

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВО

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

№ 10 (634)
Октябрь 2011 г.

Главный редактор В.Г. Себешев
Редакционная коллегия: А.А. Афанасьев,
В.Л. Баладинский, Т.И. Баранова, В.А. Воробьев,
П.А. Дмитриев, В.А. Игнатьев, В.И. Костин (зам. гл.
редактора), Г.Б. Лебедев (зам. гл. редактора),
Е.М. Лобанов, Л.С. Ляхович, В.И. Морозов,
Ю.П. Панибратов, Ю.П. Правдинец, В.Г. Себе-
шев, И.Б. Соколов, Ю.А. Феофанов, Е.М. Чернышов

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113.
Тел./факс 266-28-59.
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 12.12.11. Формат 70×108¹/₁₆.
Усл. печ. л. 10,68+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 850.

ООО «Партнеры Сибири»,
630005, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16.

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Теличенко В.И. Национальный исследовательский университет МГСУ	3
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ	
Коротких А.В., Гербер А.А., Крылов И.И. Особенности работы фермы с перекрестной решеткой из тонкостенных оцинкованных профилей	9
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Резанов А.А., Бедарев А.А. Вопросы управления процессом порообразования в технологии газосиликата	21
Шахов С.А., Рудая Т.Л., Ключникова Н.С. Выбор параметров ультразвуковой активации вяжущего при приготовлении бетонов и растворов	29
Абдрахимов В.З., Денисов Д.Ю. Исследование фазовых превращений на различных этапах обжига керамзита из межсланцевой глины	34
Береговой В.А., Костин Д.С., Береговой А.М. Теплоизоляционная газостеклокерамика на основе кремнистых горных пород	43
ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Калугин Ю.Б. Расчет календарных планов работ с вероятностными временными параметрами	51

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Тарасевич В.В., Ли А.К. Эффективность обратных клапанов при аварийных режимах канализационного коллектора	60
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Боровик В.С., Казачкова Л.О. Оценка влияния параметров улично-дорожной сети на энергозатраты транспорта	69
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А. Устройство цифровой обработки выходных сигналов координаторной системы для дистанционного управления землеройно-транспортными машинами	74
Ломухин В.Б., Виноградов А.Б., Сургин В.В., Лаптева И.В. Расчет количества ремонтно-восстановительного состава для двигателей строительной техники на примере коленчатого вала	80
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Корзун А.В. Региональное своеобразие культового зодчества Иркутска XVIII века	83
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Дегтярев-мл. В.В., Чеботников А.В. Поле скорости при обтекании цилиндра, расположенного вблизи dna потока со свободной поверхностью	92
Сапожников А.И., Григорьев С.М., Купчикова Н.В. Особенности работы балок на упругом основании	99
Черных А.В., Черных В.В. К оценке угловой скорости вращения жидкого металла при дуговой сварке в постоянном продольном магнитном поле	108
ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО	
Талантова К.В., Михеев Н.М., Трошкин А.Н. Практика создания конструкций на основе сталефибробетона с заданными эксплуатационными характеристиками ...	112
НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Головин Н.Г. Новый учебник для студентов строительных вузов	119

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Обращаем Ваше внимание на дополнения в п. 3 Правил подготовки рукописи. В авторской справке следует указать фамилии, имена, отчества полностью всех авторов на русском и английском языках.

90-летний юбилей — старт новых свершений

ТЕЛИЧЕНКО Валерий Иванович, ректор МГСУ, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, действительный член Российской академии архитектуры и строительных наук



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МГСУ

Ровно 90 лет тому назад, в 1921 году, Наркомпросом РСФСР был основан Московский практический строительный институт. Этот год по праву считается годом нашего основания. Несмотря на смену названий, статуса, места расположения, все это время Московский инженерно-строительный институт (МИСИ), ныне Московский государственный строительный университет (МГСУ), — признанный лидер российского строительного образования, ведущий инженерный вуз России, имеющий высокие академические и научные традиции.

Юбилей — это всегда приятный повод поговорить о достижениях. Однако современная жизнь такова, что даже для того чтобы оставаться на месте, необходимо двигаться вперед. Наши достижения — это основа для дальнейшей работы, та база, от которой необходимо отталкиваться, чтобы стремиться к новым рубежам, к новым высотам. Выход на новый уровень — это новые обязательства, новые задачи, новые требования.

Безусловно, самым значимым достижением МГСУ за последнее время явилась поддержка Правительством России разработанной нами концепции создания уникального исследовательского комплекса в области строительства и архитектуры на базе МГСУ, способного не только ставить, но и эффективно решать самые важные задачи создания наукоемкой продукции, высокотехнологичного развития строительства и архитектуры мирового уровня. В результате МГСУ был включен в число университетов, в отношении которых устанавливается категория «Национальный исследовательский университет» (НИУ). Это огромная честь, но и огромная ответственность. Принимая на себя обязательства по реализации программы НИУ, МГСУ принял абсолютно конкретную ответственность за достижение главной цели — создание университета нового типа, в основе которого лежит инновационная деятельность в сфере науки и образования.

