ISSN 0536-1052

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

4
2005

ББК 38
И 33
УДК 69

Главный редактор В. Г. СЕБЕШЕВ
Заместители главного редактора В. И. КОСТИН, Г. Б. ЛЕБЕДЕВ
Ответственный секретарь Н. В. БИТКИНА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

проф. А. А. АФАНАСЬЕВ; проф. В. Л. БАЛАДИНСКИЙ; засл. деятель науки и техники России, проф. В. А. ВОРОБЬЕВ; проф. П. А. ДМИТРИЕВ; засл. деятель науки и техники России, проф. В. А. ИГНАТЬЕВ; проф. В. И. КОСТИН; доц. Г. Б. ЛЕБЕДЕВ; проф. Е. М. ЛОБАНОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Л. С. ЛЯХОВИЧ; проф. В. И. МОРОЗОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Ю. П. ПАНИБРАТОВ; проф. Ю. А. ПОПОВ; проф. Ю. П. ПРАВДИВЕЦ; засл. деятель науки и техники России, проф. А. П. ПРОШИН; проф. Г. А. ПУГАЧЕВ; проф. В. Г СЕБЕШЕВ; проф. И. Б. СОКОЛОВ; проф. Ю. А. ФЕОФАНОВ; проф. А. М. ФОМИНЫХ; засл. деятель науки и техники России, проф. В. М. ХРУЛЕВ; проф. Е. М. ЧЕРНЫШОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Г. Н. ШОРШНЕВ

Научное издание

Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 4 (556) 2005

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *Н. Г. Павлова, Т. Ю. Санькова*
Технический редактор *Н. М. Макаренко*
Корректор *В. В. Борисова*

Сдано в набор 26.01.05. Подписано в печать 04.04.05. Формат 70×108 1/16. Бумага типографская № 2.
Гарнитура Антиква. Офсетная печать. Усл. печ. л. 10,85+0,35. Уч.-изд. л. 13,2. Тираж 510 экз.
Заказ № 12. Цена 60 р.

Адрес редакции: 630008, г. Новосибирск, 8, Ленинградская, 113, телефон 66-28-59,
телефакс (8-383-2) 66-28-59; e-mail: izvuz_str@sibstrin. ru

ОАО «Новосибирский полиграфкомбинат», 630007, г. Новосибирск, 7, Красный проспект, 22,
телефон 23-64-47.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
АССОЦИАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

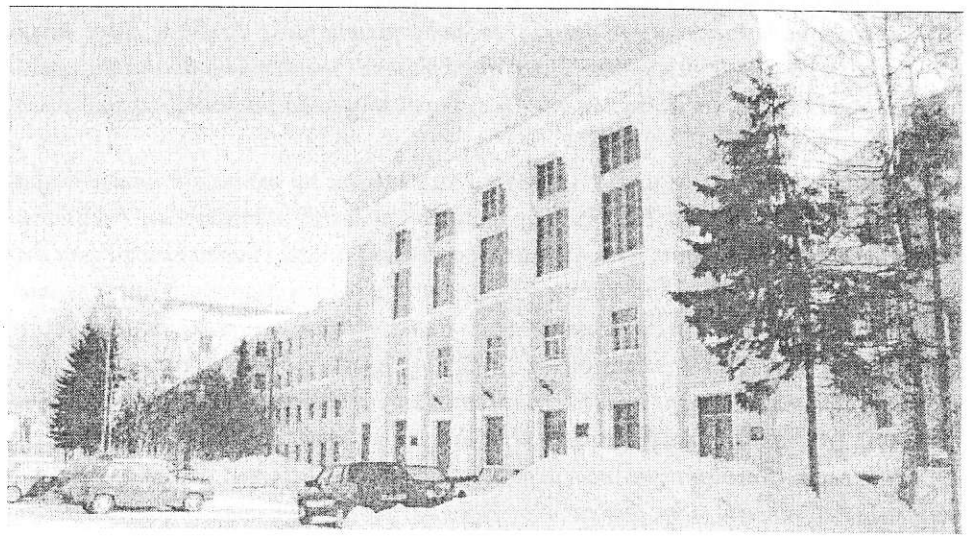
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (556)

Апрель 2005 г.

Издается с марта 1958 г.

Этот номер журнала целиком посвящен материалам, отражающим исторические аспекты и современное состояние научно-исследовательской деятельности Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) в связи с 75-летием вуза



Издатель НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (Сибстрин), 2005

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, отмечающий в 2005 году свой 75-летний юбилей, по праву считается одним из крупнейших и эффективно развивающихся в России научных и учебных заведений строительной отрасли. История университета — это летопись развития архитектуры и градостроительства, технологии и организации экономики, инженерных систем, зданий и сооружений, гидротехнического строительства, теории расчета и проектирования конструкций, строительных материалов и изделий, подготовки высококвалифицированных инженерных и научно-педагогических кадров.

Славный путь учебного заведения начинается с 18 мая 1930 года, когда был основан Сибирский строительный институт (Сибстрин), созданный в период мощного подъема промышленного и гражданского строительства в СССР и долгие годы остававшийся единственным специализированным в области архитектуры и строительства высшим учебным заведением на огромной территории от Урала до Дальнего Востока.

Во все годы существования института, затем академии, университета в стенах высшего учебного заведения работали и продолжают работать видные ученые, талантливые педагоги, выдающиеся организаторы производства. Их опыт и знания позволили обеспечить высокий уровень преподавания учебных дисциплин, создать саморазвивающуюся систему, благодаря которой совместный труд преподавателей и студентов обогащает содержание и делает более эффективными учебный процесс и научно-исследовательскую работу и придает им практикоориентированную направленность.

Особенно приятно отметить, что когорта талантливых ученых — сотрудников университета — сумела создать признанные во всем мире научные школы, внесшие огромный вклад в развитие отечественной науки, обеспечить преемственность поколений и воспроизводство научных кадров высокой квалификации.

Университет получил заслуженное признание не только в нашей стране, но и за рубежом за высокий уровень и качество подготовки специалистов, успехи в развитии научных исследований, о чем свидетельствует высокая оценка миссии европейских экспертов и международная аккредитация профильных специальностей вуза Институтом инженеров строительства (The Institution of Civil Engineers, London) по самому высшему уровню магистра, присуждение таких почетных наград, как Американский Золотой сертификат международного престижа, Золотая медаль Французской Ассоциации содействия промышленности. Весьма показательным является тот факт, что ректор университета Аркадий Петрович Яненко награжден почетным знаком «Лидер российской экономики – 2003» за активную деятельность по реализации принципов устойчивого экономического развития, высокие достижения и стабильную работу в условиях перехода к рыночной экономике.

Последнее десятилетие успешной работы вуза в непростых экономических условиях, интеграция в международное научно-образовательное пространство показали способность его коллектива к эффективному решению как сложнейших академических, так и социальных задач.

В связи со знаменательной датой, которую отмечает НГАСУ (Сибстрин), хочу пожелать всем его преподавателям, ученым, студентам плодотворной работы и учебы, сохранения лучших традиций российской высшей школы и дальнейшего развития достигнутых успехов, благополучия и процветания.

Руководитель Федерального
агентства по образованию

Г.А. БАЛЫХИН

От имени Президиума Ассоциации строительных вузов СНГ сердечно поздравляю научно-педагогический состав, сотрудников, студентов, аспирантов и руководство Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) с 75-летием вуза.

Имея значительные достижения в подготовке инженерных, архитектурных, научно-педагогических кадров и в области строительной науки, динамично развиваясь, особенно в последнее десятилетие, университет занимает достойное место в сообществе высших учебных заведений, объединенных в Ассоциацию строительных вузов СНГ.

Особо отмечу продолжительное и эффективное сотрудничество между Московским и Новосибирским инженерно-строительными институтами (ныне университетами) — начало ему было положено в годы Великой Отечественной войны. Мы с благодарностью помним о том, что в это трудное время Новосибирский ИСИ принял значительную часть нашего коллектива — большую группу профессоров МИСИ, ведущих ученых в области строительных наук, которые в течение нескольких лет напряженно и плодотворно работали в филиале в Новосибирске.

Уверен, что первый сибирский строительный вуз приумножит свою славную историю, и я желаю ему новых успехов и достижений.

Президент Ассоциации
строительных вузов СНГ,
ректор МИСИ-МГСУ
с 1983 по 2003 год

В.Я. КАРЕЛИН

КОЛЛЕКТИВУ НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Сердечно поздравляю ректорат сотрудников, студентов, аспирантов старейшего сибирского архитектурно-строительного вуза с 75-летием университета!

Созданный в 1930 году как Сибирский строительный институт — Сибстрин, а ныне Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, по праву считается одной из ведущих в нашей стране высших школ, осуществляющих подготовку специалистов и исследования в области строительных наук.

Целая плеяда научно-педагогических работников Сибстрина-НГАСУ и вышедших из его стен архитекторов и ученых в течение многих десятилетий деятельно сотрудничали с Академией строительства и архитектуры СССР, а в наши дни — с Российской академией архитектуры и строительных наук. Высокий авторитет и известность в профессиональных кругах архитекторов и ученых-строителей снискали академики РААСН В. В. Бирюлев, А. А. Воловик, А. М. Каримов, Л. С. Ляхович, члены-корреспонденты РААСН А. С. Демирханов, Ю. М. Журавков, Г. И. Пустоветов, Г. Н. Туманик, Г. А. Тюленин, Г. И. Швецов, члены-корреспонденты АСиА СССР Е. А. Ащепков, М. Н. Михайлов, А. В. Силенко, Н. Э. Стребейко.

НГАСУ является ассоциированным членом РААСН и с момента создания Сибирского регионального отделения РААСН сотрудничает с ним в выполнении научно-исследовательских и творческих работ, оказывает президиуму СРО РААСН организационную поддержку.

Выражаю надежду на дальнейшее плодотворное развитие сотрудничества РААСН и университета. Желаю коллективу Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета новых достижений в образовательной и научно-исследовательской деятельности на благо нашего Отечества.

Президент Российской академии
архитектуры и строительных наук,
Народный архитектор РФ,
академик

А.П. КУДРЯВЦЕВ

А. П. ЯНЕНКО, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) — (НГАСУ — Сибстрин) был организован в 1930 г. в соответствии с приказом ВСНХ СССР № 1381 от 18 мая 1930 г. Первоначальное название вуза было — Сибирский строительный институт или (сокращенно) Сибстрин. Он вошел в число семи вузов, открытых в этом году на базе Сибирского технологического института (СТИ), расположенного в городе Томске. В тот период времени Сибстрин был единственным строительным вузом на весь регион Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии. Предполагалось, что в вузе будет организовано обучение по специальностям «Архитектура», «Коммунальное хозяйство» и «Мелиорация».

Материальная база нового высшего учебного заведения на первых порах была весьма слабой. В первые три года институт не мог переехать в Новосибирск из-за финансовых трудностей. Занятия в новом вузе начались 1 сентября 1930 г. в Томске. На пяти специальностях, отошедших с инженерно-строительного факультета СТИ (фабрично-заводская, архитектурная, коммунального строительства, мелиоративная, гидросиловая), обучалось 304 студента; занятия вели 49 преподавателей.

В первый год существования новому вузу пришлось проделать большую работу по организации учебного процесса, разработке учебных планов и программ и, конечно же, по подготовке к строительству зданий института в Новосибирске. А уже в 1931 г. началось строительство, в основном силами студентов, учебного и профессорского корпусов в Новосибирске.

В 1933 г. вуз переехал в город Новосибирск. В первый учебный год в этом городе в Сибстрине было сформировано 3 факультета: архитектуры промышленных зданий, инженерно-строительный и санитарно-технический. Студентов обучали по шести специальностям: «Производство строительных работ», «Железобетонные конструкции», «Архитектура жилых и общественных зданий», «Архитектура промышленных зданий», «Водоснабжение и канализация», «Отопление и вентиляция».

5 марта 1935 г. постановлением ЦИК СССР Сибстрин был переименован в Новосибирский инженерно-строительный институт (НИСИ) имени В. В. Куйбышева.

Постепенно формировалась и материальная база НИСИ. Очень быстро было построено общежитие по улице Тургенева. После ликвидации Сибирского комплексного института сооружений НИСИ получил в свое распоряжение готовый лабораторный корпус и жилой дом. К концу 1936 г. в молодом вузе действовали 16 кафедр, 14 лабораторий и 14 кабинетов.

В 1939 г. инженерно-геодезический факультет, образованный в вузе в 1934 г., был выделен из состава НИСИ и преобразован в самостоятельный вуз — Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии.

К началу 40-х годов в НИСИ обучалось 696 студентов. Война внесла существенные коррективы в жизнь вуза. Для размещения военного производства был освобожден учебный корпус. Кроме него пришлось передать и студенческое общежитие для нужд фронта. Для обучения студентов оставался лишь одноэтажный (в тот период времени) лабораторный корпус.

В армию из стен вуза было призвано 400 человек, в том числе 245 студентов и 36 преподавателей, а также аспиранты и 116 сотрудников; 106 из них погибли или умерли от ранений в госпиталях. В числе тех, кто не вернулся с фронта, был Герой Советского Союза сибстриновец А. А. Кончин.

В период военных действий в состав НИСИ влился сначала Днепропетровский инженерно-строительный институт, эвакуированный с Украины, а затем и Московский инженерно-строительный институт с частью студентов и профессорско-преподавательским составом. Во время войны в институте открылись две новые специальности: «Строительные машины и оборудование» и «Производство бетонных и железобетонных изделий и конструкций для сборного строительства».

Послевоенные 50-е и 60-е годы — время динамичного развития НИСИ. Вуз возводил новые учебные и жилые корпуса, укреплял учебно-лабораторную базу, организовывал новые кафедры и лаборатории, развивал и укреплял традиции, заложенные в 30-е годы. С каждым годом увеличивалось количество первокурсников, рос контингент студентов, появлялись новые специальности. Так, в 1950 году была начата подготовка инженеров по специальности «Сельскохозяйственное строительство», существовавшей в вузе до 1992 года.

В 1950 г. был организован гидротехнический факультет, а в 1951 г. началась подготовка инженеров по специальности «Гидротехническое строительство речных сооружений и гидроэлектростанций». В это же время открылись высшие инженерные курсы промышленного и гражданского строительства со сроком обучения 2 года и 4 месяца. На обучение принимались техники-строители, имеющие не менее трех лет строительного стажа. Курсы просуществовали до 1959 г.

1955 год вошел в историю НИСИ благодаря образованию факультетов вечернего и заочного обучения. В 1957 г. вуз был переведен в первую категорию вузов Советского Союза и ему было предоставлено право принимать к защите кандидатские диссертации и присуждать ученую степень кандидата технических наук и кандидата архитектуры.

В 1965 г. началась подготовка кадров по специальности «Экономика и организация строительства» (впоследствии «Экономика и управление на предприятии (в строительстве)».

В 1969 г. институт поднялся еще на одну ступеньку развития: открылся факультет повышения квалификации преподавателей вуза. В это же время в НИСИ началась подготовка инженеров-строителей по важной для промышленного строительства специализации — «Проектирование, изготовление и монтаж металлических конструкций», специальность ПГС.

К концу 60-х годов обучение в НИСИ велось на четырех факультетах дневного обучения: архитектурном, строительном, гидротехническом и строительно-технологическом; действовали факультеты вечернего и заочного обучения. Прием в вуз составлял 1300 человек; контингент студентов в 1967 году насчитывал 6253.

В вузе к этому моменту времени работало 337 преподавателей, более 40% которых обладали учеными степенями и званиями. Учебный процесс осуществлялся в соответствии с планами, разработанными на основе типовых планов министерства высшего и среднего специального образования СССР. Ведущую роль в учебном процессе играли лекционные занятия, органически сочетавшиеся с практическими, лабораторными работами, учебной и производственной практикой.

К началу 70-х годов вуз представлял собой солидное высшее учебное заведение со сложившейся системой преподавания, традицией, сформированной структурой подразделений. Институт продолжал развиваться, откликаясь на потребности требований того времени. С 1970 года в НИСИ начало действовать подготовительное отделение. В 1978 году началась подготовка специалистов для зарубежных стран. В институт прибыла первая группа иностранных студентов — граждан Монгольской Народной Республики для обучения по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Выпускники строительного института работали по всему огромному региону от Урала до Дальнего Востока, от Якутии до Казахстана. Многие из них за весомый вклад в развитие строительной отрасли были награждены орденами и медалями, удостоены звания лауреатов Государственной премии, премии Совета Министров СССР.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 12 декабря 1980 г. за заслуги в подготовке квалифицированных специалистов для народного хозяйства, развитие научных исследований и в связи с 50-летием со дня образования НИСИ вуз был награжден орденом Трудового Красного Знамени. Это явилось высокой оценкой труда всего коллектива вуза.

80-е и начало 90-х годов внесли новые изменения в жизнь крупнейшего строительного вуза Сибири. В 1981 г. раскрылись двери аудиторий факультета по работе с иностран-

ными студентами. В 1983 г. на базе кафедры иностранных языков возникла кафедра русского языка как иностранного.

В связи с увеличением внимания к роли архитектуры в процессе градостроительства органы власти страны приняли решение об открытии в Новосибирске в 1989 г. самостоятельного архитектурного института на базе архитектурного факультета НИСИ. А в НИСИ начала работу кафедра архитектуры и градостроительства, организованная для архитектурной подготовки студентов инженерно-строительных специальностей.

В 1990 году в НИСИ началась подготовка инженеров по специальности «Городское строительство и хозяйство». Был организован факультет довузовской подготовки, объединивший подготовительное отделение и подготовительные курсы.

Как следует из материалов статистической отчетности, к 1991 г. в НИСИ было подготовлено 27299 инженеров-строителей, архитекторов и экономистов. Обучение студентов осуществлялось коллективами 31 кафедры вуза, которые обеспечивали учебный процесс по всем дисциплинам учебных планов НИСИ.

В условиях наступления рыночных отношений важным событием в жизни НИСИ стало создание в 1991 г. коммерческо-договорного отдела (КДО). Тесно взаимодействуя с выпускающими кафедрами и факультетами, он на первых этапах своей деятельности стал заниматься формированием заказов от организаций и учреждений города по подготовке специалистов, заключать договоры на обучение будущих инженеров-строителей, вести рекламно-информационную работу.

К началу 90-х годов в институте работало 379 штатных преподавателей, 178 из которых имели ученые степени и звания. В распоряжении студентов имелись 3 спортивных зала, лыжная база, стадион, стрелковый тир, геодезический полигон, полигон военной кафедры. В учебном процессе использовалось уникальное и дорогостоящее оборудование. Лаборатории, кафедры, специализированные кабинеты были оснащены киноустановками, видеотехникой и другими современными техническими средствами обучения и контроля за знаниями студентов. В 1989—1990-х годах руководство вуза приложило максимум усилий для приобретения в достаточном объеме качественной вычислительной техники. Результатом этих шагов стало создание современных дисплейных классов, вычислительного центра и ряда специализированных кафедр по вычислительной технике.

Методическое обеспечение учебно-воспитательного процесса осуществлялось на основе учебных планов, которые в 1989 г. претерпели очередные изменения. Для более тесной увязки учебного процесса подготовки специалистов с потребностями строительной отрасли они начали согласовываться с ведущими строительными и проектными организациями.

В этот период значительную роль в организации учебно-воспитательного процесса стала играть научно-методическая комиссия (в настоящий момент учебно-методический совет), возглавляемая первым проректором по учебной работе. К ее компетенции относилось составление новых учебных планов и внесение принципиальных изменений в них, организация и закрытие филиалов кафедр на производстве, открытие новых специальностей в вузе и целый ряд других важных вопросов.

В конце 90-х расширилась целевая подготовка инженеров-строителей, существенно возросло число специальностей и специализаций с учетом потребностей производства, увеличилось время самостоятельной работы студентов под руководством преподавателей. Система планирования самостоятельной работы студентов стала охватывать все звенья подготовки специалистов в вузе.

В учебный процесс начали интенсивно внедряться активные формы обучения: деловые игры, анализ конкретных ситуаций, широкое распространение получило применение вычислительной техники в учебном процессе. Под неослабным вниманием ректората находилась организация учебных, производственных и преддипломных практик.

Так же, как и во всей стране, деятельность вуза в период 90-х годов осуществлялась в условиях крайне сложных политических событий и экономической нестабильности. В это время основные усилия ректората направлялись на сохранение высококвалифицированного коллектива сотрудников и на поддержание традиционно высокого качества подготовки специалистов. С этой целью главный упор был сделан на проведение эффективной социальной политики в вузе.

Итоги проделанной работы таковы: с 1990 до 2005 г. более 150 сотрудников бесплатно улучшили свои жилищные условия, получив квартиры как в строящихся на территории вуза жилых домах, так и за счет освобождения жилой площади сотрудниками, получаю-

щими новое жилье; вузом организовано четыре садоводческих общества, в которых отведены земельные участки более чем 200 сотрудникам; на территории студенческого городка построено овощехранилище на 203 ячейки и 133 капитальных гаража для автомобилей сотрудников.

Особую заботу ректорат стал проявлять о ветеранах вуза, которые по состоянию своего здоровья или возрасту уже не могут работать. Для их поддержки и организации непрерывной связи и четкой работы с представителями старшего поколения сибстриновцев в университете введена должность помощника ректора по работе с ветеранами. Благодаря этому ни один ветеран вуза, нуждающийся в помощи или поддержке, не остается без внимания. Тут и оказание материальной помощи для получения квалифицированных медицинских услуг или закупки дорогостоящих лекарств; обязательное проведение в столовой вуза праздничных обедов накануне 8 Марта и 9 Мая; получение финансовой помощи из внебюджетных средств всеми ветеранами накануне Дня пожилых людей и обязательный выход приказов по вузу с вручением премии накануне юбилейных дат каждого ветерана и, кроме всего прочего, закупка угля или дров с доставкой на дом для тех, кто проживает в частном секторе.

Вторым направлением, на котором в течение последних 15 лет были сосредоточены усилия ректората, было укрепление материальной базы как кафедр и лабораторий вуза, так и студенческих общежитий. На приведение в порядок учебных корпусов и общежитий ежегодно выделялось не менее 7—10 миллионов рублей, причем значительная часть из них была из внебюджетных средств. Не следует скрывать того, что определенная часть сотрудников вуза хотела, чтобы эти деньги шли на увеличение их заработной платы (сегодня на эти цели направляется от 40 до 47% внебюджетных средств), но благодаря кропотливой разъяснительной работе ректората было найдено взаимопонимание всего коллектива.

Жизнь подтвердила правильность выбранного ректоратом пути. В ответ на действенную социальную политику, на заботу со стороны ректората коллектив вуза добросовестно трудился на всех направлениях. В итоге уровень подготовки специалистов строительного профиля в это нелегкое для страны время перемен в Сибстрине не только не снизился, но существенно вырос.

Благодаря этому по итогам работы аттестационной комиссии коллегия Министерства образования России в 1993 г. приняла решение о придании инженерно-строительному институту статуса академии. В период с 1993 по 1998 г. наш вуз именовался как Новосибирская государственная академия строительства.

Не успокаиваясь на достигнутом, коллектив продолжал целеустремленно двигаться вперед, стараясь развивать и совершенствовать научно-образовательный процесс в вузе, строить его таким образом, чтобы он отвечал возросшим требованиям времени. В итоге очередная аккредитационная комиссия Министерства образования России, проверявшая работу академии, дала ей высокую оценку. Это дало основание коллегии Министерства перевести вуз в 1998 г. в разряд профильных университетов. При этом необходимо отметить, что из 11 аккредитационных показателей, установленных министерством для учебных заведений данного типа, наш вуз по девяти намного перекрывал нормативные параметры, а остальные соответствовали нормативам. В итоге в 1998 г. Сибстрин получил официальное название — Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (НГАСУ). В 2003 г. в соответствии с решением ученого совета вуза, приказом Министерства образования РФ к этому названию было добавлено: (Сибстрин), т.е. с этого момента времени полное название нашего вуза — Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин).

Оказавшись в статусе университета, коллектив вуза поставил перед собой еще более высокие задачи. Одной их них было решение ученого совета о прохождении официальной международной аккредитации. В итоге в мае 2002 г. университет успешно прошел официальную международную аккредитацию Институтом инженеров-строителей, штаб-квартира которого расположена в Лондоне. Замечу, что в этот институт входят строительные организации и учебные заведения, осуществляющие подготовку кадров для строительной отрасли более чем 130 стран мира.

А в октябре 2004 г. эта аккредитация была успешно подтверждена очередной комиссией этого Института на самом высоком для высших учебных заведений уровне — магистерском.

В связи с тем, что представителей этого института поразил высокий уровень подготовки специалистов строительного профиля в вузе, в 2003 г. в соответствии с решением

его руководства на базе НГАСУ было открыто представительство Института инженеров-строителей в азиатской части России.

Необходимо отметить, что в настоящий момент времени действительно большинство студентов НГАСУ серьезно и добросовестно относятся к учебе в университете, так как прекрасно понимают, что от уровня полученных ими в вузе знаний во многом зависит их дальнейшая судьба, продвижение по службе, а следовательно, и благосостояние семьи.

Многие студенты не только хорошо учатся, но и принимают активное участие в конкурсах дипломных работ, конкурсах по специальностям и отдельным дисциплинам в рамках Всероссийской студенческой олимпиады, занимая высокие личные и командные места. Так, к примеру, на проходившем в Казани Всероссийском конкурсе по теоретической механике в 2004 г. команда НГАСУ заняла 1-е, 2-е места (в том числе 2, 3 и 4 места в личном зачете), а на конкурсе по высшей математике АСВ, проходившем в городе Самаре, было занято 1-е командное место и 2, 3, 4 места в личном зачете. В 2003 году дипломный проект по специальности ПГС занял 1-е место во Всероссийском конкурсе дипломных проектов, проводимом АСВ, среди всех строительных специальностей с присуждением медали им. Н. В. Никитина, диплома Российской академии архитектуры и строительных наук и премии ГНЦ «Строительство».

Одним из важных моментов обучения и контроля качества подготовки инженеров является итоговая аттестация будущих специалистов. На первом уровне обучения это государственные экзамены по отдельным дисциплинам. На втором аттестация выпускников происходит в виде итогового квалификационного экзамена по отдельным дисциплинам и защиты выпускной работы. Итоговая аттестация выпускника на третьем уровне профессионального образования проходит в виде государственного междисциплинарного экзамена по специальности и защиты дипломного проекта.

О качестве подготовки специалистов НГАСУ красноречиво говорят цифры. В 2004 г., например, к защите было принято 980 дипломных проектов и дипломных работ. 539 из них (55,0%) получили оценку «отлично», 380 (38,8%) — «хорошо»; 35 явились результатами научных исследований, 193 рекомендованы к внедрению.

Благодаря высокому уровню подготовки воспитанники НГАСУ обладают достаточно высоким уровнем востребованности даже в условиях современной экономики, характеризующейся наличием определенных проблем на рынке труда. Около 70% выпускников, окончивших вуз в 2003 г. смогли трудоустроиться по профилю подготовки. С целью содействия трудоустройству выпускников, облегчения их адаптации к самостоятельной жизни в вузе в 2002 г., было организовано управление по трудоустройству, занятости и производственным практикам.

Высокое качество подготовки специалистов в НГАСУ обусловлено не только соответствующим квалифицированным уровнем преподавания, но и постоянным вниманием педагогов к воспитательному процессу. Он включает в себя патриотическое, эстетическое, нравственное, физическое и трудовое воспитание.

Поскольку воспитательная работа неразрывно связана с учебой студентов и способствует становлению личности будущего специалиста, по решению ученого совета в мае 2002 г. в вузе организовано управление по организации внеучебной и воспитательной работы. Цель работы нового подразделения — активное привлечение студентов к творческой жизни вуза, района, города и области; снижение правонарушений среди учащейся молодежи за счет вовлечения ее в занятия спортом, художественной самодеятельностью и различными видами общественной деятельности.

Помимо исполнения своих основных служебных обязанностей большую работу руководство учебного направления НГАСУ проводит в Новосибирском региональном отделении учебно-методического объединения (УМО) Ассоциации вузов России по образованию в области строительства (АСВ). В состав этого отделения входят десять высших учебных заведений Алтая, Кузбасса, Тывы и Омска, осуществляющих подготовку инженеров-строителей по различным специальностям.

Встречи членов регионального отделения УМО проводятся регулярно, не реже двух раз в год. Причем один раз в обязательном порядке в головном вузе, а второй — на базе одного из вузов, входящих в состав отделения. За более чем десятилетний период деятельности регионального отделения эта периодичность ни разу не нарушалась. Ежегодно составляется план работы отделения, который подлежит безусловному выполнению. В традицию вошло обязательное выступление руководителя отделения, ректора НГАСУ, с информацией о работе АСВ и обо всех изменениях, происходящих в жизни высшей школы, головных вузов АСВ и регионального отделения.

Такое тесное взаимодействие позволяет решать множество текущих вопросов. Члены отделения помогают друг другу при подготовке и проведении процедур самообследования вузов; в период, предшествующий их комплексной проверке Министерством, с пониманием относятся к открытию новых специальностей в том или ином вузе при условии наличия для этого соответствующей базы и кадров, содействуют выходу в свет учебников и учебных пособий.

В ближайшее время планируется ввести в практику обмен профессорско-преподавательским составом с целью чтения избранных разделов курсов специальных дисциплин ведущими учеными и педагогами вузов регионального отделения.

Свой 75-летний юбилей вуз встречает достойно. Сегодня подготовка специалистов осуществляется по 15 специальностям и направлениям. В вузе в соответствии с требованиями времени появились новые специальности, такие как: «Экспертиза и управление недвижимостью», «Стандартизация и сертификация (в строительстве)», «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», «Проектирование зданий» (направление «Строительство»), по которой готовятся инженеры-архитекторы и целый ряд других.

Численность студентов НГАСУ составляет более 8600 человек с учетом филиалов, расположенных в гг. Мирном, Айхале, Алдане, Ленске, Удачном (Республика Саха — Якутия) и Искитиме (Новосибирская область).

В настоящий момент времени план приема студентов по бюджетной форме обучения составляет 1060 человек. Кроме этого, ежегодно на коммерческой основе в вуз и его филиалы зачисляется примерно еще 600 человек.

Занятия в вузе проводят 680 преподавателей, из которых около 60% имеют ученые степени и звания, а 77% — это штатные сотрудники вуза.

Решением высшей аттестационной комиссии (ВАК) РФ в вузе открыто пять диссертационных советов по приему к защите как кандидатских, так и докторских диссертаций по 11 научным специальностям.

Руководство вуза продолжает прикладывать большие усилия по оснащению лабораторий и вычислительного центра современным оборудованием. Так, за последние четыре года его приобретено на сумму около 40 миллионов рублей. При этом данные средства не распыляются по всем кафедрам, а ежегодно удовлетворяются практически стопроцентные потребности по оснащению лабораторий двух-трех кафедр. В итоге за последнее время существенно преобразились лаборатории кафедр химии, физики, водоснабжения, гидротехнических сооружений и гидравлики и целого ряда других.

Численность компьютеров в вузе превышает 700 единиц и по их количеству на одного студента НГАСУ занимает 19 вместо в РФ среди профильных университетов, превышая более чем в два раза средний для РФ этот показатель.

Практически вернула былую славу художественная самодеятельность вуза. Ее участники занимают призовые места не только на конкурсах, проводимых в рамках нашего города, но и на Всероссийских, а также за рубежом (Болгария, Чехия).

Системная работа ректората по приведению в порядок студенческих общежитий принесла свои плоды. Вот уже второй год подряд (2003 и 2004 гг.) отдельные общежития вуза занимают первые места на смотре-конкурсе вузовских общежитий города, проводимом областной администрацией.

Успехи вуза отмечены и на международном уровне. В январе 2004 года в Монако университету был вручен «Американский золотой сертификат международного престижа». В ноябре этого же года в Париже вуз был удостоен золотой медали за успехи в области своей профессиональной деятельности.

Гордясь успехами и достижениями, коллектив не намерен снижать темпы развития и по-прежнему смотрит вперед, намечая новые цели, разрабатывая дальнейшие планы. Весь 75-летний опыт развития вуза подтверждает истину: залогом успеха в любом деле может быть только движение вперед.

© Яненко А. П., 2005

Получено 12.01.05

А. П. ЯНЕНКО, Ю. Л. СКОЛУБОВИЧ, доктора техн. наук, профессора (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НОВОСИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

В 1930 г. на базе строительного факультета Томского технологического института был открыт Сибирский строительный институт (Сибстрин). Первым преподавателям нашего вуза довелось не только выстраивать основы преподавания в молодом вузе, но и стоять у истоков научных школ, закладывать фундамент традиций, которые нынешнему поколению сотрудников университета удалось сохранить в нелегкий период перестройки.

Несмотря на трудности, связанные с периодом становления, многие из педагогов института занимались научно-исследовательской деятельностью. В приказе директора института И. Н. Артемьева от 23 мая 1932 г. говорилось: «Для дальнейшего улучшения научно-исследовательской работы в институте и приближения таковой к производству создать при институте научно-исследовательский сектор (НИС)». При нем был образован технический совет, в который вошли руководители вуза, деканы факультетов и заведующие кафедрами. 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. В июне 1938 г. состоялась первая научная конференция института, на которой было сделано 11 докладов (в том числе один студенческий). С первых дней существования Сибстрина в нем постоянно проявлялась забота о 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.

Великая Отечественная война внесла жесткие коррективы в планы развития как всего вуза, так и его научной деятельности: ученым пришлось переориентироваться в своих исследованиях на военно-значимую тематику. При этом в течение 1941 г. в вузе произошли серьезные изменения. Во-первых, значительная часть сотрудников и студентов вуза ушли на фронт, причем большинство из них — добровольно. Во-вторых, вуз претерпел серьезные кадровые перемены в связи с тем, что 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. были созданы объединенные кафедры всех строительных институтов, разместившихся в Новосибирске.

Подчиняя свой творческий и интеллектуальный потенциал требованиям военного времени, научные сотрудники института оказывали действенную помощь стране в деле перевода экономики на военные рельсы. В тот период времени в вузе на объединенных кафедрах работало много крупнейших ученых в области строительной науки и архитектуры: Герой Социалистического Труда, чл.-кор. АН СССР, проф. Н. С. Стрелецкий; заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д.т.н., проф. А. А. Гвоздев; доктора техн. наук, профессора Г. Г. Карлсен и П. Л. Пастернак; проф. Е. И. Беленя. Эти ученые оказали большое влияние на развитие научной деятельности института как в период их работы в НИСИ, так и на дальнейшую перспективу.

В военное время в институте интенсивно разрабатывались важные научно-исследовательские темы военно-оборонного характера: «Расчет ледяных переправ» (проф. Б. Г. Коренев), «Расчет сооружений на действие взрывной волны» (проф. В. З. Власов), «Кирпичные сооружения, усиленные безопалубочным бетоном» (проф. П. Л. Пастернак) и многие другие.

Проводились исследования и вне института, по ведомственным заказам и темам: «Повышение допустимых напряжений в металлоконструкциях» (проф. Н. С. Стрелецкий), «Реконструкция большепролетного цеха в железобетоне» (проф. П. Л. Пастернак), «Восстановление разрушенных городов и сел» (проф. В. Л. Гофман). Ученые вуза разрабатывали методы применения

упрощенных строительных конструкций и местных строительных материален при возведении различных объектов. Н. С. Кузьмин подготовил предложения по переходу к экономичным типам многоквартирных жилых домов, проф. А. Д. Крячковым были предложены облегченные и упрощенные конструкции зданий. Это позволило в значительной степени снизить остроту проблемы временного размещения эвакуированного населения. За помощь в обеспечении бесперебойного водоснабжения оборонных предприятий в годы войны в 1944 г. проф. Н. С. Макеров был удостоен высокой правительственной награды — ордена Красной Звезды.

В годы войны не прекращалась работа и в области подготовки научных кадров. Проф. Н. С. Стрелецкий добился разрешения в Москве 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. Строительство новосибирского Академгородка и других крупных городских объектов и инженерных сооружений (библиотека СО РАН, Дворец культуры им. Чкалова, комплекс очистных сооружений и т. п.) выполнялось под руководством и при непосредственном участии выпускников-сибстриновцев, ставших впоследствии видными и известными строителями.

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». Издание быстро приобрело высокий научный авторитет, широкий круг авторов и подписчиков не только в нашей стране, но и за рубежом. Тираж журнала в отдельные годы превышал 5 тыс. экземпляров. Более десятой части тиража распространялось в 32 странах мира. Выпуск этого журнала вузом продолжается и до сих пор. В 50-х годах 6 сотрудников вуза защитили докторские диссертации, 39 — кандидатские. В 1957 г. институт был переведен в первую категорию вузов, и ему было предоставлено право принимать к защите кандидатские диссертации практически по всем основным научным специальностям в области строительства.

В 60-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 1965 г. вузу было предоставлено право принимать к защите докторские диссертации по специальностям: строительные материалы и изделия, строительные конструкции, геодезия, строительная механика и гидротехнические сооружения. В 1967 г. в вузе начал работать патентный отдел. В год подавалось до 40 заявок на изобретения. К 1980 г. число полученных авторских свидетельств сотрудниками вуза превысило 200, было получено также 9 зарубежных патентов.

В 70-е годы продолжился качественный и количественный рост научно-педагогического состава вуза. 141 сотрудник вуза защитил кандидатские диссертации, 7 — докторские. В этот период произошли качественные улучшения в обеспечении кафедр и исследовательских подразделений современным научным оборудованием, измерительной аппаратурой, стендами. Был создан институтский вычислительный центр, оснащенный неплохими для того времени вычислительными машинами. Применение вычислительной техники в исследовательской деятельности открыло дополнительные возможности и способствовало повышению уровня выполняемых научно-исследовательских работ. Этому также содействовало то, что в институте 1977 г. начала работать служба метрологии и стандартизации.

Период 80-х и начало 90-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 Минвузом 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 тыс. единиц информации по заявкам кафедр.

К началу 90-х годов в институте имелись научно-исследовательские лаборатории (НИЛ) в составе 10 из 12 выпускающих кафедр, а также отраслевая территориальная научно-исследовательская лаборатория организации и технологии строительства и проблемная НИЛ строительных материалов, выполнявшие основные объемы научно-исследовательских работ со смешанным финансированием (бюджетным и хоздоговорным). Были созданы НИЛ на ряде общетехнических кафедр — НИЛ фотоупругости на кафедре строительной механики, НИЛ ручных машин ударного действия на кафедре строительных машин и целый ряд других.

В 1990–1992 гг. при учредительстве института был образован целый ряд научно-технических, проектно-технологических, производственных и экспертно-консультационных структур со статусом самостоятельного юридического лица, в том числе: научно-исследовательский институт дисперсных строительных материалов «Рапид»; проектно-рекламная фирма «Эколар», основным направлением которой являлась экологическая архитектура; научно-исследовательский, проектно-технологический и производственный центр «Ресурс», ориентированный на комплексную деятельность по строительной тематике, в основном по строительным конструкциям и материалам; научно-технический центр «Флюид», основным направлением которого, кроме консультационных услуг, была подготовка и переподготовка кадров по направлениям фундаментальных наук.

В конце 80-х годов начался заметный рост выполненных научно-исследовательских работ в вузе. 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 объемов финансирования, но и базовым вузом крупнейшего направления этой программы — «Совершенствование строительных конструкций и методов их расчета». Научным руководителем этого направления до конца своей жизни являлся выдающийся ученый в области строительных конструкций, академик Российской Академии архитектуры и строительных наук (РААСН), проф. В. В. Бирюлев.

Необходимость адаптации к быстро изменяющейся в нашей стране социально-экономической ситуации побудило руководство вуза к оценке перспектив осуществления и прогнозирования рациональных форм научно-исследовательской деятельности (НИД) вуза. В результате на базе программно-целевого подхода была разработана и утверждена на ученом совете в июле 1991 г. «Концепция совершенствования научно-исследовательской деятельности НИСИ и основные направления ее реализации». В ней удалось не только учесть основные положения появившегося в тот период проекта программы развития науки в России, но и предсказать те изменения организационно-финансовых форм в сфере науки, которые произошли в последующие годы. Это позволило минимизировать трудности в период перехода вуза на новые условия существования науки в нашей стране.

Несмотря на статус специализированного инженерно-технического вуза, в тот период в институте получило поддержку осознание необходимости более интенсивного развития фундаментальных исследований. В 1991 г. по инициативе НИСИ, с одобрения Центра организации научных исследований Госкомитета РСФСР по науке и высшей школы, был создан Новосибирский межвузовский координационный совет по фундаментальным наукам. Он объединил

семь технических вузов Новосибирска, а также госуниверситет и пединститут в выполнении НИР по конкретным направлениям математики и механики. Возглавил этот совет заведующий кафедрой теоретической механики НИСИ, д.ф.-м.н., проф. В. Я. Рудяк.

В это же время получила значительное развитие плодотворная работа института с научно-техническими обществами (НТО стройиндустрии и Химическим обществом имени Д. И. Менделеева). Ведущие ученые НИСИ являлись руководителями секций металлических и железобетонных конструкций, оснований и фундаментов, технологии строительства, экономики в областном НТО стройиндустрии, организовывали работу профессиональных клубов. При этом в систему вошло регулярное проведение семинаров и конференций по заранее согласованным планам.

С самого начала своего существования в НИСИ были заложены добрые традиции внимательного, чуткого отношения к тем сотрудникам, которые активно занимались научной деятельностью и защищали кандидатские или докторские диссертации. В сложный период начала 90-х годов в вузе были приняты меры, утвержденные ученым советом, по поддержке и дополнительному стимулированию высококвалифицированных научных кадров, такие как: дополнительные доплаты к заработной плате из внебюджетных средств ученым высшей квалификации (докторам наук, профессорам, членам различных академий); внеочередное выделение квартир повышенной комфортности (за период с 1991 по 2004 г. включительно более 150 сотрудников вуза бесплатно улучшили жилищные условия, получив для своих семей благоустроенное жилье); внутривузовские нормативы по руководству аспирантами (увеличенные вдвое, т. е. до 100 часов на одного аспиранта); материальное поощрение из внебюджетных средств тех научных руководителей, аспиранты которых своевременно защищали кандидатские диссертации; доплаты успешно работающим аспирантам из созданного вузовского фонда социальной защиты студентов и аспирантов. Все эти меры позволили не только удержать в вузе ведущих научно-педагогических работников, но и привлечь к работе крупных ученых из академических институтов Сибирского Отделения РАН, что дало дополнительный импульс развитию научной деятельности вуза в последующие годы, стимулировало повышение уровня исследований и расширение их тематического диапазона.

В 1993 г. в вузе при общей численности профессорско-преподавательского состава более 600 человек 76 были доктора наук, профессора. Подводя итоги работы вуза в этот период, аттестационная комиссия Министерства образования приняла решение о переводе НИСИ в разряд академий. Принятие этого решения было обусловлено тем, что к этому моменту времени НИСИ получил признание в России как успешно работающий базовый центр по обеспечению научно-педагогическими работниками вузов, научно-исследовательских и научно-технических подразделений Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и Киргизии, в нем сформировались научные школы, получившие признание в нашей стране и за рубежом.

Среди них необходимо отметить сибстриновскую школу строительных материалов, начало которой было положено заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, чл.-кор. Академии строительства и архитектуры СССР, проф. М. Н. Михайловым. Особых успехов эта школа добилась под руководством заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д.т.н., проф. 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; широкое применение и высокую оценку в стране 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 этой лаборатории занимались созданием отделочных материалов для наружных стен, экономичных и приспособленных для районов Сибири. На ряде заводов стройиндустрии стал

обычным разработанный под руководством Г. И. Книгиной метод глубокого вакуумирования, значительно сокращающий технологический цикл производства стеновых панелей и других строительных изделий.

В стране получили признание и широкую известность исследования по производству эффективных полимерных строительных материалов, выполненные под руководством д.т.н., проф. 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.

Начиная с 60-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, по 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 нашли широкое применение при освоении и разработке нефтяных и газовых месторождений Сибири, Красноярской ГЭС, на Братском лесопромышленном комплексе, Южно-Якутском угольном бассейне и на многих других крупнейших промышленных объектах страны.

Серьезный вклад внесли ученые НИСИ в области исследования железобетонных конструкций. Проф. Н. И. Молотилов, а также чл.-кор. Академии строительства и архитектуры СССР, доц. Н. Э. Стребейко были признанными специалистами-железобетонщиками в нашей стране. Сотрудники кафедры железобетонных конструкций сосредоточились на решении ряда задач, выдвигаемых производством по оценке прочности и напряженного состояния железобетона методом усиления конструкций, созданию новых конструктивных форм. В настоящее время разработку крупных научных проблем в области теории железобетона возглавляет заведующий кафедрой, д.т.н., проф. В. М. Митасов.

Научные исследования в области оснований и фундаментов активно проводились под руководством чл.-кор. Академии строительства и архитектуры СССР, д.т.н., проф. 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 — проф. В. С. Миронов), выполненная в рамках научно-технической программы «Вузовская наука регионам» 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 городе Новосибирске дает экономию нескольких миллионов рублей на каждой строительной площадке при возведении жилых и общественных зданий.

В 1992 г. в вузе была создана научно-исследовательская лаборатория динамики оснований и фундаментов. Ее образование явилось юридическим оформлением известной в стране Сибирской школы динамики оснований и фундаментов, основателем и руководителем которой являлся д.т.н., проф. М. И. Забылин. С момента создания и до настоящего времени основным направлением этой лаборатории являются теоретические и прикладные научные исследования для обеспечения нормальной и безопасной эксплуатации оснований, фундаментов и подземных сооружений.

За годы истории НИСИ 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 го-

родских и сельских районов Сибири, очистки сточных и промышленных вод. Результаты научных исследований по разработке эффективных методов водоочистки, выполненных д.т.н., проф. А. М. Фоминых, к.т.н., доц. М. П. Васильченко 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 д.т.н., проф. 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, эффективность 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 нашей 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 д.т.н., проф. 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 по методам и оборудованию для зимней гидромеханизации, по теории грунтозаборных устройств (исполнители — д.т.н., профессора Ю. А. Попов и Д. В. Рощупкин). Ценные для практики гидротехнического исследования по эффективным методам бетонирования сооружений ГЭС выполнены д.т.н., проф. В. И. Зубковым в содружестве с канадскими учеными. Важные и перспективные исследования по судопропускным гидротехническим сооружениям, выполнявшиеся по заданию Ленинградского отделения института "Гидропроект", получены в работах д.т.н., профессоров В. В. Дегтярева и А. П. Яненко.

Значительные работы выполнены учеными Сибстрина в области организации и технологии строительного производства. Из значительного числа научных разработок по этому направлению необходимо отметить работы д.т.н., профессоров А. С. Арбеньева и В. И. Зубкова, которыми были выполнены глубокие исследования по разработке теории и практики зимнего бетонирования, в том числе и массивных сооружений. Ими была решена сложная и серьезная проблема производства бетонных работ в зимний период времени методом электроразогрева бетонной смеси с обеспечением высокой эффективности технологии производства работ, с гарантированным качеством и большим экономическим эффектом. Результаты этих исследований вошли в международный нормативный документ «Рекомендации по бетонированию в холодную погоду».

В 80-е годы в вузе сформировалось и стало интенсивно развиваться под руководством д.т.н., профессоров И. А. Чаплинского и Г. И. Гребенюка направление по теории оптимального проектирования строительных конструкций. На рубеже 80-х–90-х годов установились устойчивые научные связи кафедры строительной механики вуза с ведущими учеными академических институтов СО РАН д.ф.-м.н. Ю. В. Немировским, А. Ф. Никитенко и другими в решении сложных и актуальных задач приложения методов теории пластичности и ползучести к расчету строительных конструкций. Значительные исследования на этой кафедре проводятся с применением метода фотоупругости для оценки напряженно-деформативного состояния строительных конструкций под руководством д.т.н., проф. Г. И. Албаут.

Не следует думать, что в строительном вузе ученые занимаются вопросами научных исследований, относящихся только к строительному производству. К середине 90-х годов в вузе сформировалось несколько научных школ в области фундаментальных исследований. К ним прежде всего следует отнести школу под руководством заведующего кафедрой теоретической механики, д.ф.-м.н., проф. 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 Соросовского профессора, д.ф.-м.н., проф. 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, разработан 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 не только метеорологическую информацию, но и изображения со спутников, искаженные шумами «сложной» статистической природы.

Существенные научные исследования проводятся 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 нашего вуза в области экономики два учебника получили всероссийское признание. Учебное пособие В. З. Баликоева «Общая экономическая теория» было рекомендовано Министерством образования РФ в качестве учебника для студентов экономических специальностей. За период с 1996 по 2003 г. он выдержал шесть изданий, а его автор был удостоен премии Президента Российской Федерации. Учебное пособие д.э.н., проф. Р. А. Гусейнова «История экономики России» также выдержало несколько изданий.

Сфера научных интересов д.ист.н., проф. Ю. И. Казанцева посвящена вопросам истории развития Сибири, возникновения и становления мощных промышленных предприятий этого региона, а также истории России в целом. Благодаря целенаправленной работе сотрудников кафедры истории Отечества вуза, на основе современных представлений об истории России ими был разработан и выпущен учебник «История России» (Москва, 2000 г.), рекомендованный Министерством образования в качестве учебника для всех неисторических вузов страны.

В вузе на подъеме находится школа философов, возглавляют которую профессора О. С. Соина и В. Ш. Сабиров; д-р филос. наук О. С. Соина в 1995–2003 гг. опубликовала цикл научных статей по проблемам философии морали и русской философии в журналах «Человек» (орган Президиума РАН) и «Воскресение — Новая Россия». В 1995 г. в Новосибирском отделении издательства «Наука» вышла ее монография «Феномен русского морализаторства». Проф. В. Ш. Сабиров в издательстве Санкт-Петербургского университета в 1995 г. издал монографию «Русская идея спасения. (Жизнь и смерть в русской философии)», вошедшую в состав государственных научно-исследовательских программ «Народы России: возрождение и развитие» и «Русская философская мысль как основа возрождения российской нравственности».

За последние 10 лет наш университет стал ассоциированным и коллективным членом Российской академии архитектуры и строительных наук, Академии наук высшей школы, Жилищно-коммунальной академии, региональной базовой организацией Академии экологии и природопользования, Академии экономики и инвестиций в строительстве и др.

Из всего сказанного выше становится ясным, что период 90-х годов для нашего вуза в отличие от некоторых других высших заведений страны был наполнен серьезной плодотворной работой ученых по различным направлениям науки. Итогом этой работы стало принятие решения аттестационной и аккредитационной комиссии Министерства образования РФ, работавшей в вузе в 1998 г., о переводе его в разряд профильных университетов. Практически по всем показателям так называемой «лепестковой» диаграммы статистики дан-

ных государственной аккредитации, разработанной по предложению Министерства образования РФ, Новосибирская государственная академия строительства существенно перекрывала «пороговые» значения, установленные министерством. При этом отрадным являлся тот факт, что в структуре научных исследований в вузе по типу и формам финансирования на фундаментальные исследования приходилось 20,8% от общего объема, прикладные занимали 32%, а разработки — 47,2% от общего объема исследований. При этом по объему финансирования научно-исследовательских работ из внешних источников Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет занимал 22 место из 138 профильных университетов страны.

После изменения статуса вуза и перехода в разряд профильных университетов темпы работ в области научных исследований не ослабли. Ученые вуза продолжают активно работать как над фундаментальными, так и над прикладными исследованиями. При этом отрадным является тот факт, что ежегодно возрастают заказы от различных хозяйственных предприятий и административных структур сибирского региона на проведение различного рода научных исследований по хоздоговорной тематике.

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 и им поручено возглавлять не только подготовку научных и инженерных кадров, но и методическое обеспечение как учебного, так и научного направлений. Это решение было продиктовано тем, что в этих учебных заведениях на высоком уровне идет подготовка инженерных и научных кадров.

В настоящее время Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) — один из ведущих и динамично развивающихся учебно-научных центров в строительной отрасли. Научная деятельность в университете структурирована по 11 основным научным направлениям, которые возглавили ведущие ученые НГАСУ.

В университете работают более 80 докторов наук, профессоров. В аспирантуре при университете обучается более 200 аспирантов и соискателей степени кандидата наук по 29 специальностям, а также 15 докторантов и соискателей степени доктора наук. При этом большинство молодых людей, обучающихся в аспирантуре, как правило, усиленно начали заниматься наукой, еще находясь на студенческой скамье, так как в университете на достаточно высоком уровне поставлена студенческая наука. До укрупнения диссертационных советов в вузе работало восемь специализированных советов по приему к защите кандидатских и докторских диссертаций, в том числе совет по экономическим дисциплинам и совет по социальной философии. После их укрупнения работают пять специализированных советов, принимающих к защите кандидатские и докторские диссертации по 11 научным специальностям. В 2004 г. качественные показатели работы аспирантуры значительно превысили общероссийские — в срок аспирантской подготовки защитились 46,7% выпускников аспирантуры.

Университет имеет в своем распоряжении самое современное оборудование (плазмотрон, высокоточная виброизмерительная и тензометрическая аппаратура, установка для испытания крупномасштабных моделей подкрановых балок, гидравлические лотки, русловая площадка, климатические камеры), а также необходимую базу для выполнения научных, экспериментальных, опытно-конструкторских и проектных работ. Это служит гарантией успешного решения задач любой сложности. Более 25 кафедр и 14 научно-исследовательских лабораторий и центров университета активно участвуют в разработке и внедрении новых технологий и аппаратов в основном для предприятий строительной индустрии и организаций жилищно-коммунального и природоохранного комплекса.

На базе НГАСУ (Сибстрин) под руководством д.т.н., проф. В. В. Дегтярева создан региональный экспертный центр Министерства природных ресурсов Российской Федерации, который осуществляет обследование и проводит экс-

пертизу деклараций безопасности гидротехнических сооружений различного функционального назначения.

Многие научные разработки университета представлялись на международных выставках и ярмарках, получили высокую оценку и награждены медалями и дипломами. Только в 2004 г. было отмечено наградами восемь разработок ученых нашего университета, в том числе «Энергосберегающая технология бетонирования» (д.т.н., проф. Ю. А. Попов), «Технология очистки воды из подземных источников» (д.т.н., проф. Ю. Л. Сколубович), «Технология нанесения декоративных полимерных покрытий» (д.т.н., проф. Н. А. Машкин), «Метод удаления твердых отложений свинокомплексов» (проф. Г. Т. Амбросова), «Технология подготовки питьевой воды» (проф. А. Н. Крыжановский) и др. С целью развития инновационной деятельности в университете в декабре 2003 г. при поддержке Департамента науки и образования администрации Новосибирской области создан инновационно-технологический центр «Сибстрин-инновация».

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

На своем заседании в марте 2005 г. ученый совет университета утвердил приоритетные направления научной деятельности в вузе на предстоящий период, которые разбиты на целый ряд направлений, предусматривающих развитие научных исследований как в области фундаментальных наук, так и в области прикладных исследований и разработок. Руководство вуза и весь его коллектив четко настроены на то, чтобы научные исследования в вузе всегда находились на высоком уровне, так как именно в этом залог успеха и процветания строительной отрасли, которые, безусловно, будут способствовать процветанию всей нашей страны в целом.

© Яненко А. П., Сколубович Ю. Л., 2005

Получено 12.01.05

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.04

Г. И. ГРЕБЕНЮК, В. М. МИТАСОВ, доктора техн. наук, профессора (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ, МЕТОДОВ РАСЧЕТА, ОПТИМИЗАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Приводятся основные результаты проведенных НИР и обсуждаются перспективы дальнейших исследований в направлении разработки новых конструктивных форм, методов расчета оптимизации и реконструкции отдельных видов строительных конструкций, различных зданий и сооружений.

Научное направление 5 объединяет усилия специалистов четырех кафедр университета: строительной механики (СМ); железобетонных конструкций (ЖБК); металлических и деревянных конструкций (МДК); инженерной геологии, оснований и фундаментов (ИГОФ).

Исследования, проводимые в рамках данного направления, можно разделить на четыре крупные научные тематики.

1. Реология и механика разрушения материалов и конструкций. Методы расчета и оптимизации конструкций и сооружений.

2. Разработка новых и совершенствование существующих строительных конструкций.

