam.nsc.ru](mailto:nfed@itam.nsc.ru), Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Valger Svetlana Alekseevna**, junior researcher; E-mail: [swetla-ya@mail.ru](mailto:swetla-ya@mail.ru), Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **NUMERICAL MODELLING OF INTERACTION BETWEEN FLEXIBLE PLATE AND AIRFLOW**

An unsteady wind action on a flexible structure can lead to dangerous aeroelastic effects such as oscillation of the structure. It requires a modelling of an fluid-structure interaction problem to predict the stress-strain state of the structure under conditions of an unsteady airflow.

The numerical modelling of unsteady interaction between an flat-plate fixed aluminum plate and incompressible airflow was performed. The Fluid-Structure Interaction technology

implemented to ANSYS Software was used. The Airflow structure, the stress-strain state of the aluminum plate and characteristic frequencies of the plate oscillation were obtained.

**Key words:** fluid-structure interaction, unsteady airflow, stress-strain state, turbulence, aeroelasticity.

#### REFERENCES

1. F o r s c h i n g, H.W. Grundlagen der Aeroelastik [Text] / H.W. F o r s c h i n g. — Berlin : Springer-Verlag, 1974. — 693 p.
2. B l a z e k, J. Computational fluid dynamics: principles and applications [Text] / J. B l a z e k. — Elsevier, 2005. — 465 p.
3. M e n t e r, F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications [Text] / F.R. M e n t e r // AIAA Journal. — 1994. — Vol. 32, N 8. — P. 1598–1605.
4. N o r r i e, D.H. Introduction to finite element analysis [Text] / D.H. N o r r i e, D e G. V r i e s // Academic Press Inc, 1978. — 314 p.
5. M o r o s o v, E.M. Finite-element method for fracture mechanics [Text] / E.M. M o r o s o v, G.P. N i k i s h c o v. — M. : LIBROKOM, 2010. — 256 p.
6. [http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Structural + Analysis/ANSYS+Mechanical](http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Structural+Analysis/ANSYS+Mechanical) (date of access: 30.03.2015).
7. [http://www.ansys.com/Resource+Library/Presentations/Automotive + Fluid%E2 %88%92Structure+Interaction+\(FSI\):+Concepts, + Solutions+and+Applications+-+ Presentation](http://www.ansys.com/Resource+Library/Presentations/Automotive+Fluid%E2%88%92Structure+Interaction+(FSI):+Concepts,+Solutions+and+Applications+-+Presentation) (date of access: 30.03.2015).
8. J a n s e n, K.E. Fast projection algorithm for unstructured meshes [Text] / K.E. J a n s e n, F. S h a k i b, T.J.R. H u g h e s // Computational nonlinear mechanics in aerospace engineering, (ed. S.N. Atluri). — AIAA, Washington D.C., 1992. — P. 175–204.
9. G a l p i n, P.F. Three-dimensional navier stokes predictions of steady state rotor/stator interaction with pitch change [Text] / P.F. G a l p i n, R.B. B r o b e r g, B.R. H u t c h i n s o n // Proceeding of Third Annual Conf. of the CFD society of Canada, Banff, Alberta, Canada, June 1995.
10. V a l g e r, S.A. Modelling of unsteady turbulence air flow in the vicinity of bluff-bodies using ANSYS Fluent [Text] / S.A. V a l g e r, A.V. F e d o r o v, N.N. F e d o r o v a // Numerical technologies. — 2013. — Vol. 18, N 5. — P. 27–41.

*Руководство Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) – издателя научно-теоретического журнала «Известия вузов. Строительство» и редакция журнала выражают глубокую признательность ЗАО «Ново-Николаевскъ» (руководители Бобров Виктор Анатольевич и Кошкарёв Александр Михайлович) за спонсорскую помощь в модернизации компьютерной, информационной и технической базы издания*

ББК 38  
И 33  
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов  
СТРОИТЕЛЬСТВО**

**№ 4 (676) 2015**

Научно-теоретический журнал

Редакторы: С.М. Погудина, Н.И. Коновалова

Технический редактор Н.М. Макаренко

Компьютерная верстка Р.Г. Усова

Корректор Г.И. Шведкина

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
**«СТРОИТЕЛЬСТВО»**

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции  
Теория инженерных сооружений  
Строительные материалы и изделия  
Экономика и организация строительства  
Автоматизация и технология строительного производства  
Гидротехническое строительство  
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов  
Строительные и дорожные машины  
Научные проблемы архитектуры и экологии  
Научно-методический В лабораториях вузов  
Внедрение научных достижений в производство  
Научная информация

На 1-е полугодие 2015 г.  
каталожная цена за 6 месяцев — 3000 р.  
цена отдельного номера — 500 р.