Важнейшей характеристикой предложенной МГСУ концепции НИУ является то, что университет выступил не от имени отдельного вуза, а от

имени всего строительного сообщества. На практике это означает, что мы должны ориентироваться на качественно иной, общеотраслевой уровень.

В целом состояние отраслевой науки и профессионального образования в России характеризуется сегодня целым рядом объективных проблем, не решив которые, академическое профессиональное сообщество не сможет адекватно соответствовать темпам роста мирового научно-технического прогресса и решать важные государственные задачи, объявленные Президентом и Правительством Российской Федерации национальными приоритетами.

Очевидно, что системное решение этих проблем требует инновационной перестройки всего профессионального образования, формирования высокоэффективной научной инфраструктуры. Именно национальные исследовательские университеты призваны взять на себя координацию взаимодействия научных и образовательных структур в соответствующих отраслях. В инвестиционно-строительной сфере необходимо качественное развитие как традиционных направлений массового строительства, так и высоких технологий, подготовка на этой основе научно-педагогических кадров нового поколения, специалистов высшей научной квалификации.

Модернизация интеллектуальной и научно-технической среды базируется на принципах интеграции научных, образовательных, информационных и кадровых ресурсов отрасли в интересах реального сектора экономики. Для повышения эффективности усилий в указанных направлениях деятельности НИУ МГСУ выступил инициатором формирования Стратегического партнерства (СП) профильных образовательных учреждений строительной направленности.

В основу деятельности СП положен принцип формирования структуры сфер ответственности НИУ как открытой вертикально и горизонтально интегрированной системы, реализующей стратегию непрерывного профессионального образования (начальное (НПО) — среднее (СПО) — высшее (ВПО) — дополнительное (ДПО) — послевузовское образование (аспирантура, докторантуре)).

Сотрудничество в рамках СП позволяет создать условия для взаимопроникновения программ среднего специального и высшего образования и совместной подготовки бакалавров по направлению «Строительство». Это позволит обогатить как образовательную среду вузов практической составляющей подготовки средних специальных учебных заведений, так и ссузов, куда будут привнесены последние достижения науки, техники и методические наработки вузов. Образовательные учреждения среднего специального образования, в свою очередь, должны стать связующим звеном между НПО и ВПО, сосредоточив в себе наиболее передовые методы подготовки рабочих и специалистов среднего звена.

В настоящее время в СП НИУ МГСУ входят 14 базовых архитектурно-строительных университетов страны.

Концепция стратегического партнерства нашла поддержку не только в образовательном сообществе. Показательно, что именно 21 октября, в день торжественного собрания, посвященного празднованию 90-летия МИСИ-МГСУ, на базе МГСУ было подписано Соглашение о создании партнерства нового уровня — отраслевого стратегического партнерства в строительной отрасли, которое ставит целью создать современную систему подготовки кадров для строительства. Так, НИУ МГСУ реализует идею интеграции, которая является одной из основных не только в развитии вузов, но и во многих направлениях деятельности в нашей стране. Документ подписали министр образования и науки РФ А.А. Фурсенко, министр регионального развития РФ В.Ф. Басаргин, ректор НИУ МГСУ и президент Международной Ассоциации строительных вузов В.И. Теличенко, ви-

це-президент НОСТРОЙ В.С. Опекунов, президент НОП М.М. Посохин, президент НОИЗ Л.Г. Кушнир, а также президент НАМИКС Е.Л. Николаева. На подписании присутствовали ректоры вузов, входящих в Международную Ассоциацию строительных вузов.

Заключение подобного соглашения знаменует собой новый этап интеграции образовательных учреждений и организаций строительного комплекса. По сути, впервые создается институционально оформленное отраслевое стратегическое партнерство.

В рамках соглашения стороны будут осуществлять взаимодействие по следующим основным направлениям:

- решение приоритетных государственных задач в строительной отрасли, в том числе успешная реализация ФЦП «Жилище» путем модернизации государственного регулирования процесса планирования подготовки специалистов соответствующего уровня в области инженерных изысканий, проектирования и строительства;
- создание механизма кадрового планирования и методического обеспечения в сфере градостроительства, архитектуры и строительства;
- совершенствование российского законодательства в области кадрового планирования для задач строительной отрасли;
- формирование единого образовательного и информационного пространства с вовлечением профильных региональных учебных и научных организаций, объединений работодателей;
- создание новых технологий получения и передачи знаний, дистанционных систем обучения, повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов.