3. Оценка остаточных ресурсов и реконструкция строительных конструкций и сооружений.

4. Разработка эффективных конструкций оснований и фундаментов зданий и сооружений и методов их расчета.

В рамках каждой из тематик выполнялось достаточно большое число НИР. Часть проектов носили комплексный характер, и в их выполнении участвовали специалисты различных кафедр НГАСУ, а также научных структур СО РАН.

Среди работ, выполненных по тематике 1, следует отметить продолжающийся цикл исследований по развитию моделей пластичности металлов (проф. И. А. Чаплинский). Начиная с середины 70-х годов на кафедре СМ под руководством д.т.н., проф. Б.П. Русова и д.ф.-м.н., лауреата Государственной премии РСФСР в области науки и техники проф. А. Ф. Никитенко (ИГиЛ СО РАН) проводились углубленные исследования в области механики реономных сред. К основным достижениям, полученным в этом направлении в последнее время, следует отнести формулирование определяющих уравнений деформирования нестабильных сред, открытие эффекта перераспределения составляющей полной деформации и формулирование нового критерия длительной прочности кристаллических материалов. На основе полученных теоретических результатов разработаны новые методики расчета конструкций при ползучести, даны практические рекомендации по проектированию высокоточных приборов и получено два авторских свидетельства на изобретения.

Новые результаты исследований по применению методов нелинейной фотоупругости в задачах механики разрушения, полученные на кафедре строительной механики под руководством д.т.н. Г. Н. Албаут, позволили построить универсальную модель напряженного состояния вблизи концентраторов на стадии предразрушения. Как доказано, стадия предразрушения характеризуется знакопеременной эпюрой нормальных напряжений в поперечном направлении и удалением зоны максимальной концентрации напряжений от вершины трещины. По этой теме ведется подготовка одного аспиранта и двух соискателей. В настоящее время при творческом сотрудничестве кафедр СМ и ЖБК проводятся совместные исследования по применению методов нелинейной фотоупругости к задаче разрушения каменной кладки.

Исследования, проводимые с середины 60-х годов на кафедре МДК под руководством д.т.н., проф. А. В. Сильвестрова и связанные с изучением хладостойкости стальных конструкций, также в своей теоретической части могут быть отнесены к первой тематике. С другой стороны, в процессе этих исследований проводился анализ влияния конструктивной формы на хладостойкость элементов стальных конструкций, разрабатывались предложения по совершенствованию конструктивных форм, что позволяет отнести этот цикл работ ко второй из перечисленных выше научных тематик. В процессе работы была собрана уникальная картотека хрупкого разрушения стальных конструкций, включающая более 300 случаев таких разрушений, были выявлены наиболее характерные конструктивные формы пониженной хладостойкости, проведены испытания сотен моделей и натурных узлов конструкций. На основании результатов этих исследований разработаны предложения по расчету конструкций на прочность при хрупком разрушении, а также практические рекомендации по проектированию. В настоящее время эту работу продолжают д.т.н., проф. С. Д. Шафрай, к.т.н., доценты А. В. Сергеев и А. К. Шафрай.

Важной как в теоретическом, так и в практическом плане представляется работа по совершенствованию конструктивных форм, методов расчета и оптимизации комплексных конструкций на основе древесины, выполняемая при сотрудничестве кафедр МДК и СМ (науч. рук.— д.т.н., проф. П. А. Дмитриев и д.т.н., проф. Г. И. Гребенюк). Работы в 2000–2004 гг. проводились по двум проектам: НТП «Архитектура и строительство» и при поддержке ФЦП «Интеграция».

Основное внимание здесь было уделено разработке нового поколения конструкций для унифицированных зданий средних пролетов, развитию методов их расчета и оптимизации. В частности, рассматривались различные варианты блок-ферм и рамных конструкций.

Разработан и опробован поэтапный алгоритм оптимизации рассматриваемого класса конструкций с выделением отдельного этапа оптимизации узловых соединений, в частности узловых соединений на круглых цилиндрических нагелях (рис. 1).

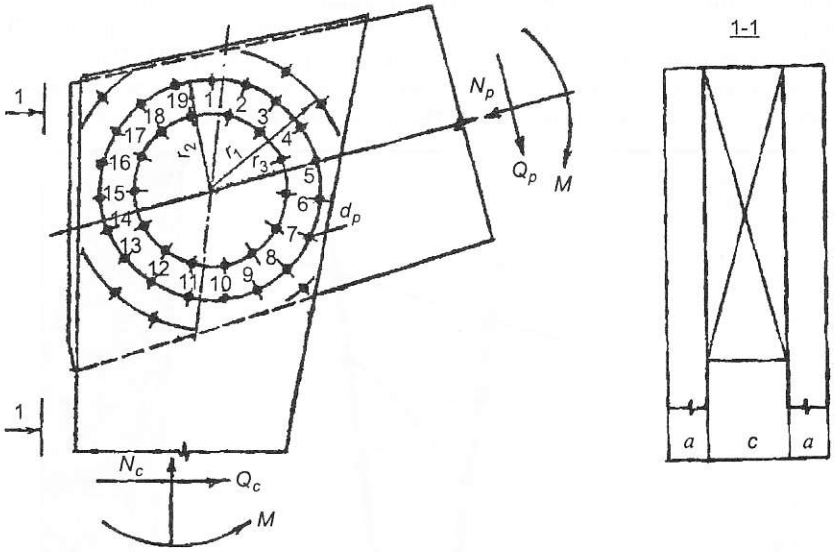


Рис. 1. Узловое соединение с расположением нагелей по окружностям

Предложены новые конструктивные решения крупноразмерных плит на основе древесины (докторант НГАСУ, к.т.н., доц. Оренбургского ГУ В. И. Жаданов). Разработана инженерная методика расчета крупноразмерных клеефанерных плит на случай использования несущих ребер с линейно меняющейся высотой. Написаны и отлажены программные модули расчета и оптимизации крупноразмерных клеефанерных плит, а также их узлов и соединений. Получены оптимальные характеристики плит пролетом от 6 до 24 м при различной ширине плит и различном числе основных и вспомогательных ребер.

Разработаны новые конструкции узлов, работающих с передачей усилий на торцы клееных элементов, обладающие повышенной несущей способностью и надежностью в сравнении с традиционными (науч. рук.— д.т.н., проф. П. А. Дмитриев). Достоверность расчетов узлов МКЭ и правильность предложенных приемов их конструирования подтверждается результатами экспериментальных исследований.

Начиная с конца 50-х годов прошлого века под руководством д.т.н., проф. В. В. Бирюлева выполнен большой цикл работ по созданию новых конструктивных форм балочных конструкций и разработаны методы их расчета. В рамках этой тематики в последние годы при активном участии к.т.н., проф. И. И. Крылова, к.т.н., доцентов В. М. Добрачева, Б. Н. Васюты, А. А. Кользеева проведены комплексные теоретические и экспериментальные исследования балок и ферм с регулированием напряжений изменением уровня опор, выносливости и усталостной прочности подкрановых балок, балок с перфорированной и волнистой стенкой, тонкостенных балок, ферм пониженной высоты, работы фланцевых соединений, устойчивости внецентренно-сжатых стержней замкнутого сечения. По результатам этих исследований изданы в ЦНИИСК Госстроя СССР «Руководство по неразрезным конструкциям с регулированием уровня опор», монография «Металлические неразрезные конструкции с регулированием уровня опор», написаны и изданы учебники и руководства по проектированию.

С середины пятидесятых годов и по настоящее время под руководством к.т.н., проф. И. И. Кошина продолжаются исследования влияния конструктивной формы стальных конструкций на их коррозионную стойкость. Исследования проводились в специальной лаборатории с климатической камерой, имитирующей различные варианты агрессивной среды и температурно-влаж-

ностного режима. Кроме лабораторных исследований проводилось большое количество обследований натурных конструкций предприятий цветной металлургии. Результаты исследований отражены в изданных по кафедре МДК учебниках и руководствах по проектированию.

В последние годы на кафедре МДК появилось направление исследований, связанное с созданием новых конструктивных форм высоковольтных ЛЭП и разработкой методов их расчета (науч. рук.— к.т.н., доц. А. И. Репин) (рис. 2). Опоры обладают рядом преимуществ по сравнению с существующими (меньший вес, лучшая транспортабельность, повышенная скорость сборки).

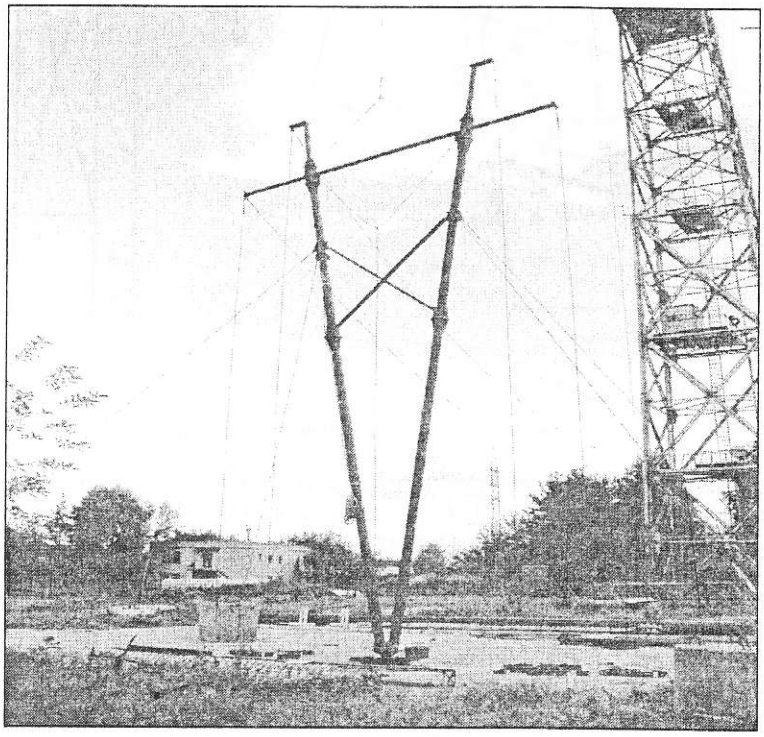


Рис. 2. Конструкция опоры ЛЭП

Хорошие перспективы внедрения в практику имеют исследования, проводимые по кафедре СМ и посвященные разработке методов расчета и оптимизации конструкций из композитных армированных и слоистых элементов (науч. рук.— д.ф.-м.н., проф. Ю. В. Немировский). Эти исследования поддержаны г/б финансированием по программам МО РФ и по грантам РФФИ. Проведенные исследования позволили, в частности, выделить классы равнопрочных конструкций из стержневых слоистых элементов. Показано, что оптимальные проекты зачастую позволяют снизить расход основных материалов в два-три раза по сравнению с однородными аналогами. Разработаны методики оптимального армирования композитных элементов строительных конструкций (балок, балок-стенок, пластин, плит, оболочек, объемных элементов). Пример рационального армирования панелей приведен на рис. 3.

Другими проектами, относящимися к разработке методов расчета и оптимизации строительных конструкций и финансируемыми по программам МО РФ, являются исследования, посвященные разработке алгоритмов расчета и оптимизации динамически нагруженных пластинчато-стержневых диссипативных систем (науч. рук.— проф. Г. И. Гребенюк и проф. В. И. Роев), а также работа, выполняемая при сотрудничестве кафедр СМ и ЖБК (науч. рук.— д.т.н., проф. Г. И. Гребенюк и д.т.н., проф. Н. Н. Пантелеев) и посвященная проблеме оптимизации пространственной жесткости многоярусных ж/б связевых каркасов. Среди результатов по первой работе можно отметить разработку удобного в практических приложениях варианта модифицированной модели Фойгта для учета внутреннего трения в материалах оптимизируемых эле-

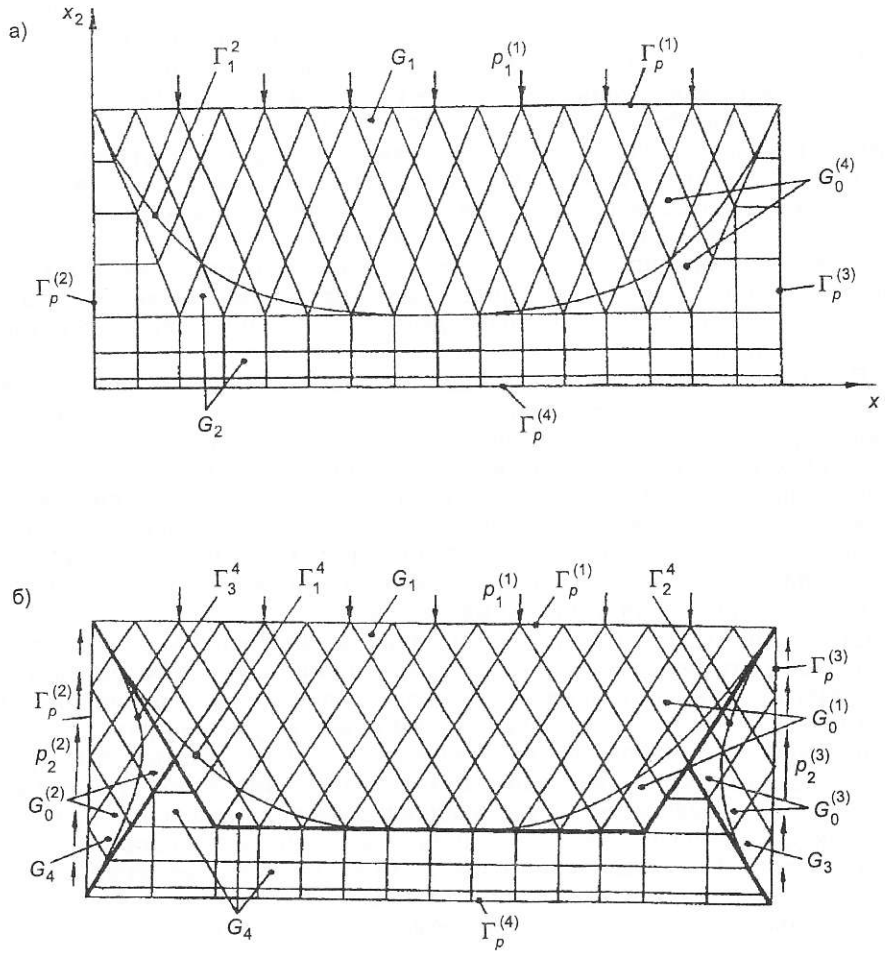


Рис. 3. Схемы рационального армирования панелей

ментов конструкций. При выполнении второй работы рассматривались здания, сложные в плане. Разработана методика, создан алгоритм и программа, позволяющие не только наилучшим образом армировать диафрагмы жесткости, но и рационально расставлять их в плане здания с образованием оптимальных «ядер жесткости».

Разработан алгоритм формирования целевых функций и ограничений прочности, устойчивости и жесткости ядер. Отлажена программа оптимизации ядер жесткости уголкового профиля. Решен пример оптимизации армирования и положения уголковых ядер жесткости 20-этажного здания.

Разработаны методики расчета и оптимизации ядер жесткости уголкового и таврового профилей при косом изгибе, а также ядер жесткости уголкового и П-образного профилей с учетом возникновения трещин (физически-нелинейный подход).

На кафедре ЖБК проводятся обширные исследования по оценке состояния аварийных зданий и сооружений, остаточной живучей способности железобетонных и каменных конструкций. Особое внимание уделено жилым зданиям массовых серий как в крупнопанельном, так и в кирпичном исполнении. Проведение массовых обследований позволило накопить статистику наиболее часто повторяемых дефектов, на основе которой и проводились оценки остаточной живучести конструкций зданий и сооружений. Энергетический вариант теории сопротивления железобетона, разрабатываемый на кафедре ЖБК под руководством д.т.н., проф. В. М. Митасова (в рамках которой динамическое направление осуществлялось под руководством д.т.н., проф. В. В. Адищева, а влияние температурных деформаций под руководством д.т.н., проф. Н. Н. Пантелеева),

позволяет на основе учета фактических напряжений решить задачу (теоретически) об оценке остаточной живучести поврежденных конструкций.

Реконструкция подразумевает разработку конструктивных и технологических аспектов для увеличения этажности зданий, строительства надстроек (мансард) и пристроек. Избежать дополнительных затрат на расселение жильцов реконструируемых зданий позволяет метод реконструкции без отселения жильцов. Это прогрессивное технологическое направление возможно осуществить благодаря проведенному исследованию совместного деформирования существующих реконструкций зданий и элементов их усиления. При этом в условиях проживания людей в период реконструкции необходимо ограничить неравномерное деформирование различных элементов существующего здания и исключение повреждения конструкций квартир, в которых проживают люди.

Применение метода реконструкции без отселения, особенно в условиях плотной застройки старых городских районов, требует максимальной проработки вопросов экспертизы, различных конструктивных и архитектурно-планировочных решений, технологии строительного производства. Утепление реконструируемых зданий и восстановление эксплуатационной пригодности ограждающих конструкций позволяет делать устаревшие здания энергосберегающими и использовать сэкономленное тепло для отопления дополнительных площадей. А это приводит к необходимости разработки индивидуальных, технологически уникальных решений.

Стесненность строительной площадки, невозможность использования стационарных грузоподъемных механизмов, повышенные требования к технике безопасности на стройплощадке делают применение традиционных методов и технологий неприемлемым. Таким образом, условия реконструкции без отселения требуют разработки новых методов производства СМР, применение средств малой механизации. Результатом совместного решения всех перечисленных задач может стать индивидуальный комплексный проект реконструкции устаревшего жилого здания с надстройкой дополнительных этажей (мансард). При увеличении сложности технических решений происходит экономия на материальных, энергетических и людских ресурсах, уменьшается объем капитальных единовременных вложений и длительность строительства.

Под руководством и при участии специалистов кафедр ЖБК, МДиК, ИГОФ (общую координацию осуществлял д.т.н., проф. В. М. Митасов) была осуществлена реконструкция 4-этажного жилого здания постройки 30-го года с надстройкой двух этажей и мансардного завершения по ул. Октябрьская, 40. Впервые в Новосибирске было осуществлено возведение пристроенных лифтов. Выбрана и разработана конструктивная схема, позволяющая, с одной стороны, не загружать наружное стеновое ограждение, а с другой стороны, взять в наружную обойму существующее поврежденное здание.

Также проведена реконструкция 4-этажного панельного жилого дома по ул. Тимирязева с надстройкой 12–13 этажей в другой конструктивной системе.

Большой объем исследовательских работ выполнен на кафедре ЖБК по совершенствованию конструктивно-технологических систем ж/б зданий и развитию методик определения их НДС (к.т.н., проф. Г. Е. Курмей, к.т.н., доценты С. М. Сергеев, В. В. Габрусенко). Работы аналогичной направленности при реконструкции зданий и сооружений выполнялись на кафедрах ЖБК (к.т.н., доценты В. В. Пангаев и В. А. Беккер) и на кафедре МДК (д.т.н., проф. П. А. Дмитриев и к.т.н., доц. В. В. Пуртов).

Из других работ, выполняемых по третьей тематике, следует также отметить завершение разработки «Рекомендаций по повышению остаточного ресурса сварных подкрановых балок с усталостными трещинами» (работа выполнялась совместно с Госстроем РФ; науч. рук.— к.т.н., проф. И. И. Крылов).

В отдельную тематику выделены работы, посвященные созданию эффективных конструкций оснований и фундаментов в связи со спецификой их проектирования и огромной важностью этих конструкций в плане надежности создаваемых строительных объектов.

Из основных результатов НИР в этом направлении отметим следующие.

Разработана новая методика расчета осадок фундаментов, учитывающая переменность характеристик грунтовых оснований при их нагружении (науч. рук.— проф. А. П. Криворотов).

Оптимизирована волновая модель системы «свайный фундамент — грунтовое основание». Разработан ППП для расчета колебаний и оптимизации конструкций свайных фундаментов (науч. рук.— к.т.н., доц. Л. В. Нуждин).

Разработан новый метод адаптации плитного фундамента к изменению свойств основания (науч. рук. — доц. А. В. Лубягин, д.т.н., проф. В. М. Сбоев и к.т.н., проф. В. К. Федоров).

При научном руководстве д.т.н., проф. В. М. Сбоева в течение значительного периода проводились работы по созданию высокоэффективных набивных и инъекционных свай и анкеров.

Совместно с КТИ ГИТ СО РАН продолжена работа по созданию улучшенного варианта агрегата и механизмов для уплотнения грунтов и устройства набивных свай (науч. рук.— к.т.н., проф. В.С. Миронов). Агрегат более раннего исполнения улучшен по ряду характеристик при создании нового агрегата. Основные преимущества создаваемых агрегатов — высокое качество уплотнения, высокая производительность и экономичность.

В заключение обзора НИР, выполненных в направлении 5, отметим следующее.

1. Тематика НИР как на отдельных кафедрах, так и в целом по направлению актуальна и отличается большим разнообразием — от общетеоретических проблем МДТТ, теории расчета и оптимального проектирования сооружений до сугубо практических внедренческих работ в области строительства. При этом достаточно велик объем НИР, финансируемых из г/б источников. В частности, по кафедре СМ ежегодно выполнялись 3–6 проектов, финансируемых по различным программам и грантам.

2. Значительная часть исследовательских работ, выполняемых по кафедрам конструкций, подкреплена хоздоговорным финансированием, что говорит об их большой практической значимости.

3. Выполнение целого ряда крупных НИР оказалось возможным вследствие интеграции усилий специалистов нескольких кафедр и участия сотрудников научных подразделений СО РАН.

4. К наиболее перспективным, на наш взгляд, следует отнести исследования, направленные на создание нового поколения строительных конструкций и сооружений с использованием как традиционных (например древесина), так и новых строительных материалов и поиском наиболее оптимальных конструктивных решений и технологий. Непреходящую актуальность имеют работы, направленные на разработку конструктивных предложений и технологий реставрации и реконструкции сооружений, прежде всего жилых зданий.

© Гребенюк Г. И., Митасов В. М., 2005

Получено 23.12.04

УДК 62-.012.45

В. В. АДИЩЕВ, В. М. МИТАСОВ, доктора техн. наук, профессора (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Предложен новый подход представления предельного состояния железобетонного сечения в момент перехода конструкций из сплошного состояния в состояние с трещиной. Принят ряд новых гипотез, позволивших описать изменение состояния расчетного сечения в процессе трещинообразования. Применяются энергетические соотношения и энергетический критерий прочности.

Рассмотрена задача возникновения и стабилизации поперечных трещин в железобетонных балках. Определены границы изменения параметров конструкции, для которых необходим учет динамического характера процесса образования и стабилизации трещин.

В соответствии с теорией сопротивления железобетона В. И. Мурашева с возрастанием внутренних напряжений при изгибе железобетонное сечение проходит пять стадий напряженно-деформированного состояния, качественно отличающихся друг от друга. Рассматриваются предельные состояния, для которых методы расчета напряжений, деформаций и прогибов основаны на взаимоисключающих гипотезах и предположениях. Каждая стадия описывается уравнениями равновесия и соответствующими кинематическими соотношениями, а изменение параметров сечения при переходе из одного состояния в другое учитывается с помощью эмпирических коэффициентов. В действительности при образовании трещины происходит не просто катастрофическое изменение напряженно-деформированного состояния в сечении с трещиной, но и собственно изменение самой конструкции, не позволяющее ввести физически обоснованные кинематические гипотезы. Динамический процесс образования и стабилизации трещины протекает с очень высокой скоростью. Исследование такого процесса на основе уравнений динамики сплошной среды малоперспективно в силу того, что конфигурация свободной границы (края трещины) изменяется со скоростью, сравнимой со скоростями упругих волн.

В исследуемом процессе выделяются три физически реальных состояния разрушаемого сечения:

1) состояние «предразрушения», в котором достигнуты критические значения напряжений и деформаций, но сплошность материала еще не нарушена;

2) предельное «динамическое» состояние, когда длина трещины, деформации и прогибы достигли своих максимальных значений, а кинетическая энергия движения частично перешла в потенциальную энергию деформирования, частично израсходована на продвижение трещин;

3) стабилизированное состояние.

Между 2-м и 3-м состояниями происходит процесс затухающих колебаний. Этот процесс весьма сложен с точки зрения его математического описания, но малоинтересен сам по себе, если удается с удовлетворительной точностью оценить напряжения, деформации и прогибы в предельном «динамическом» состоянии.

Рассмотрим сечение железобетонной балки, армированной одним рядом арматуры, в котором изгибающий момент равен M. Распределение деформаций по сечению до образования трещины удовлетворяет гипотезе плоских сечений:

$$\varepsilon(y) = \frac{y}{\rho} = -\frac{\varepsilon_b}{x} y,$$

откуда следуют соотношения

$$\frac{\varepsilon_b}{x} = \frac{\varepsilon_s}{x - h_0}, \qquad \frac{\varepsilon_{bt}}{h - x} = \frac{\varepsilon_s}{h_0 - x}, \tag{1}$$

где ε_b — деформация (сжатия) верхнего слоя бетона в сечении;
ε_{bt} — деформация (растяжения) нижнего слоя бетона в сечении;
ε_s — деформация арматуры;
h_0 — растяжение от верхнего слоя до арматуры;
x — расстояние от верхнего слоя до нейтрального слоя.

Уравнения равновесия имеют вид

$$\begin{aligned} &\int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y)\cdot b(y)\cdot dy + \sigma_s A_s = 0, \\ &\int_{-ч}^{p-ч} \sigma_u(y)\cdot y\cdot b(y)\cdot dy + \sigma_s\cdot A_s(h_0 - x) = M, \end{aligned} \tag{2}$$

где $\sigma_b(y)$ — функция распределения напряжений по сечению;
$b(y)$ — функция изменения ширины балки по сечению;
σ_s — напряжение в арматуре;
A_s — площадь сечения арматуры.

Введем также безразмерные величины, полагая $b(y) = b = \text{const}$:

$$\xi = \frac{x}{h_0};\ H = \frac{h}{h_0};\ \mu_s = \frac{A_s}{(bh_0)};\ \overline{\sigma}_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_{02}};\ \overline{\psi}_\xi = \frac{\psi(\varepsilon)}{\sigma_{02}};\ \overline{M} = \frac{M}{bh_0^2\sigma_{02}}, \tag{3}$$

где $\psi(\varepsilon)$ — функция, аппроксимирующая диаграмму деформирования бетона;
σ_{02} — условный предел текучести арматуры.

Делая замену переменных $y = -\dfrac{x\varepsilon}{\varepsilon_b}$, систему (2) можно привести к виду

$$\begin{aligned} &\frac{\xi-1}{\varepsilon_s}\int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \overline{\psi}(\varepsilon)\,d\varepsilon - \mu_s\overline{\sigma}_s = 0, \\ &\frac{\xi-1}{\varepsilon_s}\int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \overline{\psi}(\varepsilon)(\varepsilon-\varepsilon_s)\,d\varepsilon = \overline{M}. \end{aligned} \tag{4}$$

Из уравнения (1) следуют соотношения

$$\varepsilon_b = \frac{\xi}{\xi-1}\varepsilon_s;\qquad \varepsilon_{bt} = \frac{H-\xi}{1-\xi}\varepsilon_s. \tag{5}$$

К полученным уравнениям необходимо добавить уравнение

$$\overline{\sigma}_s = \overline{\Phi}(\varepsilon_s) = \frac{\Phi(\varepsilon_s)}{\sigma_{02}}, \tag{6}$$

где $\sigma_s = \Phi(\varepsilon_s)$ — функция, описывающая диаграмму деформирования арматуры.

В некоторых случаях используется обратная зависимость между напряжениями и деформациями арматуры:

$$\varepsilon_s = \varphi(\overline{\sigma}_s) = \overline{\Phi}^{-1}(\overline{\sigma}_s). \tag{7}$$

Пять уравнений (4), (5), (6) образуют систему алгебраических уравнений относительно неизвестных ε_s, $\overline{\sigma}_s$, ε_{bt}, ε_b, ξ, которые определяют напряженно-деформированное состояние в железобетонном сечении до возникновения трещины. При этом величина изгибающего момента $\overline{M}$ считается известной.

В сечении, находящемся в состоянии предразрушения, деформации растяжения достигают предельного значения ε^*_{bt}. При известном значении ε^*_{bt} и неизвестном значении момента $\overline{M}_*$ в разрушающемся сечении систему уравнений (4)–(6) удобнее преобразовать к виду

$$\varepsilon_s = \frac{1-\xi}{H-\xi}\varepsilon_{bt};\qquad \varepsilon_b = -\frac{\xi}{H-\xi}\varepsilon_{bt};\quad \overline{\sigma}_s = \overline{\Phi}(\varepsilon_s);$$

$$\frac{1}{\varepsilon_b-\varepsilon_s}\int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}}\overline{\psi}(\varepsilon)d\varepsilon-\mu_s\overline{\sigma}_s=0;\quad \frac{1}{(\varepsilon_b-\varepsilon_s)^2}\int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}}\overline{\psi}(\varepsilon)(\varepsilon-\varepsilon_s)d\varepsilon=\overline{M}. \tag{8}$$

Первые три уравнения системы (8) позволяют выразить ε_s, ε_b, $\overline{\sigma}_s$ через известную величину ε^*_{bt}. Подстановка ε_s, ε_b, $\overline{\sigma}_s$ в 4-е уравнение (8) приводит к уравнению относительно ξ. Обозначим ξ_* решение этого уравнения, тогда

$$\varepsilon^*_s=\frac{1-\xi_*}{H-\xi_*}\varepsilon^*_{bt};\quad \varepsilon^*_b=-\frac{\xi_*}{H-\xi_*}\varepsilon^*_{bt};\quad \overline{\sigma}^*_s=\overline{\Phi}(\varepsilon^*_s). \tag{9}$$

Таким образом, параметры ξ_*, ε^*_{bt}, ε^*_s, ε^*_b, $\overline{\sigma}_s$ определяют напряженно-деформируемое состояние в сечении в состоянии предразрушения. Значение $\overline{M}_*$ изгибающего момента в этом сечении, соответствующее появлению трещины, определяется из последнего уравнения системы (8):

$$\overline{M}_*=\frac{1}{(\varepsilon^*_b-\varepsilon^*_s)^2}\int_{\varepsilon^*_b}^{\varepsilon^*_{bt}}\overline{\psi}(\varepsilon)(\varepsilon-\varepsilon^*_s)d\varepsilon. \tag{10}$$

В дальнейшем параметры напряженно-деформированного состояния до образования трещины в сечении, в котором действует изгибающий момент M_*, будут выделяться индексом «*». Если известна зависимость $M(z)$ изгибающего момента от координаты z (ось Oz параллельна оси балки), координата разрушаемого сечения определяется из уравнения

$$\overline{M}_*=\frac{M(z)}{bh_0^2\sigma_{02}}.$$

До образования трещины плотность (на единицу длины) энергии деформирования растянутой части бетонного сечения равна

$$W_*=b\int_0^{h-x_*}\int_0^{\varepsilon(y)}\psi(\varepsilon)d\varepsilon dy,\qquad \varepsilon(y)=\frac{\varepsilon^*_{bt}}{h-x_*}y, \tag{11}$$

где x_* — расстояние от верхнего слоя до нейтральной оси;
$\varepsilon(y)$ — деформация слоя, расположенного на расстоянии y от нейтрального слоя.

Переходя к безразмерным величинам, получим:

$$W_*=\int_0^{H-\xi_*}\int_0^{\varepsilon(\overline{y})}\overline{\psi}(\varepsilon)d\varepsilon d\overline{y},$$

где

$$\overline{y}=\frac{y}{h_0};\quad \xi_*=\frac{x_*}{h_0};\quad \varepsilon(\overline{y})=\frac{\varepsilon^*_{bt}}{H-\xi_*}\overline{y};\quad \overline{W}_*=\frac{W_*}{bh_0\sigma_{02}}. \tag{12}$$

При образовании трещины часть растянутой зоны бетона разрушается. Обозначим высоту сохранившейся части сечения h_{cr}, тогда глубина трещины равна $h-h_{cr}$.

$$H_{cr}=\frac{h_{cr}}{h_0};\qquad \varepsilon_{cr}=\frac{H_{cr}-\xi_*}{H-\xi_*}\varepsilon^*_{bt}.$$

Как уже отмечалось выше, образование трещины происходит с высокой скоростью (сравнимой со скоростями упругих волн в бетоне). Балка, в которой образуется трещина, имеет уже меньшую жесткость по сравнению с первоначальной, поэтому условия равновесия нарушаются, и под действием неизменившейся поперечной нагрузки должны увеличиваться поперечные смещения.

Известно, что скорости поперечных смещений балки на порядки меньше скоростей упругих волн. Поэтому будем считать, что в начале процесса высвобождаемая энергия деформирования бетона воспринимается только арматурой. Такая гипотеза представляется адекватной физическому процессу, так как дополнительную энергию бетон может воспринимать лишь в зоне сжатия по мере развития поперечных движений, а в силу большой инертности этих движений передача энергии на арматуру происходит практически мгновенно.

Для определения напряжений в арматуре σ_s^{st} в сечении с трещиной используем тот факт, что приращение плотности энергии деформирования арматуры должно быть равным обратимой части плотности энергии деформирования бетона разрушаемой части бетона:

$$A_s \int_{\varepsilon_s^*}^{\varepsilon_s^{st}} \sigma_s d\varepsilon = \Delta W_*^y$$

или в безразмерных величинах (если диаграмма арматуры $\varepsilon_s = \varphi(\overline{\sigma}_s)$)

$$\mu_s \int_{\overline{\sigma}_s^*}^{\overline{\sigma}_s^{st}} \overline{\sigma}\varphi'(\overline{\sigma}) d\overline{\sigma} = \Delta \overline{W}_*^y; \qquad \overline{\sigma}_s^{st} = \frac{\sigma_s^{st}}{\sigma_{02}}. \tag{13}$$

Интеграл в левой части уравнения (13) соответствует росту напряжений в арматуре от σ_s^* до σ_s^{st}, но в действительности такой рост происходит практически мгновенно, т. е. наблюдается запаздывание деформаций при мгновенном изменении напряжения. В классических курсах сопротивления материалов (например С. П. Тимошенко) для определения коэффициента динамичности используется энергетическое равенство, которое можно записать следующим образом:

$$\int_{\overline{\sigma}_s^*}^{\overline{\sigma}_s^d} \overline{\sigma}\varphi'(\overline{\sigma}) d\overline{\sigma} = \overline{\sigma}_s^{st}(\varepsilon_s^d - \varepsilon_s^*); \qquad \varepsilon_s^d = \varphi(\overline{\sigma}_s^d). \tag{14}$$

Здесь введены обозначения ε_s^d, σ_s^d для максимальных деформаций и напряжений в арматуре, которые достигаются в процессе передачи энергии. Состояние сечения, в котором достигаются эти значения, будем называть «динамическим».

Введем обозначения для параметров разрушаемого сечения в «динамическом» состоянии:

ε_b^d — деформация сжатия верхнего слоя бетона;

x_d — высота нейтрального слоя;

h_{cr} — высота неразрушенной («живой») части сечения.

Имеются экспериментальные данные, позволяющие считать, что в зоне над разрушенным сечением деформации бетона распределены по линейному закону:

$$\frac{\varepsilon_b^d}{\varepsilon_{bt}^*} = -\frac{\xi_d}{H_{cr} - \xi_d}; \qquad \xi_d = \frac{x_d}{h_0}. \tag{15}$$

Внешняя нагрузка остается постоянной, поэтому в предельном «динамическом» состоянии момент внутренних напряжений не уравновешен моментом внешних сил. В горизонтальном направлении (по оси Oz) внешние силы отсутствуют. Очевидно, что в предельном состоянии, когда кинетическая энергия движения перешла в потенциальную энергию деформирования, внутренние силы должны быть самоуравновешенными, то есть справедливо следующее уравнение равновесия:

$$b\frac{x_d}{\varepsilon_b^d} \int_{\varepsilon_b^d}^{\varepsilon_{bt}^*} \psi(\varepsilon) d\varepsilon = A_s \sigma_s^d. \tag{16}$$

Уравнения (15), (16) построены в предположении, что деформация растяжения бетона в конце трещины (нижнего слоя «живого» сечения) равна ε^*_{bt}.

Таким образом, для определения пяти неизвестных h_{cr}, x_d, σ^{st}_s, σ^d_s, ε^d_b имеется четыре уравнения (13), (14), (15), (16). В качестве замыкающего систему уравнения может быть привлечено уравнение баланса плотности энергии, учитывающее работу внешних сил на дополнительных смещениях балки после образования трещины. Обозначим $v_*(z)$ функцию прогиба балки в состоянии предразрушения (т. е. когда момент внешних сил в разрушаемом сечении достиг значения M_*) до образования трещины, $v_d(z)$ — в «динамическом» состоянии после образования трещины. Работа внешних сил на дополнительных смещениях равна

$$\delta A = b\int_0^L p(z)[v_d(z) - v_*(z)]dz. \tag{17}$$

Дополнительная энергия δA расходуется на изменение напряженно-деформированного состояния в окрестности сечения с трещиной. Сделав дополнительные предположения относительно распределения δA, можно получить выражение для приращения плотности энергии деформирования в сечении с трещиной δW_{cr}. Тогда уравнение баланса плотности энергии в сечении с трещиной примет вид

$$W^*_b + W^*_s + \delta W_{cr} = W^d_b + W^d_s + \Delta W^p_*, \tag{18}$$

W^*_b, W^d_b — плотности энергии деформирования бетона в состоянии предразрушения и в «динамическом» состоянии;
W^*_s, W^d_s — соответствующие плотности энергии арматуры;
ΔW^p_{cr} — плотность рассеянной энергии деформирования разрушенной части сечения.
W^*_b вычисляется как двойной интеграл:

$$W^*_b = b\int_{-x_*}^{h-x_*}\int_0^{\varepsilon(y)} \psi(\psi)d\varepsilon dy; \quad \varepsilon(y) = \frac{\varepsilon^*_{bt}}{h - x_*}y. \tag{19}$$

Принимая во внимание равенства

$$\overline{W}^d_s - \overline{W}^*_s = \mu_s\int_{\overline{\sigma}^{st}_s}^{\overline{\sigma}^d_s} \overline{\sigma}\varphi'(\overline{\sigma})d\overline{\sigma} + \Delta\overline{W}^y_*; \quad \Delta\overline{W}_* = \Delta\overline{W}^y_* + \Delta\overline{W}^p_*, \tag{20}$$

уравнение (18) можно привести к следующему:

$$\overline{W}^*_b + \delta\overline{W}_{cr} = \overline{W}^d_b + \Delta\overline{W}_* + \mu_s\int_{\overline{\sigma}^{st}_s}^{\overline{\sigma}^d_s} \overline{\sigma}\varphi'(\overline{\sigma})d\overline{\sigma}. \tag{21}$$

Окончательно система уравнений для определения неизвестных σ^d_s, $\overline{\sigma}^{st}_s$, ξ_d, H_{cr}, ε^d_b принимает вид

$$\mu_s\int_{\overline{\sigma}^*_s}^{\overline{\sigma}^{st}_s} \overline{\sigma}\varphi'(\overline{\sigma})d\overline{\sigma} = \Delta\overline{W}^y_*, \quad \int_{\overline{\sigma}^*_s}^{\overline{\sigma}^d_s} \overline{\sigma}\varphi'(\overline{\sigma})d\overline{\sigma} = \overline{\sigma}^{st}_s(\varepsilon^d_s - \varepsilon^*_s); \quad \varepsilon^d_s = \varphi(\overline{\sigma}^d_s),$$

$$\frac{\xi_d}{\varepsilon^d_b}\int_{\varepsilon^d_b}^{\varepsilon^*_{bt}} \overline{\psi}(\varepsilon)d\varepsilon = \mu_s\overline{\sigma}^d_s; \quad \frac{\varepsilon^d_b}{\varepsilon^*_{bt}} = -\frac{\xi_d}{H_{cr} - \xi_d}, \tag{22}$$

$$-\frac{\xi_*}{\varepsilon^*_b}\left[\int_0^{\varepsilon^*_{bt}} \overline{\psi}(\varepsilon)(\varepsilon^*_{bt} - \varepsilon)d\varepsilon + \int_{\varepsilon^*_b}^0 \overline{\psi}(\varepsilon)(\varepsilon^*_b - \varepsilon)d\varepsilon\right] + \delta\overline{W}_{cr} =$$

$$= -\frac{\xi_d}{\varepsilon^d_b}\left[\int_0^{\varepsilon^*_{bt}} \overline{\psi}(\varepsilon)(\varepsilon^*_{bt} - \varepsilon)d\varepsilon + \int_{\varepsilon^d_b}^0 \overline{\psi}(\varepsilon)(\varepsilon^d_b - \varepsilon)d\varepsilon\right] + \Delta\overline{W}_* + \mu_s\int_{\sigma^{st}_s}^{\sigma^d_s} \overline{\sigma}\varphi'(\overline{\sigma})d\overline{\sigma}.$$

Уравнение баланса в системе (22) является интегральным уравнением, так как $\delta\overline{W}_{cr}$ зависит от неизвестной функции $v_d(z)$ распределения прогиба балки в «динамическом» состоянии. В общем случае численная процедура решения системы содержит алгоритм решения интегрального уравнения. В конкретных достаточно простых случаях часто представляется возможность получить приближенно равное выражение для $\delta\overline{W}_{cr}$.

Результаты численного расчета

$A_s \cdot 10^4$, м^2	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
μ_s, %	0,1	0,25	0,5	1,0	1,5
$M_{cr} \cdot 10^{-3}$	1,280	1,487	1,575	1,870	2,160
$\overline{\sigma}_s^*$	0,077	0,077	0,077	0,076	0,076
$\overline{\sigma}_s^{st}$	0,343	0,219	0,158	0,114	0,090
$\overline{\sigma}_s^d$	0,610	0,362	0,240	0,151	0,105
H_{cr}	0,579	0,640	0,715	0,826	0,941
$\varepsilon_b^* \cdot 10^3$	−0,181	−0,190	−0,200	−0,218	−0,236
$\varepsilon_b^d \cdot 10^3$	−0,234	−0,252	−0,265	−0,273	−0,265
ξ_*	0,444	0,457	0,469	0,492	0,513
ξ_d	0,281	0,325	0,370	0,433	0,486

Таким образом, построена математическая модель процесса возникновения трещин нормального отрыва в железобетонной балке при изгибе. Модель позволяет проводить «сквозной» расчет напряжений и деформаций от начала нагружения до возникновения трещины и далее. При этом определяется глубина трещины. В качестве примера применения построенного алгоритма рассмотрена задача об образовании трещины в балке прямоугольного сечения под действием равномерно распределенной нагрузки. Геометрические размеры балки: длина $L = 2$ м; высота сечения $h = 0{,}2$ м; ширина $b = 0{,}1$ м. Результаты численных расчетов представлены в таблице. Анализ результатов показывает, что динамический характер процесса образования трещины необходимо учитывать в реальном диапазоне изменения коэффициента армирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурашев В. И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона/В. И. Мурашев.— М.: Машстройиздат, 1950.— 258 с.

© Адищев В. В., Митасов В. М., 2005

Получено 23.12.04

УДК 624.011.1 : 674.028.9

П. А. ДМИТРИЕВ, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

О КЛЕЕНЫХ ОПОРАХ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

В порядке постановки обсуждается вопрос о целесообразности использования клееной древесины в современных опорах ЛЭП, приводятся возможные конструкции опор, формулируются требования, которым они должны удовлетворять, приводится пример оригинальной опоры, возведенной за рубежом.

Деревянные опоры в строительстве ЛЭП напряжением 6–110 кВ в Сибири и других лесных районах имеют широкое применение, несмотря на уже хорошо развитое производство железобетонных и стальных опор.

Типовые проекты опор ориентируют строителей ЛЭП на применение круглого креозотированного леса.

Однако строительство ЛЭП с деревянными опорами из круглого леса сдерживается затруднениями в получении длинномерных бревен с длиной более 9 м, при этом диаметр бревен в верхнем отрубе должен быть не менее 16–18 см [1]. Такие бревна заготавливают выборочной рубкой с последующей сложной трелевкой и транспортировкой часто на значительные расстояния.

К недостаткам опор из круглого леса необходимо отнести также:

ограниченность пролетов между ними;

большой расход лесоматериалов на 1 км линий, который часто увеличивается против проектного, поскольку строители вынуждены использовать и более толстые бревна;

недолговечность опор, что, как правило, является следствием недостаточной эффективности используемых способов креозотирования бревен, пропитываемых креозотом на недостаточную глубину, при этом предварительная технологически сложная сушка длинномерных бревен оказывается часто некачественной.

Из-за этих недостатков конкурентная способность опор из круглого леса постепенно снижается. В то же время рекомендуемые СНиП [1] клееные опоры для ЛЭП не применяются и даже не разработаны. Это является следствием неосведомленности и предвзятого отношения к деревянным конструкциям, в том числе клееным, как недолговечным, а поэтому невыгодным.

Клееные опоры ЛЭП пока не привлекают внимания заводов-изготовителей, которые не спешат расширить ассортимент своей продукции, хотя в большинстве случаев уже оснащены необходимым современным оборудованием.

Между тем технические возможности эффективного использования клееной древесины в опорах ЛЭП с учетом условий их эксплуатации подтверждаются опытом возведения клееных автодорожных и пешеходных мостов [2], а также применением клееных свай и шпунтин в строительстве северных русских портов. В российских условиях эксплуатации в районах северных морей при больших приливных и отливных колебаниях уровней воды и низких температурах воздуха клееные шпунтины причальных стенок оказались даже более долговечными в сравнении с железобетонными и тем более с металлическими. Заметим, что клееные сваи длиной до 15 м имели, как правило, квадратное, иногда полое сечение [3].

Клееная древесина в зарубежном строительстве ЛЭП уже используется. Этот факт не может оставаться вне самого пристального внимания отечественных специалистов.

Проектируя клееные опоры, конструктор вправе рассчитывать на получение с заводов элементов опор длиной до 18 и даже 24 м, а по согласованию с изготовителями и более длинные.

В простейших случаях (одностоечные, П-образные и т.п. опоры) при проектировании клееных опор ЛЭП можно заимствовать известные схемы и принципиальные конструктивные решения, используемые при возведении опор из цельной древесины. Однако ясно, что конструктивные формы и соединения высоких клееных опор должны быть другими, новыми. При этом apriori можно утверждать, что именно в высоких опорах, разработанных с учетом электротехнических [4], строительных и эксплуатационных требований, включая эстетические, достоинства клееной древесины и современных приемов проектирования проявятся в наибольшей мере, обеспечив им достаточно высокую конкурентную способность.

Эстетические требования в ряде случаев имеют существенное значение. В самом деле, возводимые без учета этого требования опоры высоковольтных ЛЭП в настоящее время не вписываются в наши ландшафты и не украшают наши пригороды, и особенно города.

Автор, считая, что конструкции клееных опор могут быть разнообразными, ниже иллюстрирует это соображение, лишь некоторыми примерами возможных, не лишенных, по его мнению, признаков новизны, конструкций клееных опор с нетрадиционными соединениями.

Поскольку изготовление клееных конструкций допускается лишь в заводских условиях, то и монтажные соединения клееных опор должны быть с заводскими креплениями, обеспечивающими прочность и быстроту сборки. Из конструкций клееных опор непременно должны быть исключены врубки, выполняемые при сборке, рекомендуются различного рода лобовые упоры, соединения на нагельных болтах, другие, в частности резьбовые, соединения, способные передавать усилия как сжатия, так и растяжения. Рекомендуется также применять облегчающие сборку фиксирующие устройства — монтажные столики, отверстия для гвоздей-фиксаторов и т.п.

В клееной П-образной опоре (рис. 1) конструкционные материалы используются наиболее целесообразно и выгодно, деревянные стойки и траверсы работают соответственно на сжатие и на изгиб, а стальные оттяжки — на растяжение. Фундаменты под стойками с учетом местных условий могут быть сделаны простейшими; эффективность конструкций можно еще повысить, если для крепления оттяжек использовать современные сваи, предназначенные для работы на выдергивание.

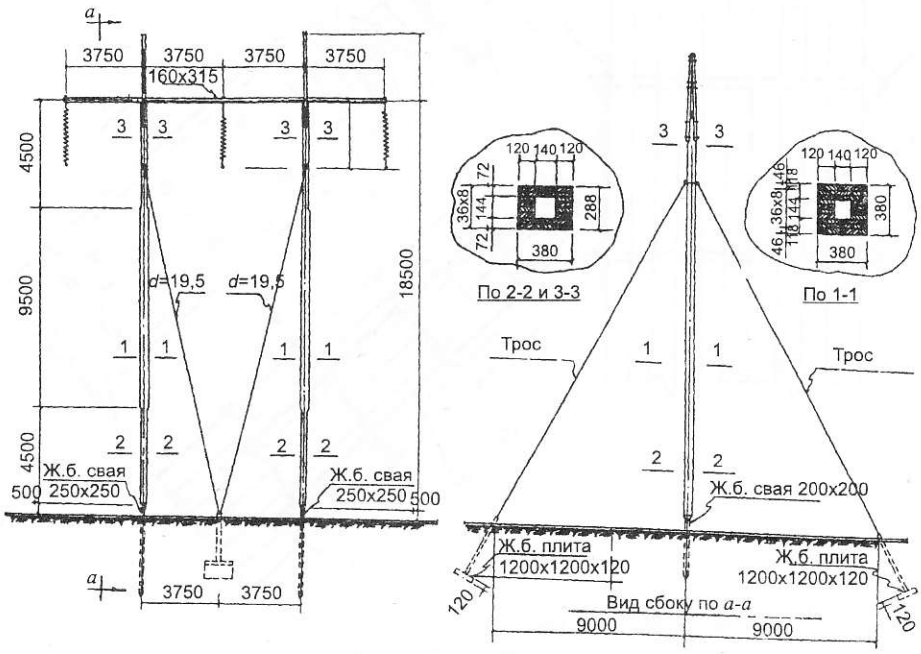


Рис. 1. Конструкция клееной П-образной опоры на оттяжках

Как видно из рис. 1, стойкам с учетом их работы на продольный изгиб придано рациональное очертание как по длине, так и по форме поперечного сечения в средней по их высоте части.

Следует отметить, что опоры этого типа без принципиального изменения конструкции (но без оттяжек) можно использовать как качающиеся, заменить ими (например, через одну) опоры на оттяжках, придав последним функции основных.

Особенностью рамной клееной опоры с крестовыми раскосами и защемленными в фундаментах стойками являются нетрадиционные конструкции ее основных узлов. На рис. 2 показаны возможные варианты резьбовых соединений подкосов со стойками и подкосов друг с другом. Сборка таких соединений сводится к сбалчиванию наконечников [5, 6] с деталями, закрепленными на стойках или подкосе с помощью болтов или вклеенных стержней.

Проектируя опорные узлы клееных стоек, не следует упускать из внимания возможность защемить их в фундаментах с помощью анкеров и отказаться от традиционных защемлений в пасынках.

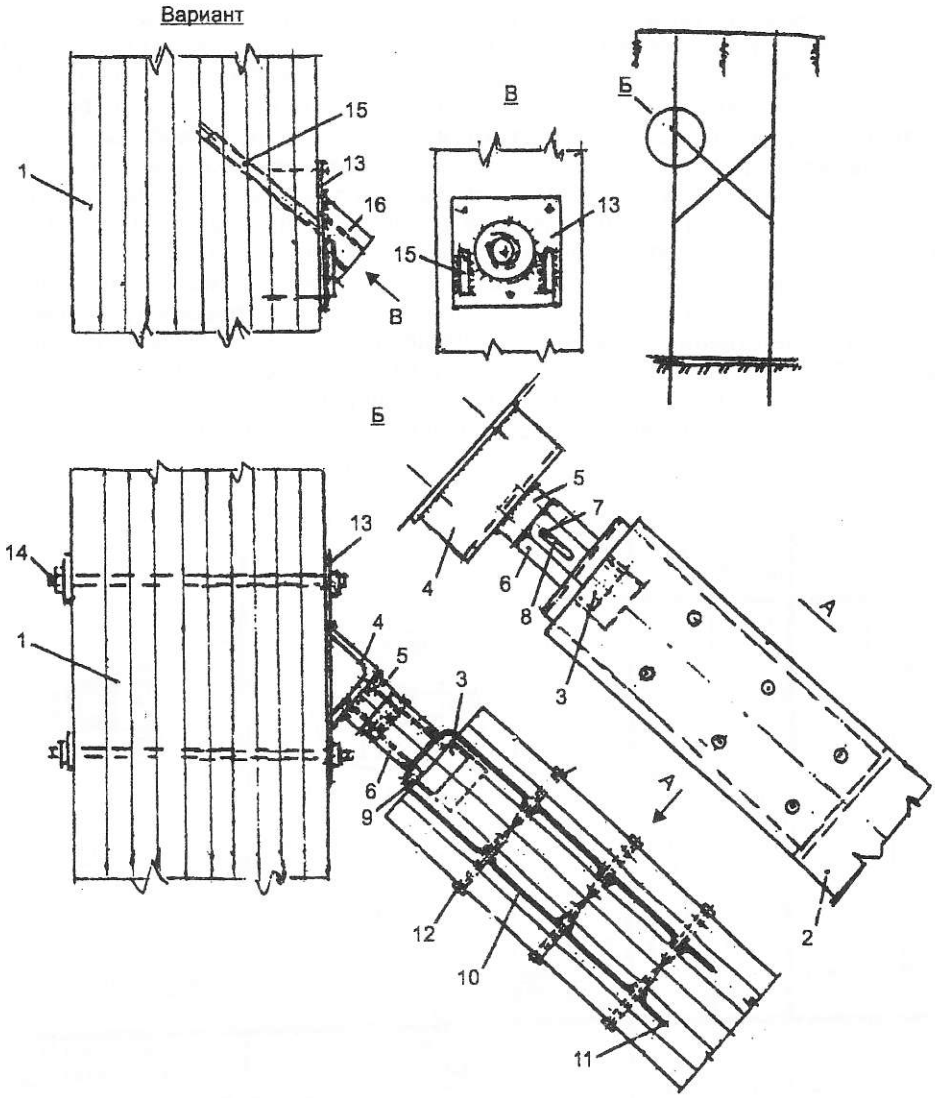


Рис. 2. Болтовое соединение раскоса со стойкой опоры

1 — стойка; *2* — раскос; *3* — болт; *4* — уголок, приваренный к пластине *13*; *5* — приваренная к уголку *4* гайка; *6* — упорная муфта под ключ, насаженная на концевую часть болта *3* и скрепленная с ним шплинтом *7*; *8* — овальное отверстие в муфте *6*, благодаря которому болт *3* может смещаться на длину этого отверстия; *9* — вкладыш; *10* — U-образные прокладки, изогнутые вокруг вкладыша *9* и поставленные в пропилы *11*; *12* — дюбели-гвозди (нагели); *13* — пластина; *14* — нагели-шпильки; *15* — вклеенные стержни, приваренные к пластине *13*; *16* — гайка для болта *3*

В отличие от известных решений конструкция опорного узла, представленного на рис. 3, обеспечивает защемление стойки в двух направлениях: как в плоскости, так и из плоскости опоры; конструкция дополнительно снабжена демпфером, срабатывающим при действии усилия вдоль линии при обрыве провода. Поворот стойки между швеллерами вследствие демпферного действия прокладок из жесткой резины или пружин снижает величину этого усилия и тем самым уменьшает нагрузку на опору (как при бандажном соединении стоек с пасынками) [7]. Известны и другие конструкции узлов, также обеспечивающие жесткую заделку клееных стоек в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Конструкция V-образной опоры (рис. 4) представляет интерес, поскольку требует устройства одного свайного фундамента вместо двух, необходимых для аналогичной П-образной. Как и в конструкции (см. рис. 2), защемление стоек обеспечивается в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Поворот сваи относительно ее продольной оси при обрыве одного из крайних проводов исключается бетонной банкеткой, выполняемой в уровне земли. Как и в

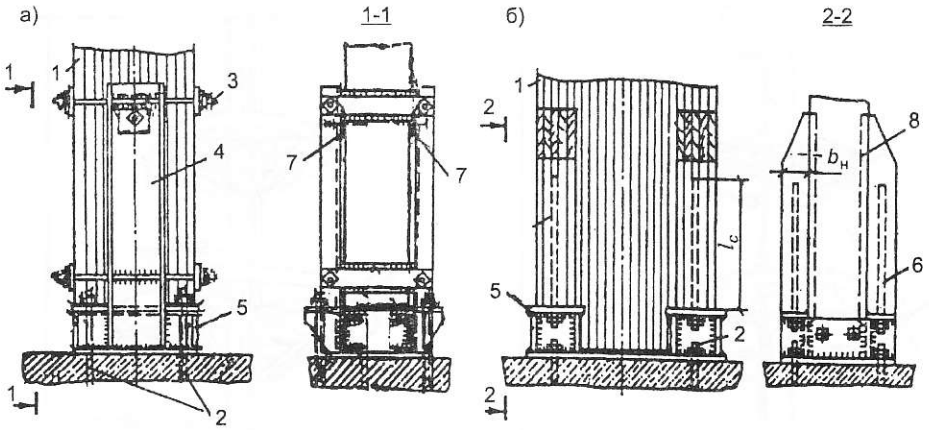


Рис 3. Узлы крепления стоек опор, обеспечивающие их защемление в двух взаимно перпендикулярных направлениях

а — с помощью стальных пасынков, снабженных демпферными устройствами; *б* — с помощью вклеенных в накладки стержней [7]; *1* — стойка, *2* — анкерные крепления, *3* — стяжные шпильки; *4* — пасынки из швеллеров; *5* — стальной башмак; *6* — вклеенные стержни; *7* — демпфер (жесткая резина); *8* — зубчатое соединение

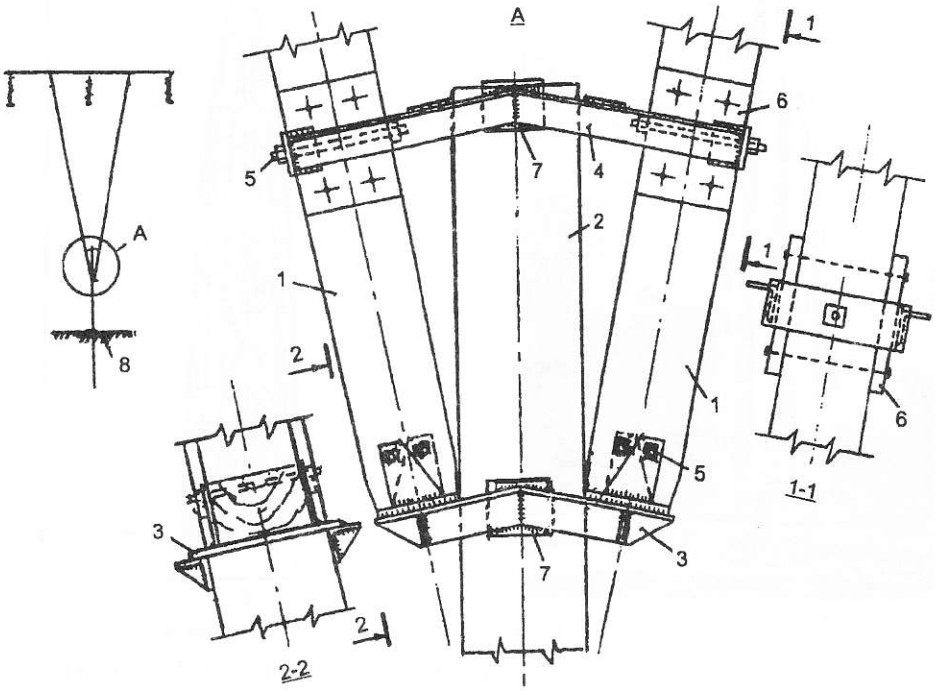


Рис. 4. V-образная опора с железобетонным пасынком

1 — клееные наклонные стойки; *2* — железобетонный пасынок; *3* — сварной столик; *4* — хомут из уголков; *5* — болты; *6* — демпферные прокладки из жесткой резины; *7* — закладные детали; *8* — бетонная банкетка

предыдущем случае, в конструкции узла защемления предусмотрены демпферы из жесткой резины.

Понятно, что в конструкциях опор клееными могут быть выполнены не все их элементы, например только стойки или только траверсы; могут сочетаться и другие разнородные материалы.

Например, опоры могут быть выполнены целиком или частично из толстостенных фанерных труб [8], производство которых было освоено у нас еще в середине прошлого века, но необоснованно прекращено. В настоящее время в практическом плане может обсуждаться вопрос и о применении в конструкциях опор, и прежде всего в их соединениях, стеклопластиков.

На рис. 5 показана необычная клееная опора, при проектировании которой наряду с другими учитывались, как важнейшие, эстетические требова-

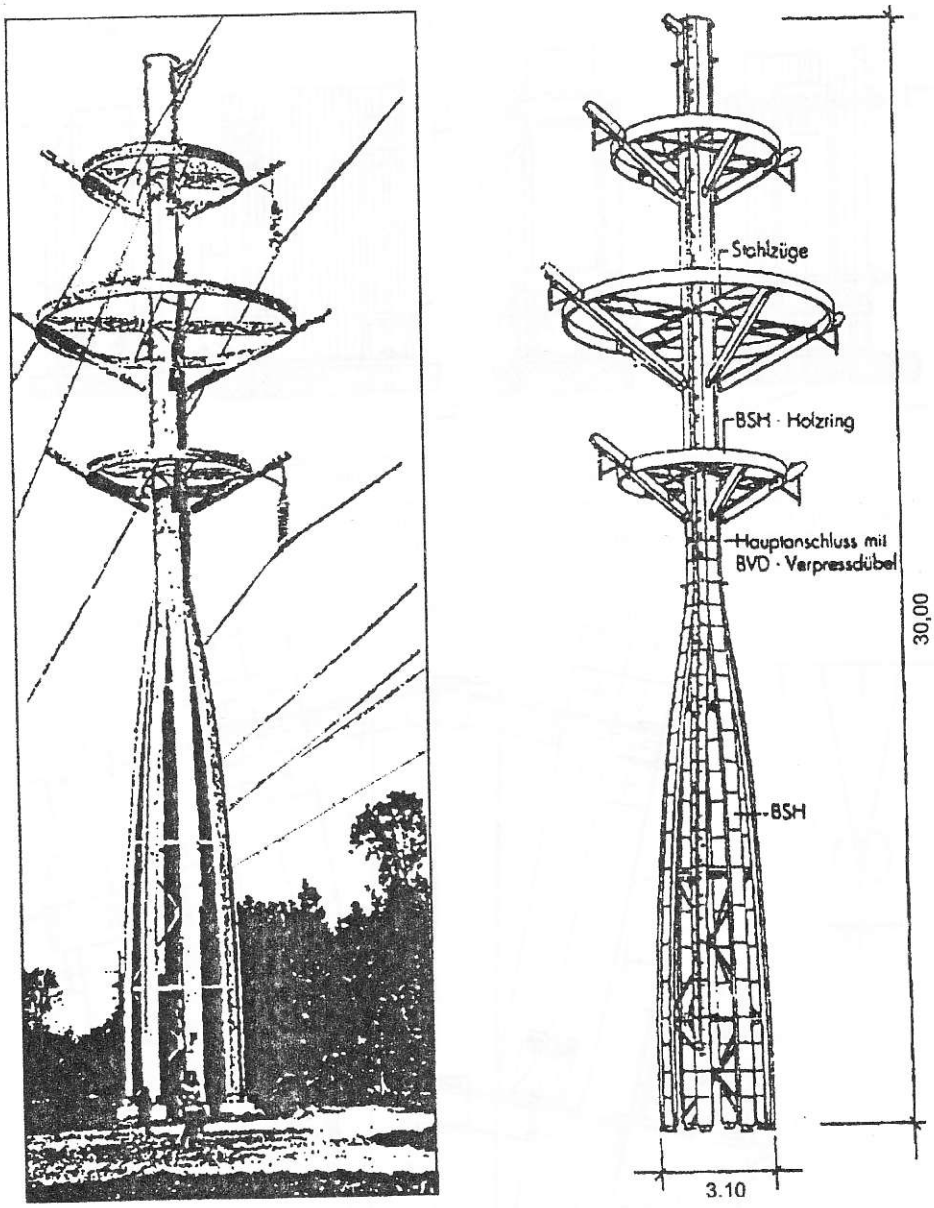


Рис. 5. Клееная опора ЛЭП «PYLONE COROLLE» (Франция); расстояние между опорами 250 м

ния. Как видно из рис. 5, восемь изящно изогнутых, поставленных на железобетонные фундаменты ветвей в нижней части опоры, вверху смыкаются, образуя трубу. В этом месте расположен их стыковочный узел. Вверху опора увенчана двумя клееными кольцами для крепления к ним токонесущих проводов и грозозащитных тросов. В нижней части опоры предусмотрены горизонтальные диафрагмы жесткости (3 по высоте) и дополняющие их наклонные стальные связи, расположенные внутри опоры. Поскольку стоимость опоры приблизительно вдвое превысила стоимость стальной, PILONE COROLLE предполагается устанавливать, прежде всего, в пригородах, парках и на возвышенных, всеми обозримых участках ландшафта.

В целом описанная выше опора может служить удачным примером совместной работы дизайнера и конструктора, свидетельствующей о возможностях развития эстетического направления в проектировании сугубо инженерных сооружений.

Из изложенного следует, что конструкторские трудности при разработке клееных опор вполне преодолимы и могут быть выполнены на современном

уровне. Технология изготовления прямолинейных элементов для опор ЛЭП уже хорошо развита и может обеспечить как высокое качество, так и необходимую производительность.

Таким образом, у заводов-изготовителей нет объективных причин отстраняться от конкурентной борьбы за постоянный рынок, где они могут найти свою нишу. Для этого, конечно, нужно провести разработку для начала простейших клееных опор и осуществить их возведение в опытном порядке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-25-80: Деревянные конструкции. Минстрой России.— М.: ГУП ЦПП, 2003.— 30 с.
2. Дмитриев П. А. Конструкции из дерева и пластмасс. Специальный курс. Автодорожные и пешеходные мосты/П. А. Дмитриев.— 2002.— 192 с.
3. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению клееных деревянных свай и шпунта в гидротехническом строительстве.— М.: Госстройиздат, 1952.— 45 с.
4. Правила устройства электроустановок, 6-е изд-е.— СПб.: Изд-во «ДЕАН», 2001.— 928 с.
5. А.С. № 947327М.Кл.3Е.04.В1/48,У04.В1/58. Узловое соединение деревянных стержней пространственного каркаса/П. А. Дмитриев, Ю. Д. Стрижаков, С. И. Цибилев; Опубл. 30.07.82, Бюл. № 28.
6. A.C.SU1654482A1.E04B1/38. Узловое соединение деревянных стержней пространственного каркаса/П. А. Дмитриев, Ю. Д. Стрижаков, С. Г. Комисаров, С. Ю. Кабаков; Опубл. 07.06.91.
7. А.С. № 1059096 SU 1059096 A.E. 04B 1/58. Опорный узел дощатоклееной колонны/П. А. Дмитриев, Ю. Д. Стрижаков, Т. Махматкулов. Н. И. Выжитович; Опубл. 07.12.83; Бюл. № 45.
8. ГОСТ 7017-76. Фанерные трубы.

© Дмитриев П. А., 2005

Получено 23.12.04

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.042.5

Н. Н. ПАНТЕЛЕЕВ, д-р техн. наук, проф., Б. С. ВОРОБЬЕВ, ст. науч. сотр. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ОБЩИЙ СЛУЧАЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ В ОГРАНИЧЕННЫХ ПЕРФОРИРОВАННЫХ БЕТОННЫХ ТЕЛАХ С НЕСКОЛЬКИМИ ИСТОЧНИКАМИ В ПОЛОСТЯХ

Разработан способ решения термоупругой задачи для многосвязного перфорированного цилиндрического тела из высокопрочного бетона с токоприемниками в нескольких полостях-перфорациях с использованием теории потенциала и функции источника для круга.

Напряжения и деформации в сплошных упругих круглых телах, вызванные нагревом, обычно находятся из решения дифференциального уравнения равновесия, полученного подстановкой компонент деформаций в известные зависимости, выражающие закон Гука для плоского напряженного состояния. Более сложные модификации получены для цилиндрических тел с центральным отверстием [1]. Однако для тел с нелинейной зависимостью $\sigma - \varepsilon$, например из бетонов, и тем более для многосвязных тел, найти решение задачи традиционными методами не всегда удается. Один из способов решения термоупругой задачи для многосвязного перфорированного цилиндрического тела из бетона предложен в [2] с использованием теории потенциала и функции источника [3]. Здесь удалось отыскать функцию термонапряжений в бетонном цилиндрическом образце на границе для заданной одной полости. Для формирования функции напряжений в ограниченной области с несколькими полостями в бетонном образце потребуется отыскание функции напряжений на его границе.

Основная постановка задачи формируется в соответствии с предложенным ранее методом [2], основанным на применении функции источника, которая в термической интерпретации будет следующей:

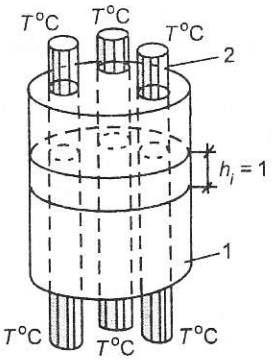


Рис. 1

взаимодействие проводников *2* (рис. 1) и цилиндрического тела (оболочки) *1* характеризуется силами дислокаций в представлении Ландау – Косевича [4];

материал образца — бетон, полученный методом сухого прессования, обладающий пластичностью;

сечения независимых проводников из токопроводящего бетона («бетэла») в виде сосредоточенных источников F_1, F_2, F_3 в полостях, симметричных относительно своих аргументов и взаимодействующих по принципу взаимности в физике [3];

температура от действия трех мгновенных источников считается независимой от осевой координаты;

рассматривается плоская деформация образца.

В указанных работах [2 и др.] авторами сформулирован метод определения термонапряжений для круговой области от одного сосредоточенного источника. Решая внешнюю краевую задачу в бесконечном пространстве для круга радиусом R (с нагретой областью проводника радиусом r), используя функцию источника, кольцевые напряжения в области от $F_i = 1$ (внешняя задача) найдены в виде (рис. 2)

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\varphi_1, \rho_1) = -[(\rho_1^2 - r^2)/p^2 4\pi^2 r](2\pi b + c\ln a), \tag{1}$$

где радиус-вектор ρ_1 малого круга с радиусом r связаны с радиусом-вектором ρ_0 для внутренней краевой задачи в области с радиусом R зависимостью

$$(p_{1R}^i)^2 = R^2 + c_0^2 - 2Rc_0\cos(\theta_0 \pm \varphi_2), \quad i = 1, 2, 3. \tag{2}$$

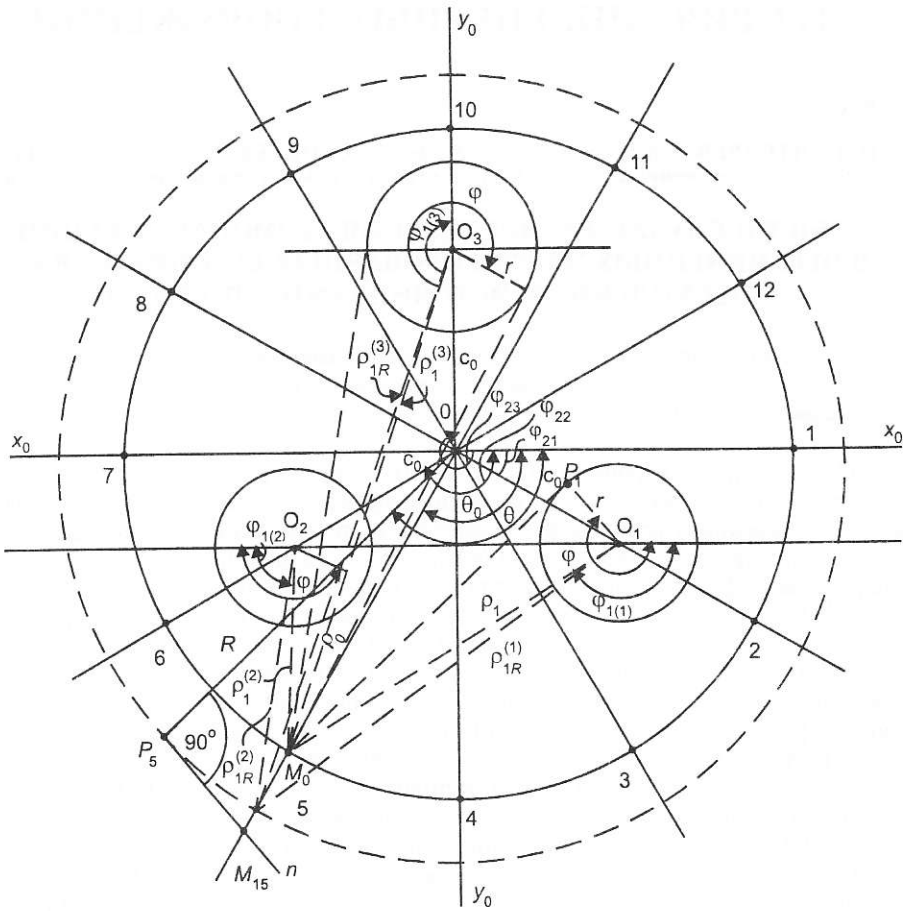


Рис. 2

Совершенно очевидно, что значения кольцевых напряжений

$$\sigma_{\varphi\varphi}\Big|_{\Sigma^{F(\theta)}} \tag{3}$$

ограничивают некоторую область в пространстве с радиусом R.

Здесь функция напряжений на границе (3) и будет граничной функцией под интегралом Пуассона, если источник F_i представить в виде круговой периодической функции круговой дислокации, как это получено в [2]:

$$F_2(\theta) = (\Delta T_i \overline{\eta}_F S\mu \,/\, 2\pi r_G^2)\cos\theta(\rho_1^2 - r^2)\,/\,p^2(2\pi b_i + c\ln a_i), \tag{4}$$

где

$$p^2 = 4r^2\rho_1^2 = 4r^2(R_2 - 2Rc_0\cos(\theta_0 - \varphi_2));$$

$$b_i = 2r\sqrt{R^2 + c_0 - 2Rc_0\cos(\theta_0 - \varphi_2)}\cos\varphi_{1i};$$

$$c_i = 2r\sqrt{R^2 + c_0 - 2Rc_0(\theta_0 - \varphi_2)}\sin\varphi_{1i};$$

$$\varphi_i = \pi + \varphi_2 + \arcsin\,[R\,/\,\sqrt{R^2 + c_0^2 - 2Rc_0\cos(\theta_0 - \varphi_2)}];$$

$$a_i = (\rho_{1R}^i)^2 + r^2;$$

$$\overline{\eta}_F = \alpha_t \mu E_b 3(1+\upsilon)\,/\,(1-2\upsilon)(1+2\omega)r.$$

Таким образом, функции напряжений $\sigma_{\varphi\varphi}$ внутри ограниченной области радиусом R в любой точке M_0 (рис. 2) от действия любого источника $F_1, F_2,\ldots,F_i$ с применением интеграла Пуассона запишутся:

$$\sigma_{\varphi\varphi}(\theta_0,\rho_0) = 1\,/\,2\pi\int_0^{2\pi}[(R^2 - \rho_0^2)\,/\,R^2 + \rho_0^2 - 2R\rho_0\cos(\theta - \theta_0)]F_2(\theta)\,d\theta. \tag{5}$$

Здесь, как и в случае малого круга [2], интеграл Пуассона для внутренней краевой задачи найдется в пределах от 0 до 2π:

$$\Pi = [(R^2 - \rho_0^2)\,/\,p_0^2](2\pi b_0 + c_0\ln a_0), \tag{6}$$

где

$$p_0^2 = 4R^2\rho_0^2;\;\; b_0 = 2R\rho_0\cos\theta_0;\;\; c_0 = 2R\rho_0\sin\theta_0;\;\; \ln a_0 = \ln(\rho_0^2 + R^2). \tag{7}$$

Тогда значения напряжений в любой точке M_0 с учетом влияния источников, исходя из принципа суперпозиции для источников F_1, F_2, F_3, запишутся как

$$\sigma_{\varphi\varphi}^{\text{кк}}(M_0) = \sum_{i=1}^{3}\sigma_{\varphi\varphi}^{i}(\theta_0^i,\,\rho_0^i) \tag{8}$$

или в развернутом виде

$$\sigma_{\varphi\varphi}^{\text{кк}}(M_0) = \Delta T_i\overline{\eta}_F S_i\mu B\,/\,4\pi r^2 G\sum_{i=1}^{3}[(\rho_{1R}^i)^2 - r^2)\,/\,p_i^2\,\times$$
$$\times(2\pi b_i + c_i\ln a_i)(R^2 - \rho_0^2)\,/\,\rho_0^2]\cdot(2\pi b_0 + c_0\ln a_0), \tag{9}$$

$B = \lambda\,/\,2\pi(1-\sigma)$; λ — первый коэффициент Ляме; для бетона $\lambda = G = 0{,}4\,E_b$ — модуль сдвига; $\sigma = 1\,/\,2(3K - 2\lambda)\,/\,(3K + \lambda)$, $K = 1\,/\,3[E_b\,/\,(1 - 2\nu)]$ — модуль всестороннего сжатия;

$\Delta T_i = T_i^0 - T_{0i}^0$, T_i^0 — температура разряда; T_{0i}^0 — начальная температура проводника; $S_i = \pi r_i^2$ — площадь полости (проводника) (см. рис. 2),

где ν, ω, E_b, α_t, μ — соответственно коэффициент Пуассона, функция пластичности Ильюшина, модуль упругости бетона, коэффициент линейного расширения бетона, коэффициент трения (бетон – бетон) в области смещения дислокаций.

ПРИМЕР: Определить суммарные напряжения в точке $M_{05}(\rho_0, \theta_0)$ от трех источников.

Исходные данные: $\varphi_{21} = 30°$, $\varphi_{22} = 150°$, $\varphi_{23} = 270°$; $c_0 = R - (r + a) = 8 - (2{,}5 + 1) = 4{,}5$ см; $\rho_0 = R - a_1 = 8 - 0{,}7 = 7{,}3$ см; $\theta_0 = 120°$; $S = \pi r^2 = \pi \cdot 2{,}5^2 = 19{,}625$ см^2; $E_b = 3{,}5 \cdot 10^5$ кг/см^2; $\Delta T_i = 200°$C; $\alpha_t = 1 \cdot 10^{-5}$; $\nu = 0{,}2$; $K = 1/3 \cdot (E_b/(1-2\nu)) = 1/3 \cdot (3{,}5 \cdot 10^5/(1-2 \cdot 0{,}2)) = 1{,}944 \cdot 10^5$; $\sigma = 1/2 \ (3K - 2\lambda)/(3K + \lambda) = 1/2 \cdot (3 \cdot 1{,}944 \cdot 10^5 - 2 \cdot 0{,}4 \cdot 3{,}5 \cdot 10^5)/(3 \cdot 1{,}944 \cdot 10^5 + 2 \cdot 0{,}4 \cdot 3{,}5 \cdot 10^5) = 0{,}175$; $B = \lambda/2\pi(1 - \sigma) = 0{,}4 \cdot 10^5 \cdot 3{,}5/2\pi(1 - 0{,}175) = 0{,}27 \cdot 10^5$; $\mu = 0{,}7$; $\omega = 0{,}5$;

$$(\rho_{1R}^{(1)})^2 = 8^2 + 4{,}5^2 - 2 \cdot 8 \cdot 4{,}5 \cdot \cos(120° - 30°) = 84{,}25;$$

$$(\rho_{1R}^{(2)})^2 = 8^2 + 4{,}5^2 - 2 \cdot 8 \cdot 4{,}5 \cdot \cos(120° - 150°) = 27{,}35;$$

$$(\rho_{1R}^{(3)})^2 = 8^2 + 4{,}5^2 - 2 \cdot 8 \cdot 4{,}5 \cdot \cos(120° - 270°) = 146{,}60;$$

$$\bar{\eta}_F = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}7 \cdot 3{,}5 \cdot 10^5 \cdot 3(1 + 0{,}2)/(1 - 2 \cdot 0{,}2)(1 + 2 \cdot 0{,}5) \cdot 5{,}0 = 1{,}47;$$

$$\varphi_{1(1)} = 120° + \arcsin\left[\frac{4{,}5\sin(120° - 30°)}{\sqrt{c_0 + R^2 - 2Rc_0\cos(120° - 30°)}}\right] = 149{,}36°;$$

$$\varphi_{1(2)} = (150° - 120°) + 30° + \arcsin\left[\frac{4{,}5\sin(120° - 150°)}{\sqrt{c_0 + R^2 - 2Rc_0\cos(120° - 150°)}}\right] = 89{,}28°;$$

$$\varphi_{1(3)} = (270° - 120°) + \arcsin\left[\frac{4{,}5\sin(270° - 120°)}{\sqrt{4{,}5^2 + 8^2 - 2 \cdot 4{,}5 \cdot 8\cos(270° - 120°)}}\right] = 160{,}7°.$$

Напряжения $\sigma_{\varphi\varphi}$ в точке M_5

$$\sigma_{\varphi\varphi}(M_5) = \frac{200 \cdot 1{,}47 \cdot 19{,}65 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}27 \cdot 10^5}{4 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}5^2 \cdot 0{,}4 \cdot 3{,}5 \cdot 10^5 \cdot 0{,}65} \cdot \left\{\frac{[84{,}25 - 2{,}5^2]}{4 \cdot 2{,}5^2 \cdot 84{,}25}(2\pi \cdot 2 \cdot 2{,}5 \cdot \right.$$
$$\cdot \sqrt{84{,}25} \cdot \cos 149{,}36° + 2 \cdot 2{,}5 \cdot \sqrt{84{,}25} \cdot \sin 149{,}36° \cdot \ln(84{,}25 + 2{,}5^2) +$$
$$+ \frac{[27{,}35 - 2{,}5^2]}{4 \cdot 2{,}5^2 \cdot 27{,}35}(2\pi \cdot 2 \cdot 2{,}25 \cdot \sqrt{27{,}35} \cdot \cos 89{,}28° + 2 \cdot 2{,}5 \cdot \sqrt{27{,}35}) \cdot$$
$$\cdot \sin 89{,}28° \cdot \ln(27{,}35 + 2{,}5^2)) + \frac{[146{,}60 - 2{,}5^2]}{4 \cdot 2{,}5^2 \cdot 146{,}60}(2\pi \cdot 2 \cdot 2{,}5 \cdot \sqrt{146{,}6} \cdot$$
$$\left. \cdot \cos 160{,}7° + 2 \cdot 2{,}5 \cdot \sqrt{146{,}6} \cdot \sin 160{,}7° \cdot \ln(146{,}6 + 2{,}5^2))\right\} \cdot$$
$$\cdot \frac{[8^2 - 7{,}3^2]}{4 \cdot 8^2 \cdot 7{,}3^2}(2\pi \cdot 2 \cdot 7{,}3 \cdot \cos 120° + 2 \cdot 8 \cdot 7{,}3 \sin 120° \cdot \ln(7{,}3^2 + 8^2)) = 2{,}11 \text{ МПа},$$

что меньше значения $R_{bt,ser} = 4{,}0 \div 4{,}5$ МПа для бетонов оболочки, полученной методом сухого прессования класса В40 ÷ 45. Здесь коэффициент Мурашова упругопластичности бетона принят $\lambda_b = 0{,}65$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимошенко С. П. Теория упругости/С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер.— М.: Наука, 1975.
2. Пантелеев Н. Н. Применение функции источника к расчету термонапряжений в перфорированных цилиндрических телах с дислокациями в области/Н. Н. Пантелеев, Б. С. Воробьев//Изв. вузов. Строительство и архитектура.— 1999.— № 10.
3. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики/А. Н. Тихонов, А. А. Самарский.— М.: Стройиздат, 1973.
4. Ландау Л. Д. Теория упругости/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц.— М.: Наука, 1987.

© Пантелеев Н. Н., Воробьев Б. С., 2005

Получено 23.12.04

УДК 624.072.045

Г. И. ГРЕБЕНЮК, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ДЕКОМПОЗИЦИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ

Излагается подход при построении итерационных процессов многопараметрической оптимизации динамически нагруженных систем, основанный на идее совместного использования приемов декомпозиции пространств состояния и проектирования.

Введение. В первых работах в области оптимизации динамически нагруженных систем рассматривались, как правило, достаточно простые системы при ограничениях на собственные частоты [1]. Подобная постановка была подкреплена разработанным аппаратом анализа чувствительности собственных частот и форм колебаний [2]. В дальнейшем аппарат анализа чувствительности был распространен на случай произвольной динамической нагрузки [3]. Для снижения трудоемкости процесса оптимизации в [4] предлагается совместить процедуру анализа чувствительности с динамическим перерасчетом системы прямым методом. Вопросы декомпозиции задач оптимизации динамически нагруженных конечноэлементных систем путем разделения процесса оптимизации на стадии (этапы) представлены, например, в [5] и ряде других работ.

Ниже приведены результаты исследований по проблеме многопараметрической оптимизации динамически нагруженных систем с совместным использованием декомпозиции пространств состояния и проектирования.

1. Постановка задачи оптимизации. Задача конечномерной оптимизации динамически нагруженной системы ставится в форме задачи математического программирования.

Требуется найти

$$\min f(X) \text{ (или } f(X, t)), \quad X \in E^n, \tag{1}$$

при ограничениях

$$g_j(X, P(X, t)) \le 0, \quad j = 1, \ldots, m, \tag{2}$$

где X — вектор переменных (варьируемых) параметров проектирования;
t — переменная координата времени;
$P(X, t)$ — вектор параметров состояния системы.

В качестве критериев оптимальности систем (целевых функций) могут использоваться как традиционные (вес, объем, относительные затраты, потенциальная энергия деформации и др.), так и нетрадиционные, в частности «повреждаемость» системы. В последнем случае целевую функцию можно представить, например, в виде

$$\min \max_t (\delta(X, t)^T \delta(X, t)), \tag{3}$$

где $\delta(X, t) \in E^l$ — вектор-функция перемещений узлов КЭ системы.

Постановка задачи оптимизации системы в форме (1), (2) хорошо согласуется с конечноэлементным методом ее расчета. Альтернативой может служить интенсивно развиваемый в последнее время подход, основанный на анализе свойств специально построенных энергетических функционалов [6, 7]. В случае сведения формируемых вариационных задач к конечномерным оба подхода должны давать сравнимые результаты.

2. Основные приемы декомпозиции. К основным приемам декомпозиции задач оптимизации относятся: разделение процесса оптимизации на уровни и этапы; введение обобщенных переменных проектирования; редуцирование (понижение порядка) системы ограничений. Приемы декомпозиции особенно эффективны по отношению к многократно решаемым задачам первого уровня (оптимизация сечений элементов), и в дальнейшем в данной работе в качестве варьируемых выступают только параметры сечений элементов. Декомпозиция исходной задачи динамического расчета может проводиться на основе разбиения исходной сложной системы на подсистемы (суперэлементы) и

введения обобщенных динамических степеней свободы. В дальнейшем будем рассматривать только второй из упомянутых приемов как более удобный при решении многопараметрических задач оптимизации систем.

3. Декомпозиция задачи динамического расчета. Пусть матричное дифференциальное уравнение состояния получено на основе МКЭ в перемещениях:

$$M(X)\ddot{\delta}(X,t)+C(X)\dot{\delta}(X,t)+K(X)\delta(X,t)+F(X,t)=0. \tag{4}$$

В этом случае, когда степень динамической свободы системы велика, рационально при решении задачи оптимизации представить вектор-функцию перемещений в виде

$$\delta(X,t)=[\delta^1(X^0)...\delta^r(X^0)]Z(X,t), \tag{5}$$

где $[\delta^1(X^0)...\delta^r(X^0)]=\Delta$ — числовая матрица «координатных» векторов, найденных каким-либо способом в точке X^0 пространства проектирования; $Z(X,t)\in E^r$, $r<<l$ — вектор-функция обобщенных перемещений узлов системы. Редуцированное матричное дифференциальное уравнение состояния динамически нагруженной системы имеет вид

$$\overline{M}(X)\ddot{Z}(X,t)+\overline{C}(X)\dot{Z}(X,t)+\overline{K}(X)Z(X,t)+\overline{F}(X,t)=0, \tag{6}$$

где

$$\overline{M}(X)=\Delta^T M(X)\Delta;\ \overline{C}(X)=\Delta^T C(X)\Delta;\ \overline{K}(X)=\Delta^T K(X)\Delta;\ \overline{F}(X,t)=\Delta^T F(X,t).$$

В существующих работах наиболее часто в качестве координатных используются первые собственные векторы колебаний системы. Однако вычисление их на основе метода перемещений при большом числе степеней свободы системы весьма трудоемко. Поэтому при реализации процессов оптимизации сложных систем могут быть рекомендованы следующие приемы: использование в качестве координатных векторов перемещений узлов системы от заданных статических нагрузок; использование векторов перемещений узлов кинематически неопределимых основных систем.

В последнем случае вектор перемещений задается в виде $\delta=\begin{Bmatrix}\delta^m\\ \delta^{l-m}\end{Bmatrix}$, $m<<l$, где δ^m — перемещения, на которые в кинематически неопределимой основной системе наложены связи. Координатные векторы строятся на основе расчета кинематически неопределимой основной системы на единичные смещения наложенных связей.

3.1. Гармоническое нагружение. В том случае, если нагрузка является моногармонической и демпфирование не учитывается, уравнение (6) преобразуется к виду

$$\overline{M}(X)\ddot{Z}(X,t)+\overline{K}(X)Z(X,t)=\tilde{F}\sin\theta t. \tag{7}$$

Для установившихся колебаний $Z(X,t)=\tilde{Z}(X)\sin\theta t$ и (7) приводится к квазистатическому уравнению

$$(-\overline{M}(X)\theta^2+\overline{K}(X))\tilde{Z}(X)=\tilde{F}, \tag{8}$$

где $\tilde{Z}(X)$ — вектор-функция амплитуд обобщенных перемещений.

Решение редуцированного уравнения (7) можно, в свою очередь, строить на основе разложения по обобщенным собственным формам, найденным из решения задачи на собственные значения в точке X^0:

$$(\overline{M}(X^0)-\overline{\lambda}\,\overline{K}(X^0))\overline{V}=0. \tag{9}$$

Тогда решение системы (7) представляется в виде

$$Z_i(X,t)=\frac{\overline{V}^{iT}\tilde{F}}{\overline{V}^{iT}\overline{M}(X)\overline{V}^i(\overline{\omega}_i^2-\theta^2)}\sin\theta t, \tag{10}$$

где $\overline{\omega}_i$, $i=1,...,r$ — обобщенные собственные частоты колебаний.

Усилия в концевых сечениях элементов определяются через вектор перемещений узлов по известным выражениям. Полученные соотношения позволяют достаточно просто проводить анализ чувствительности обобщенной динамической реакции на итерациях процесса оптимизации системы.

3.2. Действие мгновенного импульса. Будем полагать, что за время передачи весьма короткого (мгновенного) импульса перемещения узлов системы не изменяются, а скорости получают конечные приращения

$$\frac{\partial \overline{\overline{\delta}}}{\partial t}(X, \tau) = \Delta \cdot \overline{\overline{\dot{Z}}}(X, \tau), \tag{11}$$

где τ — заданный момент передачи импульса.

Распространяя общее уравнение удара для системы точечных масс

$$\sum_{k=1}^{l}(m_k \Delta V^{(k)} - S^{(k)})\delta p^{(k)} = 0$$

на случай произвольной деформируемой системы и принимая в качестве возможных координатные перемещения, получим следующее квазистатическое уравнение состояния системы:

$$R(X)\overline{\overline{\dot{Z}}}(X, \tau) + R_s = 0. \tag{12}$$

В случае, например, стержневой системы

$$R(X) = \overline{M}(X) + \sum_{k=1}^{NK} a^{(jk)T}(M^{(k)} + \overline{M}^{(k)})a^{(jk)}; \quad R_s = \sum_{j=1}^{NE} a^{(j)T}\overline{S}^{(j)} + \sum_{j=1}^{NK} a^{(jk)T}S^{(k)}, \tag{13}$$

где $a^{(j)}$ — матрица «координатных» перемещений j-го элемента системы;
NE — число элементов;
NK — число точек, в которых передаются сосредоточенные импульсы $S^{(k)}$;
$M^{(k)}$, $\overline{M}^{(k)}$ — массы и моменты инерции масс в точках передачи сосредоточенных импульсов;
$\overline{S}^{(j)}$ — вектор концевых импульсов j-го элемента, соответствующих заданной распределенной импульсной нагрузке $S^{(j)}(u)$;
jk — номер элемента, к которому приложен сосредоточенный импульс $S^{(k)}$.

После определения значений составляющих вектора $\dot{Z}(X, \tau)$ задача динамического расчета системы сводится к дальнейшему ее расчету на заданные до приложения мгновенного импульса нагрузки при следующих условиях:

$$Z(X,t)\Big|_{t=\tau} = Z(X, \tau); \quad \dot{Z}(X, t)\Big|_{t=\tau} = \dot{Z}(X, \tau) + \overline{\overline{\dot{Z}}}(X, \tau), \tag{14}$$

где $Z(X, \tau)$, $\dot{Z}(X, \tau)$ — значения обобщенных перемещений и скоростей в момент перед приложением мгновенного импульса.

3.3. Расчет на произвольную динамическую нагрузку без учета демпфирования ($\overline{C}(X) = 0$). Общее решение (6) представим в виде суммы

$$Z(X, t) = \overline{Z}(X, t) + \tilde{Z}(X, t), \tag{15}$$

где $\overline{Z}(X, t)$ — общее решение однородного уравнения

$$\overline{M}(X)\ddot{Z}(X, t) + \overline{K}(X)Z(X, t) = 0, \tag{16}$$

а $\tilde{Z}(X, t)$ — частное решение (6). Решение однородного уравнения (16) на итерации процесса оптимизации записывается в виде

$$\overline{Z}(X, t) = \overline{V}(X)C(X, t)A(X), \tag{17}$$

где $\overline{V}(X)$ — матрица обобщенных собственных векторов;

$$C(X,t)=\begin{bmatrix}\cos\overline{\omega}_1(X)t & & & & \\ & \sin\overline{\omega}_1(X)t & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \cos\overline{\omega}_r(X)t & \\ & & & & \sin\overline{\omega}_r(X)t\end{bmatrix};\ A(X)=\begin{Bmatrix}a_1(X)\\ \vdots \\ a_{2r}(X)\end{Bmatrix}.$$

Вектор нагрузок на участке интегрирования удобно представить произведением

$$\overline{F}(t)=N\cdot L(t), \tag{18}$$

где N — числовая матрица порядка $r\times m_F$;

$L(t)$ — m_F-мерный вектор одночленных линейно-независимых функций времени.

При линейной аппроксимации $\overline{F}(t)$ на участке интегрирования $L(t)=\begin{Bmatrix}1\\ t\end{Bmatrix}$.

Представим частное решение в виде, аналогичном (18):

$$\tilde{Z}(X,t)=Q(X)L(t), \tag{19}$$

где $Q(X)$ — матрица порядка $r\times m_F$.

Подставляя выражение (9) в (6), получим уравнение

$$\overline{M}(X)Q(X)H^{(2)}+\overline{K}(X)Q(X)+N=0, \tag{20}$$

где $H^{(2)}$ — дифференциальный оператор L второго порядка (числовая матрица порядка $m_F\times m_F$).

Решая систему (20) при заданном значении вектора варьируемых параметров X, находим составляющие матрицы $Q(X)$.

Вектор $A(X)$ постоянных интегрирования находится из граничных условий. Если начальный мгновенный импульс отсутствует, на первом участке

$$Z(X,t)\big|_{t=0}=0;\qquad \dot{Z}(X,t)\big|_{t=0}=0. \tag{21}$$

На последующих участках постоянные интегрирования находятся из условий стыкования участков $k-1$, k:

$$Z^{k-1}(X,t)\big|_{t=t_{k-1,k}}=Z^{k}(X,t)\big|_{t=t_{k-1,k}};\quad \dot{Z}^{k-1}(X,t)\big|_{t=t_{k-1,k}}=\dot{Z}^{k}(X,t)\big|_{t=t_{k-1,k}}. \tag{22}$$

3.4. Учет внутреннего трения. Согласно модифицированной гипотезе Фойгта матрица демпфирования редуцированной системы может быть представлена в виде

$$\overline{C}(X)=(\overline{M}(X)\overline{K}(X))^{0.5}\ \Gamma, \tag{23}$$

где Γ — матрица диссипативных коэффициентов.

Такой подход, являясь интегральным, не позволяет в дальнейшем однозначно определить усилия в элементах системы. Кроме того, вычисление (23) является весьма трудоемким. В связи с этим в [8] предложено строить матрицу демпфирования редуцированной системы на основе соотношения

$$\overline{C}(X)=\sum_{j=1}^{NE}a^{(j)T}K_d^{(j)}(X)a^{(j)}. \tag{24}$$

Компоненты матрицы демпфирования элементов $K_d^{(j)}$ определяются с помощью упрощенных зависимостей

$$K_{d\,i,k}^{(j)}(X)=\gamma^{(j)}(K_{m\,i,k}^{(j)}(X)\cdot K_{l\,i,k}^{(j)}(X))^{0.5}, \tag{25}$$

где $\gamma^{(j)}$ — диссипативный коэффициент материала j-го элемента;

$K^{(j)}_{m\,i,k}(X)$, $K^{(j)}_{l\,i,k}(X)$ — составляющие матриц динамической и статической жесткостей элемента в текущей точке поиска X.

Решение тестовых примеров (в частности примера, приведенного в [8]), показало, что использование упрощенной зависимости (25) несущественно влияет на величины необходимых для расчета собственных значений редуцированной системы и может быть принято для расчетов диссипативных систем.

Методика расчета диссипативных систем на свободные колебания детально изложена в [8]. Она может быть распространена на случаи гармонического, импульсного и произвольного динамического воздействий.

4. Декомпозиция пространства проектирования на основе направленного обобщения переменных параметров сечений. Одним из наиболее эффективных приемов декомпозиции многопараметрических задач оптимизации систем является направленное обобщение переменных параметров сечений элементов [9]. В случае активности ограничений по прочности критерием для обобщения может служить уровень нагруженности элементов. При этом для динамически нагруженных систем процедура разделения переменных проектирования на две обобщенные группы проводится следующим образом.

В начальной точке поиска X^0 на итерации проводится динамический расчет системы и определяются величины максимальных эквивалентных напряжений:

$$\sigma^{\max}_{\text{экв}\,i}(X^0) = \max_j \max_t \sigma^{\max}_{\text{экв}\,ij}(X^0, t), \quad i = 1, \ldots, NGE, \quad j = 1, \ldots, NE_j, \tag{26}$$

где NGE — число групп оптимизируемых элементов (групп унификации); NE_i — число элементов i-й группы.

Далее вычисляется средняя величина

$$\sigma^{m}_{\text{экв}}(X^0) = \frac{1}{NGE}\sum_{i=1}^{NGE}\sigma^{\max}_{\text{экв}\,i}(X^0) \tag{27}$$

и проводятся разделения на обобщенные группы:

$$\sigma^{\max}_{\text{экв}\,i}(X^0) \geq \sigma^{m}_{\text{экв}}(X^0), \; i \in I_1; \; \sigma^{\max}_{\text{экв}\,i}(X^0) < \sigma^{m}_{\text{экв}}(X^0), \; i \in I_2, \tag{28}$$

где I_1 — множество номеров более нагруженных групп элементов; I_2 — множество номеров менее нагруженных групп элементов.

В случае активного ограничения по перемещению критерием разделения на обобщенные группы может служить удельная работа внутренних сил элементов групп при определении активного перемещения по методу Мора. При активном ограничении по собственной частоте колебаний разделение можно проводить согласно уровням удельной энергии упругой деформации при реализации активной собственной формы и т.д.

Пересчет варьируемых параметров в процессе поиска оптимального решения на итерации осуществляется согласно соотношению

$$X = B\begin{Bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{Bmatrix}, \tag{29}$$

где Y_1, Y_2 — обобщенные варьируемые параметры; B — матрица $n \times 2$.

Элементы матрицы B на итерации назначаются согласно условиям

$$B_{i1} = X^{i0}; \; B_{i2} = 0, \text{ если } i \in I_1; \; B_{i1} = 0; \; B_{i2} = X^{i0}, \text{ если } i \in I_2, \tag{30}$$

где X^{i0} — начальные значения варьируемых параметров i-й группы.

5. Аппроксимация параметров состояния систем в пространстве обобщенных переменных проектирования. Простейшими аппроксимациями составляющих вектора параметров состояния системы на итерации являются их фиксированные значения, т.е.

$$P(X, t) \approx \tilde{P}(X^0), \tag{31}$$

где, как правило, $\tilde{P}_j(X^0) = \max_t P_j(X^0, t)$.

Аппроксимации вида (31) применимы в задачах с ограничениями по прочности при поиске систем, близких к равнонапряженным (или систем с равномерным распределением удельной энергии деформации). В случае наличия активных ограничений по перемещениям, частотам колебаний и устойчивости аппроксимации (31) не обеспечивают сходимости, и требуется их уточнение.

Аппроксимация на основе анализа чувствительности первого порядка в пространстве обобщенных переменных проектирования предполагает построение зависимостей

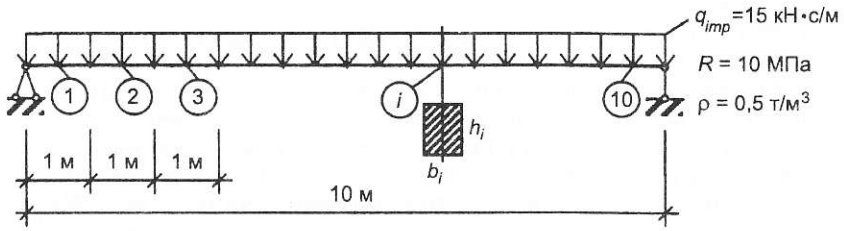
$$P_j(Y, t) \approx \tilde{P}_j(Y^0) + \nabla\tilde{P}_j(Y^0)^T(Y - Y^0), \tag{32}$$

где $\nabla\tilde{P}_j(Y^0)$ — вектор градиента j-го параметра состояния в точке $Y^0 = \begin{Bmatrix}1\\1\end{Bmatrix}$, составляющие которого могут быть найдены, например, в конечных разностях.

В случаях гармонической и мгновенной импульсной нагрузок аппроксимации могут быть уточнены за счет прямого дифференцирования уравнений состояния (8), (12) или соотношения (10). С использованием найденных первых производных вектора перемещений могут быть найдены производные усилий по известным выражениям для усилий в концевых сечениях элементов.

Построенные на основе анализа чувствительности первого порядка линейные аппроксимации параметров состояния могут оказаться достаточно достоверными только в локальной области поиска. Для исключения возможных осцилляций итерационного процесса оптимизации системы можно рекомендовать стратегию поиска с использованием линеаризации в подобластях либо строить нелинейные аппроксимации по всей области поиска на основе какого-либо варианта регрессионных методов.

В качестве тестового примера оптимизации системы по массе при использовании декомпозиции рассмотрена балка, загруженная равномерно распределенным мгновенным импульсом (рисунок). Варьируется высота сечений на



участках. Учитываются ограничения по прочности, причем для аппроксимации усилий в сечениях приняты простейшие зависимости вида (31). Результаты оптимизации представлены в таблице.

Оптимальный проект при варьировании высоты сечений балки (b = 0,5 м)

Без использования декомпозиции

	1	2	3	4	5
h_i, м	0,733	0,817	0,881	0,984	1,02

Масса балки 2,187 т

С использованием декомпозиции

	1	2	3	4	5
h_i, м	0,681	0,819	0,906	0,992	1,025

Масса балки 2,212 т

Результаты решения свидетельствуют о том, что обобщение переменных проектирования ненамного ухудшает оптимальный проект. При этом процесс оптимизации сходится за 3–5 итераций, и достигается существенная экономия материала по сравнению с начальным допустимым проектом (h = 0,5 м, b = 1,2 м, масса балки 3,0 т).

Выводы. Разработанные приемы декомпозиции позволяют по единой методике решать широкий класс задач оптимизации динамически нагруженных линейно-упругих систем. Сведение многопараметрической задачи оптимизации на итерации к двумерной путем направленного обобщения переменных проектирования позволяет существенно понизить трудоемкость процедуры ап-

проксимации параметров состояния систем и делает реальным решение задач большой размерности при различных функциях цели и наличии ограничений различного вида (по прочности, жесткости, частотам колебаний, ускорениях в верхних этажах и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринев В. Б. Оптимизация стержней по спектру собственных значений/В. Б. Гринев, А. П. Филиппов.— Киев: Наукова думка, 1979.
2. Фокс Р. Скорость изменения собственных значений и собственных векторов/Р. Фокс, М. Канур.— РТиК, 1968.— № 12.— С. 227–230.
3. Хог Э. Анализ чувствительности при проектировании конструкций/Э. Хог, К. Чой, В. Комков.— М.: Мир, 1998.— 428 с.
4. Якимова Х. Проектирование оптимальных динамически нагруженных конструкций/Х. Якимова//Новые направления в строительном проектировании. — М.: Стройиздат, 1989.— С. 245–262.
5. Mills-Curran W. C. Structural Optimization with Dynamic Behavior Constraints/W. C. Mills-Curran, L. A. Schmit.— AIAA journal.— Vol. 23.— 1985.— № 1.— P. 132–138.
6. Юрьев А. Г. Естественный фактор оптимизации конструкций/А.Г. Юрьев//Изв. вузов.— 1999.— № 5.— С. 46–51.
7. Васильков Г. В. Эволюционные задачи строительной механики/Г.В. Васильков.— Ростов-на-Дону: ИнфоСервис. 2003.— 179 с.
8. Гребенюк Г. И. О расчете диссипативных систем с частотно-независимым трением/Г. И. Гребенюк, В. И. Роев//Изв. вузов. Строительство.— 2002.— № 7.— С. 21–27.
9. Гребенюк Г. И. Эффективный метод декомпозиции задач оптимизации конструкций/Г. И. Гребенюк//Тр. II Междунар. конф. «Актуальные проблемы фундаментальных наук».— Т. 2.— Кн. 2. Секция Е «Строительная механика и методы оптимального проектирования конструкций».— М., 1994.

© Гребенюк Г. И., 2005

Получено 23.12.04

УДК 624.154

Л. В. НУЖДИН, канд. техн. наук, доц., П.А. ГЕНЗЕ, инж., В.Н. ПОПОВ, д-р физ.-мат. наук (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ НА КОНТУРАХ НЕСКОЛЬКИХ КРУГЛЫХ ВЫРЕЗОВ ПРИ ДЕПЛАНАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЯХ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНЫ

На основе волновой модели рассматриваются вертикальные колебания бесконечно тонкой пластины с одним и более круглыми вырезами. Полученные результаты используются для анализа колебаний свайных фундаментов с учетом волнового взаимодействия свай в кусте. Они позволяют повысить точность определения параметров жесткости и демпфирования свайного основания.

Как показывает большинство теоретических и экспериментальных исследований, волновые модели наиболее полно и точно отражают динамическое поведение фундаментов [1–3]. В настоящее время при определении параметров жесткости и демпфирования свайного основания и заглубленных фундаментов широко используются решения, полученные для задачи колебаний бесконечной пластины с круглым вырезом [2, 3]. Для повышения точности расчетов желательно учитывать волновое взаимодействие свай в кусте или близко расположенных заглубленных фундаментов. Это можно выполнить, рассматривая пластину с несколькими вырезами. Однако вопрос об определении решения в тех случаях, когда вырезов больше одного, остается открытым [4–6].

В настоящей работе рассматривается задача о вертикальных колебаниях бесконечной тонкой пластины с одним и более круглыми вырезами, и с использованием результатов [2] определяются связи между перемещениями и реакциями на их боковой поверхности.

Уравнения движения упругой среды при отсутствии объемных сил в цилиндрической системе координат записываются в виде

$$
\begin{aligned}
&(\lambda+2\mu)\frac{\partial\delta}{\partial r}-\frac{2\mu}{r}\frac{\partial\omega_z}{\partial\theta}+2\mu\frac{\partial\omega_\theta}{\partial z}=\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2},\\
&2\mu\frac{\partial\omega_z}{\partial r}+(\lambda+2\mu)\frac{1}{r}\frac{\partial\delta}{\partial\theta}-2\mu\frac{\partial\omega_r}{\partial z}=\rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2},\\
&-\frac{2\mu}{r}\frac{\partial r\omega_\theta}{\partial r}+\frac{2\mu}{r}\frac{\partial\omega_r}{\partial\theta}+(\lambda+2\mu)\frac{\partial\delta}{\partial z}=\rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}.
\end{aligned}
\tag{1}
$$

Здесь u, v, w — перемещения вдоль осей r, φ и z соответственно;

$\omega_\theta=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial r}\right)$, $\omega_r=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial\theta}-\frac{\partial v}{\partial z}\right)$, $\omega_z=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial rv}{\partial r}-\frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial\theta}\right)$ — компоненты вектора вращения;

$\delta=\frac{1}{r}\frac{\partial ru}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial\theta}+\frac{\partial w}{\partial z}$ — объемная деформация;

ρ — плотность;

λ, μ — коэффициенты Ламе.

Первоначально рассмотрим депланационные осесимметричные колебания бесконечной тонкой пластины с одним круглым вырезом радиуса r_0 [2] (схема на рис. 1, *а*). В этом случае $u(r,\theta,t)=0$, $v(r,\theta,t)=0$, $w=w(r,\theta,t)$, а система (1) приводится к уравнению

$$
\mu\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}r\frac{\partial w}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 w}{\partial\theta^2}\right)=\rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}
\tag{2}
$$

с граничным условием на контуре

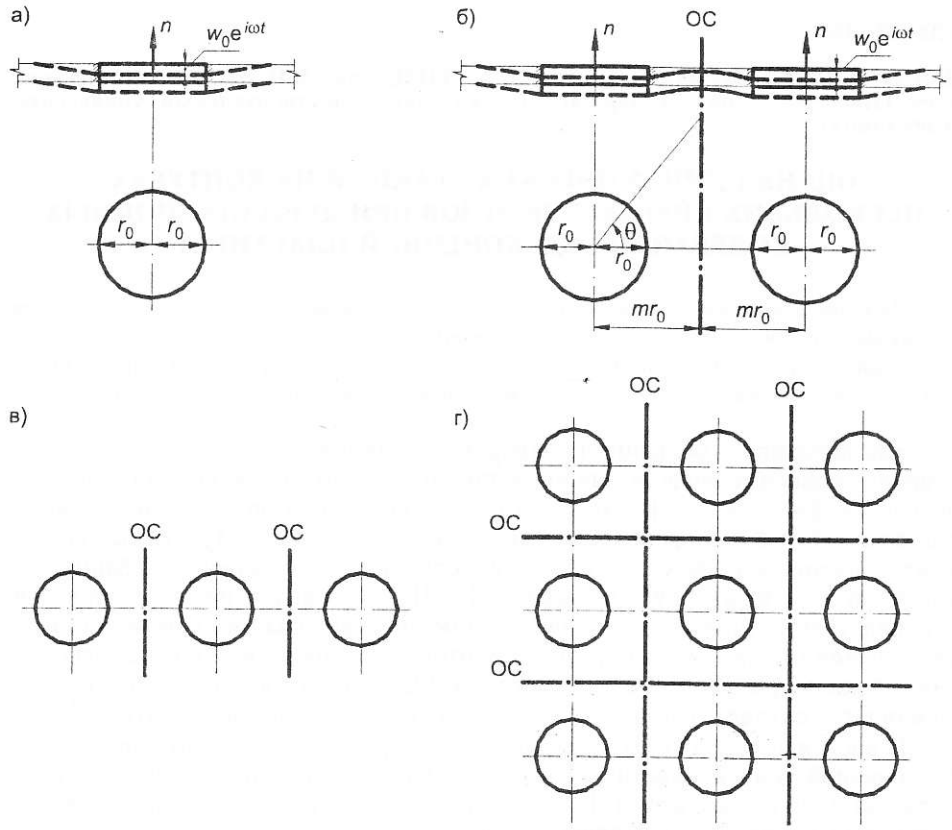


Рис. 1. Схема депланационных осесимметричных колебаний бесконечной тонкой пластины с одним (*а*), двумя (*б*), тремя (*в*) и девятью (*г*) круглыми вырезами

ОС — ось симметрии

$$w(r_0, \theta, t) = w_0 e^{i\omega t}. \tag{3}$$

Решение (2), (3) выполняется методом разделения переменных и согласно [7] имеет вид

$$w = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} (A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta)[C_n H_n^{(1)}(kr) + D_n H_n^{(2)}(kr), \tag{4}$$

где $k = \omega / \sqrt{\mu / \rho}$, $H_n^{(1)}$, $H_n^{(2)}$ — функции Ганкеля первого и второго рода; A_n, B_n, C_n, D_n — постоянные, подлежащие определению.

Так как пластина имеет один вырез и других источников колебаний нет, то при $r \to \infty$ в решении (4) содержатся только расходящиеся волны. Из асимптотических разложений функций Ганкеля следует, что этому условию при временном множителе $e^{i\omega t}$ удовлетворяет функция $H_n^{(2)}$ [7]. Из условия осевой симметрии следует, что $n = 0$. Далее, предполагая $A_0 = 1$, получаем $w = e^{i\omega t} D_0 H_0^{(2)}(kr)$.

Согласно (3)

$$D_0 = w_0 / H_0^{(2)}(kr_0). \tag{5}$$

На контуре круглого выреза действуют только касательные напряжения

$$\tau_{rz} = \mu \left. \frac{\partial w}{\partial r} \right|_{r=r_0},$$

которые приводятся к равнодействующей

$$n_1^* = -\int_0^{2\pi} \tau_{rz} \cdot 1 \cdot r_0 d\theta = \mu w_0 e^{i\omega t} \frac{2\pi k r_0}{H_0^{(1)}(kr_0)} H_1^{(2)}(kr_0). \tag{6}$$

Реакция бесконечно тонкой пластины (единичной толщины), приложенная к боковой поверхности выреза, равна

$$n_1 = S_{w_1}(kr_0) w_0 e^{i\omega t} = \mu w_0 e^{i\omega t} (S_{w_{11}} + i S_{w_{21}}),$$

где действительная $S_{w_{11}}$ и мнимая $S_{w_{21}}$ безразмерные части S_{w_1} определяются как

$$S_{w_{11}}(kr_0) = 2\pi k r_0 \frac{J_0(kr_0) J_1(kr_0) + Y_0(kr_0) Y_1(kr_0)}{J_0^2(kr_0) + Y_0^2(kr_0)},$$

$$S_{w_{21}}(kr_0) = \frac{4}{J_0^2(kr_0) + Y_0^2(kr_0)}. \tag{7}$$

Здесь J_n, Y_n — функции Бесселя первого и второго рода.

Рассмотрим депланационные осесимметричные колебания бесконечной тонкой пластины с двумя круглыми вырезами, имеющими радиусы r_0, центры которых расположены на расстоянии $2mr_0$, $m > 1$ (схема на рис. 1, *б*). На оси, пересекающей линию, соединяющую центры вырезов, в точке $r_g = mr_0$ под углом 90°, в дополнение к (3) запишем условие симметрии

$$\frac{\partial w(r_g / \cos\theta, \theta, t)}{\partial n} = 0, \quad -\pi / 2 < \theta < \pi / 2. \tag{8}$$

Решение для левого выреза будем рассматривать в двух сопряженных областях $-\pi / 2 < \theta < \pi / 2, \pi / 2 \le \theta \le 3 / 2\pi$ и представим в виде (4). Из условия $w(-\theta) = w(\theta)$ получаем $B_n = 0$. Далее, полагая $A_n = 1$,

$$w = e^{i\omega t} \sum_{n=0}^{\infty} [C_n H_n^{(1)}(kr) + D_n H_n^{(2)}(kr)] \cos n\theta.$$

В области $r \ge r_0$, $\pi / 2 \le \theta \le 3 / 2\pi$ рассматриваем только расходящиеся волны, поэтому $C_0 = 0$ и $w = e^{i\omega t} D_0 H_0^{(2)}(kr)$, коэффициент D_0 совпадает с (5).

Для области $r \geq r_0$, $-\pi/2 < \theta < \pi/2$, принимая во внимание условие $w(r, \theta - 0, t) = w(r, \theta + 0, t)$ при $\theta = \pm\pi/2$ и ограничиваясь тремя членами ряда, получаем

$$w = e^{i\omega t}\{D_0 H_0^{(2)}(kr) + \sum_{n=1}^{2}[C_{2n-1}H_{2n-1}^{(1)}(kr) + D_{2n-1}H_{2n-1}^{(2)}(kr)]\cos[(2n-1)\theta]\}, \qquad (9)$$

на границе выреза

$$w_0 = D_0 H_0^{(2)}(kr_0) + \sum_{n=1}^{2}[C_{2n-1}H_{2n-1}^{(1)}(kr_0) + D_{2n-1}H_{2n-1}^{(2)}(kr_0)]\cos[(2n-1)\theta].$$

Отсюда следует, что решение в области $r \geq r_0$, $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ можно представить в виде

$$\begin{aligned} w = e^{i\omega t}\{&D_0 H_0^{(2)}(kr_0) + \\ &+ 2R\sum_{n=1}^{2}[H_{2n-1}^{(2)}(kr_0)H_{2n-1}^{(1)}(kr) - H_{2n-1}^{(1)}(kr_0)H_{2n-1}^{(2)}(kr)]\cos[(2n-1)\theta]\}, \end{aligned} \qquad (10)$$

где D_0 определяется согласно (5).

Определяя значение R из условия (8) при $\theta = 0$, получаем

$$\begin{aligned} R = &\frac{H_1^{(2)}(kr_g)}{\sum_{n=1}^{2} H_{2n-1}^{(2)}(kr_0)[H_{2n-2}^{(1)}(kr_g) - H_{2n}^{(1)}(kr_g)]} - \\ &- \frac{H_1^{(2)}(kr_g)}{H_{2n-1}^{(1)}(kr_0)[H_{2n-2}^{(2)}(kr_g) - H_{2n}^{(2)}(kr_g)]}. \end{aligned} \qquad (11)$$

Если предположить, что величина напряжения вдоль контура выреза при $0 \leq \theta < \pi/2$ изменяется линейно:

$$\tau_{rz}(\theta) = \tau_{rz}(0) + 2[\tau_{rz}(\pi/2) - \tau_{rz}(0)]\theta/\pi,$$

то равнодействующая определяется как

$$\begin{aligned} n_2^* = -\int_0^{2\pi}\tau_{rz}\cdot 1\cdot r_0 d\theta = \mu w_0 e^{i\omega t}\frac{\pi k r_0}{H_0^{(1)}(kr_0)}\{&2H_1^{(2)}(kr_0) - \\ -\frac{R}{2}\sum_{n=1}^{2}H_{2n-1}^{(2)}(kr_0)[&H_{2n-2}^{(1)}(kr_0) - H_{2n}^{(1)}(kr_0)] - \\ -H_{2n-1}^{(1)}(kr_0)[&H_{2n-2}^{(2)}(kr_0) - H_{2n}^{(2)}(kr_0)]\}. \end{aligned} \qquad (12)$$

Видно, что в отличие от (6) в правой части этого выражения появились дополнительные члены, учитывающие влияние второго выреза.

Реакцию пластины единичной толщины, приложенную к боковой поверхности выреза, представим в виде

$$n_2 = S_{w_2}(kr_0)w_0 e^{i\omega t} = \mu w_0 e^{i\omega t}(S_{w_{12}} + iS_{w_{22}}), \qquad (13)$$

где $S_{w_{12}}$, $S_{w_{22}}$ — действительная и мнимая безразмерные части S_{w_2}.

Несложно обобщить полученный результат на случай депланационных осесимметричных колебаний пластины с тремя круглыми вырезами, имеющими радиусы r_0, центры которых расположены на одной прямой на расстоянии $2mr_0$, $m > 1$ друг от друга (схема на рис. 1, *в*).

В этом случае равнодействующая для центрального выреза записывается как

$$\begin{aligned} n_3^* &= -\int_0^{2\pi}\tau_{rz}\cdot 1\cdot r_0 d\theta = -2\int_{-\pi/2}^{\pi/2}\tau_{rz}\cdot 1\cdot r_0 d\theta = \\ &= \mu w_0 e^{i\omega t}\frac{\pi k r_0}{H_0^{(1)}(kr_0)}\{2H_1^{(2)}(kr_0) - R\sum_{n=1}^{2}H_{2n-1}^{(2)}(kr_0)[H_{2n-2}^{(1)}(kr_0) - \\ &-H_{2n}^{(1)}(kr_0)] - H_{2n-1}^{(1)}(kr_0)[H_{2n-2}^{(2)}(kr_0) - H_{2n}^{(2)}(kr_0)]\}, \end{aligned} \qquad (14)$$

а реакцию пластины, приложенную к боковой поверхности выреза, можно представить в виде

$$n_3 = S_{w_3}(kr_0)w_0e^{i\omega t} = \mu w_0 e^{i\omega t}(S_{w_{13}} + iS_{w_{23}}). \qquad (15)$$

Оценим равнодействующую для центрального из многих вырезов, упорядоченных по схеме, представленной на рис. 1, *г*, в случае депланационных осесимметричных колебаний пластины. Выражение для этого случая записывается как

$$n_4^* = -4\int_{-\pi/4}^{\pi/4}\tau_{rz}\cdot 1\cdot r_0 d\theta = \mu w_0 e^{i\omega t}\frac{\pi k r_0}{H_0^{(1)}(kr_0)}\{2H_1^{(2)}(kr_0) -$$
$$-\frac{3R}{2}\sum_{n=1}^{2}H_{2n-1}^{(2)}(kr_0)[H_{2n-2}^{(1)}(kr_0) - H_{2n}^{(1)}(kr_0)] - \qquad (16)$$
$$-H_{2n-1}^{(1)}(kr_0)[H_{2n-2}^{(2)}(kr_0) - H_{2n}^{(2)}(kr_0)]\},$$

а реакцию пластины на боковой поверхности выреза опишем следующим образом:

$$n_4 = S_{w_4}(kr_0)w_0e^{i\omega t} = \mu w_0 e^{i\omega t}(S_{w_{14}} + iS_{w_{24}}). \qquad (17)$$

Решение задачи для случая неупорядоченного расположения вырезов в пластине также получить несложно, и авторы оставляют определение равнодействующей для этого варианта за рамками настоящей работы. Отметим только при рассмотрении данной задачи необходимость построения ячейки Дирихле, хорошо известной в вычислительной математике.

Проанализируем результаты, полученные при решении задач о колебаниях пластин с одним и более вырезами. Определено, что динамические жесткости S_w описываются комплексными функциями, зависящими от частоты колебаний ω, размера выреза, а также плотности ρ и жесткости μ материала пластины (среды, моделирующей грунт). Реакции опережают соответствующие перемещения на временные интервалы Δ_i, которые определяются из соотношений $\Delta_i = \mathrm{arctg}(S_{w_{2i}} / S_{w_{1i}})$.

Из асимптотического разложения $S_{w_{1i}}$, $S_{w_{2i}}$ следует, что для частоты $\omega \to 0$ динамические жесткости также стремятся к нулю.

На рис. 2 приведены графики действительных S_{w_1} (*а*) и мнимых S_{w_2} (*б*) безразмерных частей динамических жесткостей S_w в диапазоне $0 \le a_0 \le 0{,}3$

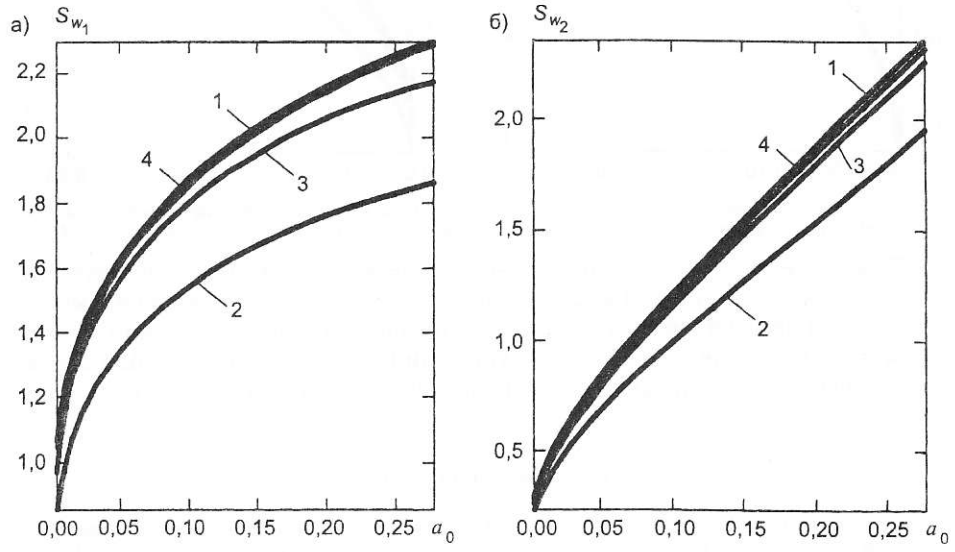


Рис. 2. Зависимость действительных S_{w_1} и мнимых S_{w_2} безразмерных частей динамических жесткостей на контуре выреза от параметра a_0 в случае одного (*1*) или двух вырезов в слое при m = 1,5 (*2*); 3 (*3*); 10 (*4*)

($a_0 = kr_0$) для некоторых m при колебаниях пластины с одним и двумя вырезами. Кривые с индексом 1 иллюстрируют изменение $S_{w_{11}}$ и $S_{w_{21}}$ для случая одного круглого выреза с радиусом r_0. Эти графики совпадают с данными [2] и используются для сравнения.

На рис. 2 представлены результаты, полученные для двух вырезов при m = 1,5; 3; 10 (кривые с индексом *2–4* соответственно). Видно, что с увеличением m влияние соседнего выреза быстро уменьшается и при m = 10 значения $S_{w_{14}}$ и $S_{w_{24}}$ практически совпадают с решением, полученным для одного выреза (7) на всем диапазоне a_0. Различие составляет около 1–3%, что подтверждает правильность используемых в работе допущений для вычисления равнодействующих n_i^*, $i \geq 2$. Расхождение результатов становится более существенным при малых значениях m. Так, например, при величине этого параметра 1,5 (расстояние между центрами вырезов $3r_0$) для a_0 = 0,25 отличие составляет уже около 15%.

Рис. 3 иллюстрирует изменение величин $\Delta_i(a)$ и $A_i = (S^2_{w_{1i}} + S^2_{w_{2i}})^{0,5}$ (*б*) от параметра a_0 при различных m. Из представленных материалов следует, что независимо от расстояний между центрами вырезов реакции для различных a_0 опережают соответствующие перемещения фактически на один и тот же временной интервал Δ_i и их значения фактически совпадают с величинами, получаемыми при рассмотрении пластины с одним вырезом. Кривые, описывающие изменение A_i, отражают тот факт, что в случае достаточно близкого расположения вырезов (m < 3) величина реакции существенно снижается во всем рассматриваемом диапазоне a_0.

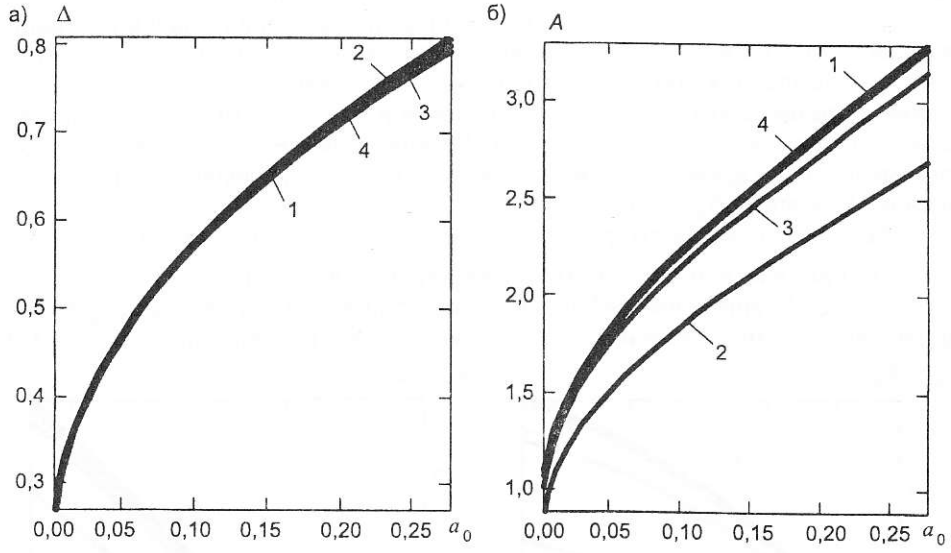


Рис. 3. Значения динамических характеристик Δ, *A* на контуре выреза при вертикальных колебаниях пластины с одним (*1*) или двумя вырезами при m = 1,5 (*2*); 3 (*3*); 10 (*4*)

В заключение отметим, что полученные результаты хорошо согласуются с данными, представленными в [2–5] и позволяют уточнять расчеты параметров жесткости и демпфирования свайного основания. Анализ показывает, что динамическое взаимодействие свай в кусте или наличие нескольких близко расположенных заглубленных фундаментов могут существенно влиять на получаемые оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятецкий В. М. Современные фундаменты машин и их автоматизированное проектирование/В. М. Пятецкий, Б. К. Александров, О. А. Савинов.— М.: Стройиздат, 1993.— 416 с.
2. Баранов В. А. О расчете вынужденных колебаний заглубленного фундамента/В. А. Баранов//Вопросы динамики и прочности: Тр. Рижского ПИ.— Рига, 1967.— № 14.— С. 195–209.

3. Нуждин Л. В. Жесткость и демпфирование вертикальных колебаний свайного фундамента в слоистом основании/Л. В. Нуждин, М. И. Забылин//Изв. вузов. Строительство и архитектура.— 1990.— № 12.— С. 36–41.
4. Головчан В. Т. О концентрации динамических напряжений в пластинке с двумя круговыми отверстиями/В. Т. Головчан//Прикладная механика.— 1967.— Т. III.— Вып. 11.— С. 23–28.
5. Гузь А. Н. Дифракция антисимметричных волн на ряде круглых вырезов в бесконечной пластине/А. Н. Гузь, В. Т. Головчан, М. А. Черевко// Прикладная механика.— 1974.— Т. X.— Вып. 8.— С. 56–61.
6. Zhou Cui-ying. Исследование механизма взаимодействия свай со слоистым грунтом при действии динамической и статической нагрузки/Zhou Cui-ying, Tan Xiang-shao, Li De-fu, Li Zhi-zhong, Wang Jin//Zhongshan daxue xuebao. Ziran kexue ban (Acta sci. natur. univ. Sutyatseni. Natur. Sci.).— 2001.— № 4.— С. 97–101.
7. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики/А. Н. Тихонов, А. А. Самарский.— М.: Наука, 1966.— 724 с.

© Нуждин Л. В., Гензе П. А., Попов В. Н., 2005

Получено 23.12.04

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.3

Н. А. МАШКИН, В. М. ХРУЛЕВ, доктора техн. наук, профессора (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ СИБИРИ

Показано развитие научных исследований в НГАСУ (Сибстрин) по научному направлению «Разработка новых строительных материалов и ресурсосберегающих технологий их производства» в период с 1930 по 2004 г.

Основоположником научных исследований в области строительных материалов в Сибстрине по направлению «Разработка новых строительных материалов и ресурсосберегающих технологий их производства» является первый завкафедрой строительных материалов (с 1933 по 1959 г.) д.т.н., проф. Михаил Николаевич Михайлов, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, чл.-кор. Академии строительства и архитектуры СССР. Его научные интересы были связаны с исследованием строительных гипсов и природных каменных материалов.

Еще в первые пятилетки М. Н. Михайлов вместе с проф. А. Д. Крячковым исследовал и описал многоцветные сибирские мраморы, завещая их строительству первого сибирского метрополитена.

Следующий этап развития материаловедческой науки на кафедре строительных материалов связан с завкафедрой (с 1959 по 1984 г.), заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, д.т.н., проф. Галиной Ивановной Книгиной — талантливым ученым с большим производственным опытом (главный инженер крупного химического завода).

Благодаря трудам Г. И. Книгиной и ее учеников была успешно решена проблема использования вскрышных пород (глиежей) Кузбасса для изготовления вяжущих, бетонов и других строительных материалов.

Ею создана научная школа «Разработка эффективных строительных материалов на минеральной основе из природного и техногенного сырья».

В 70-х годах для предприятий стройиндустрии городов Сибири (Новосибирск, Мирный, Иркутск, Омск и др.) разрабатывались оригинальные способы отделки панелей зданий: тиснение газобетонных панелей, отделка пористыми материалами (керамзит, опока и др.), а также научные исследования по улуч-

шению качества керамзитового гравия за счёт использования отходов промышленных предприятий Сибири.

Зародилось и новое для кафедры направление по созданию новых видов полимерных материалов, склеиванию и модифицированию древесины (проф. В. М. Хрулев). После образования кафедры полимерных и теплоизоляционных материалов (1971) это направление нашло развитие в рамках программы АН СССР «Химия древесины и ее компонентов» и программы Минвуза СССР «Сибирский лес».

В 1969 г. на одной из специальных кафедр Томского политехнического института была создана оригинальная микрокалориметрическая установка для изучения монокристаллов полупроводников. С помощью ученых-физиков удалось перевести ее с монокристаллов на исследование энергетических потенциалов (теплот смачивания, коэффициентов фильности и др.) глин, керамики, газобетонов, минеральных волокон и цементного камня в бетонах.

В. М. Хрулев вместе с учениками и последователями основал научную школу «Разработка и исследование композиционных материалов для строительства». По инициативе и силами кафедры проведены 19 Всесоюзных и региональных конференций с изданием сборников докладов по проблемам технологии клееных изделий, легких конструкций, защиты и модифицирования древесины в гг. Новосибирске, Тюмени, Кемерове, Иркутске, Уфе, Фергане, Оше, Джизаке, Самарканде.

Основными научными направлениями кафедры были: технология клееных деревянных конструкций; технология модифицирования строительных материалов; технология полимерных клеев и защитных покрытий; легкие бетоны с древесным заполнителем; теплоизоляция с использованием зол ТЭЦ, шлаков, древесных отходов; технология полимербетонов. По этим направлениям ежегодно публиковалось 25–30 работ, в том числе 1–2 монографии, выполнялось по 3–4 изобретения. Всего за 28 лет школой В. М. Хрулева опубликовано свыше 800 научных работ, 83 научных монографии, оформлено более 90 изобретений.

Создана также школа по теории и технологии композиционных материалов. Используя научную базу школы и накопленный в Новосибирске опыт, в ряде вузов были открыты кафедры композиционных материалов (Красноярск, Казань, Белгород). В Белгородском технологическом университете создан факультет композиционных материалов.

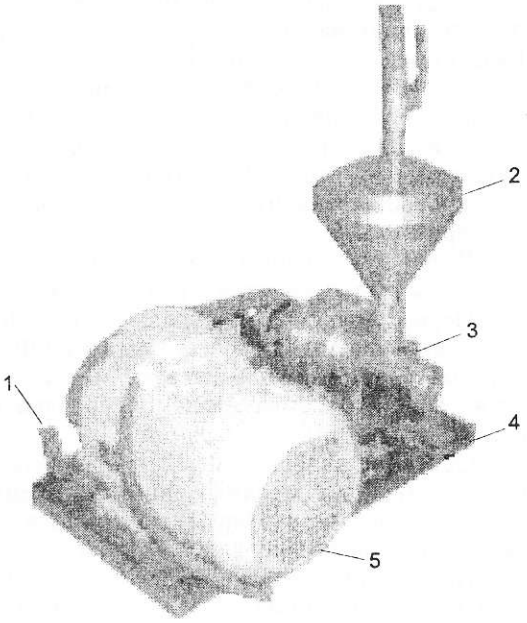
К 1998 г. произошло объединение кафедр строительных материалов и полимерных и теплоизоляционных материалов в единую кафедру строительных материалов и специальных технологий, которую в настоящее время возглавляет д.т.н., проф. Н. А. Машкин.

Кафедра активно участвует в научных исследованиях по программе «Строительство», а также представляет проекты на конкурсы грантов по фундаментальным исследованиям в области архитектуры и строительных наук. Обладателем грантов в 1994, 2000 и 2002 гг. стал д.т.н., проф. В. Ф. Завадский («Теоретические основы и технология получения лигноминеральных строительных материалов», «Разработка научно-технологического комплекса производства стеновой и кровельной керамики из активированного глинистого сырья»; «Разработка теоретических и технологических принципов производства изделий высокопористой строительной керамики»).

По программе «Строительство» в этот период выполнялись также госбюджетные темы «Использование техногенного сырья в технологии строительных материалов», «Теоретические основы пропитки древесины полимерами для повышения срока службы деревянных конструкций в шахтном строительстве», «Технология решетчатых полов животноводческих помещений с защитной пропиткой синтетическими полимерами и полимерной серой», «Разработка технологии модифицирования поверхности неорганических материалов кремнийорганическими соединениями».

В связи с повышением требований к теплозащите ограждающих конструкций с 2000 г. наиболее актуальными исследованиями кафедры становятся проблемы повышения качества теплоизоляционных ячеистых бетонов, керамических стеновых и теплоизоляционных минеральных материалов.

Новым направлением в научной деятельности кафедры стали исследования по применению диспергаторов-гомогенизаторов кавитационного типа в технологии строительных материалов (Н. А. Машкин). Исследования позволили повышать качество формовочных масс в технологии керамических материалов, активировать цементное тесто в производстве тяжелых и ячеистых бетонов, укреплять грунты в фундаментах зданий, существенно повышать качество битумных мастик и эмульсий, асфальтобетонов и полимербетонов, использовать при переработке древесных и других отходов в строительные изделия (рисунок).



Диспергатор-гомогенизатор кавитационного типа

1 — выходной патрубок; *2* — загрузочная воронка; *3* — кавитационная камера; *4* — станина; *5* — электродвигатель

При проведении структурных исследований кафедра тесно сотрудничает с Институтом неорганической химии и Институтом ядерной физики СО РАН.

Важной особенностью проводимых на кафедре исследований является их практическая направленность на удовлетворение потребностей строительной индустрии. Поэтому многие технологические разработки кафедры патентуются и внедряются в производство, например, применение глиежей в технологии строительных материалов и изделий (Г. И. Книгина — Сибирский регион), совершенствование технологии стеновой и художественной керамики (В. Ф. Завадский, Э. А. Кучерова, А. Ю. Паничев — НСО и Новосибирск), технология стеновых материалов из отходов ТЭС (В. И. Белан — Новосибирск), технология древесно-стружечных плит с пониженной эмиссией формальдегида (В. М. Хрулев, К. Я. Мартынов — Ташкент), технология модифицирования древесины (Н. А. Машкин, В. М. Хрулев — Навои, Усть-Каменогорск, Фергана, В. Пышма), технология щитового паркета (Н. А. Машкин, В. М. Хрулев — Кемерово), технология диагонального березового паркета (Н. А. Машкин — Новосибирск, Нижний Новгород), стационарные и передвижные сушильные камеры и технология сушки древесины (Н. А. Машкин, К. Я. Мартынов — Новосибирск), добавки в бетоны беспропарочного твердения (Н. А. Машкин — Якутск, Нижневартовск), технология гидрофобизации стеновых материалов кремнийорганическими соединениями (И. В. Генцлер — Новосибирск), технология пропитки цементно-стружечных плит расплавом серы (В. М. Хрулев, К. Я. Мартынов — Уфа), технология восстановления мягкой кровли (А. Т. Пименов — Новосибирск), технология пенобетона (В. Ф. Завадский — Барнаул), холодные полимербитумные кровельные мастики (Н. А. Машкин — Новосибирск, Нижневартовск), технология нанесения порошковых покрытий на фасадную керамику (Н. А. Машкин — Новосибирск), мобильные комплексы для производства ячеистых бетонов на основе диспергаторов кавитационного типа (Н. А. Машкин — Новосибирск) и др.

Основные проблемы, стоящие перед архитектурно-строительным комплексом Новосибирска,— это разработка и внедрение новых ресурсосберегающих технологий строительных материалов. За последнее пятилетие кафедрой предложен ряд современных высокоэффективных технологий в области производства железобетонных изделий, добавок в бетоны, ячеистых бетонов, лицевой керамики, минераловатных плит, гидрофобизации стеновых материалов, модифицирования и склеивания древесины, использования промышленных отходов в технологии строительных материалов.

По этим работам получено более 125 авторских свидетельств и патентов, технические решения реализованы в заводской практике и используются в учебных лабораториях. Результаты научных разработок, выполненных преподавателями кафедры и студентами, систематически представляются на выставке-ярмарке «Стройсиб» и удостаиваются медалей и дипломов ярмарки.

Кафедра поддерживает международные творческие связи и ведет работу по аттестации научных кадров в содружестве с вузами Украины, Белоруссии, Казахстана, Узбекистана, Киргизии.

Сотрудниками кафедры опубликовано свыше 1750 научных работ, в том числе 85 книг (из них 30 монографий, 5 учебников), 100 учебно-методических пособий, 50 брошюр научного содержания, справочные и нормативные издания, получено около 200 патентов и авторских свидетельств на изобретения, составляющих значительную часть фонда интеллектуальной собственности университета.

В работе научного направления принимают участие ученые кафедры «Системы качества, стандартизация и сертификация».

Первый заведующий кафедрой СКСС (с 1998 по 2001 г.) д. хим. н., проф., академик Академии проблем качества РФ, академик Нью-Йоркской Академии наук, менеджер РВ ТЮФ Валерий Михайлович Чермашенцев. В 2001–2004 гг.— д.т.н., проф., академик Академии проблем качества РФ Владимир Васильевич Коледин.

Основное направление научной деятельности кафедры — разработка научных и технологических принципов производства теплоизоляционных материалов на основе органоминерального и техногенного сырья и новых видов связующего вещества для получения композиционных материалов.

На кафедре выполнены несколько научных разработок, удостоенных наград Сибирской Ярмарки. Разработка «Производство и совершенствование технологии теплоизоляционных материалов на основе минеральной ваты» внедрена на заводе «Термиз» и награждена малой золотой медалью на конкурсе «Золотая медаль» «Стройсиб-2001».

Научно-исследовательская работа «Получение высокотемпературной теплоизоляции» награждена дипломом на конкурсе «Золотая медаль» Сибирской Ярмарки «Стройсиб-2002». Разработан и выдан инвестиционный бизнес-план по заказу завода «Спецжелезобетон» п. Горный, НСО, тема: «Завод по производству минеральной ваты и изделий на ее основе», 1999 г.

В состав научного направления входит также кафедра физики.

На кафедре сформировались три основных научных направления. Под руководством П. М. Плетнева велись работы по совершенствованию технологии, состава и методов определения электрофизических свойств изделий из функциональной керамики (ферриты, ВТСП). С. И. Линник с сотрудниками исследовали воздействие электрических полей на дисперсные системы. Г. В. Харламов был научным руководителем темы «Исследование механизмов гидратации клинкерных минералов методом ЭПР». Достаточно высокий теоретический и научно-технический уровень НИР был подтвержден внедрением разработок по ферритам на заводе им. Кузьмина (г. Новосибирск). За период с 1982 по 1992 г. на кафедре были защищены 4 кандидатские диссертации, опубликованы 52 научные работы.

В 1980 г. на кафедру был принят Владилен Геннадьевич Безбородов, который в 1996 г. защитил докторскую диссертацию и был избран завкафедрой. Им начат цикл исследований структуры и свойств ячеистых материалов и дисперсно-армированных бетонов.

Активно участвует в работе направления кафедра «Строительные машины, автоматика и электротехника», которой руководит засл. изобретатель РФ, д.т.н., проф. Эдуард Александрович Абраменков.

Доцент кафедры Н. А. Клушин (работал до 1963 г.) способствовал организации научно-исследовательской лаборатории строительных ручных машин ударного действия. Лаборатория стала центром создания теоретических основ новых типов пневматических машин ударного действия, где сотрудниками кафедры были подготовлены и защищены докторские и кандидатские диссертации. Он вместе с проф. Б. В. Суднишниковым (Институт горного дела СО АН

СССР) разработал и внедрил в производство на Томском электромеханическом заводе им. Вахрушева (ТЭМЗ) вибробезопасные пневматические рубильные и отбойные молотки, на Свердловском заводе «Пневмостроймашина» — пневмоломы и вибробезопасную пневматическую трамбовку.

Профессор Д. Г. Суворов имеет более 50 авторских свидетельств по пневматическим механизмам. Профессор Э. А. Абраменков является руководителем научного направления «Современные проблемы технологии, организации, механизации и автоматизации строительства». Он автор более 120 научных работ и более 210 изобретений, защищенных а.с. СССР, и патентами РФ, Англии, Германии, США, Японии, Италии, Франции.

В течение 1965–85 гг. на кафедре были выполнены работы для комбината № 7 и завода № 9 Новосибирского управления строительных материалов, заводов ЖБИ, гипсовых изделий № 1, технического управления Главзапсибстроя, ВНИИСМИ (г. Москва), ТЭМЗ им. В. В. Вахрушева (г. Томск) и других организаций.

В 1985 г. кафедрой подписаны договора о творческом сотрудничестве с ТЭМЗ им. В. В. Вахрушева, в 1990 г.— с ИГД СО РАН (лабораторией динамики пневматических машин ударного действия) по вопросам совершенствования пневматических ручных машин ударного действия (рубильные, клепальные и отбойные молотки и ломы, трамбовки).

С 1976 г. на кафедре работает заведующий секцией «Автоматизация строительства» д.т.н., проф. Н. А. Попов, являющийся ведущим специалистом по электротехнике, электрооборудованию и автоматике в строительстве. Много сил и времени он уделяет разработке регулируемых осевых вентиляторов для метрополитенов и шахт, а также систем автоматического управления вентиляторными установками. Эта работа проводится им совместно с Институтом горного дела СО РАН.

С 1992 г. на кафедре работает к.т.н., проф. М. А. Ахмаметьев. Многолетнее сотрудничество с Институтом автоматики и электрометрии СО РАН связано с созданием оптико-электронных приборов, в частности установки для контроля светопропускания оконных блоков. Им опубликовано свыше 100 печатных работ, в том числе получено 20 авторских свидетельств и патентов РФ, создано свыше 20 измерительных приборов и систем.

Заведующий кафедрой химии (с 1977 по 1995 г.) засл. деятель науки и техники РФ, академик ЖКА, д.т.н., проф. Геннадий Ильич Бердов развил научное направление по химической технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

С 1976 по 1981 г. на кафедре химии велась активная хоздоговорная работа по тематике, близкой к профилю вуза, «Исследование коррозионной стойкости бетонов в жидких агрессивных средах», выполняемой совместно с кафедрой ЖБК, а также исследование химического и фазового состава рыхлых донных отложений в Кучукском озере — совместно с кафедрой гидравлики. Совместно с учеными СО АН СССР выполнена хоздоговорная работа по изучению роданистых электролитов серебрения.

Начиная с 1977 г. работы велись по двум основным направлениям:

интенсификация твердофазных химических реакций действием электрического поля высокой частоты;

исследование адсорбционных и ионообменных процессов при протекании гетерогенного взаимодействия твердое тело — жидкость.

Оба эти направления включены в программы СО АН СССР «Сибирь» и в программу научно-исследовательских работ по проблеме «Химия твердого тела» СО АН СССР на 1986–1990 гг.

Результаты исследования адсорбционных и ионообменных процессов при протекании гетерогенного взаимодействия твердое тело — жидкость позволили разработать комплекс методов экспресс-контроля, позволяющих определить структуру, состав, свойства дисперсных материалов, прежде всего глин, которые широко применяются при получении строительных материалов. Это составляет основу регулирования и повышения их качества. Разработан ряд методов прогнозирования активности цемента и интенсификации твердения бетона.

Отличительной особенностью научных работ, проводимых в рамках научного направления «Разработка новых строительных материалов и ресурсосберегающих технологий их производства», является их практическая направленность на развитие архитектурно-строительного комплекса, совершенствование строительной индустрии Новосибирска и Западной Сибири, тесного сотрудничества ученых различных кафедр, а также представителей СО РАН.

© Машкин Н. А., Хрулев В. М., 2005

Получено 23.12.04

УДК 691.327 : 666.973.6

В. Ф. ЗАВАДСКИЙ, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОБЕТОНА НА НОВЫХ ВИДАХ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ*

Статья посвящена вопросам оптимизации технологических параметров получения газобетона на альбитофировом и диабазовом дисперсном наполнителе.

Установлено, что на новых видах наполнителей получен газобетон со средней плотностью 530–600 кг/м^3. Использование дисперсных наполнителей исключает из технологий энергоемкую операцию помола.

Отечественные ячеистые бетоны по теплотехническим свойствам не уступают бетонам иностранных фирм и имеют теплопроводность в сухом состоянии от 0,10 до 0,14 Вт/м·^{0}С при величине средней плотности 400–600 кг/м^3, однако объем производства изделий с пониженной плотностью не удовлетворяет потребности строительного рынка.

Возможность производства стеновых изделий из ячеистого бетона средней плотностью 400–500 кг/м^3 и менее является вполне реальной при разработке новых и совершенствовании существующих технологий производства, создании наиболее эффективных порообразователей, а также применении новых видов наполнителей.

Традиционно ячеистые бетоны и изделия на их основе получают на основе кварцевого песка, реже зол ТЭС, металлургических шлаков или их смесей [1]. При этом для обеспечения требуемой прочности и низкой средней плотности обязательной в технологии ячеистых бетонов является операция помола кремнеземистого компонента или совместный помол его с цементом [2].

Установлено, что для гарантированного обеспечения получения газобетона с величиной средней плотности 400–500 кг/м^3 необходимо использование кварцевого песка с удельной поверхностью 2500–3000 см^2/г (К. Э. Горяйнов, 1966 г.). Расход электроэнергии на помол кварцевого песка с учетом его потребности на 1 м^3 ячеистого бетона составляет 4,5–7 кВт·ч.

Поиск и апробирование новых эффективных видов наполнителей для ячеистых бетонов, особенно тонкодисперсных природных или техногенных продуктов, применение которых не требует операции дробления и помола, является актуальной задачей.

Отдельные эксперименты показывают, что потенциальным источником регионального сырья для получения ячеистых бетонов могут служить попутные продукты от дробления таких горных пород, как альбитофиры, диабазы, граниты, известняки, сланцы и др. В каждом конкретном варианте требуется проведение испытаний по подбору составов и параметров получения ячеистых бетонов с учетом химического, минералогического и фазового состава новых видов наполнителей.

В Российской Федерации ежегодно образуется около 3,5 млрд т отходов горно-рудных предприятий, из которых строительная индустрия способна ути-

* Работа выполнена по плану НИР и финансовой поддержке НГАСУ (Сибстрин)

лизировать до 27% таких отходов, но используется в настоящее время около 4% этого вида минерального сырья [3].

Выход отсевов дробления, образующихся после второй и третьей стадий дробления, достигает 25% от объема перерабатываемой горной породы [4]. Кроме того, значительное количество отходов образуется в виде высокодисперсных продуктов из системы пылеочистки. Например, на ОАО «Каменный карьер» (пос. Горный Новосибирской обл.) при дроблении альбитофировых и диабазовых горных пород на щебень ежесуточно образуется более 10 т дисперсных попутных продуктов из системы пылеочистки, которые в настоящее время не находят целенаправленного применения и, находясь в отвалах, усложняют экологическую обстановку в районе.

В работе [5] предлагается использовать для изготовления ячеистых бетонов неавтоклавного твердения мелкую фракцию (размер 0,315 мм и менее) отсева от дробления метаморфических сланцев. Повышенная водопотребность и воздухововлечение бетонных смесей на их основе является причиной перерасхода вяжущего. Для получения ячеистого бетона с более высокими прочностными характеристиками при одинаковом расходе вяжущего авторами рекомендуется применять вакуум-камеру при формовании изделий.

Сотрудниками кафедры СМиСТ НГАСУ (Сибстрин) впервые предложено использовать в производстве ячеистых бетонов в качестве наполнителя дисперсные попутные продукты от дробления альбитофировых и диабазовых горных пород на щебень для бетонов [6].

Анализ патентной и технической литературы показал, что для получения ячеистых бетонов альбитофировые и диабазовые дисперсные продукты не применяются.

В работе исследовались пробы альбитофировых и диабазовых материалов, отобранных из бункеров циклонов пылеочистки на ОАО «Каменный карьер» пос. Горного (НСО).

Альбитофировые горные породы относятся к группе кислых эффузивных пород щелочного ряда с вкрапленниками и микролитами основной массы, представленными главным образом альбитом Na $[AlSi_3O_8]$ — 75–87%, также в состав входят: кварц — 6–10%, хлорит, гидрохлорит — 6–7%, лейкоксен — 2–3%, карбонат — 1–2%, магнезит — 1—2%. Химический состав пород, %: SiO_2 — 67,68; Al_2O_3 — 14,23; Fe_2O_3 — 5,7; TiO_2 — 7,17; R_2O — 7,38; CaO — 1,11; MgO — 0,88; ППП — 0,72. Истинная плотность пород — 2,4 г/см^3.

Насыпная плотность альбитофирового дисперсного порошка из циклонов составляет 1,1–1,3 т/м^3, а их удельная поверхность, определенная на приборе ПСХ-4, колеблется в пределах 2500–3000 см^2/г.

Диабаз — интрузивная гипабиссальная мелкозернистая порода основного состава, состоящая из основного плагиоклаза и пироксена, которые принадлежат к силикатам цепочечной структуры с радикалом $[Si_2O_6]^{4-}$, построенном из кремнекислородных тетраэдров $[SiO_4]$, с большим содержанием в составе железистомагнезиальных силикатов. Истинная плотность диабаза достигает 2,8 т/м^3. Насыпная плотность диабазового порошка равна 1,5 т/м^3, удельная поверхность 2500–3000 см^2/г.

Специфика фазового и химического состава, а также высокая дисперсность порошков и микрошероховатость частичек будут определять особенности реологических свойств литьевых шламов и поризованных масс на их основе и протекания процессов гидратации и твердения альбитофировых и диабазовых поризованных масс с использованием минеральных вяжущих веществ, в том числе портланд- и шлакопортландцементов.

Диабазовые и альбитофировые дисперсии применялись в качестве наполнителя при приготовлении формовочных шламов, алюминиевая пудра — в качестве газообразователя, а воздушная строительная известь добавлялась в количестве до 10% для обеспечения щелочной среды и протекания процесса газообразования, кроме того, известь способствует снижению оседания газонасыщенной массы до ее затвердевания и повышению прочности готовых изделий ячеистой структуры.

Проводились исследования по изучению технологических свойств растворных смесей, шламов и поризованных масс на основе тонкодисперсных по-

путных продуктов от дробления альбитофировых и диабазовых горных пород в сравнении с цементно-песчаными массами.

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики свойств цементно-песчаных, альбитофиро- и диабазоцементных растворов.

Таблица 1

Сравнительные характеристики свойств растворов*

Раствор	Расплыв конуса при В/Ц = 0,47, мм	Средняя плотность, т/м³	Прочность при сжатии, МПа	ККК ($R_{сж}/\rho_m$)	Водопоглощение по массе, %
Альбитофироцементный	103	1,6	9,92	6,2	13
Диабазоцементный	115	1,85	8,5	4,1	15
Цементно-песчаный	116	2,0	11,20	5,6	10

* Данные при испытании образцов нормального твердения.

Для сравнения водопотребности альбитофироцементного и цементно-песчаного растворов измерялась осадка конуса по методике определения нормальной консистенции цементно-песчаного раствора ГОСТ 310,4-81. Полученные данные показывают, что для получения раствора на основе альбитофирового порошка требуемой консистенции требуется большее количество воды затворения, что связано с высокой дисперсностью и микропористостью используемого материала.

Альбитофироцементные растворные образцы имеют меньшую величину средней плотности и прочности при сжатии по сравнению с цементно-песчаными, но коэффициент конструктивного качества выше. Обусловливается это активностью альбитофирового порошка по отношению к портландцементу.

Апробировались составы, содержащие в качестве наполнителя при получении неавтоклавного газобетона альбитофировые дисперсные порошки, а также составы, где часть альбитофира была заменена на молотый кварцевый песок.

Экспериментальные данные показывают, что минимальное значение средней плотности соответствует составу газобетона, в котором в качестве наполнителя используются, мас. %: альбитофировый дисперсный порошок — 70, кварцевый песок — 30. Увеличение содержания кварцевого песка в смеси ведет к повышению средней плотности газобетона на 25–30%.

Для обеспечения требуемой текучести альбитофировяжущего шлама водотвердое отношение (В/Т) составляло 0,45–0,50, а с увеличением дозировки песка В/Т снижалось до 0,40.

Для получения неавтоклавного газобетона требуемой прочности и при меньшей величине средней плотности определялось оптимальное значение отношения количества альбитофирового и диабазового наполнителя к количеству цемента в смеси «С».

При снижении количества вяжущего в смеси наблюдается резкое падение прочности газобетонных образцов. Увеличение содержания портландцемента в смеси ведет к повышению прочности, но при этом также повышается средняя плотность. Это обусловлено быстрым набором структурной прочности, что потенциально сокращает время процесса вспучивания смеси. Оптимальным для получения альбитофиро- и диабазового газобетона требуемой плотности и прочности является значение С = 0,75.

На примере газобетона на альбитофировом наполнителе были оптимизированы его состав и технологические параметры получения по плану трехфакторного эксперимента на двух уровнях варьирования.

В качестве факторов варьирования приняты:

x_1 — содержание альбитофирового наполнителя:

x_2 — водотвердое отношение;

x_3 — температура формовочного шлама.

В качестве основных свойств определялись:

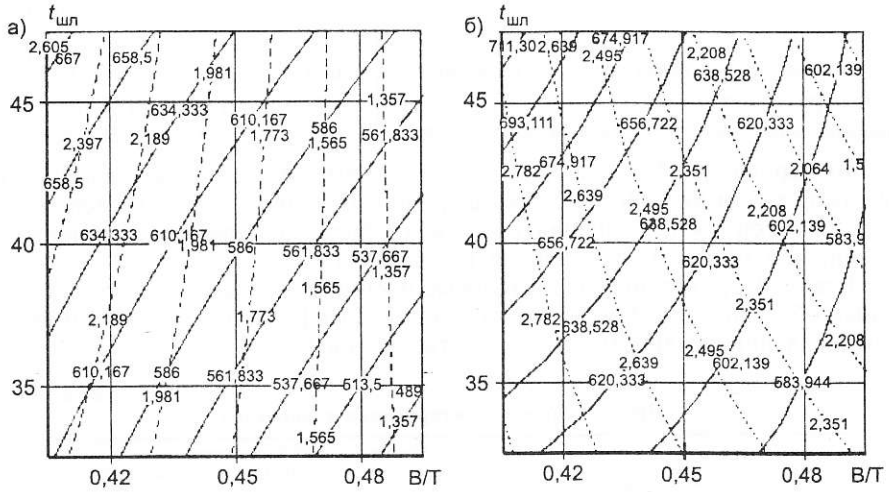
средняя плотность (Y_1) и прочность при сжатии (Y_2).

По результатам эксперимента получено два уравнения регрессии:

$$Y_1 = 607{,}75 - 19{,}25x_1 - 36{,}25x_2 + 25{,}50x_3 - 5{,}75x_1x_2 +$$
$$+ 5{,}00\,x_1x_3 - 2{,}00x_2x_3 + 5{,}00x_1x_2x_3;$$

$$Y_2 = 2{,}136 - 0{,}301x_1 - 0{,}336x_2 - 0{,}041x_3 - 0{,}059x_1x_2 +$$
$$+ 0{,}091\,x_1x_3 - 0{,}049x_2x_3 - 0{,}001x_1x_2x_3.$$

Анализ уравнений проводился методом сечений с использованием математического пакета «Mathcad» и были построены графики линий равного уровня. Для этого одному из варьируемых факторов задавалось постоянное значение (максимальное, минимальное или среднее), а по двум другим строился график. Таким образом, оценивая полученные 9 графиков, были выбраны 2 графика, наиболее наглядно описывающие зависимость средней плотности и прочности газобетона от водотвердого отношения и температуры формовочного шлама при минимальном и максимальном содержании альбитофирового наполнителя (рисунок).



Зависимость величины средней плотности и прочности при сжатии альбитофирогазобетона от водотвердого отношения (В/Т) и температуры формовочного шлама (°С) при минимальном (*а*) и максимальном (*б*) содержании наполнителя

----- прочность при сжатии, МПа; —— средняя плотность, кг/м^3

Увеличение содержания наполнителя в смеси на 5–7% повышает среднюю плотность газобетона на 30–70 кг/м^3, оптимальной является величина «С», равная 0,75.

Повышение температуры формовочного шлама ведет к повышению средней плотности газобетона, что связано с быстрым набором структурной прочности поризованной массы и сдерживанию процесса вспучивания.

Оптимальной по свойствам газобетона является область, соответствующая температуре формовочного шлама 35–37°С и водотвердому отношению 0,44–0,47 при отношении наполнителя к вяжущему от 0,6 до 1, в этой области газобетон на основе альбитофирового наполнителя имеет среднюю плотность 530–630 кг/м^3 и прочность при сжатии 1,55–2,55 МПа.

Сравнительные свойства газобетонных смесей и образцов на основе альбитофирового, диабазового наполнителей и кварцевого песка приведены в табл. 2.

Меньшая величина водопоглощения альбитофирогазобетона при меньшем показателе средней плотности объясняется большим содержанием замкнутых пор в структуре газобетона на альбитофировом наполнителе. Возможно, на начальных стадиях структурообразования газобетона на кварцевом песке в большей степени проявляется процесс коалисценции.

Проводился сравнительный анализ свойств альбитофирогазобетонных образцов, твердевших в нормальных условиях (t = 20°С, влажность 90%) и при пропаривании ($t_{проп}$ = 80–90°С, время пропаривания — 8 ч). Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 2

Сравнительные характеристики свойств газобетона

Газобетон	Оптимальные для вспучивания		Средняя плотность, т/м^3	Прочность при сжатии, МПа	ККК* ($R_{сж}/\rho_m^2$)	Водопоглощение, мас.%
	В/Т	Температура смеси, °С				
На альбитофировом наполнителе	0,47	35	0,58	2,29	6,81	55
На диабазовом наполнителе	0,45	40	0,60	1,9	5,3	58
На кварцевом песке	0,4	45	0,71	2,65	5,25	60

* ККК рассчитывался по представленной формуле, рекомендуемой К. Э. Горяйновым (1982) для пористых штучных материалов.

Таблица 3

Набор прочности газобетона на альбитофировом и диабазовом наполнителе

Режим твердения	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа			
		Время твердения, сут			
		Пропаривание в течение 8 часов	7	14	28
Нормальные условия альбитофировых образцов	600	–	0,39	1,11	1,46
То же, пропаривание	600	1,24	1,87	2,21	2,35
Пропаривание образцов на диабазовом наполнителе	600	1,1	1,56	2,0	2,15

Пропаривание образцов при температуре 80–90°С ускоряет набор прочности газобетоном на основе альбитофирового порошка. Образцы, испытанные через 28 суток после пропаривания, имеют большее значение прочности при сжатии, чем образцы, твердевшие в нормальных условиях.

В табл. 4 приведены сравнительные прочностные характеристики газобетонных образцов, полученных на основе альбитофирового порошка и кварцевого песка при различных условиях твердения [7].

Таблица 4

Прочностные характеристики газобетона

Режим твердения	Прочность (МПа) газобетона, приведенного к плотности 600 кг/м^3, на различных наполнителях		
	альбитофировый	кварцевый песок	диабазовый
28 суток в нормальных условиях	1,46	2,19	1,35
Пропаривание + 14 суток в нормальных условиях	2,21	1,87	2,0

Более высокая прочность альбитофирогазобетона по сравнению с газобетоном на кварцевом песке обусловлена активностью альбитофирового порошка по отношению к портландцементу.

Пропаривание активизирует процесс твердения газобетонных образцов на основе альбитофирового порошка. Под действием высоких температур природные минералы, составляющие альбитофиры, переходят в связное состояние с образованием эттрингита, портландита и гидросиликатов кальция, определяющих прочность альбитофироцементного газобетона, а вернее, его межпоровых перегородок.

С помощью рентгенофазового анализа проводилось определение минерального состава исходного альбитофирового наполнителя и проб затвердевшего альбитофироцементного газобетона.

На дифрактограммах затвердевшего камня отмечается яркий пик с d/n = 0,304 нм, характерный для вторичного карбоната кальция $CaCO_3$. На всех кривых отмечаются линии с d/n = 0,426 и 0,335 нм, подтверждающих наличие SiO_2, причем эти пики у альбитофира значительно больше по сравнению с затвердевшими альбитофироцементными образцами. Это подтверждает, что свободный кварц, находящийся в альбитофире, перешел в связное состояние с образованием гидросиликатов кальция (CSH), которые регистрируются по пику с d/n = 0,493 нм. Важно отметить, что эта линия более

значимая у пропаренных образцов, которые при одинаковой плотности имеют большую прочность. Наличие кристаллических новообразований в структуре альбитофироцементного камня фиксируется по активным дифракционным линиям с d/n = 0,320 нм. Наименьшие пики для проб из этих образцов в диапазоне линий 0,426–0,367 нм по сравнению с образцами альбитофира подтверждают, что природные минералы, составляющие альбитофиры, перешли в связное состояние с образованием эттрингита (0,387; 0,275 нм), портландита (0,493; 0,264 нм) и гидросиликатов кальция (0,278; 0,209 нм), определяющих прочность альбитофироцементного газобетона, а вернее, его межпоровых перегородок.

Выводы. Заменяя молотый кварцевый песок в сырьевой смеси на альбитофировый или диабазовый наполнитель, можно получить неавтоклавный газобетон с лучшими техническими характеристиками. Регулируя содержание ингредиентов и технологических параметров, возможно получение альбитофиро- или диабазового газобетона с величиной средней плотности в диапазоне 530–600 кг/м^3.

Установлено, что пропаривание газобетонных образцов на основе альбитофирового или диабазового наполнителя активизирует процесс твердения, и их конечная прочность выше на 30–35%, чем у образцов, твердевших в нормальных условиях.

3. Предварительные расчеты показывают, что себестоимость 1 м^3 ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе дисперсного альбитофирового и диабазового наполнителя по сравнению с бетонами на кварцевом песке будет ниже на 15–20%. Это связано с исключением из технологии операции помола, использованием отходов и меньшей температурой формовочного шлама на новых видах наполнителей.

4. Организация производства газобетонных строительных изделий с применением дисперсных отходов камнедробления рекомендуется на предприятиях по переработке горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерябин П. П. Технология строительных изделий из ячеистых бетонов/П. П. Дерябин, В. Ф. Завадский, А. Ф. Косач, В. А. Попов.— Омск: СибАДИ. 2004.— 107 с.
2. Волженский А. В. Технология и свойства изделий из неавтоклавного газобетона с нормативными влажностью и теплопроводностью/А. В. Волженский, Ю. Д. Чистов, Т. А. Карпова, А. А. Исхакова//Строительные материалы.— 1990.— № 11.— С. 7—8.
3. Кокунько В. К. Создание и развитие новой сырьевой базы строительных материалов на основе попутно добываемых пород и отходов горно-рудных предприятий/В. К. Кокунько//Строительные материалы.— 1994.— № 4.— С. 4—6.
4. Нисневич М. Л. Использование отсевов дробления горных пород в технологии бетона/М. Л. Нисневич, Г. А. Сиротин//Строительные материалы.— 2003.— № 11.— С. 8—9.
5. Кузнецов В. Д. Мелкозернистые и ячеистые бетоны на отходах дробления скальных пород/В. Д. Кузнецов, И. А. Кузнецова/Строительные материалы.— 1994.— № 4.— С. 15—16.
6. Завадский В. Ф. Новый вид наполнителя для ячеистого бетона/В. Ф. Завадский, Г. Н. Фомичева, И. В. Камбалина//Строительные материалы.— 2004.— № 7.— С. 60—61.
7. Фомичева Г. Н. Влияние вида кремнеземистого компонента на технологические параметры получения и свойства неавтоклавного газобетона/Г. Н. Фомичева//Образование, наука, производство и управление в XXI веке: Сб. тр. Междунар. конф.— Старый Оскол, 2004.— С. 222—223.

В статье использованы некоторые результаты, полученные совместно с аспирантом Фомичевой Г. Н.

© Завадский В. Ф., 2005

Получено 23.12.04

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 624.132.345 : 693.547.3

Ю. А. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

НЕТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ТРАДИЦИОННЫХ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Описан способ решения актуальных задач энергосбережения в строительстве, использующий возможности метода математического моделирования сложных физических и организационно-технологических процессов и основанный на синтезировании таких областей знаний, как строительная теплофизика, гидравлика и современные методы вычислительной математики. Даны примеры решения задач энергосбережения при зимнем бетонировании строительных конструкций, при производстве земляных работ способом гидромеханизации, а также при повышении термической устойчивости вечномерзлых грунтовых оснований зданий и сооружений.

Высокая стоимость электроэнергии обусловила в современных условиях строительства необходимость пересмотра традиционного подхода к обоснованию параметров технологических процессов. Это можно показать на конкретных примерах нетрадиционного решения задач энергосбережения при зимнем бетонировании строительных конструкций, в строительной гидромеханизации земляных работ и при повышении термической устойчивости вечномерзлых грунтовых оснований зданий и сооружений.

Энергосберегающая технология зимнего бетонирования строительных конструкций. В процессе создания теории и методов зимнего бетонирования активное участие приняли научные школы академика К. С. Завриева, профессоров А. С. Арбеньева, С. А. Миронова, Б. Г. Скрамбаева. Большой вклад в разработку и совершенствование технологии зимнего бетонирования внесли отечественные ученые — И. Н. Ахвердов, Ю. М. Баженов, В. Я. Гендин, А. М. Гинзбург, А. И. Гныря, С. Г. Головнев, Н. Н. Данилов, В. И. Зубков, И. А. Кириенко, Б. А. Крылов, А. Р. Соловьянчик, В. Д. Топчий и др.

В научной школе кафедры «Технология строительного производства» НГАСУ (Сибстрин) обратили внимание на то обстоятельство, что все известные методы расчетного обоснования режимов тепловой обработки бетона при зимнем бетонировании строительных конструкций довольно четко разделяются на две самостоятельные группы:

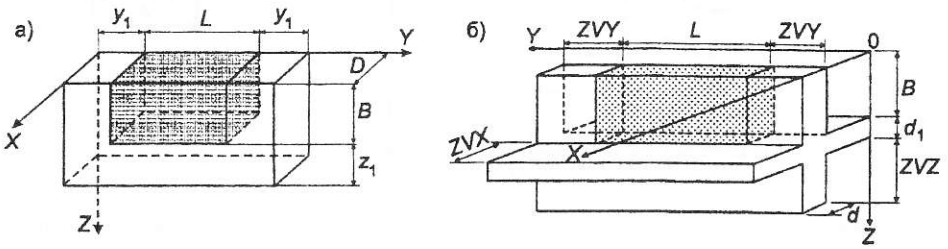
1) методы, основанные на интегральном учете теплового баланса бетона;

2) методы, основанные на аналитическом решении краевых задач.

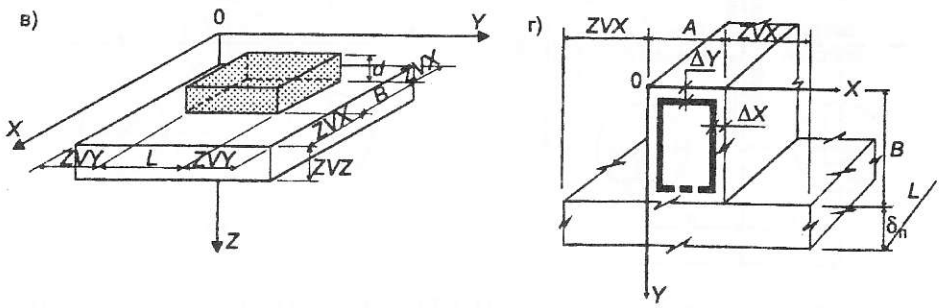
Ограниченные возможности методов как первой, так и второй расчетных групп (в первом случае именно из-за интегрального характера учета теплового баланса бетона, во втором — из-за ограниченных возможностей аналитического решения краевых задач) привели к тому, что в учебной и справочно-нормативной литературе, а также в отдельных публикациях превалировал метод изотермического выдерживания бетона, что, в свою очередь, не позволяло «включить» механизм полезного использования тепловой инерции бетона с помощью регулируемых (прерывного, ступенчато-непрерывного, дифференцированного по граням конструкций) режимов тепловой обработки. При этом напомним, что действующие нормативные документы регламентируют не только предельно допустимые значения максимальной (для предотвращения перегрева бетона) и минимальной (для предотвращения недогрева бетона) температур по всему объему конструкции, но и скорость нарастания температуры бетона после начала его тепловой обработки и скорость снижения температуры бетона после окончания его тепловой обработки также по всему объему конструк-

ции. В наших публикациях по этому вопросу [1–4 и др.] показано, что существующие расчетные методы не позволяют осуществить контроль выполнения нормативных требований как на стадии разработки проекта производства работ, так и на стадии практической реализации такого контроля в процессе производства работ непосредственно на объекте.

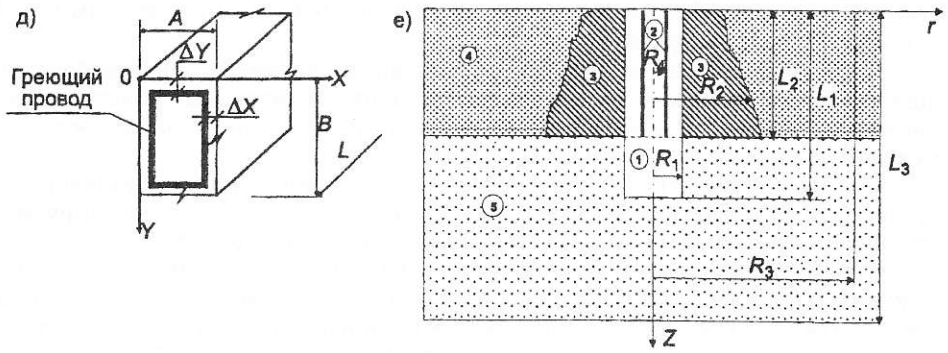
Применив нетрадиционный для данной области инженерных знаний метод математического моделирования сложных физических процессов и организационно-технологических схем в совокупности с синтезом различных областей знаний (строительная теплофизика, современные методы вычислительной математики и технология строительных процессов), автор вместе со своими учениками нашел способы полезного использования тепловой инерции бетона в нижеприведенных строительных конструкциях (рис. 1).



Фрагмент стены, примыкающий к ранее возведенным участкам стены (*а*):
y_1, z_1 — зоны теплового влияния фрагмента на ранее возведенные участки стены
Фрагмент стены, примыкающий к ранее возведенным участкам стены и плите перекрытия (*б*):
ZVX, *ZVY* и *ZVZ* — зоны теплового влияния фрагмента

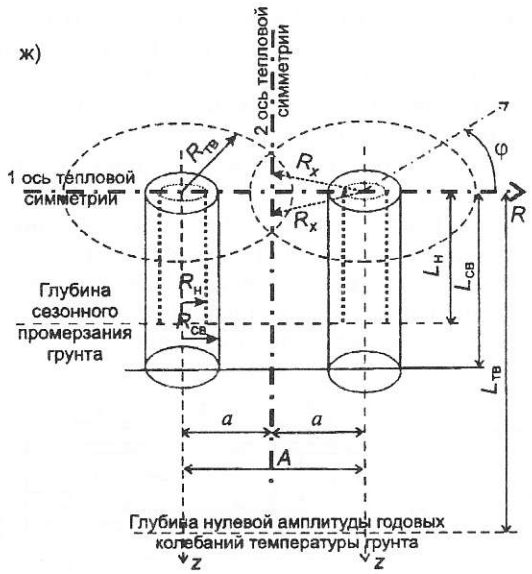


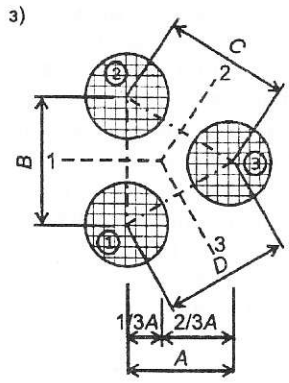
Фундаментный блок на мерзлом грунтовом основании (*в*):
ZVX, *ZVY* и *ZVZ* — зоны теплового влияния блока на грунтовое основание (с расчетом динамики ореола оттаивания и его дальнейшим промерзанием)
Балка на плите перекрытия (*г*)



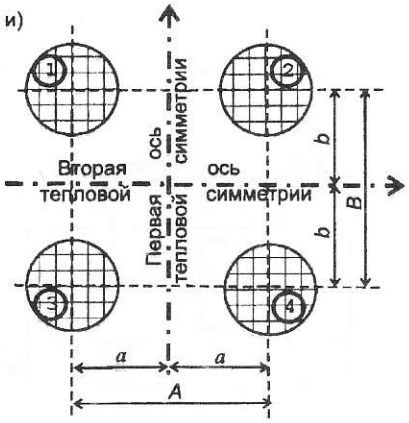
Колонна равного сечения (*д*)
Одиночная буронабивная свая (*е*):

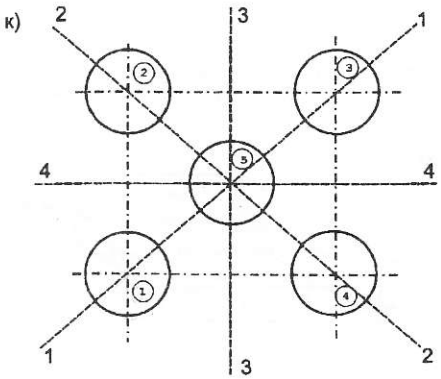
1 — буронабивная свая; *2* — нагревательные элементы, установленные на арматурном каркасе; *3* — оттаявшая сезонная мерзлота; *4* — сезонномерзлый грунт; *5* — талый грунт; L_1 — длина сваи; L_2 — глубина сезонного промерзания грунта; L_3 — глубина нулевой амплитуды годовых колебаний температуры грунта; R_1 — наружный радиус сваи; R_2 — радиус талика от теплового воздействия сваи на мерзлый грунт; R_3 — радиус теплового влияния сваи; R_4 — радиус, соответствующий месту установки греющих проводов





Типовой куст из двух буронабивных свай (*ж*). Типовой куст из трех буронабивных свай (*з*)





Типовой куст из четырех буронабивных свай (*и*). Типовой куст из пяти буронабивных свай (*к*)

Рис. 1. Расчетные схемы строительных конструкций призматической (*а, б, в, г, д*) и цилиндрической (*е, ж, з, и, к*) форм

В настоящее время исследования продолжаются в направлениях:

радикальной переработки пакета программных продуктов для конструкций призматической формы с целью дифференцированной (по граням конструкции) тепловой обработки бетона;

разработки метода расчетного обоснования параметров энергосберегающей технологии зимнего бетонирования стыков строительных конструкций с численной аппроксимацией дифференциального уравнения теплопроводности методом конечных элементов;

подготовки для регистрации в Федеральном фонде интеллектуальной собственности пакетов программных продуктов для обоснования регулируемых (по интенсивности и по граням) режимов тепловой обработки бетона;

разработки автоматизированной системы (на базе компьютера) управления режимом тепловой обработки бетона с целью обеспечения минимальных удельных энергозатрат и исключения влияния «человеческого фактора» на качество бетона.

Разработанная энергосберегающая технология зимнего бетонирования строительных конструкций получила высокую оценку:

медали на Всероссийском конкурсе МОиН на лучшую студенческую НИР (2000 и 2001 гг.); первое место на Всероссийском конкурсе МОиН на лучшую магистерскую диссертацию (2001 г.);

Малая золотая медаль Сибирской ярмарки (2004 г.).

Обоснование проектной грунтопроизводительности земснарядов с выводом грунтонасосов из нештатных ситуаций и реализацией резервов штатных ситуаций. Несмотря на общепризнанные преимущества гидромеханизированного способа производства земляных работ (неразрывность и высокая степень механизации и автоматизации всех технологических процессов от подводной разработки грунта до его укладки в сооружение, относительно низкие себестоимость, удельные трудо- и энергозатраты, постоянное и равномерное потребление мощности и др.), практически реализовать эти преимущества удается, как правило, лишь частично. Основные причины:

1) полное несоответствие нормативной базы в гидромеханизации конкретным условиям производства работ;

2) весьма низкий кавитационный запас грунтонасосов (ГН) серийно выпускаемых земснарядов, что, в свою очередь, приводит к разработке карьеров не на полную глубину полезной залежи (заметим, что более 60% природных обводненных месторождений нерудных строительных материалов (НСМ) в России разработаны не на полную глубину нижней границы полезной залежи, а потому не рекультивируются, ожидая повторной разработки).

До того как в научной школе кафедры технологии строительного производства НГАСУ (Сибстрин) обратили внимание на первое из указанных выше обстоятельств, специалисты гидромеханизации всех профилей (исследователи, проектировщики, производственники), во-первых, рассматривали трубопровод в отрыве от нагнетателя (ГН), т. е. как автономный элемент сложной самонастраивающейся гидравлической системы вида «Грунтонасос (ГН) $\rightleftarrows$ Трубопроводная сеть ГН», что, в свою очередь, не отвечает объективному закону сохранения энергии: любой нагнетатель развивает только такой напор или только такое давление, которое необходимо для преодоления гидравлического сопротивления подсоединенной трубопроводной сети, во-вторых, при определении проектной грунтопроизводительности земснарядов пользовались среднестатистическими данными удельного расхода воды на разработку, транспорт и укладку грунта в зависимости от группы грунта по трудности его разработки земснарядами. Для устранения указанных выше причин отсутствия достаточно достоверного метода расчетного обоснования проектной грунтопроизводительности земснарядов в НГАСУ (Сибстрин):

1. Систематизированы штатные и нештатные ситуации в режимах работы грунтонасосов (рис. 2).

2. Впервые в мировой инженерной практике теоретически (методом математической (итерационной) имитации процесса самонастройки сложных гидравлических систем ГН с одним (во всасывающем трубопроводе) или двумя

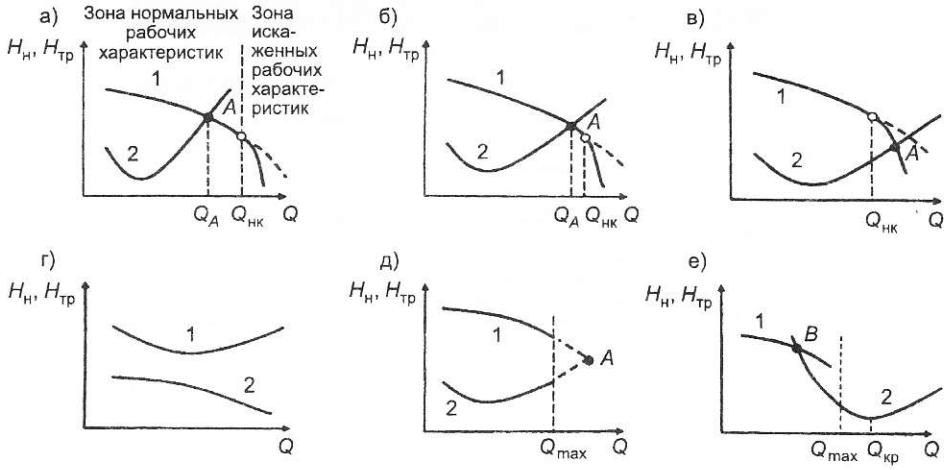


Рис. 2. Возможные ситуации в режимах работы ГН

а — штатная ситуация при наличии кавитационного запаса ГН; *б* — то же при отсутствии кавитационного запаса ГН; *в* — нештатная ситуация «Кавитация ГН»; *г* — нештатная ситуация «Дефицит напора ГН»; *д* — нештатная ситуация «Разорванные рабочие характеристики гидравлической системы»; *е* — нештатная ситуация «Работа гидравлической системы на левой рабочей точке»; *1* и *2* — соответственно напорная характеристика ГН и гидравлическая характеристика трубопроводной сети на нормативной плотности гидросмеси

(во всасывающем и напорном трубопроводах) дополнительными струйными нагнетателями (эжекторами)) решена сложная недетерминированная научно-техническая задача:

$$\left\{\begin{array}{c} Грунтонасос\,(ГН) \\ \downarrow\uparrow \\ Трубопроводная\ сеть\ ГН \end{array}\right\} \leftrightarrow Эжектор\ Э_2 \leftrightarrow \left\{\begin{array}{c} Водяной\ насос\ эжектора \\ Э_2\,(ВНЭ_2) \\ \downarrow\uparrow \\ Трубопроводная\ сеть\ ВНЭ_2 \end{array}\right\}$$

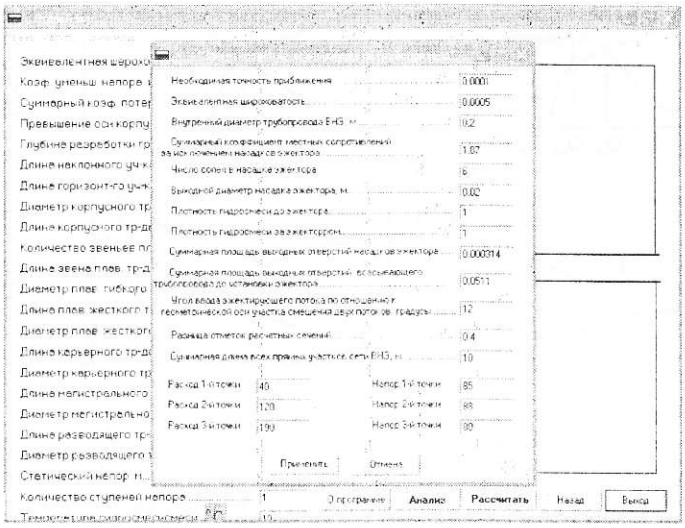
$$\downarrow\uparrow$$

$$Эжектор\ Э_1$$

$$\downarrow\uparrow$$

$$\left\{\begin{array}{c} Водяной\ насос\ эжектора \\ Э_1\,(ВНЭ_1) \\ \downarrow\uparrow \\ Трубопроводная\ сеть\ ВНЭ_1 \end{array}\right\}$$

3. Разработан метод аргументированного обоснования проектной грунтопроизводительности земснарядов с оптимизацией способов вывода грунтонасосов из нештатных ситуаций и с реализацией резервов штатных ситуаций. Для широкой практической реализации предложенного метода разработан и в



настоящее время проходит регистрацию в Федеральном органе исполнительной власти программный продукт «Земснаряд» (рис. 3).

4. Найдены эффективные инженерные решения (с научным обоснованием их параметров) актуальных задач увеличения кавитационного запаса ГН земснарядов традиционной постройки (эжектирование погруженного ГН) и увеличения приведенной дальности гидротранспортирования грунта (эжектирование напорного трубопровода ГН), новизна которых подтверждена предварительной регистрацией двух патентов: на «Сменное грунтозаборное устройство земснарядов» и «Способ увеличения приведенной дальности гидротранспортирования грунта».

5. Научно обоснована и реализована при возведении северного обхода г. Новосибирска Федеральной автомобильной дороги Омск — Новосибирск принципиальная схема оптимизации процессов гидромеханизации (рис. 4).

Основные результаты исследований с детальной физической постановкой задач и математической формализацией физических моделей подробно описаны в работах [5–9 и др.].

6. Принципиально решена задача укрепления берегов водохранилища Новосибирской ГЭС с глубокой подводной разработкой донных отложений грунта земснарядами традиционной постройки (по поручению администрации Новосибирской области) и со снижением стоимости 1 м^3 грунта в 1,5–2 раза

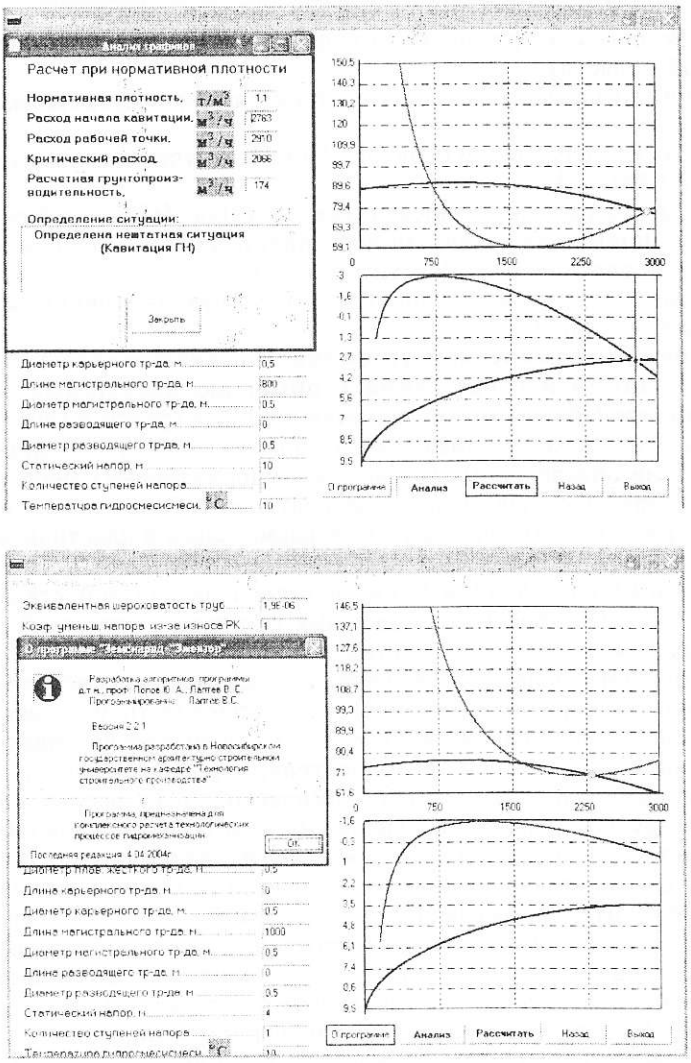


Рис. 3. Титул и элементы программного продукта «Земснаряд»

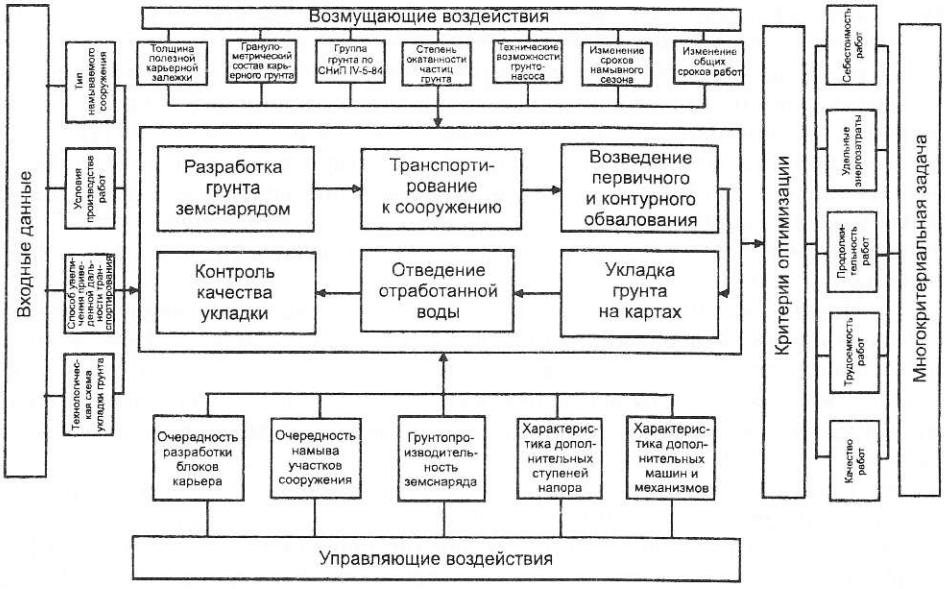


Рис. 4. Принципиальная схема оптимизации процессов гидромеханизации

(бизнес-план, аргументирующий эти цифры, находится в администрации Новосибирской области).

Описанные разработки в области строительной гидромеханизации получили высокую оценку:

медаль на Всероссийском конкурсе МОиН за лучшую студенческую научную работу (2003 г.);

первое место на Новосибирской межвузовской НТК-конкурсе по секции «Прикладная математика и программирование» и Диплом I степени за подписью губернатора Новосибирской области (2003 г.);

первое место на вузовском конкурсе на лучшую выпускную работу с элементами изобретений (2004 г.).

Повышение термической устойчивости вечномерзлых грунтовых оснований зданий и сооружений с помощью воздушных замораживающих систем. Общеизвестно, что вечномерзлые грунты в качестве оснований зданий и сооружений имеют необходимую степень надежности только при сохранении определенных (расчетных и нормативных) значений отрицательной температуры. Повышение температурного фона вечномерзлых грунтов может привести к их переходу от твердомерзлого в пластичномерзлое состояние, т. е. к потере ими необходимой несущей способности. Поэтому в связи с глобальным потеплением климата весьма актуальной стала проблема повышения несущей способности мерзлых грунтовых оснований с помощью специальных замораживающих систем.

Из применяемых в настоящее время замораживающих систем (воздушные с принудительной циркуляцией, жидкостные с плотностной конвекцией или с принудительной циркуляцией, жидкостные с плотностной конвекцией или с принудительной циркуляцией теплоносителя, парожидкостные и др.) наиболее экологичными и простыми с технологической точки зрения зарекомендовали себя воздушные замораживающие системы (ВЗС). Однако несмотря на большой опыт применения ВЗС, их проектирование сопряжено с трудностями, связанными с отсутствием достаточно достоверных методов расчета температурного поля грунта, примыкающего к колонкам ВЗС. В свою очередь, причинами такого положения являются рассмотрение или температурного поля в грунтовом массиве в отрыве от сложной термодинамики замораживающих колонок (область промышленно-гражданского строительства), или термодинамики элементов ВЗС при неоправданно упрощенном толковании термического режима окружающего грунтового массива (эксплуатация плотин мерзлого типа в составе гидроузлов).

Нами предложено рассматривать ВЗС как сложную термодинамическую систему с учетом теплового воздействия на грунтовый массив как окружающей воздушной среды (сверху), так и колонок ВЗС (радиально по длине колонок). При этом:

1) указанная система в целом формализована в виде

$$\left\{\begin{array}{ccccc} \text{Окружающая} & & \text{Куст} & & \text{Примыкающий} \\ \text{воздушная} & \rightarrow & \text{колонок} & \rightarrow & \text{грунтовый} \\ \text{среда} & & \text{ВЗС} & \leftarrow & \text{массив} \end{array}\right\};$$

2) элемент системы «Куст колонок ВЗС» в зависимости от геометрии колонок в плане формализован в виде ряда подсистемных блоков, например, для куста из пяти колонок, как показано на рис. 5.

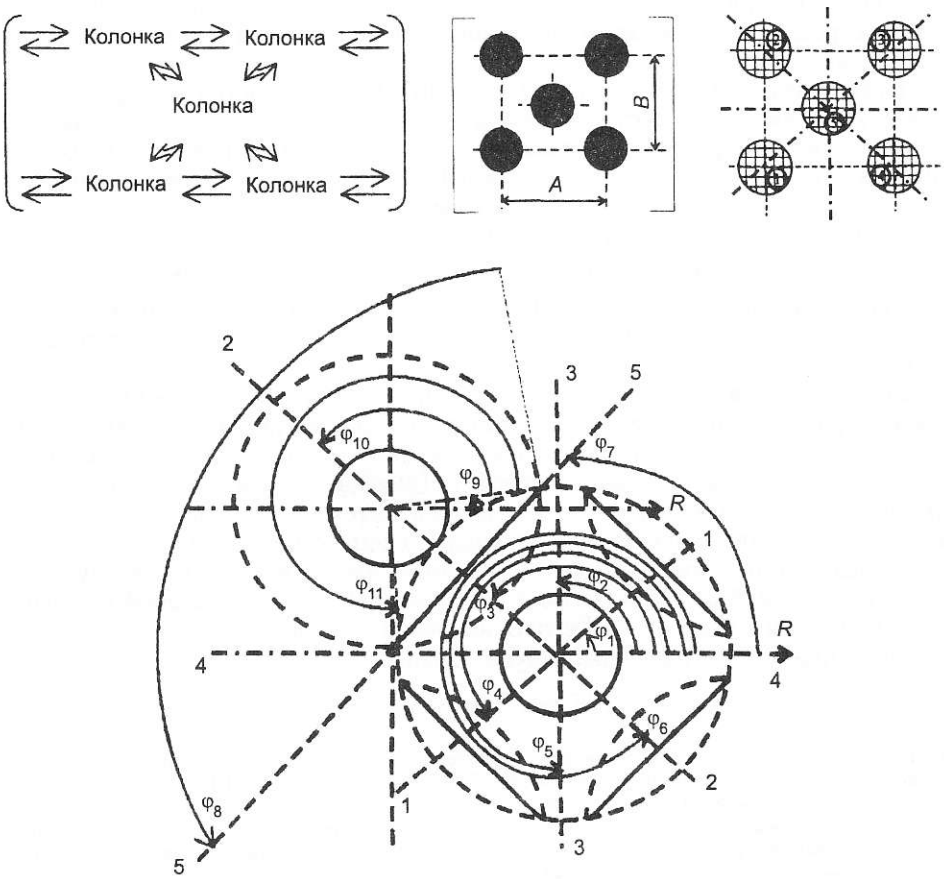


Рис. 5. Расчетная схема центральной и периферийной колонок в составе куста из пяти колонок
1, 2, ..., 7 — номер колонок в кусте

Разработанный метод включает:

1) расчет аэродинамической системы «Вентилятор — распределительный коллектор — колонки» (расчет координат рабочей точки системы из условия баланса: давление вентилятора равно сумме путевых и местных потерь давления в разветвленной сети коллектора с колонками; подбор сопротивлений дроссельных устройств (диафрагм на входе в колонки или на выходе из них) из условия равенства расходов воздуха во всех колонках ВЗС);

2) расчет тепловых процессов как в самом вентиляторе (за счет потерь давления в вентиляторе, обусловленных аэродинамическим трением), так и в коллекторе с учетом путевого отбора воздуха колонками и в самих колонках; колонки ВЗС рассмотрены по схеме классического коаксиального теплообменника «труба в трубе» в режиме противотока с учетом: теплообмена воздушных потоков в колонках (при подаче как во внутреннюю трубу, так и в кольцевое

пространство), теплообмена воздуха в кольцевом пространстве с окружающим грунтовым массивом, приращения температуры воздуха в колонках с учетом внешнего теплообмена, изменения давления воздуха и действия диссипативного источника тепла через механизм аэродинамического трения;

3) расчет динамики температурного поля и фазовых процессов «вода ⇆ лед» в окружающем грунтовом массиве, сложенном несвязными (учет фазовых процессов с помощью условия Стефана) и связными (учет фазовых процессов объемно-распределительным источником тепла фазового типа в дифференциальном уравнении теплопроводности в заданном температурном диапазоне) грунтами.

Уточненный алгоритм аэродинамических расчетов ВЗС опубликован в работах [10–11]. В этих же работах показано, что существующие методы термодинамических расчетов самих колонок, устроенных по принципу рекуперативного теплообменника «труба в трубе», как правило, сопряжены с существенными погрешностями из-за упрощенного рассмотрения термодинамических процессов.

Представителем научной школы кафедры НГАСУ (Сибстрин) старшим преподавателем Якутского государственного университета В. В. Местниковым:

а) обоснованы физическая и математическая модели аэродинамики ВЗС и динамики тепловых процессов в окружающем грунтовом массиве, сложенном как несвязными, так и связными грунтами;

б) разработан метод определения координат рабочей точки воздушного нагнетателя в составе аэродинамической системы «нагнетатель ⇆ распределительный коллектор ⇆ колонки ВЗС» с учетом сложных аэродинамических процессов в элементах этой системы, в том числе с учетом нагревания воздуха в нагнетателе.

Решение указанных выше задач позволило, во-первых, достоверно прогнозировать расход и температуру воздуха от входа в нагнетатель до выхода из колонок ВЗС, во-вторых, обеспечивать равенство расходов воздуха в колоннах подбором диаметра дроссельных устройств (диафрагм) на входе в колонки без изменения площади живого сечения распределительного коллектора. Последнее обстоятельство существенно упрощает процесс конструирования ВЗС.

Описанные научные разработки получили высокую оценку в республике Саха (Якутия): в 2003 г. третье место и Диплом III степени и в 2004 г. первое место и Диплом I степени на Республиканской ярмарке молодежных инновационных проектов «Молодежь. Наука. Бизнес».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Ю. А. Энергосберегающие технологии зимнего бетонирования строительных конструкций и сооружений/Ю. А. Попов, Т. В. Завалишина, С. Н. Шпанко//Изв. вузов. Стр-во.— 2000.— № 9.— С. 50—58.
2. Завалишина Т. В. Расчетное обоснование технологических параметров зимнего бетонирования типовых кустов буронабивных свай/Т. В. Завалишина//Изв. вузов. Стр-во.— 2002.— № 7.— С. 38—44.
3. Завалишина Т. В. Энергосберегающая технология зимнего бетонирования строительных конструкций/Т. В. Завалишина.— Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2003.— 132 с.
4. Попов Ю. А. Методы решения творческих инженерных и детерминированных научных задач (с элементами гидравлики, строительной теплофизики и многокритериальной оптимизации управляемых процессов): Учебное пособие/Ю. А. Попов, Е. Н. Гусельникова, Т. В. Завалишина и др.— Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2004.— 80 с.
5. Попов Ю. А. Гидромеханизация земляных работ. Часть 1. Теория процессов гидромеханизации: Учебное пособие/Ю. А. Попов, В. Я. Мельник, М. Н. Шадрина и др.— Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2000.— 84 с.
6. Попов Ю. А. Гидромеханизация земляных работ. Часть 1. Технология гидромеханизации: Учебное пособие/Ю. А. Попов, В. Я. Мельник, М. Н. Шадрина и др.— Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2002.— 64 с.
7. Попов Ю. А. Математическое моделирование гидравлической системы грунтонасоса с эжекторным грунтозабором/Ю. А. Попов, В. С. Лаптев//Изв. вузов. Стр-во.— 2003.— № 12.— С. 41—48.
8. Лизунов Е. В. Новый подход к концепции вывода грунтонасосов земснарядов из нештатных ситуаций при разработке грунтов способом гидромеханизации/Е. В. Лизунов, В. А. Седов, В. С. Лаптев//Изв. вузов. Стр-во.— 2004.— № 6.— С. 52—57.

9. Лизунов Е. В. Гидромеханизация земляных работ в транспортном строительстве/ Е. В. Лизунов, В. А. Седов, В. С. Лаптев.— Новосибирск: СО Изд-ва «Наука», 2002.— 127 с.
10. Местников В. В. Повышение термической устойчивости грунтовых оснований зданий и сооружений в районах вечной мерзлоты с помощью воздушных замораживающих систем/ В. В. Местников//Изв. вузов. Стр-во.— 2003.— № 10.— С. 60—66.
11. Завалишина Т. В. Учет взаимного теплового влияния колонок в составе воздушных замораживающих систем/Т. В. Завалишина, В. В. Местников//Тр. НГАСУ.— 2002.— Т. 5.— № 3 (18).— С. 12—21.

© Попов Ю. А., 2005

Получено 23.12.04

УДК 693.547.3.001

Ю. А. ПОПОВ, д-р техн. наук, проф., Ю. В. ЛУНЕВ, О. А. ШАЛГУНОВА, инженеры (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ПРОЧНОСТНОГО ПОЛЕЙ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ПРОГРЕВЕ БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Расширены возможности ранее разработанных физических и математических моделей динамики температурного и прочностного полей в бетоне при зимнем бетонировании строительных конструкций призматической формы путем математической формализации дифференцированного (по граням конструкции) обогрева. Рассмотрены два способа тепловой обработки бетона — с помощью нагревательных электрических проводов и термоактивной опалубки, а также особенности теплового воздействия ряда бетонируемых конструкций на мерзлое грунтовое основание.

Благодаря разработанному в НГАСУ (Сибстрин) методу нетрадиционного решения задачи обоснования параметров регулируемого режима тепловой обработкой бетона, основанному на использовании уникальных возможностей метода математического моделирования сложных физических и организационно-технологических процессов [1–7], реально подтверждена возможность энергосбережения:

до 20% при зимнем бетонировании фрагментов стен монолитных зданий, а также балок и колонн за счет полезного использования тепловой инерции бетона;

до 25% при зимнем бетонировании фундаментных блоков и фундаментных плит;

дополнительные 5% обусловлены полезным использованием тепловой инерции сезонномерзлого грунта основания;

до 40% при зимнем бетонировании типовых кустов буронабивных свай;

дополнительные 15% обусловлены количественным учетом взаимного теплового влияния буронабивных свай в составе типовых кустов.

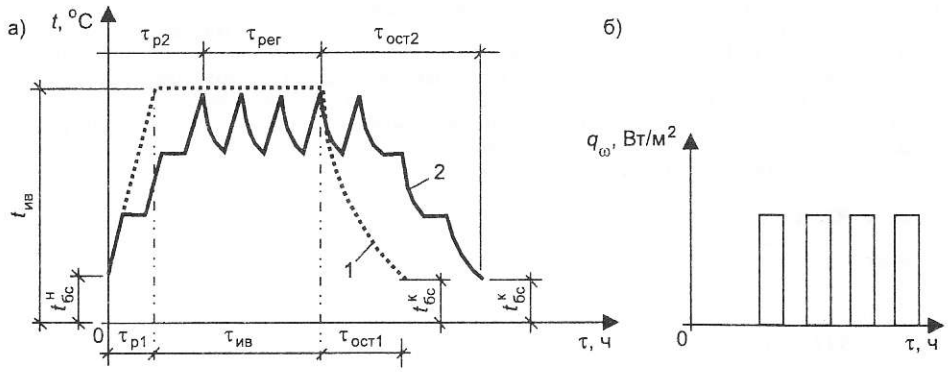
Создан оригинальный алгоритмический диспетчер, интегрально (по всему объему конструкции) управляющий интенсивностью теплового воздействия нагревателей на бетон путем контроля во всех узлах объемной координатной сетки:

температуры бетона с исключением его перегрева или недогрева;

скорости перестройки температурного поля с исключением превышения предельно допустимого ее значения (по СНиП 3.03.01-87) после включения или выключения нагревателей.

Характер изменения средневзвешенной (по объему конструкции) температуры бетона и интенсивности теплового воздействия на бетон при простейшем режиме его регулирования (прерывном) показан на рисунке. Заметим, что в периодах τ_{p2} и $\tau_{ост2}$ показан искусственно (регулировкой) заниженный темп соответственно повышения и снижения температуры бетона.

Выполненный авторами анализ дел в строительном комплексе и анализ рынка (с разработкой проекта «Энергосбережение при зимнем бетонировании



Тепловые режимы выдерживания бетона

а — температурный (*1* — изотермический режим; *2* — регулируемый (прерывный) режим); *б* — регулирование интенсивности теплового потока при прерывном режиме

строительных конструкций с гарантированным отсутствием деструктивных процессов») убедительно показал чрезвычайную актуальность решения задач:

1) реализации оставшихся резервов энергосбережения (по предварительной оценке до 15%) за счет расширения возможностей ранее созданных физических и математических моделей динамики температурного и прочностного полей в бетоне путем дифференцированного прогрева разных граней конструкции;

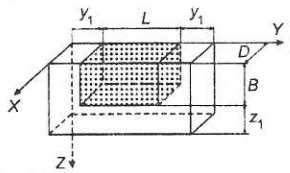
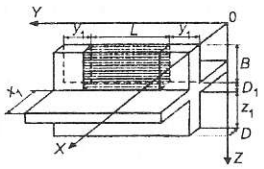
2) практической реализации рассчитанного энергосберегающего и щадящего режимов тепловой обработки бетона в конкретных электрических схемах с созданием необходимой базы данных по нагревательным проводам и кабелям, а также по наиболее приемлемым типам понижающих трансформаторов;

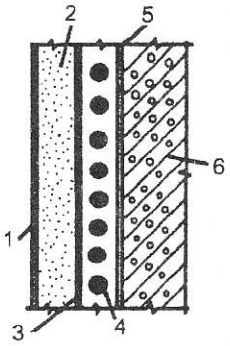
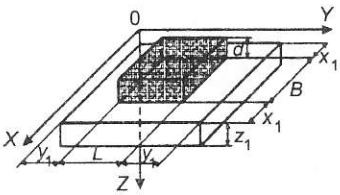
3) исключения влияния человеческого фактора на качество бетона путем создания системы автоматического управления процессом тепловой обработки бетона (на базе персонального компьютера).

Результаты решения первой из перечисленных задач приведены в таблице.

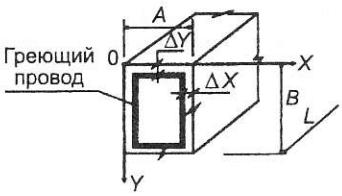
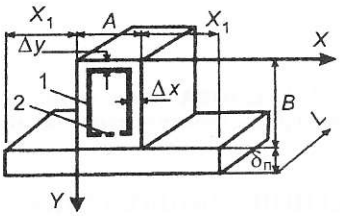
Во многих областях инженерной деятельности востребованы достаточно достоверные методы прогноза процессов промерзания — оттаивания грунтов, в том числе при расчетном обосновании параметров тепловой обработки элементов фундаментов на мерзлом грунтовом основании и буронабивных свай. Заме-

Элементы математических моделей, дифференцирующих прогрев бетона по граням строительных конструкций призматической формы

Расчетная схема	Дифференцированные элементы математических моделей
1	2
 Фрагмент стены, примыкающий к ранее возведенным участкам стены y_1, z_1 – зоны теплового влияния соответственно по осям Y и Z  Фрагмент стены, примыкающий к ранее возведенным участкам стены и плите перекрытия x_1 – зона теплового влияния по оси X	**А. Обогрев нагревательными проводами** $\frac{\partial t(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{1,2}}{C_{1,2}}\left(\frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right) + \frac{\omega(\tau)}{C_1} + \frac{q_\omega(\tau)}{C_1 l_i}$; $q_\omega(\tau) \neq 0\ (x = \Delta x \vee x = D - \Delta x)$, где $\omega(\tau)$ – объемно-распределенный источник тепла экзотермического типа; $q_\omega(\tau) = \frac{q_1(\tau)\cdot L}{C_1 \cdot l_i}$ – интенсивность теплового потока от условно-плоского нагревательного элемента; L – суммарная длина провода в нагревательном элементе; q_1 – линейный источник тепла; l_i – шаг численного интегрирования по координатной оси, нормальной к плоскости монтажа нагревателя; индекс 1 относится к свежеуложенному бетону, индекс 2 – к ранее уложенному.

1	2
 Щит термоактивной опалубки в разрезе *1* – защитная крышка ($\delta_к$, $\lambda_к$); *2* – утеплитель ($\delta_у$, $\lambda_у$); *3* – теплоотражающий экран ($\delta_э$, $\lambda_э$); *4* – электрические провода нагревательного элемента в разрезе; *5* – палуба ($\delta_п$, $\lambda_п$); *6* – бетон строительной конструкции	**Б. Обогрев термоактивной опалубкой** 1. $\frac{\partial t(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{1,2}}{C_{1,2}}\left(\frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right) + \frac{\omega(\tau)}{C_1}$. 2. $q_\omega(\tau) - K_{пр1}(t_0 - \Theta) - K_{пр2}(t_0 - t(x=0 \vee \vee x=D, y, z, \tau)) = -\lambda_1 \frac{\partial t(x=0 \vee x=D, y, z, \tau)}{\partial x}$, где $q_\omega(\tau) = \frac{q_1(\tau)\cdot L}{F}$; F — площадь палубы; $K_{пр1} = \left(\frac{1}{\alpha_п} + \frac{\delta_к}{\lambda_к} + \frac{\delta_у}{\lambda_у} + \frac{\delta_э}{\lambda_э} + \frac{1}{\alpha_к + \alpha_{изл}}\right)^{-1}$; $K_{пр2} = \left(\frac{1}{\alpha_к + \alpha_{изл}} + \frac{\delta_п}{\lambda_п}\right)^{-1}$; $\alpha_п, \alpha_к, \alpha_{изл}$ — соответственно коэффициенты теплоотдачи защитной крышки опалубки с окружающей воздушной средой и коэффициент теплообмена защитного экрана и палубы за счет свободной конвекции и излучения. $t_0 = \left[q_\omega(\tau) + \frac{\lambda_1}{\Delta x}(t_1(x=0 \vee x=D) - t_1(x=\Delta x \vee \vee x=D-\Delta x)) + K_{пр1}\cdot\Theta + K_{пр2}\cdot t_1(x=0 \vee \vee x=D)\right] / (K_{пр1} + K_{пр2})$.
 Фундаментный блок или фундаментная плита на мерзлом грунтовом основании	**А. Обогрев нагревательными проводами** $\frac{\partial t(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_1}{C_1}\left(\frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right) + \frac{\omega(\tau)}{C_1} + \frac{q_\omega(\tau)}{C_1 l_i}$; где i — номер границы, нормальной к соответствующей координатной оси. **Б. Обогрев термоактивной опалубкой** 1. $\frac{\partial t(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_1}{C_1}\left(\frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right) + \frac{\omega(\tau)}{C_1}$. 2. $q_{\omega_i}(\tau) - K_{пр1_i}(t_0 - \Theta) - K_{пр2}(t_0 - t(l_i)) = = \lambda_1 \frac{\partial t(l_i = 0 \vee l_i = B, L)}{\partial l_i}$; $q_{\omega_i}(\tau) = \frac{q_i(\tau)\cdot L_i}{F_i}$; $K_{пр1_i} = \left(\frac{1}{\alpha_{п_i}} + \frac{\delta_к}{\lambda_к} + \frac{\delta_у}{\lambda_у} + \frac{\delta_э}{\lambda_э} + \frac{1}{\alpha_к + \alpha_{изл}}\right)^{-1}$.

1	2
Блок-схема построения алгоритма реализации задачи приведена в работах [8, 9]	*Динамика температурного поля и фазовых процессов вода ↔ лед в подстилающем грунтовом массиве* Несвязный грунт $1.\ -\lambda_{м}\dfrac{\partial t_{м}(x=\eta(x),y,z,\tau)}{\partial x}+$ $+\lambda_{т}\dfrac{\partial t_{т}(x=\eta(x),y,z,\tau)}{\partial x}=\varepsilon\omega\rho\dfrac{d\eta(x)}{d\tau};$ $2.\ -\lambda_{м}\dfrac{\partial t_{м}(x,y=\xi(y),z,\tau)}{\partial y}+$ $+\lambda_{т}\dfrac{\partial t_{т}(x,y=\xi(y),z,\tau)}{\partial y}=\varepsilon\omega\rho\dfrac{d\xi(y)}{d\tau};$ $3.\ -\lambda_{м}\dfrac{\partial t_{м}(x,y,z=\nu(z),\tau)}{\partial z}+$ $+\lambda_{т}\dfrac{\partial t_{т}(x,y,z=\nu(z),\tau)}{\partial z}=\varepsilon\omega\rho\dfrac{d\nu(z)}{d\tau},$ где ε — удельная теплота фазовых переходов; ω — объемная влажность грунта в долях единицы; ρ — плотность грунта; $4.\ \dfrac{\partial t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial\tau}=\dfrac{\lambda_{т,м}}{C_{т,м}}\left(\dfrac{\partial^2 t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial x^2}+\right.$ $\left.+\dfrac{\partial^2 t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial y^2}+\dfrac{\partial^2 t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right),$ $x\neq\eta\wedge y\neq\xi\wedge z\neq\nu.$
Блок-схема построения алгоритма реализации задачи приведена в [9]	Связный грунт $1.\ \dfrac{\partial t_{т}(x,y,z,\tau)}{\partial\tau}=\dfrac{\lambda_{т}}{C_{т}}\left(\dfrac{\partial^2 t_{т}(x,y,z,\tau)}{\partial x^2}+\right.$ $\left.+\dfrac{\partial^2 t_{т}(x,y,z,\tau)}{\partial y^2}+\dfrac{\partial^2 t_{т}(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right),$ $x\neq\eta\wedge y\neq\xi\wedge z\neq\nu.$ $2.\ \dfrac{\partial t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial\tau}=\dfrac{\lambda_{т,м}}{C_{т,м}}\left[\left(\dfrac{\partial^2 t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial x^2}+\right.\right.$ $\left.+\dfrac{\partial^2 t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial y^2}+\dfrac{\partial^2 t_{т,м}(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right)\pm$ $\left.\pm\dfrac{W_{ф}(\tau)}{C_{т,м}}\right],\ (x\neq\eta\wedge y\neq\xi\wedge z\neq\nu)\wedge t_{м}\in t_{ф}.$ $3.\ \lambda_{м}\dfrac{\partial t_{м}(x,y,z,\tau)}{\partial l_i}\Bigg\vert_{l_i=\eta\vee l_i=\xi\vee l_i=\nu}-$ $-\lambda_{т}\dfrac{\partial t_{т}(x,y,z,\tau)}{\partial l_i}\Bigg\vert_{l_i=\eta\vee l_i=\xi\vee l_i=\nu}=$ $=\varepsilon\cdot\rho_{ск}\cdot W_0^{*}(\tau)\dfrac{dW_0(\tau)}{d\tau},\ t_{м}\in t_{ф},$ где W_0 — начальная на момент очередного шага интегрирования по времени влажность грунта в долях единицы; $W_0^{*}(\tau)$ — суммарная влажность грунта, обусловленная наличием как связанной, так и несвязанной влаги. Источник тепла фазового типа $W_{ф}(\tau)$ по предложению Т.В. Завалишиной может быть представлен в виде

1	2
	$$W_{ф}(\tau) = \varepsilon \cdot \rho_{ск} \cdot W_{н}(\tau)\frac{di(t)}{dt} \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau},$$ где $W_{н}(\tau)$ — влажность грунта, обусловленная наличием несвязанной влаги; i — льдистость грунта.
 Колонна  Балка на плите перекрытия *1* — греющий провод; *2* — греющая спираль	**А. Обогрев нагревательными проводами** $$\frac{\partial t(x,y,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_1}{C_1}\left(\frac{\partial^2 t(x,y,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,\tau)}{\partial y^2}\right) + \frac{\omega(\tau)}{C_1} + \frac{q_{\omega_i}(\tau)}{C_1 l_i};$$ $$q_{\omega_i}(\tau) \neq 0,\ (x = \Delta x \vee x = A - \Delta x) \vee \vee (y = \Delta y \vee B - \Delta y).$$ **Б. Обогрев термоактивной опалубкой** 1. $$\frac{\partial t(x,y,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{1,2}}{C_{1,2}}\left(\frac{\partial^2 t(x,y,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x,y,\tau)}{\partial y^2}\right) + \frac{\omega(\tau)}{C_1}.$$ 2. $$q_{\omega}(\tau) - K_{пр1}(t_0 - \Theta) - K_{пр2}(t_0 - t(x = 0 \vee \vee x = A, y, \tau)) = -\lambda_1 \frac{\partial t(x = 0 \vee x = A, y, \tau)}{\partial x}.$$

тим, что по показателю льдистости мерзлые грунты подразделяются на сильнольдистые ($i > 50\%$), слабольдистые ($i < 25\%$) и льдистые ($25\% \le i \le 50\%$), а по физическому состоянию в зависимости от льдистости — на твердомерзлые (низкотемпературные) и пластичномерзлые (высокотемпературные). Описанная выше схема решения задачи Стефана как для несвязных, так и для связных грунтов нередко требует существенного усложнения, например:

учетом динамики граничного условия III рода на поверхности грунтового массива за счет динамики снегового покрова (толщины снега и коэффициента его теплопроводности);

учетом термического воздействия инженерных подготовительных мероприятий (предварительного до начала промерзания увеличения термического сопротивления поверхностного слоя грунта путем его вспашки или перекрестного рыхления);

учетом различных видов искусственных утеплителей.

Такие задачи применительно к конкретным видам строительных работ в зимнее и раннее весеннее время года в настоящее время решаются в НГАСУ (Сибстрин).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Ю. А. Энергосберегающие технологии зимнего бетонирования строительных конструкций и сооружений/Ю. А. Попов//Изв. вузов. Стр-во.— 2000.— № 9.— С. 50—58.
2. Попов Ю. А. Энергосберегающий режим электрообогрева при зимнем бетонировании строительных конструкций/Ю. А. Попов, Т. В. Завалишина, С. Н. Шпанко//Изв. вузов. Стр-во.— 2001.— № 9—10.— С. 65—75.
3. Завалишина Т. В. Расчетное обоснование технологических параметров зимнего бетонирования типовых кустов буронабивных свай/Т. В. Завалишина//Изв. вузов. Стр-во.— 2002.— № 7.— С. 38—44.
4. Завалишина Т. В. Энергосберегающая технология зимнего бетонирования строительных конструкций: Монография/Т. В. Завалишина.— Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2003.— 132 с.
5. Попов Ю. А. Методы решения творческих инженерных и детерминированных научных задач (с элементами гидравлики, строительной теплофизики и многокритериальной оптимиза-

ции управляемых процессов): Учебное пособие/Ю. А. Попов, Е. Н. Гусельникова, Т. В. Завалишина и др.— Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2004.— 80 с.
6. Завалишина Т. В. Многокритериальная оптимизация управляемых процессов на примере зимнего бетонирования строительных конструкций/Т. В. Завалишина, Г. Г. Турантаев//Междунар. сб. научных трудов «Актуальные проблемы современности».— Болашак-Баспа: 2004.— Вып. 2.— С. 156—161.
7. Попов Ю. А. Энергосбережение при зимнем бетонировании строительных конструкций/Ю. А. Попов, Т. В. Завалишина, Г. Г. Турантаев, М. В. Блинский: Сб. тр. XXVII Сибирского теплофизического семинара.— Новосибирск: Изд-во ИТ СО РАН, 2004.— С. 301—302.
8. Попов Ю. А. Гидромеханизация в Северной строительно-климатической зоне/Ю. А. Попов, Д. В. Рощупкин, Т. Н. Пеняскин.— Л.: Стройиздат, 1982.— 224 с.
9. Попов Ю. А. Постановка классической задачи Стефана для промерзающих (протаивающих) связных грунтов/Ю. А. Попов, Т. В. Завалишина, Г. Г. Турантаев и др.//Изв. вузов. Стр-во.— 2004.— № 10.— С. 107—112.

© Попов Ю. А., Лунев Ю. В., Шалгунова О. А., 2005

Получено 23.12.04

УДК 338.2:691

Т. А. ИВАШЕНЦЕВА, канд. экон. наук, проф., Н. А. ГУСЛОВА, канд. экон. наук, ассист. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются основы прогнозирования развития региональных рынков строительных материалов. Предлагается в качестве основных параметров построения прогноза по региональному товарному рынку рассматривать: первичный спрос, текущий рыночный спрос, потенциальный спрос и абсолютный потенциал рынка. Описаны подходы к моделированию формирования отдельных видов спроса и других параметров рынка.

Стратегия развития экономики России, предусматривающая рост валового внутреннего продукта к 2010 г. в два раза, сопровождается обеспечивающими стратегиями по различным отраслям и сферам деятельности. Так, стратегия развития строительного комплекса Российской Федерации до 2010 года должна обеспечить повышение уровня благосостояния населения, удовлетворение потребности внутреннего и внешнего рынка, рост эффективности производства и производительных сил, увеличение объемов строительной продукции и обеспечение национальной безопасности страны [1]. Но достижение намеченных целей и решение всех поставленных задач проблематично без достаточного ресурсного обеспечения этих стратегий.

Реализовывать растущие объемы инвестиций невозможно без наличия на рынке необходимой номенклатуры, ассортимента и качества конкурентоспособных строительных материалов, деталей и конструкций. При подготовке стратегий и разработке программ развития регионального строительного комплекса необходимо исследовать и прогнозировать ситуацию на рынке строительных материалов.

Прогнозирование развития регионального рынка строительных материалов (РСМ) — это специальное научное исследование, имеющее целью получить предсказание будущего состояния РСМ при наблюдаемых тенденциях и установить цели и критерии его желательного состояния. К тому же прогнозы могут использоваться также и в качестве действенного регулятора со стороны государства для упорядочения действующих в обществе сил по отношению к экономическим и социально-экономическим процессам. Некоторые явления, связанные с конкуренцией, формированием спроса, предложения и т. д., не терпят прямого государственного вмешательства из-за возможности искажения их истинного значения [2, с. 185].

При этом важна обратная связь между предсказанием (официальным прогнозом) и решением, принимаемым самостоятельными хозяйствующими субъектами — участниками рынка. Прогноз во взаимосвязи с планированием, программированием и управлением является инструментом решения многих государственных проблем. Таким образом, прогнозирование можно рассматривать в качестве экономического регулятора, т.е. экономического рычага, косвенно воздействующего через механизм интересов на участников экономических процессов, хозяйствующих субъектов. Основными функциями прогнозирования при этом являются информационно-ориентирующая и мотивационная. Экономический прогноз, опубликованный в средствах массовой информации, порождает вокруг себя информационные потоки, которые распространяются по всему экономическому пространству, мотивируя заинтересованное участие как предпринимателей, так и других субъектов в реализации проектов, важных для общества в целом. Хотя разрабатываемые общерегиональные прогнозы развития и не объявляются законами формально, но они ориентируют и мобилизуют отдельные звенья экономической системы на их выполнение в общенациональных интересах.

В настоящее время непрерывно растет потребность в прогнозах, и стала острее осознаваться практическая ценность прогнозов как инструмента достижения экономического роста. Через прогноз государственные органы управления реализуют функции процесса планирования, которому предшествует предварительный анализ тенденций развития рассматриваемого объекта, разработка возможных вариантов хода процесса при изменении внешних и внутренних факторов в каких-то пределах, с тем чтобы предложить для дальнейшего выбора один из них или несколько наиболее обоснованных.

Таким образом, именно на прогнозах основаны стратегические и оперативные планы и программы. Но нормативно-правовая база регионального прогнозирования, вообще, и прогнозирования развития регионального строительного комплекса, в частности, пока находится в стадии формирования. Отсутствуют единые методические рекомендации для органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации по планированию и прогнозированию региональных рынков. Лишь в трети регионов страны определены правовые основы плановой работы. В половине регионов имеются законы или нормативно-правовые акты, регламентирующие разработку региональных целевых программ. Однако во многих регионах по-прежнему отсутствуют правила разработки прогнозов и планов развития продуктовых рынков, не сформулированы требования к перечню, структуре и содержанию плановых документов, которые определяются регионами самостоятельно, исходя из своих нужд и интересов [2, с. 216].

Для развития строительного комплекса большую роль играют рынки строительных материалов, которые являются ресурсными по отношению к строительной деятельности. В соответствии с установленными государством ориентирами региональные органы управления разрабатывают прогнозы, стратегии развития, формируют сценарные условия. Поэтому теоретическое осмысление современных технологий рыночного прогнозирования представляет большой практический интерес.

Прогноз развития регионального рынка строительных материалов очерчивает области и возможности постановки реальных задач и целей, выявляет важнейшие проблемы, которые должны стать объектом разработки в региональных программах развития производственной базы строительства. В таком прогнозе рассматриваются варианты активного воздействия на объективные возможности будущего развития регионального рынка строительных материалов.

Исследование рынка — его количественный и качественный анализ, проводимый с целью изучения потенциального объема спроса на товары и услуги на данном рынке, конкурентной среды, цен, потребностей в товарах и услугах, проявляющихся на рынке [3]. Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что развитие рынка зависит от объема спроса, объема предложения, организации рынка, структуры и поведения субъектов на рынке.

Объем спроса определяется потребностями и зависит от множества различных факторов. Спрос определяет предложение, капитал переводится для

организации производства такой продукции, на которую имеется повышенный спрос. Рост объемов спроса создает для предприятий условия для роста объемов производства, что приводит к снижению удельных расходов на единицу продукции (за счет эффекта масштаба), способствует улучшению экономических показателей предприятий. Отношения предприятий друг с другом и с покупателями определяют рыночную структуру. Структура рынка влияет на поведение предприятий, от которого, в свою очередь, зависит функционирование рынка. На поведение предприятий также (различными путями) оказывает воздействие и государство.

В конечном итоге прогнозирование развития рынков сводится к прогнозированию элементов, условий и факторов, взаимодействие которых можно изобразить в виде некоторой модели, представленной на рис. 1. За основу этой модели приняты схемы, приведенные в [4, 5, с. 9].

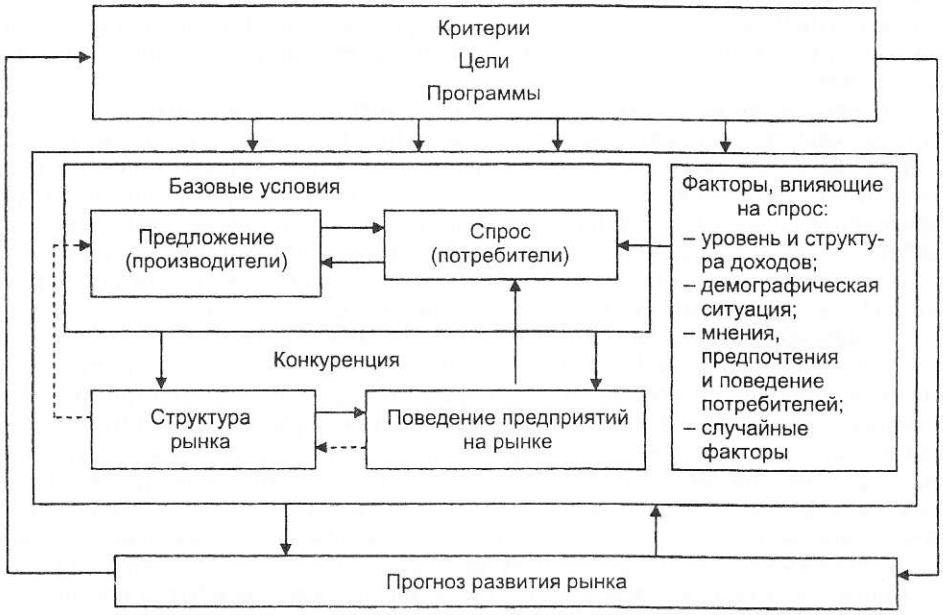


Рис. 1. Модель прогнозирования развития товарного рынка

Спрос — обобщающий термин, описывающий поведение фактических и потенциальных покупателей товара. Более корректно использовать понятие рыночного спроса, под которым будем понимать количество товара (объем) определенной марки или совокупности марок, которое покупатели желают приобрести на определенном рынке (частном или совокупном) за определенный период времени. В большинстве литературных источников не делается различия между рыночным спросом и объемом продаж — товарооборотом. Между тем объем продаж на рынке может быть меньше рыночного спроса в случаях, когда спрос не подтверждается фактом обмена товара на деньги по причине отсутствия требуемой продукции (работ, услуг) либо несоответствия их качества требованиям потребителей и по другим причинам.

Спрос до момента обмена товара на деньги существует лишь в представлении потребителей в виде идеи покупки товара, подкрепленной сознательным или подсознательным подсчетом обеспеченности своих потребностей располагаемыми или ожидаемыми денежными средствами. Спрос может быть удовлетворен при условии состоявшегося факта обмена в соответствии с потребностями потребителя и не удовлетворен.

Исходя из вышеизложенного, следует рассматривать две экономические категории: товарооборот (объем проданных/купленных товаров) и неудовлетворенный спрос. Товарооборот при этом можно рассматривать как удовлетворенный спрос. Неудовлетворенный спрос — это спрос, не реализованный из-за отсутствия требуемой продукции (работ, услуг) или несоответствия их качества требованиям потребителей.

Обобщая современную литературу по маркетингу, следует отметить, что при исследовании рыночных потребностей различают несколько видов спроса: первичный спрос, текущий рыночный спрос, потенциальный спрос, абсолютный потенциал рынка. Целесообразно рассматривать трансформацию различных видов спроса (увеличение или уменьшение его объемов) на региональных товарных рынках в зависимости от действия различных факторов. Предлагается выделить факторы внутренние по отношению к региональному рынку и внешние. К внутренним факторам следует отнести комплекс факторов структуры рынка и поведения предприятий на рынке, а к внешним — государственные (политические), социально-экономические, финансовые, культурные и другие факторы. Взаимосвязь различных видов спроса приведена на рис. 2.

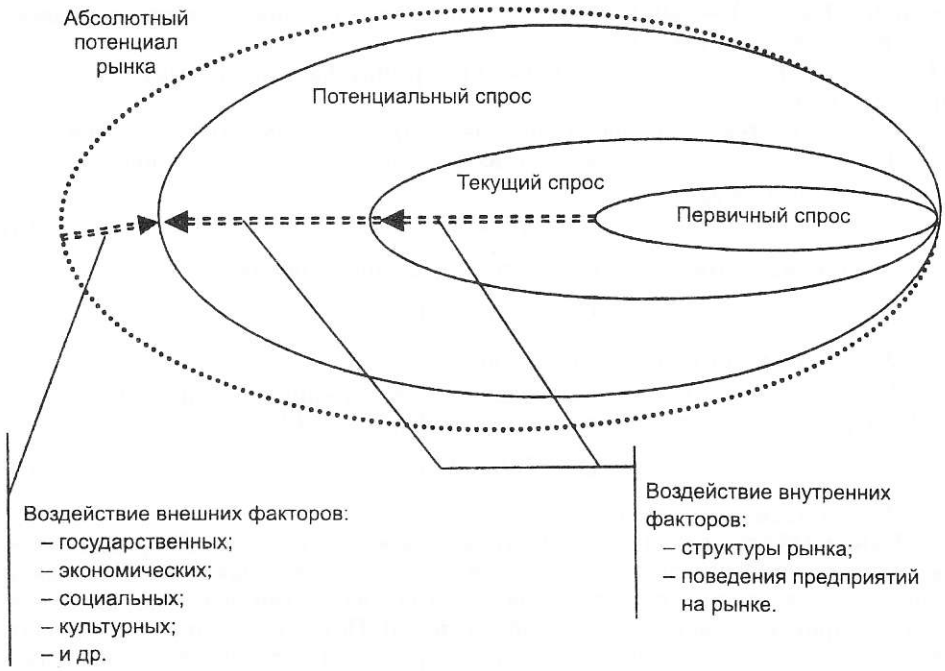


Рис. 2. Взаимосвязь видов рыночного спроса

Рассмотрим подробнее эти виды спроса. Текущий рыночный спрос характеризует объем продаж за определенный период времени в определенных условиях внешней среды при определенном уровне использования инструментов маркетинга предприятиями и организациями отрасли. Потенциальный спрос — предел, к которому стремится рыночный спрос при приближении затрат на маркетинг в отрасли к такой величине, при которой их дальнейшее увеличение уже не приводит к росту спроса при определенных условиях внешней среды. С некоторыми допущениями в качестве потенциала спроса можно рассматривать спрос, соответствующий его максимальному значению на кривой жизненного цикла какого-то продукта для стабильного рынка. В этом случае предполагается, что конкурирующие организации для поддержания спроса прилагают максимально возможные маркетинговые усилия. Факторы внешней среды оказывают существенное влияние на потенциальный спрос. Например, потенциал спроса на строительные материалы в период спада экономики намного меньше, чем в период ее процветания.

Кроме того, выделяют абсолютный потенциал рынка, который следует понимать как предел потенциала спроса при нулевой цене. Абсолютный потенциал рынка включает все потребности, обусловленные достигнутым уровнем развития производительных сил [6, с. 34]. Он позволяет оценить порядок величины экономических возможностей, которые открывает конкретный рынок. Так, абсолютный потенциал рынка жилья может определяться общей численностью населения, начиная с возраста совершеннолетия. Очевидно, что существует большой разрыв между абсолютным потенциалом рынка и потенциалом

спроса. Эволюция абсолютного рыночного потенциала обусловлена такими внешними факторами, как уровень доходов и цен, культурные ценности, государственное регулирование и т.п.

Формализуем взаимосвязи указанных видов спроса.

Пусть имеется n внутренних факторов и m внешних факторов. Обозначим через X_a совокупное влияние на объем спроса внутренних факторов (в процентах или долях), через X_b — совокупное влияние внешних факторов (в процентах или долях):

$$X_a = f(a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n), \quad (1)$$

$$X_b = f(b_1, b_2, b_3, \ldots, b_m), \quad (2)$$

где $a_i\,(i = 1, 2, \ldots, n)$ — внутренний по отношению к рынку фактор, оказывающий влияние на объем спроса;
$b_j\,(j = 1, 2, \ldots, m)$ — внешний по отношению к рынку фактор, оказывающий влияние на объем спроса.

Обозначим текущий спрос (в натуральных или стоимостных единицах) через D_t и определим его как сумму товарооборота (V_s) и объема неудовлетворенного спроса (D_{dis}):

$$D_t = V_S + D_{dis}, \quad (3)$$

тогда потенциальный спрос выразится следующим образом:

$$D_p = f(D_t, X_a), \quad (4)$$

где D_p — объем потенциального спроса.

Абсолютный спрос можно определить как функцию потенциального спроса (D_p) и совокупного влияния внешних факторов (X_b):

$$D_a = f(D_p, X_b), \quad (5)$$

где D_a — объем абсолютного спроса.

Рыночный спрос тесно связан с термином «потребление». Потребление — заключительная фаза процесса воспроизводства, состоящая в использовании продукта труда в процессе удовлетворения потребностей человека, производства и непроизводственной сферы общества [3]. Потребности и спрос находятся во взаимосвязи, и различным формам выражения потребности соответствует спрос определенного вида (текущий, неудовлетворенный, потенциальный, абсолютный) [6, с. 34].

Учитывая особенности рынка строительных материалов и общие законы развития рынков и их элементы (рис. 1), предлагается выполнять предварительный анализ и его прогноз в два этапа. На первом этапе целесообразно провести конъюнктурный анализ рынка строительных материалов, в ходе которого определяются качественные и количественные оценки о текущем состоянии определяющих элементов: соотношение спроса и предложения; состав продавцов и покупателей; объем производства и реализации; потенциал спроса и предложения; сбалансированность рынка; динамика рынка. Такой анализ необходим для определения стартовых условий развития рынка и для дальнейшего выявления причинно-следственных связей, обусловивших исходную ситуацию. Кроме того, в ходе конъюнктурного анализа определяются количественные и качественные значения показателей, которые должны регистрироваться для последующего мониторинга и выявления отклонений по разрабатываемым программам развития.

На втором этапе анализа — стратегическом — с целью дальнейшего осуществления прогноза предлагается выявить долгосрочные тенденции развития рынка и оценить силы и направления влияния факторов, определяющих его развитие. Выявление долгосрочных тенденций предлагается произвести с помощью анализа временных рядов с исключением внутригодовых сезонных и других малых цикличных колебаний и нерегулярных колебаний; осуществить экстраполяцию и разработать стратегическую трендовую модель. За информационную базу расчета предлагается взять данные о продажах (в натуральных или стоимостных единицах).

Проведение прогноза требует использования обширного статистического материала. На сегодняшний день отсутствуют доступные источники структурированной информации о производителях, продавцах и покупателях стройматериалов. Поэтому предлагается осуществлять анализ и прогнозирование рынка строительных материалов на основе доступной информации и информации, полученной с помощью проведения специальных мероприятий (экспертных опросов и интервьюирования).

Для формирования информации по анализу сегментов рынка рекомендуется разрабатывать системы критериев в виде морфологической таблицы (рис. 3). Кроме наглядности и удобства в использовании, такая таблица (на примере рынка кирпича) дает возможность очень быстро разработать анкету для получения информации об основных сегментах рынка.

Отрасли	промышленность	транспорт	сельское хоз-во	торговля и общественное питание	культура, наука, здравоохранение	коммунальное хозяйство	строительство
География	городское строительство	сельское строительство	другие регионы				
Тип работ	облицовка, отделка фасада	кладка наружных стен	кладка внутренних стен	кладка перегородок зданий			
Объем работ	капитальное строительство	ремонт и реконструкция					
Тип рынка	рынок организаций	рынок перепродаж	потребительский рынок				
Тип финансирования	населением за свой счет и с помощью кредитов	жилищно-строительными кооперативами	предприятиями и организациями всех форм собственности				
Размер предприятий-потребителей	крупные	средние	малые	индивидуальные застройщики			
Назначение	жилого назначения	нежилого назначения					
		промышленное	сельскохозяйственное	коммерческое	учебные здания	другие	
Форма собственности	государственная	коллективная	частная	иностранных юридических лиц	смешанная		

Рис. 3. Критерии сегментации потребителей кирпича

В качестве примера прогнозирования по предлагаемой методике приведем некоторые результаты анализа рынка кирпича в Новосибирской области.

Перевозка кирпича на расстояние более 300 км уже нерентабельна. Основными производителями-поставщиками кирпича в Новосибирской области являются четыре предприятия: ОАО «Черепановский завод стеновых материалов», ООО «Стройкерамика», ЗАО «Фирма кирпичный завод» р.п. Маслянино, ОАО «ЗСМ-7», производящие и реализующие совместно в среднем 160 млн шт. условного кирпича в год. Другими предприятиями-производителями производится в среднем около 18–25 млн шт. условного кирпича в год. Рынок кирпича является региональным. На территории города Новосибирска потребляется 50% кирпича. Объем экспорта из других регионов — 17,5% от выпуска, объем импорта — 8% объема рынка. Показатели рыночной структуры свидетельствуют о высокой концентрации рынка кирпича, который можно характеризовать как

олигополистический. Барьеры проникновения на рынок существенны, требуются значительные капиталовложения и неограниченный доступ к месторождению кирпичных суглинков. Следовательно, при оценке развития рынка кирпича по данным объема продаж нельзя судить о величине текущего спроса. Основные характеристики спроса, рассчитанные по предлагаемой методике приведены в таблице.

Характеристики рынка кирпича по итогам конъюнктурного анализа*

Показатель	Условное обозначение**	Значение в млн шт. условного кирпича
Производственный потенциал	V_p	173,2
Предельный производственный потенциал	$\lim V$	280
Объем продаж/товарооборот	D_t	170,2
Потенциальный спрос	D_p	254,7
Объем неудовлетворенного спроса	D_{dis}	81,5
Коэффициент удовлетворения спроса (отношение производственного потенциала к потенциальному спросу)	K_{dis}	0,68

* По состоянию на сентябрь 2004 г.
** Условные обозначения, как в формулах (3)–(4).

Производственный потенциал (V_p) отражает реальные возможности предприятий и рассчитывается с учетом полного использования мощностей, наличия ресурсов, степени соответствия качества товара (строительного материала) ожиданиям потребителей. Производственный потенциал меньше либо равен предельному потенциалу. Предельный потенциал ($\lim V$) равен сумме мощностей предприятий-производителей.

По данным таблицы можно сделать выводы, которые послужат основанием для разработки программ развития на региональном уровне:

1) для удовлетворения спроса в следующем году нужно увеличить объем производства на 81,5 млн шт. условного кирпича, который может быть обеспечен за счет более полной загрузки существующих мощностей;

2) прирост объемов производства не сможет полностью погасить неудовлетворенный спрос, поскольку значительная его часть не удовлетворяется из-за низкого качества кирпича, что выявлено путем опросов потребителей. На таких предприятиях необходимо внедрение мероприятий по повышению качества, изменению ассортимента и пр.

При сохранении существующих условий имеющихся мощностей к 2008 г. окажется недостаточно (потенциальный спрос составит более 270 млн шт. условного кирпича) даже при увеличении параметров качества в показателе производственного потенциала. Для удовлетворения потребности в кирпиче региону требуется увеличение существующих мощностей на 30–40%. В период 2005–2015 гг. следует ожидать существенного роста спроса на кирпич (прежде всего за счет прогнозируемого роста объемов жилищного строительства). Есть основания утверждать, что за горизонтами среднесрочного планирования существующие производственные мощности будут не в состоянии удовлетворить потребность региона в керамическом кирпиче.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития строительного комплекса Российской Федерации до 2010 года//Архитектура и строительство Сибири.— 2003.— № 10/11.— С. 17—23.
2. Владимирова Л. П. Планирование в условиях рынка: Учеб. пособие/Л. П. Владимирова.— 3-е изд., перераб.— М.: Дашков и К, 2004.— 399 с.
3. Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь. Словарь современной экономической науки/Л. И. Лопатников.— М.: Дело, 2003//www.iet.ru/slovar.
4. Шерер Ф. Структура отраслевых рынков: Пер. с англ./Ф. Шерер, Д. Росс.— М.: Ифра-М, 1997.— 698 с.

5. Касьянова А. В. Структура и результативность рынков основных строительных материалов на территории Новосибирской области: Монография/А. В. Касьянова; Науч. ред. Л. В. Заруева.— Новосибирск; НГАСУ, 2003.— 88 с.
6. Котов В. В. Методологические особенности определения платежеспособного спроса на строительно-монтажные работы/В. В. Котов//Экономика строительства.— 1998.— № 11—12.— С. 22—36.

© Ивашенцева Т. А., Гуслова Н. А., 2005

Получено 23.12.04

УДК 69.003.12

А. Г. КУЗЬМИНСКИЙ, д-р экон. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин));
В. А. ИЗАТОВ, доц. (ООО НПП «АВС-Н», г. Новосибирск)

ФОРМИРОВАНИЕ СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ РЕСУРСОВ НА МОМЕНТ СЧЕТА

Предложены методики формирования сметной стоимости ресурсов. Обосновано, что использование конкретной методики предопределяет точность счета сметных цен на строительную продукцию при применении ресурсного метода.

В процессе строительного производства используются три группы ресурсов — труд, строительные машины и строительные материалы.

Ресурсный метод формирования групп сметных затрат в составе договорных цен на строительную продукцию реализуется только при условии, что на момент счета (например, суммы инвесторской сметной стоимости СМР) пользователь — строительная организация разрабатывает сметные стоимости ресурсов.

Уровень точности счета сметной стоимости ресурсов зависит от принятой исходной информации и методов ее формирования. Так, суммы сметной стоимости конкретного материала, сформированные по единой методике, но с использованием, например, информации РЦЦС (усредненная оптовая цена и транспортные затраты по варианту транспортной схемы администрации) или исходной информации пользователя (оптовая цена конкретного поставщика и транспортные затраты по реально сложившейся транспортной схеме) будут разными.

Строительными нормами регламентированы группы затрат в составе сметной стоимости ресурсов: сметной стоимости эксплуатации строительных машин и сметной стоимости материалов, конструкций и полуфабрикатов. Сметные стоимости ресурсов можно формировать с использованием классических (традиционных) или приближенных методик расчетов.

Классические методики формирования требуют разработки калькуляций по всем группам затрат, которые входят в сметную стоимость ресурса. Классические методики формирования сметной стоимости ресурсов гарантируют 100-процентную достоверность результата счета, но при максимуме трудоемкости расчетов, а методики приближенных расчетов — достаточную достоверность результата счета при минимуме трудоемкости расчетов.

Различная трудоемкость использования методик объясняется тем, что классические методики построены на принципах ресурсного метода формирования групп сметных затрат, а методики приближенных расчетов — на принципах компенсационно-индексных методов, предложенных Госстроем России.

В статье предлагаются методики формирования сметной стоимости ресурсов на момент счета (инвесторской) сметной стоимости СМР ресурсным методом.

Методики формирования сметной заработной платы рабочих-строителей и механизаторов на сметный разряд на момент счета

Методика 1. Формирование нормы сметной заработной платы рабочих-строителей на чел.-ч на средний сметный разряд (классический метод). Сметная заработная плата рабочих-строителей и механизаторов в условиях действующей СЦиСН формируется с учетом ряда особенностей.

Особенность заключается в том, что она формируется на чел.-ч для конкретного территориального района в объеме фонда оплаты труда по сметному разряду по требованиям действующей Тарифной системы и с учетом минимальной заработной платы рабочих первого разряда на месяц, установленного на текущий квартал года «Отраслевым тарифным соглашением по строительству и промышленности строительных материалов Российской Федерации».

Методика 2. Формирование нормы сметной заработной платы рабочих-строителей на средний сметный разряд методом приближенных расчетов. Трудоемкость расчета часовой тарифной ставки на сметный разряд можно значительно снизить за счет применения базисно-индексного метода.

Формирование часовой тарифной ставки на сметный разряд базисно-индексным методом выполняется по рекомендуемой формуле

$$З_i^t = С \cdot k_i \cdot И^t, \qquad (1)$$

где k_i — сметный тарифный коэффициент к 4-му сметному разряду (i = 1; 1,1; 1,2;...; 6);

С — сумма часовой тарифной ставки рабочих-строителей.

$И^t$ — индекс изменения минимума зарплаты рабочих-строителей и механизаторов (месячной тарифной ставки по Соглашению) на момент счета t:

$$И^t = \frac{З_{min}^t}{З_{min}^б} = \frac{З_{min}^t}{584}, \qquad (2)$$

где $З_{min}^б$ — месячная тарифная ставка рабочих-строителей и механизаторов в базисном уровне (01.01.2000), по условиям Соглашения равна 584 р.;

$З_{min}^t$ — то же, в текущем уровне, на момент счета t, р.

Часовая тарифная ставка на сметный разряд может быть сформирована и с помощью других методик, например с использованием базисно-компенсационного метода.

Результаты практических расчетов свидетельствуют о том, что предлагаемые методики обеспечивают одинаковые результаты счета.

Методики формирования сметной стоимости использования строительных машин и механизмов на момент счета

Сметная стоимость использования строительных машин и механизмов формируется в объеме планово-расчетной цены на 1 маш.-ч.

В составе сметной стоимости машино-часа учитываются две группы затрат. В первую группу входят затраты на поддержание строительных машин в работоспособном состоянии, а во вторую — затраты на энергоресурсы и заработная плата рабочих-механизаторов.

Сметные затраты первой группы в составе сметно-нормативных баз 1955 и 1984–2001 гг. формируются по различным методикам.

По методике СНиП-1955 г. нормы затрат первой группы по строительным машинам выражены в процентах, а за базу счета принята расчетная стоимость строительной машины (а в современных условиях — цена приобретения строительной машины на момент счета). Пределы норм затрат первой группы по всем видам строительных машин составляют от 0,84 до 0,028% [1].

По методикам СНиП-1984 и 2001 гг. затраты первой группы формируются по видам строительных машин с учетом норм амортизационных отчислений, срока службы машин и системы ППР.

Методика 1. Формирование сметной стоимости машино-часа с использованием ФССЦ на машины (классический метод). По конкретной строительной машине сметная стоимость машино-часа на момент счета формируется на основании ФССЦ, разработанных для базисного территориального района (50 — Московская область) в базисном уровне цен (2001) .

В составе ФССЦ на машины затраты по группам 3, 4, 5, 11, 12 и 13 заданы в рублях, а на труд (6) и энергоносители (7, 8, 9 и 10) даны нормы расхода в физических единицах измерения.

Учитывая особенность состава ФССЦ при формировании сметной стоимости машино-часа на момент счета, для конкретного территориального района

затраты по группам, выраженные в рублях, в текущий уровень цен переводятся расчетными коэффициентами, а заработная плата и сметная стоимость энергоресурсов определяется прямым счетом.

Формирование стоимости машино-часа на момент счета выполняется по модели

$$C_j^t = \sum_{\alpha=1}^{Q} З_\alpha \cdot k_\alpha + \sum_{i=1}^{m} O_i^t \cdot H_{ij} + \sum_{i_1} R_{ij} \cdot З_{i_1}^t, \qquad (3)$$

где t — порядковый месяц года ($t = 1 \div 12$);

j — вид строительной машины ($j = \overline{1, n}$);

i — вид энергоресурсов, используемый j-видом строительной машины ($i = \overline{1, m}$);

i_1 — сметный разряд рабочих механизаторов ($i_1 = 1 \div 6$);

α — вид затрат, заданный в нормах в рублях ($\alpha = \overline{1, Q}$);

$З_\alpha$ — сметная норма затрат в рублях (в базисном уровне цен) по α-виду затрат, р.;

k_α — коэффициент перевода базисных затрат в текущий уровень (на момент счета) по α-виду сметных затрат;

O_i^t — оптовая (рыночная) цена i-го энергоресурса в наборе сметной нормы H_{ij} на момент счета t, р.;

H_{ij} — сметная норма набора энергоресурсов i-го вида по строительным машинам вида j, в физических единицах измерения;

R_{ij} — затраты труда механизаторов по сметному разряду i по j-му виду строительной машины, в чел.-ч;

$З_{i1}$ — сметная заработная плата механизаторов (в объеме фонда оплаты труда) на сметный разряд i_1 на момент t, р.

По рекомендуемой Госстроем РФ методике самым сложным элементом формирования являются коэффициенты (индексы) перевода базисных сметных затрат в текущий уровень. Надо отметить, что рекомендаций по формированию коэффициентов и по сей день нет.

Методика 2. Формирование сметной стоимости машино-часа с использованием идей методологии СНиП-1955 г.

По методологии СНиП-1955 г. в составе сметной стоимости машино-дня первая группа затрат формируется по норме (заданной в процентах), а в качестве базы счета принята оптовая цена строительной машины. Стоимость энергоресурсов определяется прямым счетом.

Тогда сметная стоимость машино-часа в текущем уровне цен формируется по формуле

$$C_j^t = O_j^t \cdot \frac{H_j}{8 \cdot 100} + \sum_{i=1}^{m} O_j^t \cdot H_{ij} + \sum_{i_1} R_{i_1} \cdot З_{i_1}^t, \qquad (4)$$

где O_j^t — рыночная цена j-го вида строительной машины на момент счета t, р.;

H_j — норма затрат первой группы в процентах от расчетной стоимости строительной машины по нормам СНиП (часть 4); 8 — продолжительность рабочего дня, ч.

Предлагаемая методика обеспечивает высокую степень точности расчета. Нормы набора энергоресурсов принимаются по ФССЦ на машины.

Методика 3. Формирование сметной стоимости машино-часа с использованием базисно-индексного метода. Для снижения трудоемкости расчетов сметной стоимости машино-часа можно использовать базисно-индексный метод. Расчет выполняется по модели

$$C_j^t = C_j^б \cdot И_j^t, \qquad (5)$$

где $C_j^б$ — сметная стоимость машино-часа в базисном уровне цен (01.01.2001), р.;

$И_j^t$ — индекс изменения сметных цен на момент счета, раз.

Принципиальным вопросом здесь является содержание группы затрат, принятой за базу счета индекса. Возникают варианты.

Вариант 1. В качестве базы расчета индекса приняты затраты первой группы. Тогда

$$И^t = \frac{O_j^t \cdot \frac{H_j}{100 \cdot 8}}{O_j^б \cdot \frac{H_j}{100 \cdot 8}}, \qquad (6)$$

где $O_j^б$ — оптовая цена строительной машины в базисном уровне, р.

Вариант 2. В качестве базы расчета индекса приняты суммы оптовых цен на энергоресурсы в наборе нормы. Тогда

$$И^t = \frac{\sum_{i=1}^{m} O_i^t \cdot H_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} O_i^б \cdot H_{ij}}, \qquad (7)$$

где $O_j^б$ — сметная стоимость энергоресурса j в базисном уровне цен, р.

Вариант 3. В качестве базы расчета индекса приняты суммы заработной платы рабочих-механизаторов. Тогда

$$И^t = \frac{З_{i_1}^t \cdot R_{ij}}{З_{i_1}^б \cdot R_{ij}}, \qquad (8)$$

где $З_{i_1}^б$ — сметная заработная плата рабочих-механизаторов в объеме нормы R_{ij} в базисном уровне цен, р.

Вариант 4. В качестве базы расчета индекса приняты затраты по первой и второй группам. Тогда

$$И^t = \frac{O_j^t \cdot \frac{H_j}{100} + \sum_{i=1}^{m} O_i^t \cdot H_{ij} + З_{i_1}^t \cdot R_{ij}}{O_j^б \cdot \frac{H_j}{100} + \sum_{i=1}^{m} O_i^б \cdot H_{ij} + З_{i_1}^б \cdot R_{ij}}. \qquad (9)$$

Методики формирования сметной стоимости строительных материалов и конструкций

Сметная цена на строительные материалы, конструкции и полуфабрикаты состоит из оптовой цены на строительные материалы (O_j^t), транспортных затрат (ТР) и заготовительно-складских расходов (ЗСР):

$$C_j^t = O_j^t + ТР_j + ЗСР. \qquad (10)$$

Отпускная цена — это цена сделки (контракта), по которой материальные ресурсы меняют своего правообладателя, в основном зависящая от сложившихся местных рыночных условий и не зависящая от подрядчика.

Транспортные расходы определяются как совокупность транспортных затрат, необходимых для перемещения материальных ресурсов в соответствии с выбранной транспортной схемой, стоимость погрузочно-разгрузочных работ, стоимость тары (упаковки и реквизита).

Сложившаяся в последние годы (после дефолта в августе 1998 г.) тенденция возрастания удельного веса транспортных расходов в составе сметных цен материалов обостряет и усиливает внимание участников инвестиционного процесса в строительстве к этому виду затрат.

Метод формирования транспортных расходов определяется только договорными отношениями. На наш взгляд, может быть три метода формирования

транспортных расходов: «калькуляционный», «по единой норме» и «смешанный».

Конкретный вариант метода предопределяет стоимости строительных материалов в текущем уровне цен на момент счета.

Методика формирования сметной стоимости строительных материалов в текущем уровне цен, при формировании транспортных затрат с помощью «калькуляционного» метода

Сметные транспортные расходы «калькуляционным» методом формируются по каждому виду строительных материалов и конструкций с помощью калькуляции. В калькуляции транспортные расходы исчисляются по статьям транспортных затрат (погрузка, разгрузка, тара, перевозка, подача-уборка вагонов, судов и т.п.) и на тонну груза.

«Калькуляционный» метод дает результаты, наиболее приближенные к «истинному» размеру транспортных расходов, но он и наиболее трудоемок, поскольку требует для каждого материала учета своей транспортной схемы, класса груза, особенностей транспортировки и многих других факторов.

Методика разработки КТР тщательно отработана еще в советское время и принята в действующей СЦиСН (МДС 81-2.99).

Здесь формирование сметной стоимости строительных материалов и конструкций в текущем уровне цен выполняется по модели

$$C_j^t = (O_j^t + TP_j) \cdot \left(1 + \frac{ЗСР}{100}\right), \qquad (11)$$

где j — вид строительных материалов и конструкций;

t — момент формирования;

O_j^t — оптовая цена потребительской единицы строительного материала j-го вида, сложившаяся на рынке на момент t, р.;

TP_j — транспортные затраты по j-му материалу, пересчитанные на потребительскую единицу измерения, р.;

ЗСР — норма заготовительно-складских расходов, в процентах, от базы счета — $O_j^t + TP_j$.

Методика формирования сметной стоимости строительных материалов в текущем уровне цен при формировании транспортных затрат по «единой норме»

В данной методике предусмотрено, что сметные транспортные расходы по видам материалов формируются по единой норме, заданной в процентах от отпускной цены. Норма транспортных затрат принимается по условиям договора.

Такой метод формирования сметных транспортных затрат рекомендуется Госстроем РФ в Федеральном сборнике сметных цен на материалы, изделия и конструкции (Госстрой России, Москва, 2003 г.). В «Общих положениях» (п. 6) приводится «транспортная составляющая в размере 13% от отпускной цены».

Это самый легкий по трудоемкости реализации метод формирования сметных транспортных расходов. Кроме того, этот метод дает приближенные результаты счета.

ПРИМЕР. Транспортные расходы на дверной блок стоимостью 3000 рублей за штуку по методике составят 3000 × 0,13 = 390 р., и это кажется достаточно много. А на кубический метр песка (при массе в 1,5 т) стоимостью 80 р. транспортные расходы составят 80 × 0,13 = 10,4 р., и этого явно мало для перемещения такой массы.

Здесь формирование сметной стоимости строительных материалов и конструкций в текущем уровне цен выполняется по модели

$$C_j^t = \left[O_j^t \cdot \left(1 + \frac{TP}{100}\right)\right] \cdot \left(1 + \frac{ЗСР}{100}\right), \qquad (12)$$

где ТР — норма транспортных расходов в процентах от оптовой цены на материал, принятая по условиям договора.

Методика формирования сметной стоимости строительных материалов в текущем уровне цен при формировании транспортных затрат «смешанным» методом

В данной методике предусматривается формирование сметных транспортных затрат «смешанным» методом. Суть метода заключается в одновременности применения «калькуляционного» метода и метода «по единой норме». Для этой цели подрядчик делит все потребляемые строительные материалы на две группы: в первую группу включаются строительные материалы и конструкции со значительной массой потребительской единицы (например: 1000 штук кирпича, 1 м^3 железобетонных конструкций), а во вторую — с незначительной массой потребительской единицы.

Сметные транспортные затраты по первой группе материалов формируются «калькуляционным» методом, а вторая — методом «по единой норме».

Рекомендованный «смешанный метод» формирования транспортных расходов позволяет повысить точность результатов счета и частично снизить трудоемкость расчетов.

Здесь формирование сметной стоимости материалов и конструкций по группам выполняется по моделям 11 и 12.

Методика 1. Формирование сметной стоимости строительных материалов и конструкций с использованием базисно-индексного метода. Сметная стоимость материалов формируется на потребительскую единицу измерения.

На момент счета сметная стоимость материалов определяется по модели

$$С_j^t = С_j^б \cdot И_j^t, \qquad (13)$$

где $С_j^б$ — сметная стоимость строительных материалов j-го вида в базисном уровне цен, р.;

$И_j^t$ — индекс изменения сметной стоимости строительных материалов вида j на момент счета.

Индекс изменения сметной стоимости строительных материалов определяется отношением сумм оптовых цен на материалы:

$$И_j^t = О_j^t / О_j^б . \qquad (14)$$

Таким образом:

классические методики и методики приближенных расчетов сметной стоимости ресурсов — эксплуатации строительных машин и строительных материалов — обеспечивают разные результаты счета;

пользователь при формировании (инвесторской) сметной стоимости СМР ресурсным методом методики формирования сметной стоимости ресурсов (на момент счета) выбирает самостоятельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП.— Часть IV.— Т. 1.— М., 1954.— 376 с.

© Кузьминский А. Г., Изатов В. А., 2005

Получено 23.12.04

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 626.4 : 53.072.12

В. В. ДЕГТЯРЕВ, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

СНИЖЕНИЕ РИСКА И УМЕНЬШЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ*

Излагаются основные результаты, полученные при проведении научных исследований научного направления НГАСУ (Сибстрин) — «Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф».

Начало формирования научно-педагогической школы, работающей в области решения задач по снижению риска и уменьшению последствий природных и техногенных катастроф, по времени совпадает с созданием в Новосибирском инженерно-строительном институте (НИСИ) в 1938 г. кафедры гидравлики, а затем в 1951 г. кафедры гидротехнических сооружений и гидравлики, первым заведующим которой вплоть до 1956 г. был к.т.н., а затем д.т.н., проф. Павел Иванович Кудрявцев.

Уже на начальных этапах ее становления на кафедре проводились крупные НИР, связанные с натурными исследованиями работы гидротехнических сооружений в сложных природно-климатических условиях, гидрологии, гидродинамики, термики и гидроледотермики рек, естественных и искусственных водоемов. Так, в период с 1954 по 1955 г. выполнялись исследования перекрытия р. Обь при строительстве Новосибирской ГЭС и многие другие.

В период с 1955 по 1972 г. изучалась работа водозаборов на р. Обь у г. Барнаула, на р. Левая Паратунка, на р. Бердь у г. Искитима, на р. Чумыш.

Шестнадцать экспедиций было организовано в Алтайский край на Кучукское озеро в период с 1965 по 1982 г. с целью исследования температурного режима, волн, течений, а также динамики наносов в мелководных непроточных водоемах.

В период с 1972 по 1982 г. разрабатывалась и внедрялась технология намыва инженерных сооружений в условиях Крайнего Севера и для Богучанской ГЭС на р. Ангаре.

Ряд экспедиций был организован в Киргизию на Андижанскую ГЭС с целью исследования температурного режима молодого бетона.

Большое внимание уделялось исследованию процессов переработки и различных типов крепления берегов водохранилищ с организацией опытных участков.

Совместно с Институтом гидродинамики им. М. А. Лаврентьева в 1973–1984 гг. выполнялись исследования гидродинамических аспектов работы Красноярского судоподъемника, включая нештатные ситуации.

В 1980–1988 гг. велись работы с целью изучения береговых сопряжений грунтовых плотин в условиях Северной климатической зоны (Вилюйская ГЭС-III), а также гидротехнических сооружений, возведенных на реках Кодыкчан, Казачка, Аркагал.

В 1984–1985 гг. были выполнены исследования по изучению ледотермического режима Нижней Оби в рамках работ по обоснованию проекта переброски части стока Сибирских рек в Среднюю Азию и ветро-волнового режима канала переброски части стока Сибирских рек в Среднюю Азию.

В 1985–1990 гг. проводились исследования влияния различных активных антропогенных факторов на гидрологический режим и русловые процессы рек,

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проектов: 95-01-011640, 98-01-007500, 01-01-00846, 04-01-00040), НТП «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» (подпрограмма «Архитектура и строительство»), Федеральной целевой программы «Интеграция науки и высшего образования России», гранта «Ведущие научные школы», Интеграционной программы № 3.13.1 СО РАН.

находящихся в естественном состоянии (р. Иртыш, р. Тура) и зарегулированным стоком (р. Обь).

В настоящее время в НГАСУ (Сибстрин) сформировалась одна из ведущих научных школ в области математического и физического моделирования гидродинамических процессов в сложных системах трубопроводов, искусственных и естественных руслах, водоемах; исследований гидротехнических сооружений различного функционального назначения; инженерной гидроэкологии (научное направление — «Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф»), в составе которой работают 6 докторов наук, 12 кандидатов наук (всего более 30 сотрудников).

Сказанному выше во многом способствовало то, что коллектив на протяжении более трех десятилетий де-факто тесно сотрудничает с рядом академических институтов СО РАН. В 2000 г. открыты два филиала кафедры гидротехнических сооружений и гидравлики: в Институте водных и экологических проблем СО РАН, возглавляемом академиком РАН О. Ф. Васильевым, и в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева, возглавляемом д.ф.-м.н., проф. Букреевым.

Ряд сотрудников научно-педагогической школы являются членами-корреспондентами и действительными членами (академиками) отечественных и Международных академий: Российской академии наук; Российской академии естественных наук; Российской академии водохозяйственных наук; Международной академии наук высшей школы; Международной академии наук о природе и обществе; Международной академии экологии и природопользования; Международной ассоциации по гидравлическим исследованиям и гидротехнике.

Официальное признание научных результатов, в том числе и в области приоритетных направлений фундаментальных исследований, подтверждается тем, что заявляемые проекты побеждают на Всероссийских конкурсах, проводимых по различным научно-техническим программам и фондам.

В течение ряда лет НГАСУ (Сибстрин) являлся базовым вузом проблемного направления Межвузовской научно-технической программы «Архитектура и строительство» — «Создание конструкций гидротехнических сооружений повышенной надежности и экологической безопасности, совершенствование методов проектирования, возведения и реконструкции на основе технологий рационального природопользования».

Формирование научного направления «Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф» во многом определилось актуальностью решения проблем, связанных с возникновением чрезвычайных ситуаций в речных бассейнах, обусловливающих нарушение устойчивого функционирования водохозяйственных и гидроэнергетических объектов, вызванных авариями на гидротехнических сооружениях, разрушением их отдельных конструкций и элементов механического оборудования, что, к сожалению, подтверждается рядом фактов, имевших место в последнее время в нашей стране и за рубежом, что было сопряжено не только с огромными материальными затратами по их восстановлению и страховым компенсациям, но зачастую и с гибелью людей. Обобщение материалов, связанных с обследованиями состояния сооружений в преддверии аварии, их причинами, развитием связанных с ними процессов во времени, мероприятиями по локализации или удавшемуся устранению предпосылок к возникновению, путями реконструкции и реставрации, является необходимым условием обеспечения устойчивого функционирования отдельных сооружений, гидроузлов и природно-техногенных речных систем в целом. Решению этих задач способствует работа созданного в 1999 г. на базе НГАСУ (Сибстрин) Регионального экспертного центра МПР РФ по экспертизе деклараций безопасности ГТС и создание информационно-справочной системы по авариям на гидротехнических сооружениях.

Возникновение аварийных ситуаций может быть вызвано полным разрушением самих объектов или их элементов. Судопропускные сооружения — судоходные шлюзы не являются в этом смысле исключением, что подтверждено авариями на Пермском (1994) и Константиновском (2004) шлюзах. Это и определило необходимость реализации комплексных теоретических и экспе-

риментальных исследований нестационарных гидродинамических процессов, возникающих вследствие аварий, вызванных теми или иными причинами и развивающихся по различным сценариям, позволило усовершенствовать математические модели, используемые для описания подобных явлений, реализовать их калибровку и устранить некоторые трудности при реализации численного решения. Этому способствовала НИР «Гидродинамические аспекты развития чрезвычайных аварийных ситуаций на судоходных шлюзах и обоснование мероприятий по обеспечению их устойчивого функционирования», выполненная при финансовой поддержке научно-технической программы «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники. Подпрограмма 211. Архитектура и строительство», а также НИР «Исследование гидродинамики нестационарных открытых водных потоков», разработанная в рамках Федеральной целевой программы «Интеграция науки и высшего образования России на 2002–2006 годы».

С целью совершенствования научной основы для прогнозов гидродинамических процессов природного и техногенного характера, получения новой экспериментальной информации, проверки и совершенствования методов расчета катастрофических волн перемещения различной природы, реализованы широкомасштабные экспериментальные исследования в ряде НИР, выполненные по заданию Министерства образования и науки РФ и Российского фонда фундаментальных исследований: «Распад разрыва над уступом на дне призматического русла», «Теоретические и экспериментальные исследования волновых течений, возникающих при разрушении гидротехнических сооружений» и «Экспериментальная проверка газогидравлической аналогии на примере задачи о распаде начального разрыва уровня свободной поверхности воды». Их результаты позволяют осуществить стратегические прогнозы возможных негативных последствий природных и техногенных катастроф.

Предупреждение ледовых заторов на реках, особенно тех, русла и долины которых подверглись техногенным преобразованиям, является задачей, требующей незамедлительного решения. Чрезвычайные ситуации, возникающие при вскрытии ледяного покрова, стали далеко не редкостью в ряде бассейнов сибирских рек. Ошибки в принятии инженерных решений, нередко связанные с преступным пренебрежением рекомендациями специалистов или вообще с невежеством в области речной гидравлики и русловедения, приводят к трагическим последствиям. Последнее особенно актуально для широких пойм, перекрываемых глухими подходными дамбами, являющимися препятствием для плывущего льда. Разработка и обоснование мероприятий по предотвращению образования ледовых заторов на подходах к мостовым переходам через реки осуществляется в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы» — междисциплинарного интеграционного проекта «Анализ и моделирование экстремальных гидрологических явлений в целях разработки мероприятий по предотвращению неблагоприятных последствий и минимизации ущерба на водных объектах Сибири». В состав Институтов — исполнителей входят: Институт водных и экологических проблем СО РАН, Институт географии СО РАН, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Институт математики им. С. Л. Соболева, Институт проблем нефти и газа СО РАН, Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Институт химии нефти, НГАСУ (Сибстрин), Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт Росгидромета РФ.

В силу проявления ряда факторов, имеющих естественную и антропогенную природу, устойчивое водоснабжение городов из наземных источников, расположенных в бассейнах таких рек сибирского региона, как Обь, Иртыш, Томь и другие, весьма осложнено. Генезис причин этого различен, но в качестве одной из основных следует указать необоснованно большие объемы извлечения аллювиальных отложений в результате разработки подводных русловых карьеров нерудных строительных материалов. В нижнем бьефе Новосибирской ГЭС последнее обстоятельство усугублено существенной

неравномерностью сбрасывания расходов воды, особенно в период зимней межени. Обоснованию режимов сброса воды через турбины ГЭС в условиях суточного регулирования стока и разработке рекомендаций по осуществлению мероприятий, обеспечивающих нормальные условия эксплуатации водозаборов в условиях катастрофического маловодья с учетом особенностей гидроледотермического режима, посвящен ряд работ, выполненных совместно с Институтом водных и экологических проблем СО РАН.

Суточная неравномерность сбросных расходов ГЭС в период летне-осенней межени может привести к нарушениям устойчивого функционирования других водохозяйственных объектов — судоходных шлюзов, особенно если прогнозируемая величина посадки уровня свободной поверхности превышена, причем иногда в несколько раз в силу причин, указанных выше. Следует отметить, что с точки зрения обеспечения безопасности судопропускные сооружения являются одними из наиболее сложных участков внутренних водных путей. Статистические данные по аварийности показывают, что несмотря на целый ряд организационных и технических мероприятий, аварийность на судоходных шлюзах остается довольно высокой. Причем основная часть транспортных происшествий совершается в зоне подходных каналов и в моменты захода в камеры шлюзов и выхода из них. Решению проблем обеспечения безопасности этих процессов посвящен ряд НИР, выполненных с целью обоснования габаритов шлюзов, допустимых скоростей движения судов и составов, а также разработки мероприятий по организации специальных попусков с целью обеспечения необходимых запасов под днищем, что основывается на математическом моделировании нестационарных гидродинамических процессов в камерах и каналах судоходных шлюзов.

Разработка автоматизированной гидрогеоинформационной системы управления водохозяйственными объектами необходима для предотвращения возможности возникновения аварийных ситуаций и их опасных экологических последствий. Так, например, при осуществлении мероприятий по защите берегов водохранилищ от разрушения вследствие береговой абразии в качестве альтернативного решения, во всяком случае, метода, используемого в качестве составной части комплекса берегозащитных мероприятий, используется намыв пологих пляжей из грунта, извлекаемого из подводных карьеров, расположенных вдоль периметра чаши водохранилища. При производстве гидромеханизированных работ будет иметь место интенсивное взмучивание донных отложений, содержащих не только минеральную и органическую составляющие, но и тяжелые металлы. Разрабатываемая ГИС система для управления качеством водной среды при проведении подобных мероприятий позволит обеспечить экологическую безопасность в зоне производства работ.

Строительство гидротехнических сооружений в суровых климатических условиях бассейнов рек Енисея и Лены имеет много особенностей. Среди них такие, как значительные колебания температуры наружного воздуха в годовом и суточном разрезе, наличие вечномерзлых грунтов, короткие безморозные периоды. Суровые природно-климатические условия являются во многом причинами увеличения сроков и стоимости строительства, в первую очередь за счет затрат на защиту и борьбу со снегом, прогрев оснований и конструкций, временное отопление строящихся помещений, разработку мерзлых грунтов, расходы при производстве наружных работ зимой и другие. Затраты на «зимнее удорожание» составляют 30–60% суммы прямых затрат. Последнее определило необходимость разработки новых более эффективных тепловых технологий, поскольку существующие в настоящее время имеют общий существенный недостаток — низкий КПД использования тепла, не превышающий 5%.

С учетом этого в НГАСУ (Сибстрин) на кафедре безопасности жизнедеятельности и в СибНИИЭ теоретически обоснованы, экспериментально проверены и конструктивно разработаны новые электротепловые технологии, основанные на объемных электрических нагревателях из электропроводного бетона (бетэла).

Предлагаемые технологии могут быть использованы для создания протяженных тепловых систем для защиты промерзших грунтов; тепловых систем обогрева в тепляках при бетонировании массивных блоков основных сооружений ГЭС; регулирования режима остывания отформованных блоков; изготов-

ления термоактивной опалубки для бетонных работ в зимний период; изготовления термоактивных армоопалубочных плит и т.п.

Экспериментальная проверка возможных вариантов применения показала высокую техническую эффективность разработанных технологий, которая связана с принципиально новыми возможностями применения нагревателей из электропроводного бетона.

Практическая крупномасштабная реализация электропроводных систем была осуществлена в середине 90-х годов при строительстве Вилюйской ГЭС-3, где впервые в мировой практике была использована на площади более 10000 м^2 система тепловой защиты грунтового основания под плитами водобоя.

Система показала высокую техническую эффективность в условиях реальной эксплуатации в течение заданного периода (3 года) и обеспечила снижение непроизводительных расходов на утепление грунтового основания в этот период строительства.

Аварийные и нештатные ситуации, чреватые опасными последствиями для тепловых сетей и систем водоснабжения городов, также являются предметом исследований настоящего направления. Математическое моделирование аварийных ситуаций, обусловленных внезапным обесточиванием насосных станций, неправильной сработкой клапанов, разрывом трубопроводов, расчет распространения волн гидравлического удара, параметров их взаимодействия с оборудованием ТЭЦ, насосными станциями позволяет выявить наиболее уязвимые участки трубопроводных сетей, где давление достигает максимальных значений, оценить эффективность различных мер по защите сетей. Подобные задачи решались и для систем технологических трубопроводов АЭС.

Аналогичные исследования выполнены и для водопроводных систем применительно к оценке последствий плановых включений и отключений с целью выбора наиболее безопасных режимов работы и эффективных мер защиты.

С целью расчета вентиляционных режимов работы метрополитенов, железнодорожных тоннелей и шахт разработаны математические модели, алгоритмы и программное обеспечение расчетов применительно к условиям движения в них поездов с целью определения наиболее эффективных режимов вентиляции, особенно в зимний период.

Результаты исследований широко опубликованы в ряде журналов с внешним рецензированием, например, «Известия вузов. Строительство», «Гидротехническое строительство», «Водные ресурсы», «Прикладная механика и техническая физика», «Механика жидкости», «Доклады РАН» и других, а также на Всероссийских и международных конференциях и симпозиумах. География проведения последних весьма обширна и представлена странами Европы (Германия, Дания, Австрия, Англия, Швеция, Греция), Азии (Южная Корея, Сингапур), Африки (Южно-Африканская республика) и Австралией.

© Дегтярев В. В., 2005

Получено 23.12.04

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628 : 697

А. Н. КРЫЖАНОВСКИЙ, канд. техн. наук, проф. (Новосибирский архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

Описаны основные результаты научной работы в области создания систем водоснабжения, водоотведения и климатизации.

Научное направление включает разработки двух выпускающих кафедр: «Водоснабжение и водоотведение» и «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Сотрудники кафедры водоснабжения и водоотведения в течение многих лет работают над комплексной проблемой «Исследование и внедрение новых технологий водного хозяйства и очистки бытовых и промышленных сточных вод с целью охраны окружающей среды».

Значительный вклад в вопросы изучения шуголедовых условий рек Западной Сибири и влияние их на конструктивные особенности водозаборных сооружений внес основатель кафедры и в течение 40 лет ее бессменный руководитель засл. деятель науки и техники, проф. Н. С. Макеров, многолетний труд которого отражен в монографии «Водозаборы Западной Сибири».

С 1963 по 1980 г. научное направление «Интенсификация и разработка новых технологий очистки бытовых сточных вод» возглавила к. т. н. В. В. Сбоева. Под ее руководством защитили кандидатские диссертации восемь аспирантов кафедры.

В этот же период научно-исследовательскую работу вел к. т. н., доц, В. А. Бедрин, возглавляя в течение 10 лет научное направление «Проблемы очистки сточных вод предприятий резинотехнических изделий и технического углерода». Под его руководством защищены две кандидатские диссертации. Результаты исследований внедрены на многих предприятиях отрасли и внесены в технический регламент проектирования заводов отрасли в странах СНГ, а также неоднократно награждались медалями ВДНХ.

М. П. Васильченко, к. т. н., доц., в течение многих лет возглавлял научное направление «Совершенствование работы сооружений по очистке природных и сточных вод». Под его руководством защищено семь кандидатских диссертаций. Многие из его учеников продолжают работать преподавателями кафедры.

А. М. Фоминых после защиты диссертации доктора технических наук создал свою научную школу по направлению «Интенсификация процессов очистки природных и сточных вод фильтрованием». Им разработаны новые теории технологического моделирования процессов фильтрования, признанные не только в научном мире, но и при разработке конкретных проектов.

Д. т. н., проф., заведующий лабораторией Института горного дела СО РАН Г. Р. Бочкарев, работая по совместительству на кафедре, ведет активную подготовку аспирантов по научному направлению «Применение новых сорбционных материалов для извлечения ионов металлов из воды».

В условиях современной экономики проблема разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий становится особенно актуальной. На кафедре водоснабжения и водоотведения ее решению уделяется особое внимание. Одним из важных направлений является разработка и внедрение новых высокоэффективных схем подготовки питьевой воды для промышленных районов Кузбасса и Западной Сибири, качество подземных и поверхностных источников которых не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Подземные источники водоснабжения этих регионов содержат фенолы, сероводород, железо, марганец и другие загрязнения в концентрациях, во много раз превышающих допустимые в питьевой воде. Большую работу по разработке и внедрению новых технологий очистки таких вод осуществляет д. т. н., проф. Ю. Л. Сколубович.

По разработанным технологиям построены и запущены в работу водопроводные очистные сооружения производительностью 3500 м^3/сут в поселке шахты Ягуновская. В этой схеме применен целый ряд новых решений: аэраторы новой конструкции, обработка и повторное использование промывной воды, утилизация осадков от промывки фильтров.

Ранее кафедра принимала участие в проектировании, производственных испытаниях и реконструкции очистных водопроводных сооружений в р. п. Промышленный производительностью 3,5 тыс. м^3/сут, в шахтовых поселках Кедровка и Красный бор, в г. Киселевске производительностью 400 м^3/ч, Черепановском пивоваренном заводе, управлении диспетчеризации Новосибирского аэропорта «Толмачево» и т.д.

В этих разработках применен ряд новых прогрессивных решений (осветлители с контактной массой, защищенные патентом, порошкообразные и гранулированные сорбенты, новые фильтрующие материалы и реагенты). Все это позволило обеспечить требуемую степень очистки воды при стабильной работе водопроводных сооружений и их минимальной стоимости.

Завершена работа с хозяйственно-питьевым центром ОАО НЗХК по сокращению расхода сточных вод от промывки фильтров. Необходимость этой работы связана с тем, что вся грязная промывная вода и осадок после осветлителей в настоящее время сбрасываются в ливневой коллектор без очистки, далее поступают в реки Ельцовка и Обь. Все эти стоки наносят значительный ущерб экологии р. Обь, а предприятие платит большие штрафы.

Поэтому давно назрела необходимость проектирования и строительства сооружений для очистки грязных технологических сточных вод. Однако хозяйственно-питьевой центр находится в давно застроенной зоне и вокруг него нет свободных площадей для строительства подобных водоохранных сооружений. Сокращение расходов промывных вод, кроме снижения стоимости очистных сооружений, экономии чистой воды и электроэнергии, расходуемых на промывку фильтров, позволит разместить эти сооружения в пределах существующей производственной площадки.

Кроме того, на НЗХК произведены дополнительные исследования по замене газообразного хлора, используемого для обеззараживания воды, гипохлоритом натрия. Внедрение последнего дало возможность упростить и повысить безопасность эксплуатации водопроводных очистных сооружений, а также исключить создание чрезвычайных ситуаций для близлежащих кварталов города и по пути транспортировки баллонов с жидким хлором.

Последнее время в России начинает развиваться кожевенно-обувная и легкая промышленность. Сточные воды кожевенного и овчинно-мехового производства имеют очень сложный многокомпонентный состав и содержат ПАВ, жиры, красители, сульфиды, ионы аммония, дубители, хром и т.д. В связи с этим возникла необходимость в разработке высокоэффективных технологий очистки производственных сточных вод данных производств.

По заданию ООО «Вестфалика» доц. О. Г. Гириковым разработана технология очистки производственных сточных вод и выполнен рабочий проект очистных сооружений. К достоинствам данного проекта относится минимальная стоимость при достаточно высоком качестве очистки. Это объясняется тем, что в нем максимально использовались оборудование и сооружения старых очистных сооружений ФГУП «Комета», которые были приобретены ООО «Вестфалика». В настоящее время сооружения запущены в работу.

Для ООО «Агрохимсервис» было выполнено технико-экономическое обоснование выбора оптимального варианта очистных сооружений кожевенного производства. К достоинствам предлагаемых вариантов относится глубокая степень очистки и невысокая стоимость очистных сооружений. Кроме того, в технологии очистки предусмотрено повторное использование в производстве отработанного зольного раствора после каталитического окисления сульфидов. Также предлагается утилизация жира и извлечение аммонийного азота с последующим получением удобрения (сульфата аммония). Таким образом, в предлагаемой технологии максимально учтены требования ресурсосбережения. На основе разработанных технологий выполнен рабочий проект очистных сооружений.

Одной из злободневных проблем охраны водоемов от биогенных загрязнений является доочистка сточных вод от азота и фосфора. На кафедре под руководством проф. Г. Т. Амбросовой проводятся исследования по удалению фосфатов с использованием недорогих и доступных методов, основанных на использовании промышленных отходов. При этом степень дефосфатизации достигает 98%. Данная технология применима как на вновь вводимых объектах, так и на действующих.

По заданию департамента природопользования Сибирского региона проведена большая работа по обследованию очистных сооружений канализации Тогучинского гормолзавода с целью определения путей интенсификации их работы.

В настоящее время сотрудниками кафедры инициативно подготовлен отчет по научно-исследовательской работе «Пути совершенствования работы очистных сооружений канализации в г. Новосибирске и районных центрах НСО». В основе этой работы лежит компьютерная модель очистных сооружений канализации, представляющая собой виртуальную модель ОСК, созданную на базе современ-

ных методов расчета станций очистки сточных вод. Компьютерная модель позволяет оперативно учитывать возможность изменения технологической схемы и режима работы сооружений, изменение их технического состояния, временное отключение из работы отдельных сооружений или оборудования и много других задач. Кроме того, в программном комплексе учитываются все природно-климатические факторы (температура и влажность наружного воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, а также интенсивность излучения солнечной радиации). Все эти факторы оказывают значительное влияние на сложные биохимические процессы, протекающие при биологической очистке сточных вод.

Разработанный программный комплекс состоит из пакета программ: «Данные», «Прогнозирование», «Оптимизация». Помимо функционального назначения компьютерная модель ОСК предусматривает решение задач, не свойственных производственным сооружениям, например таким, как определение эксплуатационных затрат и выплат за сброс в водоем загрязнений.

В настоящее время программный комплекс реализован на ОСК гг. Кемерово, Барнаула, Новосибирска.

Научная школа по разработке и обоснованию физических моделей технологий очистки воды фильтрованием, основанная проф. А. М. Фоминых, позволяет совершенствовать работу вновь проектируемых и существующих фильтровальных сооружений. В развитие теории фильтрования подготовлена к защите докторская диссертация В. А. Фоминых.

По результатам многолетних исследований проф. Г. Т. Амбросовой в 2004 г. издана монография, посвященная методам защиты трубопроводов и оборудования свинокомплексов от минеральных и биоотложений.

В исследованиях кафедры принимают активное участие магистранты и аспиранты. Ежегодно в аспирантуре кафедры обучается до 13 аспирантов, в том числе и из других стран (Сирия, Монголия).

Научные работы магистрантов и студентов постоянно участвуют во Всероссийских конкурсах студенческих научных работ и поощряются медалями и дипломами Министерства образования РФ.

Научные достижения кафедры постоянно докладываются на научно-технических конференциях НГАСУ, на международных научно-практических конференциях в гг.Кемерово, Новосибирске, Москве, организованных в рамках выставок-ярмарок. Так, в марте 2004 г. был организован и проведен «Круглый стол» по проблемам водоснабжения малых населенных пунктов на Сибирской ярмарке «Сибполитех», а в октябре 2004 г. — совместная с МУП «Горводоканал» г. Новосибирска Международная научно-практическая конференция «Устойчивое водоснабжение и водоотведение городов Сибири», на которой научные разработки кафедры в отрасли подготовки воды из подземных источников были оценены «Большой золотой медалью». Кроме этого, сотрудники кафедры принимают участие в конкурсах научно-исследовательских программ и грантов бюджетного финансирования.

На кафедре постоянно действует научный семинар «Экологические проблемы городов», на котором заслушиваются научные сообщения о подготовленных кандидатских и докторских диссертациях с привлечением ведущих научных сотрудников НГАСУ и институтов СО РАН.

По результатам научной деятельности кафедры ежегодно публикуется более 30 научных работ в центральных научных журналах, получено более 60 авторских свидетельств на изобретения и патентов.

Родоначальником научной школы кафедры теплогазоснабжения и вентиляции был известный специалист в области вентиляции М. И. Фильней. Крупный вклад в развитие строительной теплофизики внес д. т. н. А. А. Сандер. Оригинальные исследования в области вентиляции (локализующая вентиляция, воздухораспределение) проведены в 70–80-е годы (Г. Д. Лифшиц, Э. Я. Кернерман и др.).

В настоящее время научные исследования проводятся по следующим направлениям:

1. Повышение эффективности организации воздухообмена и воздухораспределения в промышленных зданиях; охрана воздушного бассейна от загрязнений вентиляционными выбросами.

2. Повышение надежности систем теплоснабжения и теплопотребления.

3. Технические и экономические аспекты энергосбережения.

Основные перспективные работы выполняются в рамках бюджетного финансирования по различным программам.

1. Межрегиональная научно-техническая программа «Ресурсосберегающие технологии и приборы».

«Исследование методов и средств локализующей вентиляции при процессах плазменной обработки материалов».

2. Единый заказ-наряд:

«Влияние лучистого теплообмена на температурный режим помещений большого объема».

3. Межвузовская научно-техническая программа «Строительство»:

«Разработка научных основ экономии природных ископаемых топлив в системах централизованного теплоснабжения за счет использования возобновляемых энергоносителей, образующихся внутри городов».

4. Научно-техническая программа «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники». Подпрограмма «Архитектура и строительство»:

«Формирование компьютерной основы прогнозирования, проектирования и эксплуатации систем централизованного теплоснабжения городов»;

«Разработка научных основ сокращения выбросов в атмосферу токсичных веществ предприятиями химической промышленности».

5. Грант Минобразования РФ по фундаментальным исследованиям в области технических наук:

«Исследование температурного режима и воздухообмена помещений большого объема с мощными источниками лучистой теплоты».

Результаты научных исследований кафедры представляются для участия в выставках и докладываются на различных конференциях, в том числе и международных. Высокий научно-технический уровень НИР подтверждается научными публикациями в центральной печати, авторскими свидетельствами и патентами на изобретения (№ 940011869/06(001/811) «Теплогенератор», № 94027359/06(027082) «Электронагреватель»), а также наградами. Так, в 1995 г. на Международной ярмарке новых технологий в г. Брюсселе совместная разработка кафедры (авторы А. Б. Хомлянский и А. М. Климов) и института «ЭкоНИИпроект» — «Теплогенератор», представляющая систему экологически чистого сжигания топлива, — награждена бронзовой медалью.

Научно-исследовательская работа по плазмотермической очистке вентиляционного воздуха имеет своим итогом создание опытно-промышленной установки и защиту кандидатской диссертации (Р. Ш. Мансуров, 1998 г.). Проводимая В. И. Костиным многолетняя работа по совершенствованию микроклимата промышленных зданий закончилась защитой диссертации на соискание ученой степени д. т. н. («Принципы расчета эффективных энергосберегающих систем обеспечения микроклимата промышленных зданий»).

Кафедра имеет устойчивые связи с производством, проводит научные консультации специалистов, участвует в экспертной работе по повышению квалификации ИТР. Так, в 1995 г. кафедра принимала участие в работе экспертной комиссии по экологической экспертизе строительства комплекса по хранению и переработке лития на Новосибирском заводе химконцентратов (доц. А. О. Хасанов). В 1999 г. совместно с ОАО «Теплоэлектропроект» и Институтом теплофизики СО РАН кафедра принимала участие в подготовке технического задания на разработку «Концепции энергообеспечения г. Новосибирска на период до 2001 года и перспективу до 2015 года» (проф. А. С. Басин, доц. А. М. Климов).

За последние три года, опираясь на свои исследования, сотрудники кафедры выполнили ряд проектов, из которых наиболее крупными являются:

1. Отопление Дворца культуры на пл. К. Маркса в г. Новосибирске.

2. Реконструкция системы отопления и ЦТП ОАО «АЦЕТ».

3. Реконструкция систем теплоснабжения, отопления и ЦТП ООО «Легмаш».

4. Реконструкция системы отопления гостиницы «Восток».

5. Отопление и вентиляция элитной застройки в пос. Изумрудный.

6. Теплотехнический расчет наружных ограждений строящихся зданий и проверка теплотехнических характеристик построенных зданий строительной компании «Струг».

7. Вентиляция цеха пива завода «Винап».

8. Вентиляция и кондиционирование молодежного культурного центра «Пионер».

© Крыжановский А. Н., 2005

Получено 23.12.04

УДК 628.3

Г. Т. АМБРОСОВА, В. А. ГВОЗДЕВ, кандидаты техн. наук, доценты, О. П. ЦВЕТКОВА, доц., О. В. КСЕНОФОНТОВА, канд. техн. наук (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Рассматриваются вопросы интенсификации очистных сооружений канализации с целью достижения в очищенной сточной жидкости, сбрасываемой в водоем, остаточных загрязнений, соответствующих установленным ПДК.

Согласно вступающему в силу в 2005 г. федеральному закону «Общий технологический регламент. Водоотведение» устанавливаются жесткие требования к качеству очищенной жидкости, сбрасываемой в водоем.

Как нам представляется, для реализации основных положений нового Федерального закона предстоит выполнить следующее.

В течение одного года (до 2006 г.) создать независимые региональные экологические группы, в состав которых включить представителей Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды, СЭС, специалистов, занимающихся в области очистки сточных вод. В течение двух лет (до 2007 г.) выполнить независимый экологический аудит функционирующих очистных сооружений канализации (ОСК) населенных пунктов РФ с разработкой мероприятий по их модернизации. В течение пяти-семи лет (до 2010–2012 гг.) произвести реконструкцию функционирующих систем водоотведения с использованием наилучших из доступных технологий, отличающихся высокой эффективностью, низкими эксплуатационными и капитальными затратами. До 2020 г. отладить реконструированные или вновь построенные городские ОСК.

Основной целью предстоящей реконструкции функционирующих объектов является повышение качества очищенных стоков как по органической загрязненности (БПК, взвешенные вещества), так и по содержанию биогенных элементов (азота и фосфора). Последнее относится к наиболее трудно решаемой задаче в связи с тем, что потребуется не только капитальная реконструкция аэротенков, вторичных, возможно, и первичных отстойников, но и дополнительное строительство отдельных технологических узлов. Возможно, на некоторых объектах реконструкция будет проводиться с целью решения комплексной задачи. Например, требуется довести показатели очищенных стоков до ПДК при одновременном увеличении на ОСК либо гидравлической нагрузки, либо нагрузки по загрязнениям. Выбрать оптимальный вариант решения такой задачи практически невозможно без использования современных компьютерных технологий, столь велико число факторов, подлежащих учету.

Анализ данных лабораторно-производственного контроля целого ряда ОСК Сибири показал, что за последнее десятилетие гидравлическая нагрузка на них сократилась на 20–30%, при этом нагрузка по загрязнениям уменьшилась вдвое. На этих объектах не должно возникнуть проблем с обеспечением нормативных требований к качеству очищенной жидкости по таким показателям, как БПК и содержание взвешенных веществ, поскольку функционирующие в настоящее время ОСК, построенные в 60–70-х годах, были рассчитаны

на полную биологическую очистку стоков со снижением $БПК_{полн}$ и содержания взвешенных веществ до соответственно 15 и 12 мг/л. К тому же первичные и вторичные отстойники рассчитаны на принятие максимального часового расхода сточных вод, аэротенки — среднего за время аэрации в часы максимального притока.

Максимальный приток стоков на ОСК наблюдается два-три, максимум — четыре часа в сутки, в остальное время гидравлическая нагрузка ниже. В ночное время в зависимости от местных условий расход сточных вод уменьшается по сравнению с максимальным значением в 2–6,5 раза. Так как в РФ контроль ОСК осуществляется по данным анализа среднесуточных проб, то эти данные, условно говоря, соответствуют показателям работы сооружений при среднечасовом расходе стоков. Таким образом, городские ОСК, построенные в 60–70-е годы, находясь в удовлетворительном техническом состоянии и имея проектную нагрузку по воде и загрязнениям, в процессе очистки могут обеспечить снижение содержания взвешенных веществ и $БПК_{полн}$ ниже проектных значений.

Как ранее отмечалось, наиболее сложным для водоканалов в предстоящей модернизации ОСК является обеспечение нормативной эффективности очистки сточных вод от азота (до 5–8 мг/л) и фосфора (до 1–1,25 мг/л). Среди существующих методов удаления биогенных элементов из сточной жидкости (физических, физико-химических, биологических и комбинированных) наиболее перспективным является комбинированный.

Физические методы удаления азота и фосфора, реализуемые на стадии механической очистки стоков, просты, однако малоэффективны.

В основе физико-химических методов удаления из сточной жидкости азота и фосфора лежат процессы окисления, восстановления, ионный обмен, осаждение реагентами, отдувка воздухом. Из физико-химических методов, нашедших применение для очистки хозяйственно-фекальных и близких к ним по составу производственных сточных вод, можно выделить реагентный метод, ионный обмен, отдувку воздухом либо их комбинации (рис. 1). Реагенты вводятся на стадии механической, биологической очистки или доочистки стоков. В качестве реагентов используется CaO, $FeSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$. Ионный обмен и отдувку аммиака воздухом применяют на стадии доочистки биологически очищенных сточных вод.

Доза извести, вводимая на стадии механической очистки (рис. 1, *а*), ограничена необходимостью создания нормальных условий работы аэротенков. В первичных отстойниках при введении извести в первую очередь осаждается гидроксид магния, затем кристаллы ортофосфорной кислоты $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ и $Ca_5OH(PO_4)_3$. Благодаря высокой активности магния двуосновная соль — ортофосфат магния аммония образуется в первую очередь.

На стадии биологической очистки (рис. 1, *б*) для связывания ионов PO_4^{3-} в труднорастворимое соединение ($FePO_4$ или $AlPO_4$) в одно из установленных мест вводят реагенты, например, в начало аэротенка — $FeSO_4$, в конец аэротенка — $Fe_2(SO_4)_3$ или $FeCl_3$, в циркулирующий ил — $Al_2(SO_4)_3$. В фильтрах, загруженных цеолитами или синтетическими ионообменными материалами, из сточной жидкости удаляются ионы аммония.

В схеме, приведенной на рис. 1, *в*, фосфор удаляется на стадии доочистки стоков. Здесь чаще применяется $Al_2(SO_4)_3$, который вводится перед отстойниками физико-химической очистки. Введение флокулянта позволяет осадить в отстойниках зародыши и дозародыши кристаллов.

Физико-химический метод удаления из сточной жидкости азота и фосфора (рис. 1, *г*) также реализуется на стадии доочистки. В этой схеме известь применяется в количествах, достаточных для повышения pH стоков до 10,5–11. При таких значениях pH ионы PO_4^{3-} осаждаются примерно на 95–98% и возможна отдувка аммиака на 30–90% в зависимости от температуры сточных вод.

Несмотря на высокую эффективность реагентного метода удаления биогенных элементов он имеет существенный недостаток. В процессе эксплуатации в трубах, арматуре, оборудовании и сооружениях будут образовываться твердые отложения, сформированные кристаллами ортофосфорной кислоты.

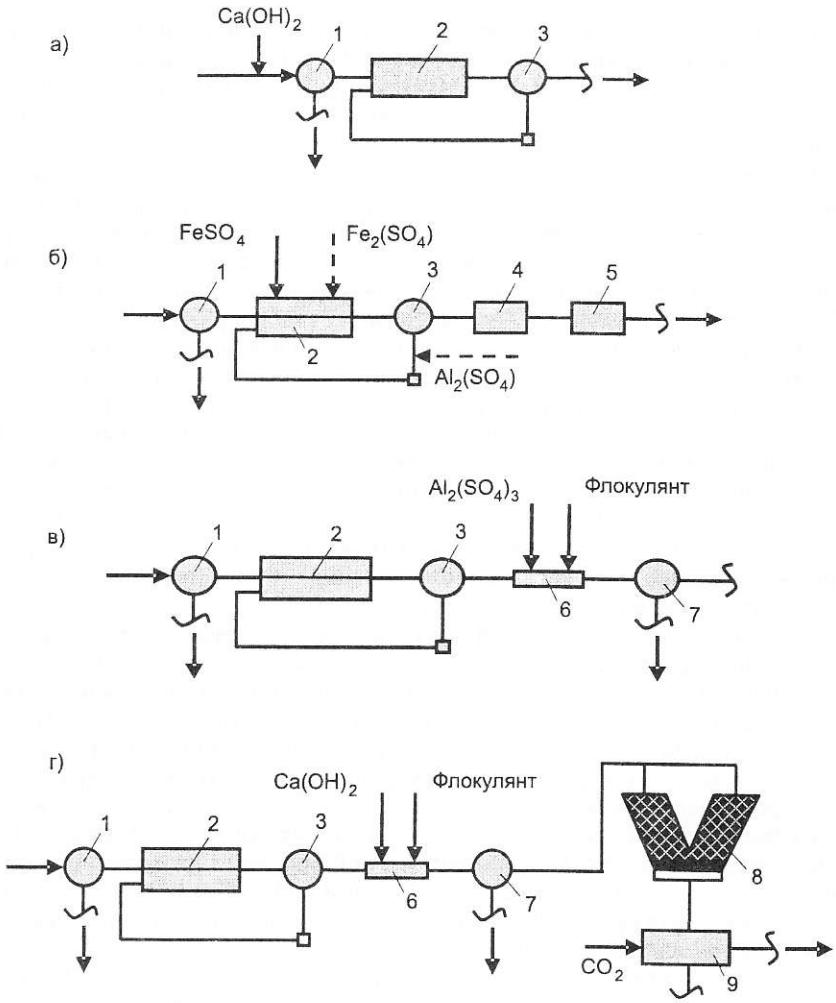


Рис. 1. Физико-химические методы удаления из сточной жидкости азота и фосфора

1 — первичный отстойник; *2* — аэротенк; *3* — вторичный отстойник; *4* — зернистые фильтры; *5* — фильтры с цеолитом или синтетическими ионообменными материалами; *6* — камера реакции и флокуляции; *7* — отстойник физико-химической очистки; *8* — градирня; *9* — карбонизатор

Биологические методы извлечения из сточной жидкости биогенных элементов относятся к экологически чистым. Биологический метод удаления азота нитрификацией — денитрификацией (рис. 2, *а*) привлекает внимание специалистов с середины 60-х годов. Метод прост в осуществлении, легко может быть реализован на стадии реконструкции ОСК. Суть метода заключается в особенности микроорганизмов — факультативных анаэробов в условиях ост-

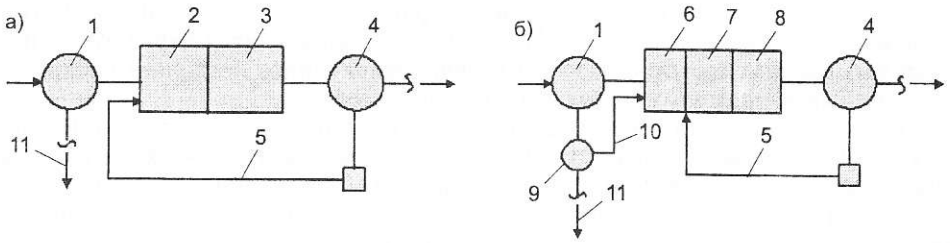


Рис. 2. Биологические методы удаления из сточной жидкости биогенных элементов

а — удаление азота методом нитрификации-денитрификации; *б* — удаление азота и фосфора с использованием культуры *Acinetabacter;*

1 — первичный отстойник; *2* — денитрификатор; *3* — нитрификатор; *4* — вторичный отстойник; *5* — нитрифицированный активный ил; *6* — анаэробная зона, в которой культивируется *Acinetabacter; 7* — бескислородная зона (денитрификатор); *8* — нитрификатор; *9* — ацидофикатор; *10* — иловая вода, обогащенная летучими жирными кислотами (ЛЖК); *11* — осадок на обработку

рого дефицита кислорода использовать для своей жизнедеятельности связанный кислород нитратов. К сожалению, и этот метод не лишен недостатков. Основным из них считается низкий эффект изъятия азота.

Заслуживает внимания биологический метод удаления из сточных вод обоих биогенных элементов (рис. 2, *б*). Суть метода заключается в культивировании бактериальной культуры *Acinetabacter*, которая в процессе метаболизма усваивает фосфор в количестве, в десятки раз превышающем потребности других микроорганизмов ила. В пересчете на сухое вещество 40% массы клетки *Acinetabacter* приходится на фосфор. В этом методе снижение фосфора в сточной жидкости достигается за счет удаления из биологической системы избыточного активного ила, содержащего *Acinetabacter*.

Из известных комбинированных методов удаления из сточной жидкости биогенных элементов привлекателен способ удаления фосфора, использующий способность некоторых микроорганизмов активного ила выделять из клетки фосфор в анаэробных условиях (рис. 3). Выдержанный в таких условиях ил, помещенный в аэробную среду, способен за короткий промежуток времени восполнить потерянный фосфор за счет фосфора, поступающего с очищаемой жидкостью.

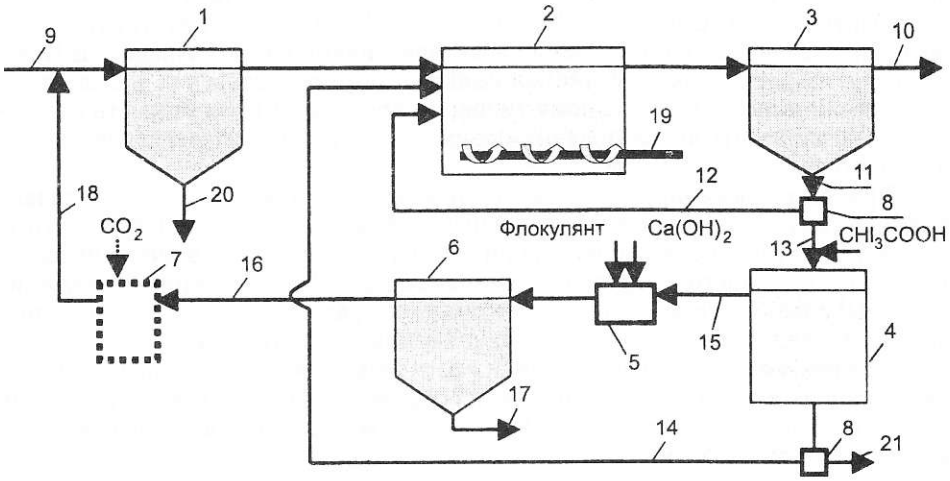


Рис. 3. Комбинированный метод удаления фосфора

1 — первичный отстойник; *2* — аэротенк; *3* — вторичный отстойник; *4* — сооружение для высвобождения фосфора (илоуплотнитель); *5* — камера реакции и смешения; *6* — отстойник физико-химической очистки; *7* — карбонизатор; *8* — насосная станция; *9* — исходная сточная жидкость; *10* — очищенная вода; *11* — циркулирующий и избыточный активный ил; *12* — циркулирующий активный ил; *13* — неуплотненный циркулирующий и избыточный активный ил; *14* — уплотненный активный ил, обедненный фосфором; *15* — иловая вода, обогащенная фосфором; *16* — иловая вода, освобожденная от фосфора; *17* — осадок, содержащий $Ca_5OH(PO_4)_3$ и $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$; *18* — иловая вода на повторную очистку; *19* — воздух; *20* — осадок из первичного отстойника; *21* — уплотненный избыточный активный ил

Согласно этому методу сточная жидкость, пройдя первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники, направляется на дальнейшую очистку, а активный ил подается в илоуплотнитель. В иле присутствуют два вида микроорганизмов: облигатные аэробы и факультативные анаэробы. Оба эти вида, находясь в аэробных условиях в аэротенке при концентрации растворенного кислорода 2 мг/л, синтезируют 36 молекул аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Облигатные аэробы, попав в анаэробные условия илоуплотнителя, погибают, и молекулы АТФ подвергаются гидролизу с выделением в окружающую среду ионов PO_4^{3-}. Факультативные анаэробы, переселенные из аэробных в анаэробные условия, адаптируются к ним в течение 10–15 минут. В новых условиях потребность факультативных анаэробов в АТФ резко падает, сокращаясь примерно до шести молекул АТФ на клетку. Можно предположить, что в дальнейшем они либо высвобождают в окружающую среду лишние 30 молекул АТФ, либо в течение какого-то времени расходуют их на синтез новых клеток. Активный ил, частично освобожденный таким образом от фосфора, возвращается в аэротенк, где он в присутствии растворенного кислорода и питательного субстрата начинает «жадно» поглощать фосфор из очищаемых сто-

ков. Иловая вода из илоуплотнителя, обогащенная ионами PO_4^{3-}, подвергается физико-химической обработке с последующим возвращением через карбонизатор в голову сооружений для доочистки. Для интенсификации процесса дефосфатизации в илоуплотнитель может подаваться уксусная кислота в количестве 0,05–0,3 г/л. При этом продолжительность пребывания ила в илоуплотнителе сокращается с 20–30 до 3–5 часов. Эффект удаления фосфора по данной схеме достигает 97–99%.

В настоящее время на кафедре водоснабжения и водоотведения НГАСУ (Сибстрин) в завершающей стадии находится исследование по включению в рассмотренную схему ацедификатора, работающего на сыром осадке, иловая вода из которого характеризуется высоким содержанием ЛЖК и может заменить дорогостоящую уксусную кислоту.

Процесс интенсификации ОСК связан с решением различных оптимизационных задач. К таким задачам относится, например, распределение сточных вод между параллельно включенными отстойниками, аэротенками, биофильтрами и прочими сооружениями, распределение циркулирующего ила и воздуха в группе параллельно включенных аэротенков и т. д. Если все сооружения в группе абсолютно подобны, то, очевидно, на каждое из них должен поступать одинаковый расход. Для производственных условий такая однородность не характерна. В частности, в Новосибирске и Кемерово эксплуатируются аэротенки с различными объемами и характеристиками систем аэрации. В Новокузнецке и Красноярске отстойники имеют разные диаметры и т. д. Если даже отстойники выполнены по одному типовому проекту, они могут иметь различные коэффициенты использования объема, если ремонт не регулярен и различна степень амортизации.

При распределении расходов сточной жидкости между N параллельно включенными сооружениями наибольшая эффективность ее очистки достигается в том случае, если концентрации загрязнений K, мг/л, в очищенных потоках после каждого сооружения одинаковы [1]. На базе этого положения обоснуем следующую методику аналитического решения задачи оптимального распределения потоков в группах одноименных сооружений.

Для поиска оптимальных значений расходов сточных вод q, поступающих на каждое из параллельно включенных сооружений, концентрации K должны быть представлены в виде функций от остальных параметров процесса очистки следующим образом:

$$K_1 = \frac{1}{q_1} \cdot f_1(\bar{z}),\ K_2 = \frac{1}{q_2} \cdot f_2(\bar{z}),\ \ldots,\ K_N = \frac{1}{q_N} \cdot f_N(\bar{z}), \tag{1}$$

где $\bar{z}$ — вектор параметров процесса очистки сточных вод, из которого исключены составляющие K и q.

Далее составляются равенства, описывающие оптимальный режим распределения стоков:

$$K_1 = K_2 = \ldots = K_N \tag{2}$$

или

$$\frac{f_1(\bar{z})}{q_1} = \frac{f_2(\bar{z})}{q_2} = \ldots = \frac{f_N(\bar{z})}{q_N} = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_i(\bar{z})}{\sum_{i=1}^{N} q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_i(\bar{z})}{Q}, \tag{3}$$

где Q — расход сточных вод, поступающий на группу параллельно включенных сооружений в целом (при составлении равенства использовано свойство равных дробей: $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{a+c}{b+d}$).

Преобразование полученного равенства позволяет определить оптимальную величину расхода сточных вод для любого i-го сооружения группы параллельно включенных сооружений

$$q_i = f_1(\bar{z}) \Bigg/ \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} f_i(\bar{z})}{Q} \right). \qquad (4)$$

Аналогичным образом могут быть определены оптимальные значения расходов воздуха q_{air}, поступающих на каждый из N параллельно включенных аэротенков:

$$K_1 = \frac{1}{q_{air\,1}} \cdot f_1'(\bar{z}'),\ K_2 = \frac{1}{q_{air\,2}} \cdot f_2'(\bar{z}'),\ \ldots,\ K_N = \frac{1}{q_{air\,N}} \cdot f_N'(\bar{z}'), \qquad (5)$$

где $\bar{z}'$ — вектор параметров процесса очистки сточных вод, из которого исключены составляющие K и q_{air};

$$\frac{f_1'(\bar{z}')}{q_{air1}} = \frac{f_2'(\bar{z}')}{q_{air2}} = \ldots = \frac{f_N'(\bar{z}')}{q_{air\,N}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_1'(\bar{z}')}{\sum_{i=1}^{N} q_{airi}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_1'(\bar{z}')}{Q_{air}}, \qquad (6)$$

где Q_{air} — расход потока воздуха, поступающего на группу параллельно включенных аэротенков в целом;

$$q_{air\,i} = f_1'(\bar{z}') \Bigg/ \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} f_1'(\bar{z}')}{Q_{air}} \right). \qquad (7)$$

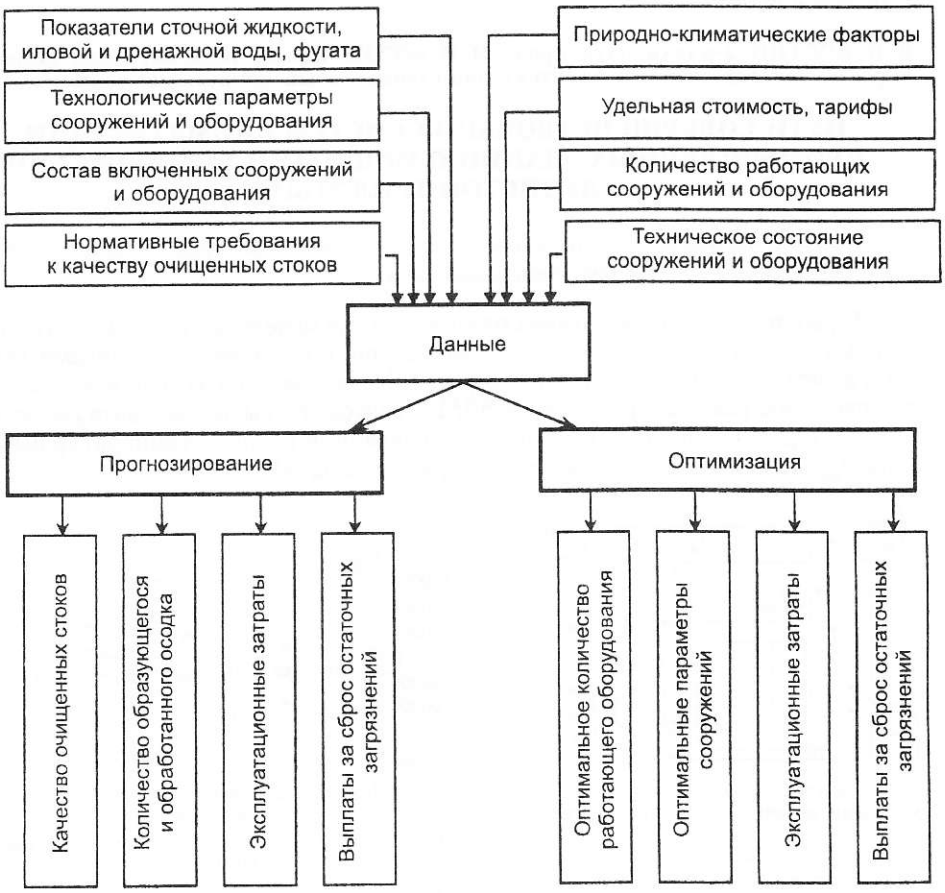


Рис. 4. Структура компьютерной модели ОСК

Функционирование ОСК характеризуется множеством технологических, экологических и экономических параметров. К ним относятся меняющиеся показатели количества и качества очищаемой жидкости, образующихся и обрабатываемых осадков, конструктивные особенности сооружений, характеристики оборудования, режимы его работы, атмосферное давление и температура наружного воздуха, расценки на материальные ресурсы, расходуемые в процессе функционирования ОСК, тарифные ставки для расчета выплат за сброс в водоем загрязняющих веществ с очищенной сточной жидкостью, ПДК остаточных загрязнений и многое другое. Задачи поиска оптимальных режимов управления технологическими комплексами ОСК и оптимальных вариантов их реконструкции предполагают оптимизацию десятков независимых управляющих параметров, выполнение сотен тысяч математических операций и практически не могут быть решены без использования ЭВМ. Авторами настоящей статьи разработано (рис. 4) несколько компьютерных моделей ОСК крупных городов Сибири: Новосибирска, Кемерово, Барнаула (две площадки), Новокузнецка — которые прошли успешную апробацию. Эти модели удобны в пользовании, позволяют оперативно находить наилучшие режимы управления ОСК и могут быть использованы после незначительной корректировки для поиска оптимальных вариантов их реконструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рульнов А. А. Оптимальное управление системой биологической очистки сточных вод/ А. А. Рульнов, А. П. Зоткин//Международная конференция «Математические методы в химии и химической технологии»: Сб. тез.— Тверь, 1995.— 64 с.

© Амбросова Г. Т., Гвоздев В. А., Цветкова О. П., Ксенофонтова О. В., 2005

Получено 23.12.04

УДК 697:699.86

В. И. КОСТИН, д-р техн. наук, проф., И. Н. МУХИНА, канд. техн. наук, доц. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ КЛИМАТИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С МОЩНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЛУЧИСТОЙ ТЕПЛОТЫ*

Показано, что в промышленных зданиях с мощными источниками лучистой теплоты целесообразно применение в рабочей зоне герметичных окон.

В работе [1] была предложена математическая модель расчета температурного режима и воздухообмена промышленных зданий с мощными источниками теплоты. Расчетная схема представлена на рис. 1. На основе этой модели нами разработан пакет программ для расчетов на ЭВМ. Предусмотрены два варианта расчета.

1. Определение воздухообмена L по заданной разнице температур вытяжного $t_{вып}$ и приточного $t_{пр}$ воздуха (прямая задача).

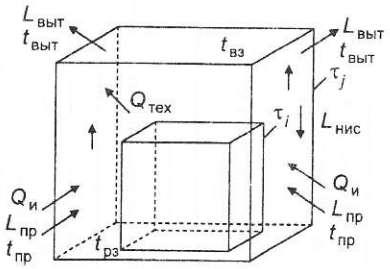


Рис. 1. Расчетная модель помещения с мощными источниками лучистой теплоты

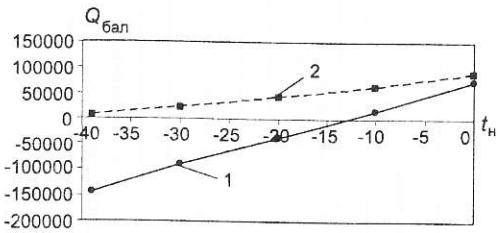


Рис. 2. Динамика изменения теплового баланса рабочей зоны

1 — $Q_{бал}$ при наличии инфильтрации; *2* — $Q_{бал}$ при ее отсутствии

* Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования РФ по фундаментальным исследованиям в области технических наук (шифр ТО2-12.3-451)

2. Определение температуры вытяжного воздуха по заданным величинам воздухообмена и температуры приточного воздуха (обратная задача).

Программа позволяет рассчитать:

1. Температурные поля внутренних поверхностей ограждающих конструкций τ_j, для чего они разделяются на квазиизотермические зоны в соответствии с методом С.С. Кутателадзе [2]. Это позволило учесть неравномерность прогрева конструкций вследствие лучистого теплообмена с горячим технологическим оборудованием с температурой τ_i.

2. Тепловые потери помещения.

3. Интенсивность холодных ниспадающих потоков, образующихся у остекления (объем воздуха $L_{нис}$ и температуру $t_{нис}$ холодных потоков), в месте вхождения в рабочую зону.

4. Тепловые балансы рабочей зоны и помещения в целом. В баланс включаются теплопотери через ограждающие конструкции, рассчитанные по температурам τ_j, тепло на нагрев инфильтрующегося воздуха $Q_и$, теплопоступления от мощных источников и небольших источников ($Q_{тех}$).

В целях разработки рекомендаций по совершенствованию систем климатизации рассматриваемых здесь помещений на примере конкретного объекта были проведены расчеты, результаты которых приводятся ниже.

1. **Климатизация рабочей зоны.** В помещениях большой высоты возникает необходимость обогрева рабочей зоны в холодный период при наличии избытков теплоты по помещению в целом. Это приводит к дополнительным энергозатратам и способствует перегреву верхней зоны и созданию дискомфортных условий на кранах и на обслуживающих эту зону рабочих площадках. В табл. 1 приведен анализ потерь теплоты рабочей зоны при различных температурах наружного воздуха $t_н$. Теплота расходуется на компенсацию теплопотерь через ограждающие конструкции $Q_{т.п}$, нагрев воздуха ниспадающей струи $Q_{нис}$, нагрев инфильтрующегося воздуха $Q_и$.

Таблица 1

Баланс тепловых потерь рабочей зоны

$t_н$, °С	Виды потерь, %		
	$Q_{т.п}$	$Q_{нис}$	$Q_и$
−39	4,1	39,7	56,2
−30	4,4	43,1	52,5
−20	4,5	47,2	48,3
−10	4,7	51,6	43,7
0	6,5	63,1	30,4

Из табл. 1 видно, что основные затраты теплоты приходятся на компенсацию $Q_{нис}$ и $Q_и$.

Борьба с ниспадающими холодными потоками весьма сложна и дорогостояща. В то же время устройство герметичных окон, исключающих инфильтрацию, в настоящее время не вызывает проблем.

На рис. 2 представлена динамика изменения теплового баланса рабочей зоны, где имеются технологические поступления теплоты, в зависимости от температуры наружного воздуха. Из рис. 2 видно, что при отсутствии инфильтрации в приведенном примере тепловой баланс рабочей зоны становится положительным и, следовательно, отпадает необходимость в ее обогреве.

На рис. 3 показано изменение температуры воздуха в верхней зоне $t_{в.з}$ в зависимости от $t_н$. Из рис. 3 следует, что при отсутствии инфильтрации существенного перегрева верхней зоны не произойдет.

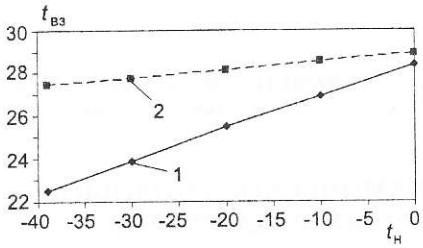


Рис. 3. Зависимость температуры в верхней зоне от температуры наружного воздуха

1 — $t_{вз}$ при наличии инфильтрации; 2 — $t_{вз}$ при ее отсутствии

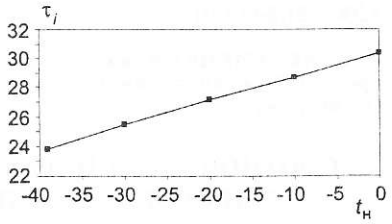


Рис. 4. Зависимость температуры в центре перекрытия от температуры наружного воздуха

2. **Определение величины теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции** $\alpha_в$. Этот коэффициент используется, в частности, для расчета температур поверхностей ограждающих конструкций τ_j. Обычно, в соответствии с табл. 7 [3], для стен и гладких потолков принимают $\alpha_в = 8{,}7$ Вт/(м²·°С). Расчеты, однако, показали, что для рассматриваемого типа помещений величина $\alpha_в$ будет иной и зависит от многих факторов. Как известно, конвективная составляющая этого коэффициента $\alpha_к$ зависит от разности температур воздуха и поверхности Δt и определяется зависимостью [4]

$$\alpha_к = a\Delta t^{1/3}, \qquad (1)$$

где a — экспериментальный коэффициент. Нами проводились расчеты величины $\alpha_в$ для следующих вариантов теплозащитных свойств ограждающих конструкций в соответствии с нормами [3]:

1) по санитарно-гигиеническим требованиям;
2) по приведенному сопротивлению теплопередаче (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчета коэффициента $\alpha_в$

№ варианта	$\alpha_в$, Вт/(м²·°С)	
	Стена	Потолок
1	9,38	5,45...9,87
2	4,72	1,72...3,13

Из табл. 2 видно, что при расчете по приведенному сопротивлению значение коэффициента $\alpha_в$ существенно отличается от величины 8, 7, а на поверхности потолка он будет изменяться вследствие неравномерности лучистого теплообмена с технологическим оборудованием. Последнее обстоятельство имеет существенное значение при расчете температурных напряжений, возникающих в строительных конструкциях. На рис. 4 приведены результаты расчета температуры в центре перекрытия при различных значениях $t_н$. Соответственно будет изменяться величина $\alpha_в$.

Выводы. Для высоких помещений с мощными источниками теплоты может оказаться целесообразным применение в рабочей зоне герметичных окон.

Значения коэффициента $\alpha_в$ могут существенно отличаться от приведенных в табл. 7 [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин В. И. Модель расчета температурного режима и воздухообмена помещений промышленных зданий с мощными источниками лучистой и конвективной теплоты/В. И. Костин//Изв. вузов. Строительство.— 2000.— № 5.— С. 90—95.
2. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена/С. С. Кутателадзе.— М.: Атомиздат, 1979.— 415 с.
3. СНиП 23-02-1003. Тепловая защита зданий/Госстрой РФ.— М.: Госстрой РФ, 2004.— 25 с.
4. Богословский В. Н. Тепловой режим зданий/В. Н. Богословский.— М.: Стройиздат, 1979. — 248 с.

© Костин В. И., Мухина И. Н., 2005

Получено 01.12.04.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

Д. Э. АБРАМЕНКОВ, канд. техн. наук, доц., Э. А. АБРАМЕНКОВ , д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

СООТНОШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ В ДРОССЕЛЬНЫХ ПНЕВМОУДАРНЫХ МЕХАНИЗМАХ

Рассматривается вариант обезразмеривания переменных, позволяющих составить систему однородных уравнений физико-математического описания рабочего процесса дроссельного пневмоударного механизма.

Известно, что общие принципы подобия применительно к моделированию рабочего процесса пневматических машин позволяют еще до получения численных значений параметров составить представление о взаимосвязях между ними. Основными соотношениями динамического подобия дроссельных пневмоударных механизмов ДПУМ [1], ДПУМ(Т) [2] и им подобных (рисунок) могут служить безразмерные параметры (коэффициенты) уравнений [3]:

$$\chi = xL^{-1};\ \tau = t\omega_{\text{р}}KV_{\text{р}}^{-1};\ \nu = \omega_{\text{р}}\omega_{\text{х}}^{-1};\ \lambda = V_{\text{р}}V_{\text{х}}^{-1} = l_{\text{р}}l_{\text{х}}^{-1};\ l_{\text{р}} = V_{\text{р}}S_{\text{у}}^{-1},\ l_{\text{х}} = V_{\text{х}}S_{\text{у}}^{-1};$$

$$\alpha = \omega_{\text{х}}V_{\text{р}}(\omega_{\text{р}}V_{\text{х}}) = \lambda\nu^{-1};\ \beta = p_0S_{\text{у}}V_{\text{р}}^2m_{\text{у}}^{-1}(\omega_{\text{р}}K)^{-2};$$

$$e_{\text{р}} = z_{\text{р}}V_{\text{р}}(\omega_{\text{р}}S_{\text{у}})^{-1};\ e_{\text{х}} = z_{\text{х}}V_{\text{х}}^2(\omega_{\text{х}}S_{\text{у}}V_{\text{р}})^{-1},$$

где $V_{\text{р}}$, $V_{\text{х}}$, $l_{\text{р}}$, $l_{\text{х}}$, $S_{\text{у}}$, L — объемы камер рабочего и холостого ходов, их приведенные длины, площадь диаметрального сечения и длина ударника по образующей между его отсекающими кромками соответственно;

$m_{\text{у}}$ — масса ударника;

$\omega_{\text{р}}$, $\omega_{\text{х}}$ — эквивалентные сечения дросселей впуска в камеры рабочего и холостого ходов;

p_0, $p_{\text{а}}$, k — давление воздуха, подводимого к пневмоударному механизму из сети, атмосферное давление и показатель процесса;

t, x, $k_{\text{у}}$ — время, перемещение ударника и его коэффициент отскока от инструмента после соударения.

Зная критерий подобия, при наличии эталонной модели с энергией единичного удара $A_{\text{э}}$ и частотой ударов $i_{\text{э}}$, можно рассчитать основные конструктивные параметры другого механизма, подобного эталонному, на любые другие значения A и i. Заметим, что из соображений унификации типоразмеров, например ручных машин ударного действия, может быть продиктовано группирование нескольких типоразмеров по одинаковой площади сечения ударника.

Формулы пересчета ДПУМ и ДПУМ(Т) получены с использованием безразмерных перемещения и времени (χ, τ). Энергетические параметры A и i могут быть выражены так:

$$A = 0{,}5m_{\text{у}}u_{\text{у}}^2 = 0{,}5M\left(\omega_{\text{р}}l_{\text{р}}K\right)^2V_{\text{р}}^{-2}\varepsilon^2, \tag{1}$$

где $u_{\text{у}}$, ε — размерная и безразмерная скорости ударника;

$$K = (2k(k-1)^{-1}R\theta_0)^{1/2}, \tag{2}$$

где R, θ_0 — газовая постоянная и температура воздуха на входе в ДПУМ.

Произведя замену в (1) с учетом p_0, получим для энергии удара:

$$A = 0{,}5p_0V_p\varepsilon^2\beta^{-1}. \tag{3}$$

Аналогично запишем

$$i = f\omega_{\text{р}}KV_{\text{р}}^{-1}, \tag{4}$$

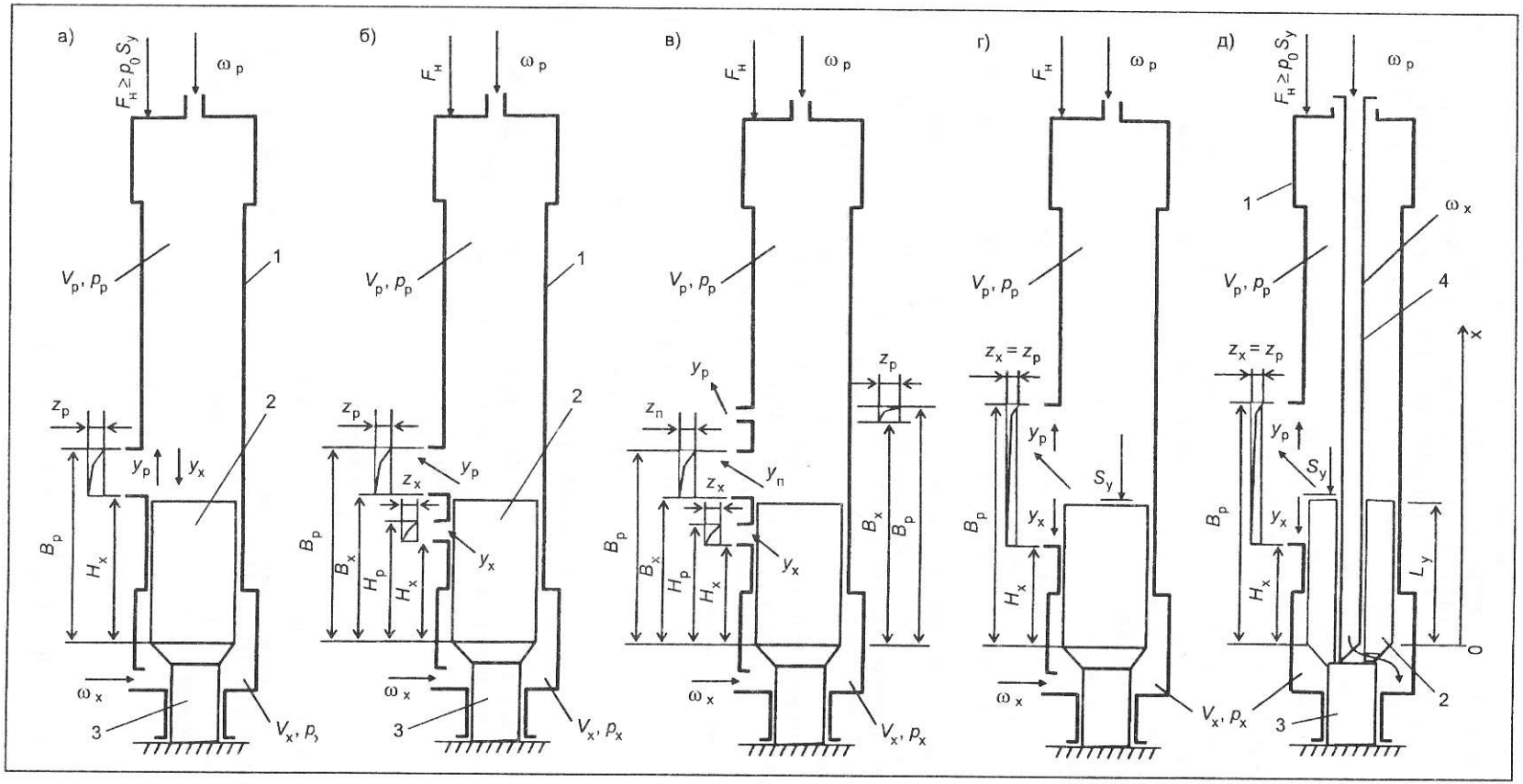
где f — частота ударов в безразмерном времени.

Обозначим отношения любых параметров и их комплексов рассчитываемого ДПУМ или ДПУМ(Т) к эталонному тем же символом, но с чертой вверху. Тогда условие динамического подобия механизмов, например по схемам 1 *а*, *г*, *д*, можно представить:

$$\overline{\alpha} = \overline{\beta} = \overline{\lambda} = \overline{\varepsilon}_{\text{р}} = \overline{\varepsilon}_{\text{х}} = \overline{b}_{\text{р}} = \overline{h}_{\text{х}} = 1 \tag{5}$$

или

$$\begin{gathered}\left(\overline{\omega}_{\text{х}}\overline{V}_{\text{р}}\right)\left(\overline{\omega}_{\text{р}}\overline{V}_{\text{х}}\right)^{-1} = \overline{p}_0\overline{S}_{\text{у}}\overline{V}_{\text{р}}^2\overline{m}_{\text{у}}\left(\overline{\omega}_{\text{р}}K\right)^2 = \\ = \overline{l}_{\text{р}}\overline{l}_{\text{х}}^{-1} = \overline{z}_{\text{р}}\overline{V}_{\text{р}}\left(\overline{\omega}_{\text{р}}\overline{S}_{\text{у}}\right)^{-1} = \overline{z}_{\text{х}}\overline{V}_{\text{х}}^2\left(\overline{\omega}_{\text{х}}\overline{S}_{\text{у}}\overline{V}_{\text{р}}\right)^{-1} = \overline{b}_{\text{р}} = \overline{h}_{\text{х}} = 1.\end{gathered} \tag{5a}$$



Схемы ДПУМ и ДПУМ(Т)

1 — цилиндр, *2* — ударник, *3* — инструмент, *4* — трубка

В выражении (1) для указанных схем с одинаковой шириной выпускной щели можно принять $z_р = z_х$.

Для подобных ДПУМ будут соблюдаться также зависимости:

$$\overline{A} = \overline{p}_0 \overline{V}_р, \tag{6}$$

$$\overline{i} = \overline{\omega}_р \overline{\Gamma} \overline{V}_р. \tag{7}$$

Если принять температуру воздуха в сети одинаковой для рассчитываемого и эталонного ДПУМ, то

$$\overline{\theta} = \overline{\Gamma} = \overline{i}, \tag{8}$$

т. е. при равных скоростях ударников получим равенство

$$\overline{m}_у = \overline{A}. \tag{9}$$

Используя (5а)–(7), получим зависимости подобия:

$$\overline{\omega}_р = \overline{\omega}_х = \overline{i}\,\overline{p}_0^{-1}\overline{A}; \tag{10}$$

$$\overline{z}_р = \overline{z}_х = \overline{i}^{\,2}\overline{p}_0^{-1}\overline{A}; \tag{11}$$

$$\overline{l}_р = \overline{l}_х = \left(\overline{B}_р - \overline{L}_у\right) = \overline{H}_х = \overline{i}^{\,-1}. \tag{12}$$

Соотношения (10)–(12) позволяют осуществить пересчет эталонного ДПУМ или ДПУМ(Т) на подобный ему с новыми значениями A и i. Так, при $\omega_э = \text{const}$ и $p_{оэ} = \text{const}$ для увеличения в n раз A следует, что это можно выполнить при n-кратном уменьшении i и следующих рекомендациях:

1) сохранить равенства: $\omega_р = \omega_{рэ}$, $\omega_х = \omega_{хэ}$;

2) уменьшить в n раз эффективную ширину выпускных каналов:

$$z_р = n^{-1} z_{рэ} \quad \text{и} \quad z_х = n^{-1} z_{хэ};$$

3) увеличить в n раз приведенные длины камер: $l_р = n l_{рэ}$ и $l_х = n l_{хэ}$;

4) увеличить в n раз координаты отсечных кромок выпускных каналов:

$$(B_р - L_у) = n(B_{рэ} - L_у) \quad \text{и} \quad H_х = n H_{хэ};$$

5) увеличить в n раз массу ударника: $m_у = n m_{уэ}$.

Естественно, что соответственно нужно поступать при увеличении i за счет уменьшения A.

Рассмотренные предложения непосредственно указывают на порядок построения параметрического (типоразмерного) ряда, например, ручных машин ударного действия с ДПУМ и ДПУМ(Т), когда в качестве важнейших параметров принимается величина необходимой и достаточной энергии единичного удара.

Заметим также, что аналогичные рассуждения действительны для назначения гарантированных достаточных усилий нажатия на ручную машину с ДПУМ или ДПУМ(Т), если между корпусом, инструментом и обрабатываемой средой отсутствует контакт. В этом случае, согласно [4], имеем

$$F_п = 1,$$

где

$$F_п = \left(q_е k_у\right)^k \left(1 + k_у\right) i u_у^{-1} A, \tag{13}$$

$q_е$ — безразмерное ускорение.

Критерии динамического подобия ДПУМ или ДПУМ(Т) были использованы при определении структуры ударной мощности для типоразмерного ряда ручных машин [5] в зависимости от допускаемого (гарантированного) усилия нажатия, заданной величины энергии единичного удара при соответствующей им частоте ударов.

Соотношения динамического подобия показывают, как следует изменять основные конструктивные параметры пневмоударного механизма, чтобы получить подобный ему с новыми значениями частоты и энергии единичного удара при одинаковом удельном расходе q_v воздуха. При этом, исходя из зависимостей (6)–(13), величины ударной мощности N, усилия нажатия $F_н$ и предударной скорости $u_у$ ударника будут одинаковыми для всего типоразмерного ряда машин с ДПУМ и ДПУМ(Т):

$$\left.\begin{aligned} q_{v1} &= q_{v2} = \ldots = q_{vn} = q_{vэ}, \\ N_1 &= N_2 = \ldots = N_n = N_{нэ}, \\ F_{н1} &= F_{н2} = \ldots = F_{нn} = F_{нэ}, \\ u_{у1} &= u_{у2} = \ldots = u_{уn} = u_{нэ}. \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Если в ДПУМ и ДПУМ(Т) содержится несколько различных по назначению камер и каналов, их обслуживающих, например, каналов средства впуска, перепуска, задержки, вытеснения, выпуска и т.п., то уравнение мгновенного расхода воздуха с учетом конкретных каналов записывается в виде

$$G_i = K' p_{1i} \omega_{эi} (R\theta_{1i})^{-1/2} \Phi_{кi}(\kappa_{1i}, \kappa_{2i}), \qquad (15)$$

где $i = 1, 2, 3, \ldots, n$; $K' = [2gk(k-1)^{-1}]^{-1/2}$;

g — ускорение свободного движения;

$\kappa_{(i)} = p_{2(i)} p_{1(i)}^{-1}$;

$$\Phi_{кi}(\kappa_{1i}, \kappa_{2i}) = \begin{cases} \kappa_{2i}^{(\kappa+1)/2\kappa}\left[\left(\kappa_{2i}\kappa_{1i}^{-1}\right)^{2/k} - \left(\kappa_{2i}\kappa_{1i}^{-1}\right)^{(k+1/k)}\right]^{1/2} & \text{при } \kappa_{2i}\kappa_{1i}^{-1} > 0{,}528; \\ 0{,}259 \text{ при } \kappa_{2i}\kappa_{1i}^{-1} \le 0{,}528. \end{cases}$$

В уравнении (15) при $\kappa_{2i} > \kappa_{1i}$ следует $\Phi_{кi}(\kappa_{1i}, \kappa_{2i}) = -\Phi_{кi}(\kappa_{2i}, \kappa_{1i})$.

На основании уравнений (15) получают выражение для количества воздуха в каждой из рабочих n-камер. Поскольку температура θ_{2i} в камере определяется количеством воздуха, натекающего из сети ресивера, где θ_{1i} = const, а также давлением p_{2i} в объеме V_i, зависящим от перемещения ударника, то справедлива зависимость

$$G(\kappa_{1i}, \kappa_{2i})dt = d(\rho_{1i}, V_i), \qquad (16)$$

где

$$\rho_{1i} = p_{1i}(R\theta_{1i})^{-1}; \; V_i = V_{1i} + S_{ix}\chi_у.$$

Учитывая (14)–(15), уравнение (16) перепишется в виде

$$G(\kappa_{1i}, \kappa_{2i})dt = d\{p_{1i}V_i(R\theta_{1i})^{-1}, \; [\kappa_{1i}^{1/k}(1+\chi_у)]\}, \qquad (17)$$

где $\chi_у = x_у L_i^{-1}$, $L_i = V_i S_i^{-1}$.

Поскольку изменение количества воздуха в объеме определяется средствами впуска и выпуска, то левую часть уравнения (17) можно представить с учетом условий $\varphi_{кi}(\kappa_{1i}, \kappa_{2i})$ в виде

$$\begin{aligned} G(\kappa_{1i}, \kappa_{2i})dt = K'\{&[p_{1i}\omega_{э1}(R\theta_{1i})^{-1/2}\Phi_{к1}(\kappa_1, \kappa_2)_i] - \\ &-[p_{2i}\omega_{э2}(R\theta_{1i})^{-1/2}\Phi_{к2}(\kappa_1, \kappa_2)_i]\}dt = B_i dt. \end{aligned} \qquad (18)$$

Раздельный подсчет расхода воздуха за период впуска и выпуска в случае «точной» модели ДПУМ и ДПУМ(Т) должен давать близкие значения, что может быть использовано для контроля точности модели и расчета правдоподобности ограничений и допущений (принятых в физико-математической модели).

В зависимости от конструктивного исполнения средств формирования силового импульса и средств обеспечения их функционирования параметр B_i включает описание состояния воздуха во всех камерах, объемы которых в течение времени одного рабочего цикла сообщаются между собой как постоянно, так и периодически в зависимости от положения ударника, и может быть представлен с учетом n-камер:

$$\begin{aligned} B_{\text{п}} = K'\{&[p_{11}\omega_{\text{э}1}(R\theta_{11})^{1/2}\Phi_{\text{к}1}(\kappa_{11},\kappa_{12})_i - p_{12}\omega_{\text{э}2}(R\theta_{12})^{1/2}Y_{\text{к}2}(\kappa_{11},\kappa_{12})_i]+\\ &+[p_{21}\omega_{\text{э}1}(R\theta_{21})^{1/2}\Phi_{\text{к}1}(\kappa_{21},\kappa_{22}) - p_{22}\omega_{\text{э}2}(R\theta_{22})^{1/2}Y_{\text{к}2}(\kappa_{21},\kappa_{22})+[(\ldots)]+\\ &+[p_{\text{п}1}\omega_{\text{э}1}(R\theta_{\text{п}1})^{1/2}\Phi_{\text{к}1}(\kappa_{\text{п}1},\kappa_{\text{п}2}) - p_{\text{п}2}\omega_{\text{э}2}(R\theta_{\text{п}2})^{1/2}Y_{\text{к}2}(\kappa_{\text{п}1},\kappa_{\text{п}2})]\}. \end{aligned} \tag{19}$$

Приравняв (17) и (18), получают в безразмерном виде

$$\frac{d}{d\tau}\left[\kappa_{2i}^{1/k}\left(1\pm\lambda_i\chi_{\text{у}}\right)\right]=A_i, \tag{20}$$

$$A_i = (p_{1i}V_i)^{-1}(R\theta_{1i})^{-1}B_i.$$

В безразмерном представлении:

$$A_i = \alpha\Phi_{\text{к}i}(\kappa_{2i}) - \ldots - \varepsilon_{2i}y_{2i}(\chi_{\text{у}})Y_{2i}(\kappa_{ai2}), \tag{20a}$$

где y_{2i} (χ_y) — функция перекрытия канала выпуска ударником.

При уточнении физико-математической модели необходимо ввести показатель, учитывающий влияние изменения температуры на рабочий процесс ДПУМ и ДПУМ(Т).

Аналогично (20) запишем изменения для температуры:

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{п}} = K'\{&[p_{11}\omega_{\text{э}1}\left(R\theta_{11}\right)^{1/2}\Phi_{\text{к}1}\left(\kappa_{11},\kappa_{12}\right)-\\ &-p_{12}\omega_{\text{э}2}\left(R\theta_{12}\right)^{1/2}Y_{\text{к}2}\left(\kappa_{11},\kappa_{12}\right)\Omega_{\text{к}2}\left(\kappa_{a11},\kappa_{a12}\right)]+\\ &+[p_{21}\omega_{\text{э}1}\left(R\theta_{21}\right)^{1/2}\Phi_{\text{к}1}\left(\kappa_{11},\kappa_{22}\right)-\\ &-p_{22}\omega_{\text{э}2}\left(R\theta_{22}\right)^{1/2}Y_{\text{к}2}\left(\kappa_{11},\kappa_{22}\right)\Omega_{\text{к}2}\left(\kappa_{a11},\kappa_{a22}\right)]+\\ &+[(\ldots)]+p_{\text{п}1}\omega_{\text{э}1}\left(R\theta_{\text{п}1}\right)^{1/2}\Phi_{\text{к}1}\left(\kappa_{\text{п}1},\kappa_{\text{п}2}\right)p_{\text{п}2}\omega_{\text{э}2}\times\\ &\times\left(R\theta_{\text{п}2}\right)^{1/2}Y_{\text{к}2}\left(\kappa_{11},\kappa_{22}\right)\Omega_{\text{к}2}\left(\kappa_{\text{an}1},\kappa_{\text{an}2}\right)\}, \end{aligned} \tag{21}$$

а также

$$\frac{d}{d\tau}\left[\eta_{2i}\left(\kappa_{2i}^{1/k}\left(1\pm\lambda_i\chi_{\text{у}}\right)\right)\right]=\Delta, \tag{22}$$

где $\Delta = \theta_{1i}(p_{1i}V_i)(R\theta_{1i})^{-1}\Gamma_i$, $\eta_{2i} = \theta_{1i}\theta_{2i}^{-1} = \theta_{1i}(RG_i)(p_iV_i)^{-1}$.

В безразмерном представлении

$$\Delta = \eta_{2i}\kappa_{2i}^{1/k}\Phi\left(\kappa_{2i}\right) - \ldots - \varepsilon_{2i}y_{21}\left(\chi_{\text{п}}\right)y_{\text{к}2}\left(\kappa_{ai2}\right)\Omega_{ai2}\left(\kappa_{2i}\right). \tag{22a}$$

Используя (20) и (22), а также условие движения ударника, запишем систему уравнений для n-камер.

В зависимости от поставленных задач исследований ДПУМ в систему будут вводиться соответствующие зависимости: для истечения воздуха при перетечках впуске — выпуске в камеры, движения корпуса, рукоятки, воздухораспределителя и ему подобных деталей, инструмента.

Такое описание достаточно для исследования баро- и термодинамики ДПУМ и ДПУМ(Т) с добавлением зависимостей на ограничения для функций расхода воздуха (впуск, выпуск) и координаты перемещения ударника, трубки и корпуса. При этом количество уравнений, например для 2-камерного ДПУМ и ДПУМ(Т), сокращается до шести: давление и температуры воздуха в камерах рабочего и холостого ходов, и перемещения ударника с ограничением по коэффициенту отскока ударника от хвостовика инструмента.

В (20а), (22а) обозначены:

$$\kappa_{21}=p_{21}p_{11}^{-1};\ \kappa_{22}=p_{22}p_{12}^{-1};\ \kappa_{2n}=p_{2n}p_{1n}^{-1};\ \lambda_1=V_1V_1^{-1};\ \lambda_2=V_2V_1^{-1};\ \lambda_n=V_nV_1^{-1};$$
$$\alpha_1=\lambda_1\nu_1^{-1};\ \alpha_2=\lambda_2\nu_2^{-1};\ \alpha_n=\lambda_n\nu_n^{-1};\ \nu_1=\omega_{э1}\omega_{э1}^{-1};\ \nu_2=\omega_{э2}\omega_{э2}^{-1};\ \nu_n=\omega_{эn}\omega_{эn}^{-1};$$
$$\eta_{21}=\frac{\theta_{21}}{\theta_{11}};\ \eta_{22}=\frac{\theta_{22}}{\theta_{12}};\ \eta_{2n}=\frac{\theta_{2n}}{\theta_{1n}}.$$

Текущее значение общего количества воздуха, поступающего в единицу времени в ДПУМ и ДПУМ(Т) через впускные каналы, питающие камеры рабочего и холостого (индексы „р", „х") ходов ударника:

$$G_р=K\left|\sum_{i=1}^{n}\left(R\theta_{1pi}\right)^{-1/2}\left(\omega_{1pi}(\chi_у)Y_{1p}(\kappa_{1pi},\kappa_{0i})\right)\right|dt, \tag{23}$$

$$G_х=K\left|\sum_{i=1}^{n}\left(R\theta_{1xi}\right)^{-1/2}\left(\omega_{1xi}(\chi_у)Y_{1x}(\kappa_{1xi},\kappa_{0i})\right)\right|dt. \tag{24}$$

В (23), (24) обозначены суммарные приходы воздуха из сети в каждую из камер, обеспечивающих соответственно рабочий и холостой ходы ударника, в зависимости от функций проходных сечений впускных каналов ω_{1i} $(\chi_у)$ и перепада давлений в рабочей камере и сети $\varphi_{1i}(\kappa_{1i},\ \kappa_{0i})$. Если $\omega_{1i}\ldots\omega_{in}$ не изменяются в зависимости от перемещения ударника, то проходные сечения каналов впуска рассматриваются как дискретные. Не нарушая физической сути в определении расхода воздуха, можно воспользоваться подсчетом его на выпуске из рабочих камер с соответствующей заменой индексов.

Функции изменения количества энергоносителя (воздуха) в камерах рабочего и холостого ходов $\Phi_р(\kappa_р,\ \kappa_0)$ и $\Phi_х(\kappa_х,\ \kappa_0)$ подобны и рассчитываются с использованием зависимости Сен-Венана — Вантцеля: при $\kappa_р>\kappa_0$ и $\kappa_х>\kappa_0$ следует $\Phi_р(\kappa_р,\ \kappa_0)=-\Phi_р(\kappa_0,\ \kappa_р)$ и $\Phi_х(\kappa_х,\ \kappa_0)=-\Phi_х(\kappa_0,\ \kappa_х)$.

Функции истечения энергоносителя (воздуха) из выпускных каналов соответствующих камер — $У_р(\kappa_{ар},\ \kappa_р)$ и $У_х(\kappa_{ах},\ \kappa_х)$ записываются аналогично $\Phi_р(\kappa_р,\ \kappa_0)$ и $\Phi_х(\kappa_х,\ \kappa_0)$ с такими же ограничениями и допущениями. Значения e_{pi}, e_{xi} учитываются для каждого из ярусов выпускных каналов в соответствии с z_{pi}, z_{xi}.

При рассмотрении физико-математической модели ДПУМ и ДПУМ(Т) используется описание баро- и термодинамического процесса с учетом изменений состояния воздуха в объемах рабочих камерах при движущихся ударнике, трубке и корпусе с учетом изменения состояния воздуха на впуске и выпуске, а также представлением о движении твердого тела под действием переменной силы, заданной в функции времени [6].

Баро- и термодинамический процесс, протекающий в объемах рабочих камер, и его выходные параметры, обусловленные затратами в виде расхода сжатого воздуха на единицу ударной мощности и съема мощности с единицы площади сечения ударника, оцениваются аналогично [3].

При исследовании физико-математической модели дроссельного пневмоударного механизма приняты следующие дополнительные допущения и ограничения: 1) технические характеристики воздухопроводящих дросселей являются совершенными, и их коэффициенты расходов приняты равными единице и уточняются при расчете реальных размеров; 2) перемещение корпуса в течение цикла не оказывает влияния на параметры воздуха; 3) выравнивание параметров воздуха в рабочих камерах происходит мгновенно; 4) изменение скорости ударника, корпуса и трубки при их соударениях происходит мгновенно.

Если величина политропы для двухкамерного ДПУМ и ДПУМ(Т) может быть принята постоянной, например меньшей 1,4 для инженерных целей, будет достаточным воспользоваться описанием физико-математической модели без учета температур воздуха в камерах, которые, однако, при исследовании

термодинамики могут быть введены в основную систему уравнений в соответствующем ей размерном или безразмерном виде:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d\left(\kappa_{\text{р}}^{1/n}\left(1-\chi_{\text{у}}\right)\right)}{d\tau}=\Phi_{\text{р}}\left(\kappa_{\text{р}}\right)-y_{\text{р}}\left(\chi_{\text{у}}\right)Y_{\text{вр}}\left(\kappa_{\text{ар}}\right)\pm A_{\text{р}},\\
&\frac{d\left(\kappa_{\text{р}}\left(1+\lambda\chi_{\text{у}}\right)\right)}{d\tau}=\alpha\Phi_{\text{р}}\left(\kappa_{\text{х}}\right)-y_{\text{х}}\left(\chi_{\text{у}}\right)Y_{\text{вх}}\left(\kappa_{\text{ах}}\right)\pm A_{\text{х}},\\
&\frac{d^2\chi_{\text{у}}}{d\tau^2}=\beta_{\text{у}}\left(\kappa_{\text{х}}-\kappa_{\text{р}}\right)-f_{\text{у}}\ \text{при}\ \chi_{\text{у}}>0,\\
&\left(\frac{d\chi_{\text{у}}}{d\tau}\right)_0=-k_{\text{у}}\left(\frac{d\chi_{\text{у}}}{d\tau}\right)_{\text{у}}\ \text{при}\ \chi_{\text{у}}\le 0,\\
&\frac{d^2\chi_{\text{к}}}{d\tau^2}=\beta_{\text{к}}\left(\kappa_{\text{х}}-\kappa_{\text{р}}\right)-f_{\text{к}}\ \text{при}\ \chi_{\text{к}}>0,\\
&\left(\frac{d\chi_{\text{к}}}{d\tau}\right)_0=-k_{\text{к}}\left(\frac{d\chi_{\text{к}}}{d\tau}\right)_{\text{у}}\ \text{при}\ \chi_{\text{к}}\le 0,\\
&\frac{d^2\chi_{\text{т}}}{d\tau^2}=\beta_{\text{т}}\left(\kappa_{\text{х}}-\kappa_{\text{р}}\right)-f_{\text{т}}\ \text{при}\ \chi_{\text{т}}>0,\\
&\left(\frac{d\chi_{\text{т}}}{d\tau}\right)_0=-k_{\text{т}}\left(\frac{d\chi_{\text{т}}}{d\tau}\right)_{\text{у}}\ \text{при}\ \chi_{\text{т}}\le 0,
\end{aligned}\right\}\qquad(25)$$

где $\beta_i=p_0S_iV_{\text{х}}^2m_i\left(\omega_{\text{р}}K\right)^{-2}$, $\Phi_i\left(\kappa_i\right)\equiv\Phi_i\left(\kappa_i,1\right)$, $\Omega\left(\kappa_{ai}\right)\equiv Y\left(\kappa_i,\kappa_{ai}\right)$;

$f_{\text{у}}$, $f_{\text{к}}$, $f_{\text{т}}$ — коэффициенты контактных пар ударника, корпуса и трубки;

$y_{\text{р}}\left(\chi_{\text{у}}\right)$, $y_{\text{х}}\left(\chi_{\text{у}}\right)$ — функции перекрытия ударником выпускных каналов камер $V_{\text{р}}$, $V_{\text{х}}$.

В системе (25), кроме указанных в (26), характерные геометрические параметры в безразмерных комплексах следующие:

χ, $\chi_{\text{т}}$, $\chi_{\text{к}}$ — соответственно безразмерные перемещения ударника массой $m_{\text{у}}$, трубки массой $m_{\text{т}}$, корпуса массой $m_{\text{к}}$ и инструмента массой $m_{\text{и}}$;

$k_{\text{у}}$, $k_{\text{к}}$, $k_{\text{т}}$ — коэффициенты отскока ударника от инструмента, корпуса от буртика инструмента и трубки от корпуса (крышки);

$A_{\text{р}}$, $A_{\text{х}}$ — функции, определяющие влияние на изменение давления и температуры в основных рабочих камерах в зависимости от типа камер, непосредственно не формирующих силовой импульс, но взаимодействующие с основными рабочими камерами. В рассматриваемом примере ДПУМ(Т) можно принять ($A_{\text{р}}=0$, $A_{\text{х}}=0$).

Предпочтительно учитывать коэффициенты вязкого ($k_{\text{v}i}$) и механического ($f_{\text{v}i}$) трения между соответствующими парами [7]:

$$f_i=\left(k_{\text{v}i}\frac{d\chi_i}{d\tau}+f_{\text{v}i}\right)F_{\text{нт}}^{-1},\qquad(26)$$

где $F_{\text{нт}}$ — усилие торможения корпуса пневмоударника, равное ($p_0S_{\text{ц}}$)

$$f_{\text{v}i}=\left(\sin\Psi+\operatorname{sign}\frac{d\chi_i}{d\tau}\cos\Psi f_{\text{v}i}\right),\qquad(27)$$

где ψ — угол наклона продольной оси корпуса к горизонту.

Для функций $y_i(\chi)$ введены безразмерные параметры:

$$b_{\text{р}}=\left(B_{\text{р}}-L_{\text{у}}\right)l_{\text{р}}^{-1},\ b_{\text{х}}=B_{\text{х}}l_{\text{р}}^{-1},\ h_{\text{р}}=\left(H_{\text{р}}-L_{\text{у}}\right)l_{\text{у}}^{-1},\ h_{\text{х}}=H_{\text{х}}l_{\text{х}}^{-1}.$$

В случае выполнения выпускных каналов на одном ярусе: $B_р = B_х$ и $H_р = H_х$, а при правильной их форме сечения $z_р = z_х$. При других формах сечения выпускных каналов $z_р \neq z_х$.

Уравнения (25) предназначаются для оценки перемещения корпуса ДПУМ и ДПУМ(Т) и прогнозируют его вибрационную характеристику (по перемещению $x_к$, скорости $u_к$ и ускорению $a_к$).

Аналогично определяются перемещения, скорость и ускорение трубки и ударника.

Прогнозирование шумовых характеристик ДПУМ и ДПУМ(Т) представляется возможным выполнять по аналогии с ранее предложенным подходом и методом среднему давлению ($p_{iс}$) по пути [6] или давлению воздуха ($p_{iв}$) на выпуске [7].

Изменение температуры воздуха в рабочих камерах ДПУМ и ДПУМ(Т) характеризуется изменением его давления, которое является причинным [8, 9] и учитывается перемещением ударника: сжатием-расширением, а также изменением количества воздуха, поступившего в камеры.

Баро- и термодинамические особенности рабочего цикла, знания о которых могут способствовать усовершенствованию механизма, определяются в объеме камер во времени. Для указанных целей достаточно применить, например, прием определения расхода воздуха камерами, изменения его давления и температуры, которые позволяют выйти на зависимости: $(p - V)$ — давление — объем; $(\theta - t)$ — температура — время; $(\theta - S)$ температура — энтропия; $(G - t)$ — расход воздуха — время; $(n - t)$ — показатель процесса — время; $(S - t)$ — удельная энтропия — время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 247179. СССР, МКИ E21C 3/24, B25D2/04. Пневматический молоток/Н. А. Клушин, Э. А. Абраменков, Д. Г. Суворов, Б. М. Бирюков.— Опубл. 1969; Бюл. № 22.
2. Пат. 2062692, РФ, МКИ B25D9/04, E21C3/24. Пневматический молоток с дроссельным воздухораспределением/Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, В. Ф. Корчаков.— Опубл. 1996; Бюл. № 18.
3. Абраменков Д. Э. Динамика и конструирование пневматических ручных машин ударного действия дроссельного типа для строительства в условиях Сибири/Д. Э. Абраменков: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Томск, 1994.—19 с.
4. Абраменков Э. А. Об установлении структуры мощности пневмоударного механизма/Э. А. Абраменков//Пневматические буровые машины.— Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1984.— С. 79—86.
5. Абраменков Д. Э. Разработка на основе импульсных систем новых и повышение эффективности существующих ручных машин и инструментов, применяемых в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве в условиях Сибири/Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков//НТО НГАС, Гос. регистр. № 01940009360.— Новосибирск: НГАСУ, 1995.— 35 с.
6. Суднишников Б. В. Некоторые вопросы теории машин ударного действия/Б. В. Суднишников.— Новосибирск: Зап.-Сиб. филиал Горно-геолог. ин-та АН СССР, 1949. — 63 с.
7. Абраменков Д. Э. Теоретические основы пневмопробойника для проходки лидерных скважин в грунтовых средах/Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, Т. Ю. Виговская, А. А. Надеин//Изв. вузов. Строительство.— 1999.— № 5.— С. 111—121.
8. Абраменков Д. Э. Введение в теорию дроссельного пневмоударного механизма машины ударного действия/Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков//Тр. НГАСУ—Т. 2, № 1(4). — Новосибирск: НГАСУ, 1999. — С. 76—83.
9. Абраменков Д. Э. Закономерности контактов рабочего тела в баро- и термодинамическом процессе пневматического механизма машины ударного действия/Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков//Тр. НГАСУ. 2001.— С. 185—196.

© Абраменков Д. Э., Абраменков Э. А., 2005

Получено 23.12.04

ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

УДК 69.059.25

А. Т. ПИМЕНОВ, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)),
А. Н. ПОПКОВ, инж. (ЗАО НПП «СибстринАмегаСтройТехнология», г. Новосибирск)

ОПЫТ РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ ОГРАЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

На примере строительных объектов г. Новосибирска и НСО рассмотрены реализованные технические решения ремонта и реставрации ограждающих конструкций зданий и сооружений с применением новых гидро- и теплоизоляционных материалов.

Многие строительные объекты, физически или морально устаревшие, предполагается использовать еще многие годы либо по прежнему назначению, либо по новому. Для этого проводится реконструкция или ремонт объектов различной степени сложности, затрагивающий чаще всего ограждающие конструкции (стены зданий, кровля). Такие работы осуществляются, как правило, с применением новых тепло- и гидроизоляционных материалов.

Примером является реконструкция цеха № 15 ЖБИ-1 для использования его в качестве сибирского грузового терминала. Кровлю в этом случае решено было полностью заменить. Для этого старая кровля была полностью демонтирована, вновь произведен теплотехнический расчет с учетом новых условий эксплуатации, использования новых эффективных материалов, противопожарных мер и т.п. Так, в качестве пароизоляции использован материал «Ютафол», который благодаря армированию полимерными волокнами обладает повышенной прочностью на растяжение. В качестве гидроизоляции применены битумно-полимерные кровельные материалы «Бикрост» и «Унифлекс», позволяющие гарантировать срок службы кровли свыше 10 лет.

В другом случае производилась реконструкция кровли ТЭЦ-3. Гидроизоляционный слой кровли этого объекта выполнялся из асфальтобетона, что было необходимо из условия повышенных мер пожарной безопасности. Был произведен демонтаж слоя асфальтобетона, растворной стяжки, дополнительного слоя гидроизоляции, нарушенных участков теплоизоляционного слоя. Затем все слои восстанавливались, причем в качестве дополнительного слоя гидроизоляции использован также кровельный материал «Бикрост».

В некоторых случаях возникает необходимость переустройства кровли с целью создания системы направленного водостока. Она создается, как правило, на металлических кровлях. Нами была предложена и реализована на объектах МУП «Горводоканал» технология устройства такой системы по существующей мягкой кровле. В течение трех лет ее эксплуатации отказов в работе не было.

Ремонтные работы ограждающих конструкций проводились на объектах различного назначения в летний период 2002 г.

На объектах ЗАО «Кудряшовское», которые представляют собой помещения для содержания поросят при постоянной температуре воздуха 28°С, по данным ЗапсибНИПИАгропрома, наблюдаются усредненные выбросы аммиака — 10,808 мг/м^3, сероводорода — 0,059 мг/м^3, взвешенных веществ — 3,842 мг/м^3, метилмеркаптана — 0,017 мг/м^3.

Ограждающие конструкции представляют собой сборные трехслойные панели размером 6×1,8 м. Внутренний и наружный слои панелей выполнены из мелкозернистого бетона толщиной 3–5 см. Между ними — слой теплоизоляции из пенофторопласта толщиной 10 см. Бетонные слои армированы сеткой с ячейкой 20×20 см из проволоки диаметром 6 мм и связаны между собой плоскими каркасами.

Предположительно названные выбросы, а также постоянное увлажнение в процессе уборки помещений привели к ускоренному и массовому разрушению ограждающих конструкций свинарников, поскольку они прослужили только в течение 15–18 лет. Причем особенно значительные разрушения наблюдались с наружной стороны конструкций. Наблюдались обширные области полностью разрушенного бетона, отслоения наружного слоя, обнажения слоя теплоизоляции. В некоторых плитах теплоизоляция полностью отсутствовала, превратившись в пылевидную массу, которая осела в нижней части внутренней полости плит.

В ЗАО «Кудряшевское» уже имелся опыт ремонта таких плит. Так, в 2001 г. были привлечены подрядчики, которые выполнили работы по ремонту части плит путем замены теплоизоляционного слоя, его армирования и нанесения слоя торкретбетона. Другая часть плит ремонтировалась другим подрядчиком путем нанесения слоя пенополиуретана и создания наружного слоя из асбестоцементных листов, которые крепились на деревянные закладные бруски.

И первым, и вторым вариантами не были предусмотрены меры по повышению коррозионной стойкости и долговечности слоев теплоизоляции и наружного слоя конструкции.

Нами был предложен и реализован способ ремонта плит по технологии, включающей следующие основные операции. Вначале производилась полная разборка наружного слоя и слоя теплоизоляции с сохранением каркаса армирования. После проверки качества гидроизоляции внутреннего слоя и (при необходимости) ее восстановления производилась армированная кладка из керамического кирпича толщиной в 1/4 с последующим оштукатуриванием раствором марки 100. Раствор готовили непосредственно перед применением с использованием добавки KALMATRON, предназначенной для защиты капиллярно-пористых строительных материалов от водопроницаемости, климатических и техногенных форм коррозии и выпускаемой в России по лицензии фирмы «STRUCTURAL PROTECTION ENTERPRISE», USA.

Внутренний теплоизоляционный слой выполнялся по двум вариантам. По первому варианту слой теплоизоляции устраивался в процессе кирпичной кладки с использованием пенополистирольных плит толщиной 10 см. В этом случае обнаружилось некоторое неудобство при производстве работ, поскольку из-за неровностей внутреннего защитного слоя приходилось спиливать поверхность плит теплоизоляции, что снижало ее эффективность.

По второму варианту теплоизоляционный слой создавался после производства кирпичной кладки и оштукатуривания ее поверхности. Теплоизоляционный слой выполнялся путем нагнетания через специально подготовленные технологические отверстия пеноизола. Пеноизол теплоизоляционный соответствовал ТУ 2254-001-01307847-01 и готовился в специальной установке на месте применения из следующих компонентов: смолы карбамидоформальдегидные (ГОСТ 14231-88), кислота ортофосфорная (ГОСТ 6552-80), поверхностно-активное вещество «АБСФК» (ТУ 2481-036-04689375-95) и вода (ГОСТ 249202-81). В этом случае также возникли трудности из-за повышенной чувствительности состава к качеству воды. Вода повышенной жесткости, которая имелась в наличии, способствовала быстрому осаждению пеноизола, поэтому пришлось использовать привозную воду надлежащего качества.

Все названные выше теплоизоляционные материалы обладают общим недостатком — недостаточной стойкостью против мелких грызунов, которые устраивают в них свои гнезда. Поэтому в настоящее время изыскиваются другие теплоизоляционные материалы, которые лишены этого недостатка. К таким материалам относится прежде всего пеностекло. Опыт омских строителей показывает, что возможно успешное использование пеностекла в таких сооружениях. Однако в нашей области отсутствует производство этого материала, поэтому необходимо обратить внимание на организацию его производства.

В этот же период времени производились ремонтные работы стен механического цеха на очистных сооружениях МУП «Горводоканал». Стены в период строительства были облицованы силикатным кирпичом. В 80-х годах этот материал считался весьма перспективным по ряду причин. Однако за годы эксплуатации выявился его основной недостаток — низкая морозостой-

кость. В местах, подвергающихся замачиванию с последующим замораживанием, что неизбежно в осенне-весенний период, по большим площадям облицовочного покрытия происходит интенсивное разрушение силикатного кирпича, его выкрашивание и выпадение.

Процесс ремонта таких стен является достаточно трудоемким. Технология ремонта включает устройство лесов с соблюдением особых мер предосторожности из-за опасности выпадения кирпичей со значительной высоты. Разборка поврежденной кладки должна вестись «сверху вниз» с таким расчетом, чтобы устраивать технологические пустоты для последующей кладки. Новый облицовочный слой велся кладкой керамического кирпича «снизу вверх», причем кладка армировалась прутковой арматурой диаметром 6 мм. Для закрепления стержней высверливались отверстия соответствующего диаметра из расчета 5 отверстий на 1 м^2. Таким способом было отремонтировано около 200 м^2 стен.

Опыт обследования и ремонта перечисленных действующих объектов показал, что материалы, использованные при их возведении, не соответствуют конкретным условиям эксплуатации. Поэтому следует использовать в одних случаях вновь разработанные материалы, в других — вернуться к известным, испытанным материалам.

Все перечисленные работы выполнялись под руководством специалистов ЗАО НПП «СибстринАмегаСтройТехнология».

© Пименов А. Т., Попков А. Н., 2005

Получено 23.12.04

УДК 628.16

Ю. Л. СКОЛУБОВИЧ, д-р техн. наук, проф., Е. Л. ВОЙТОВ, канд. техн. наук, доц. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ОПЫТ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ КАЧЕСТВЕННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ

Проблемы обеспечения качественной питьевой водой некоторых населенных пунктов Кемеровской и Новосибирской областей решены благодаря тесному сотрудничеству НГАСУ (Сибстрин) с производственными предприятиями ЖКХ. Успешный опыт строительства объектов коммунального водоснабжения показал эффективность совместной работы вуза и промышленных предприятий.

Основным источником питьевой воды большинства населенных пунктов России являются, как правило, поверхностные источники. Проблемы, связанные с использованием поверхностных источников для большинства коммунальных предприятий в основном известны [1]. С одной стороны, это изменение уровня воды в источнике по сезонам года, с другой — значительное изменение качественных показателей воды источника. Наибольшая загрязненность поверхностных источников наблюдается в паводок.

Большинство существующих сооружений водоподготовки проектировались и построены по стандартам 1950–70-х годов без учета значительного содержания в воде органических загрязнений и других техногенных примесей. Строительство крупных промышленных предприятий в городах изменили качественный состав воды большинства поверхностных источников. Значительное количество органических веществ, поступающих с речной водой, уже не может быть в достаточной степени удалено существующей технологией водоподготовки. По некоторым данным в России более 70% населенных пунктов снабжаются водой, не соответствующей современным стандартам.

В НГАСУ (Сибстрин) проводятся исследования по улучшению существующих технологий водоподготовки. Реконструкция сооружений с использованием современных достижений в области водоподготовки позволяет повысить эффективность очистки воды. Однако в связи с принятием в России нового стандарта на питьевую воду [2] морально и физически устаревшее

оборудование существующих сооружений, как правило, не позволяет добиться нормативного качества питьевой воды и требует значительных капитальных затрат для строительства дополнительных сооружений (озонаторные станции, сорбционные фильтры и т. п.) [1].

Альтернативным вариантом водоснабжения качественной питьевой водой для многих населенных пунктов является использование подземных вод [3]. Например, разведанные запасы подземных вод только в районе города Кемерово составляют более 300000 м^3/сут, что полностью покрывает потребность города в питьевой воде. Большинство регионов России в достаточной степени обладают ресурсами подземных вод. По сравнению с поверхностным источником, подземные воды менее загрязнены и их качество не подвержено значительным сезонным изменениям. Многие подземные воды бактериально безопасны, однако часто содержат повышенные концентрации железа, марганца, солей жесткости, иногда отмечается присутствие фенола и сероводорода [4].

Для строительства водопроводных и канализационных очистных сооружений на современном уровне необходимо выполнять целый комплекс работ: проводить сбор исходных данных, выполнять исследовательские и проектно-сметные работы, изготавливать и приобретать необходимое оборудование, строить и монтировать сооружения, а также проводить их наладку.

Опыт работы по строительству водоподготовительных сооружений показал, что весь комплекс работ должен выполняться высококвалифицированными специалистами. Наиболее оптимально, чтобы, с одной стороны, работы по разработке, проектированию, надзору за строительством и пуске-наладке

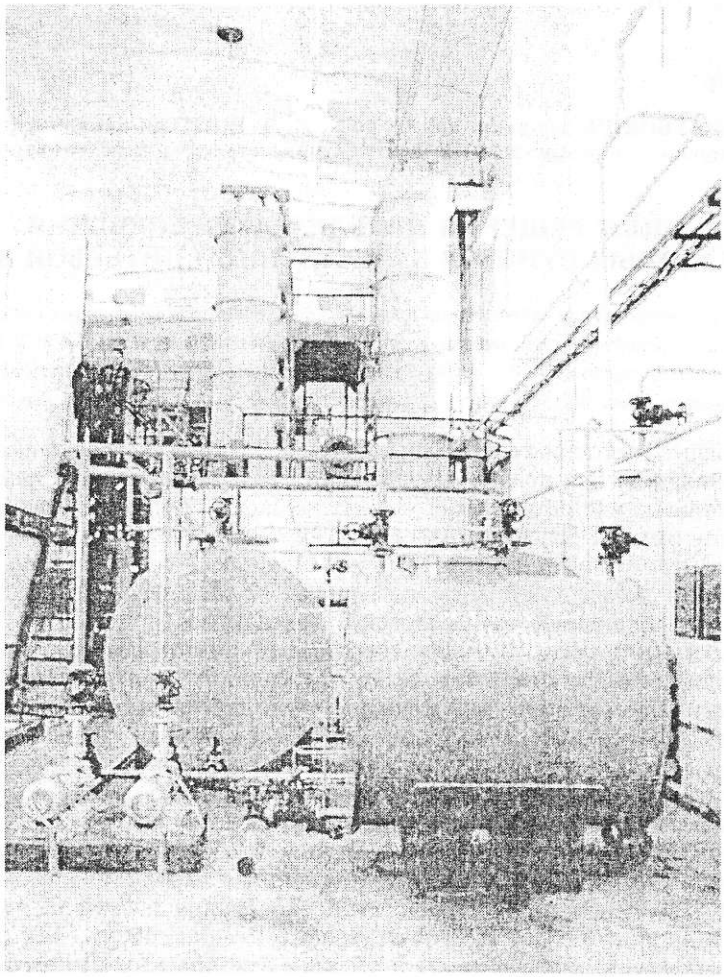


Рис. 1. Водоподготовительные сооружения в район. пос. Промышленная, Кемеровской области

выполнялись организацией, имеющей опыт проведения технологических исследований, специальное оборудование, а также квалифицированных исследователей с навыками выполнения экспериментальных работ. С другой стороны, необходимо, чтобы изготовление нестандартного оборудования, поставку стандартного оборудования и материалов, строительно-монтажные работы выполняла производственная организация, имеющая в своем составе опытных профессионалов, и работающая в тесной связке с предприятием — разработчиком технологии. В связи с вышеизложенным для реализации программы обеспечения населения Кемеровской области качественной питьевой водой были объединены возможности НГАСУ (Сибстрин) и ОАО «КемВод» г. Кемерова.

Специфические условия работы водопроводов малых населенных пунктов требуют создания таких методов и оборудования для кондиционирования воды, которые бы обеспечивали повышенную надежность их работы при минимальном объеме обслуживания. Это вызывает необходимость внедрения надежных и простых методов обработки воды. Такие высокоэффективные технологии водоподготовки разработаны и внедрены специалистами НГАСУ (Сибстрин) и ОАО «КемВод» в некоторых крупных населенных пунктах Кемеровской области: район. пос. Яшкино (1996 г.), раб. пос. Зеленогорский (1997 г.), район. пос. Промышленная (1998 г.— рис. 1), г. Киселевск (2000 г.), поселок шахты Ягуновская (2001 г.— рис. 2), а также на заводе розлива экологически чистой воды «Талинка» (1996 г.) и др. [5].

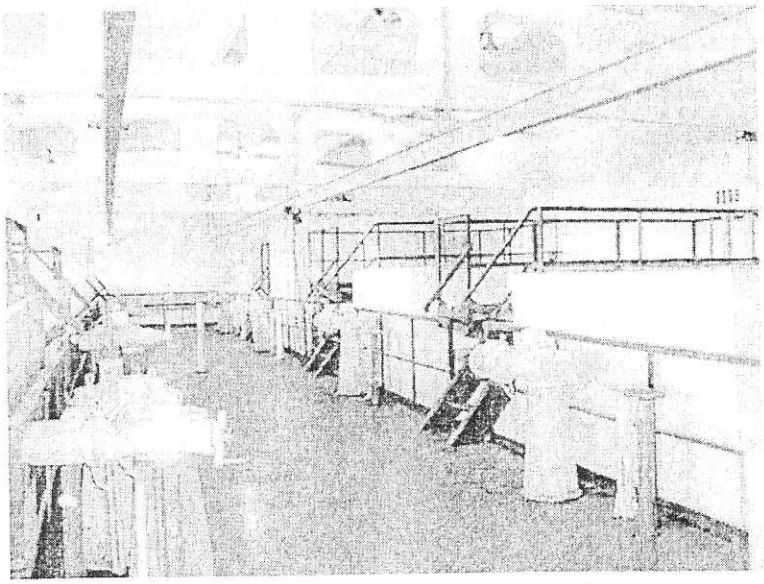


Рис. 2. Водоподготовительные сооружения в г. Кемерово (поселок шахты Ягуновская)

С целью разработки эффективной, надежной и простой в эксплуатации технологии водоподготовки в натурных условиях проводились экспериментальные исследования. Параллельно с исследованиями выполнялись работы по проектированию и строительству сооружений. Такой подход позволил значительно сократить время строительства объекта. Так, например, водоподготовительные сооружения в район. пос. Яшкино, производительностью 2500 м^3/сут, включающие блоки озонирования и фильтрования, реагентное хозяйство и насосную станцию, были построены и сданы в эксплуатацию за три месяца, аналогичные сооружения раб. пос. Зеленогорский, производительностью 5000 м^3/сут — за пять месяцев, водоподготовительные сооружения в район. пос. Промышленная (см. рис. 1), включающие полный комплекс сооружений,— за шесть месяцев и т. д. Следует отметить, что минимально возможные сроки выполнения работ не снизили их качества.

Основным преимуществом выполнения комплекса работ по строительству сооружений ОАО «КемВод» перед другими подрядными организациями явилась ее специализация в области водоснабжения и канализации, а также развитая база вспомогательных цехов. Так, например, изготовление нестандартного оборудования, ревизия арматуры и насосов выполнялись ремонтно-механическим цехом, строительно-монтажные работы производились ремонтно-строительным управлением. Весь комплекс исследований, проектирование и пуско-наладка выполнялась специалистами НГАСУ (Сибстрин). Единая связка всех служб НГАСУ (Сибстрин) и ОАО «КемВод» позволила гибко реагировать на корректировки, связанные с проблемами, возникающими при строительстве.

Таким образом, опыт взаимодействия НГАСУ (Сибстрин) и ОАО «КемВод» показал, что проблема строительства объектов водоснабжения и канализации малых населенных пунктов в регионах России может быть успешно решена совместными усилиями вуза и специализированного производственного предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усольцев В. А. Подготовка воды питьевого качества в городе Кемерове/В. А. Усольцев, В. Д. Соколов, Ю. Л. Сколубович, Л. П. Алексеева, В. Л. Драгинский.— М.: КемВод, НИИКВОВ, 1996.— 116 с.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».— М., 2001.
3. Сколубович Ю. Л. Оценка источников водоснабжения Кузбасса/Ю. Л. Сколубович, В. Д. Соколов, Т. А. Краснова, В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева//Водоснабжение и санитарная техника.— 2002.— № 1.— С. 21—23.
4. Николадзе Г. И. Улучшение качества подземных вод/Г. И. Николадзе: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук (в форме научного доклада).— М.: НИИ ВОДГЕО, 1996.
5. Сколубович Ю. Л. Использование подземных источников Кузбасса для питьевого водоснабжения/Ю. Л. Сколубович, Т. А. Краснова.— М.: Изд-во Спутник+, 2001.— 104 с.

© Сколубович Ю. Л., Войтов Е. Л., 2005

Получено 07.02.05

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

Журнал «Известия вузов. Строительство» включен (п. 214) в «Перечень периодических научных изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук», утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации от 17 октября 2001 г.

Бюллетень ВАК Минобразования России, № 1, 2002

СОДЕРЖАНИЕ

Яненко А. П. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) 5

Яненко А. П., Сколубович Ю. Л. Развитие научно-исследовательской деятельности в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете 11

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Гребенюк Г. И., Митасов В. М. Разработка новых конструктивных форм, методов расчета, оптимизации и реконструкции строительных конструкций и сооружений 19

Адищев В. В., Митасов В. М. Энергетический подход к моделированию процесса образования трещин в изгибаемых железобетонных элементах 26

Дмитриев П. А. О клееных опорах воздушных ЛЭП 31

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Пантелеев Н. Н., Воробьев Б. С. Общий случай распределения термонапряжений в ограниченных перфорированных бетонных телах с несколькими источниками в полостях 37

Гребенюк Г. И. Декомпозиция многопараметрических задач оптимизации динамически нагруженных систем 41

Нуждин Л. В., Гензе П. А., Попов В. Н. Оценка динамических реакций на контурах нескольких круглых вырезов при депланационных колебаниях бесконечной пластины... 47

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Машкин Н. А., Хрулев В. М. Научные разработки в области строительных материалов и специальных технологий для строительной индустрии Сибири 53

Завадский В. Ф. Оптимизация параметров получения газобетона на новых видах дисперсных наполнителей 58

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Попов Ю. А. Нетрадиционный подход к решению традиционных задач энергосбережения в строительстве 64

Попов Ю. А., Лунев Ю. В., Шалгунова О. А. Математическое моделирование динамики температурного и прочностного полей при дифференцированном прогреве бетона в строительных конструкциях призматической формы 73

Ивашенцева Т. А., Гуслова Н. А. Прогнозирование развития региональных рынков строительных материалов 78

Кузьминский А. Г., Изатов В. А. Формирование сметной стоимости ресурсов на момент счета 85

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Дегтярев В. В. Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф 91

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Крыжановский А. Н. Природоохранные технологии, переработка и утилизация техногенных образований и отходов 95

Амбросова Г. Т., Гвоздев В. А., Цветкова О. П., Ксенофонтова О. В. Возможные варианты интенсификации очистных сооружений канализации 100

Костин В. И., Мухина И. Н. Пути совершенствования систем климатизации промышленных зданий с мощными источниками лучистой теплоты 106

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

Абраменков Д. Э., Абраменков Э. А. Соотношения параметров динамического подобия в дроссельных пневмоударных механизмах 108

ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

Пименов А. Т., Попков А. Н. Опыт ремонта и реконструкции ограждений различных систем 117

Сколубович Ю. Л., Войтов Е. Л. Опыт решения проблемы обеспечения населенных пунктов качественной питьевой водой 119

CONTENTS

Yanenko A. P. The Novosibirsk State University of Architecture and Construction (Sibstrin) 5

Yanenko A. P., Skolubovich Yu. L. Development of Scientific — Investigation Activities in the Novosibirsk State University of Architecture and Construction 11

BUILDING STRUCTURES

Grebenyuk G. I., Mitasov V. M. Development of New Constructive Forms, Calculation Methods, Optimization and Reconstruction of Building Structures and Erections 19

Adishchev V. V., Mitasov V. M. Energetic Approach to the Simulation of Cracks Formation in the Bent Reinforced Concrete Elements 26

Dmitriyev P. A. On the Glue Air Power Transmition Line Supports 31

THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

Panteleyev N. N., Vorobiev B. S. The General Case of Thermostress Distribution in Limited Perforated Concrete Bodies with Some Sources in Hollows 37

Grebenyuk G. I. Decomposition of Multiparametric Problems of Dynamic Loaded Sistem-Optimization 41

Nuzhdin L. V., Genze P. A., Popov V. N. Estimate of Dynamic Reactions on Contours of Some Round Outcuts in Case of Warping Vibrations of a Continous Plate 47

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Mashkin N. A., Khrulev V. M. Scientific Developments in the Field of Building Materials and Special Technologies for Building Industry of Siberia 53

Zavadsky V. F. Optimization of Parameters for Gas Concrete Production with New Types of Disperse Fillers 58

ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION. AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

Popov Yu. A. Non-Traditional Approach to Solve Traditional Problems of Power Saving in Construction 64

Popov Yu. A., Lunev Yu. V., Shalgunova O. A. Mathematical Modelling of Temperature and Strength Fields Dynamics in Case of Differential Heating of Concrete in Structural Structures of Prismatic Form 73

Ivashentseva T. A., Guslova N. A. Forecasting the Progress of Regional Markets of Building Materials 78

Kuzminsky A. G., Izatov V. A. Formation of Resouce Estimated Cost for a Moment of Calculation 85

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION

Degtyarev V. V. Risk Reduction and Decrease of Nature and Technoginic Catastrophe Consequences 91

SANITARY ENGINEERING

Kryzhanovsky A. N. Nature Protecting Technologies, Processing and Utilization of Technogenic Formations and Refuse 95

Ambrosova G. T., Gvozdev V. A., Tsvetkova O. P., Ksenofontova O. V. Possible Versions of Sewage Purification Works and Canalization Intensification 100

Kostin V. I., Mukhina I. N. Ways to Perfection of Climate System of Industrial Buildings with Huge Sources of Radiant Heat 106

BUILDING AND ROAD MACHINES

Abramenkov D. E., Abramenkov E. A. Correlation of Parameters of Dynamic Similarity in Throttle Pneumatic Percussive Mechanisms 108

INTRODUCTION OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS INTO PRODUCTION

Pimenov A. T., Popkov A. N. Experience of Repair and Reconstruction of Enclosing Structures of Different Systems 117

Skolubovich Yu. L., Voitov E. L. The Experience to Solve the Problem of Water Supply to Settlements with a High Quality Drinking Water 119

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ

1. К рукописи, представляемой в редакцию, необходимо приложить:

— *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи из расчета 550 рублей за 1 журнальную страницу объема статьи (включая иллюстрации, таблицы и список литературы) за подписью автора или руководителя представляющей статью организации. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала

— *рекомендацию* соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— *разрешение* Госкомизобретений на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение;

— *аннотацию*, кратко излагающую основное содержание рукописи, объемом до 0,3 страницы текста;

— *название статьи* и фамилии авторов на *английском языке*;

— *дубликат сложных формул*.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах с приложением ее записи на дискете 3,5". Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 с межстрочным интервалом 1,5. Число знаков в строке до 70, строк на странице — до 38. Объем рукописи 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

• Порядок написания заглавия статьи (см. в нашем журнале):

— инициалы и фамилии авторов;

— их ученые степени и звания (звания в негосударственных академиях наук не указывать);

— наименование учреждения, откуда исходит рукопись;

— название статьи.

• Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи и точного почтового адреса).

• На полях рукописи простым карандашом указываются места рисунков и таблиц.

3. Иллюстрации представляются в двух экземплярах, каждая на отдельном листе, выполненными на компьютере графическими средствами редактора Word или Corel Draw с использованием в надписях шрифта Arial. Линии чертежа — не тоньше чем 1 пт. Иллюстрации должны быть пригодными для компьютерного сканирования — контрастными, с хорошей проработкой деталей, фотографии — на матовой бумаге, отретушированные. Размер иллюстраций не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4. На обратной стороне каждой из них простым карандашом проставляются порядковый номер и фамилия автора. Подписи к иллюстрациям печатать на отдельном листе.

4. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

5. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские буквы и индексы набирать прямым шрифтом, а латинские курсивом. Аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos) набираются прямым шрифтом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв: *c* и *v*, S и s, O и o, K и k и др., а также трудноразличимых букв *l*, *e*, 1 (цифра), *n* и п, *I* и *J* пояснения выполняются простым карандашом на полях.

Если имеются сложные формулы, то печатают дополнительно их дубликат на отдельном листе шрифтом Times ... размером 18 пт. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

6. Применять физические величины, соответствующие стандарту СТ СЭВ 1052—78 (СН 528–80).

7. Библиографический указатель (список литературы) дается автором в конце статьи в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу в тексте заключаются в квадратные скобки. В списке литературы указываются: для журналов, книг, сборников — фамилия и инициалы первого автора; название работы (статьи); далее — одна косая линия, инициалы и фамилии всех авторов; далее — две косые линии, название журнала, книги, сборника, место, наименование издательства, год издания, номер или том, страницы (с.) (ГОСТ 7.80–2000). Для других типов изданий — см. данный ГОСТ. В список литературы вносятся только те работы, которые опубликованы в печати.

8. Если статья была или будет направлена в другое издание или же была ранее опубликована, обязательно сообщить об этом редакции. Как правило, материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

9. РЕЦЕНЗЕНТОВ ДЛЯ СТАТЕЙ РЕДАКЦИЯ НАЗНАЧАЕТ ПО СВОЕМУ УСМОТРЕНИЮ. При доработке статьи после рецензии на первой странице указывается ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается момент получения редакцией ее окончательного текста.

10. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не предоставляется.*

11. *Гонорар* за опубликованные статьи *не выплачивается*.

12. **Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, к рассмотрению не принимаются.**

Индекс 70377

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1-е полугодие 2005 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ АССОЦИАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА (Сибстрин)

Издается с марта 1958 года

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, аспирантов, а также студентов старших курсов строительных вузов и факультетов, работников соответствующих научно-исследовательских и проектных институтов, инженерно-технический персонал строительных организаций и предприятий.

Объем журнала до 10 печатных листов

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

В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ:

статьи о результатах научных исследований, сообщения о передовом отечественном и зарубежном опыте в строительстве, работы по автоматике и автоматизации производственных процессов, материалы межвузовских научных конференций и совещаний, отдельные разделы диссертаций, материалы о внедрении в производство законченных научных работ, а также обзорные статьи, статьи научно-методического характера, предложения по расчету и проектированию строительных конструкций и инженерных сооружений.

Каталожная цена за 6 месяцев — 360 р.

Цена отдельного номера — 60 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами Союзпечати и отделениями связи. Индекс 70377.

Журнал издается Новосибирским государственным архитектурно-строительным университетом (Сибстрин).

Адрес редакции: 630008, Новосибирск, 8, Ленинградская, 113.

Телефон 66-28-59; телефакс (8-383-2) 66-28-59; e-mail: izvuz_str@sibstrin. ru

ISSN 0536—1052. Изв. вузов. Строительство. 2005. № 4 (556). 1–124.