С момента своего создания МГСУ являлся координатором в области организации научных исследований вузовского сектора строительной науки. Научные коллективы МГСУ выполняют исследования по всему спектру направлений фундаментальной и прикладной строительной науки, включая многие из перечней «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации» и «Критические технологии Российской Федерации». Уже сейчас в университете оборудованы современные лаборатории, позволяющие получать актуальнейшие результаты по указанным направлениям, нашедшие не только внутрироссийское, но и международное признание. Создан ряд научно-образовательных центров, обеспечивающих получение научных результатов и их эффективное использование в учебном процессе. Коммерциализация разработок осуществляется через малые инновационные предприятия, обеспечивающие продвижение получаемой продукции на отраслевой рынок товаров и услуг. Не случайно Юбилейный форум «МГСУ–МИСИ '90» ознаменовался открытием Международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании», в которой приняли участие представители ведущих отечественных и зарубежных научных центров. Для МГСУ принципиально важно даже юбилейные торжества использовать как возможность для решения актуальных отраслевых научных и образовательных проблем совместно с многочисленными коллегами, приехавшими поздравить наш университет.

С 90-летием МГСУ поздравили руководители федеральных органов власти, власти Москвы и Московской области, руководители строительного комплекса России и Москвы, Российская академия архитектуры и строительных наук, Международная Ассоциация строительных вузов, руководители строительных организаций и компаний столицы и страны, общественные организации и выпускники МГСУ–МИСИ.

Эти поздравления — свидетельство признания заслуг Московского государственного строительного университета как флагмана высшей строительной школы, одобрение перспективных планов вуза, его инновационных программ подготовки кадров для строительной отрасли. Тем выше наша ответственность перед нашими друзьями и коллегами, перед всем строительным сообществом за выход университета на качественно новый уровень, соответствующий показателям развития ведущих мировых образовательных и исследовательских центров. Коллектив МГСУ приложит все усилия, чтобы достижения предыдущих лет стали не вершиной, а стартовой площадкой для новых успехов и свершений.

ПОЗДРАВЛЕНИЯ В СВЯЗИ С ЮБИЛЕЕМ

Уважаемые друзья, поздравляю вас с 90-летием со дня основания университета. Ваш вуз внес значительный вклад в подготовку кадров для отечественной строительной отрасли. Среди его выпускников — квалифицированные инженеры, ученые, руководители крупных компаний. Сегодня МГСУ динамично развивается и внедряет современные программы обучения, активно участвует в международных образовательных проектах. Много внимания уделяет углубленной производственной практике. Присвоение в 2010 году статуса «Национальный исследовательский университет» открыло вузу новые перспективы для проведения фундаментальных и прикладных исследований, в том числе на базе ваших малых инновационных предприятий.

Желаю профессорско-преподавательскому составу, студентам и аспирантам МГСУ успехов, реализации планов и всего самого доброго.

Президент Российской Федерации Д. МЕДВЕДЕВ

Поздравляю профессорско-преподавательский коллектив, студентов, аспирантов и выпускников с 90-летием со дня создания Московского государственного строительного университета.

Этот солидный юбилей — прекрасный повод обратиться к истории МГСУ, вспомнить имена талантливых, увлеченных педагогов, наставников и выпускников, которые внесли огромный вклад в развитие отечественной строительной отрасли, укрепление научно-технического потенциала страны.

За прошедшие десятилетия университет вырос в крупный авторитетный образовательный и исследовательский центр, и его с полным правом считают ведущим профильным вузом России. Практическая инновационная направленность Московского государственного строительного университета, самые современные технологии, активно используемые в обучении, бережное отношение к замечательным, проверенным временем традициям знаменитого МИСИ позволяют вам уверенно смотреть в будущее и, конечно, по-прежнему готовить высококвалифицированных, преданных своему призванию специалистов в самой мирной, самой созидающей и востребованной сфере деятельности — строительстве.

Желаю вам успехов в работе и учебе. Удачи и всего самого доброго.

Председатель Правительства Российской Федерации В. ПУТИН

От имени Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации и от себя лично сердечно поздравляю коллектив преподавателей, студентов и аспирантов со знаменательной датой — 90-летием Московского государственного строительного университета.

В 1921 году в Москве на базе архитектурно-строительных курсов и отделений, существовавших в России с конца XIX века, открылся первый институт, специализирующийся на подготовке инженеров-строителей.

В советское время он был известен всей стране как Московский инженерно-строительный институт имени Валериана Владимировича Куйбышева (МИСИ) и сменил название в 1993 году в связи с присвоением статуса университета на Московский государственный строительный университет (МГСУ).

На всех этапах своей славной истории МГСУ занимал ведущие позиции в стране в системе профессиональной подготовки инженерных кадров для строительной отрасли и поныне знаменит своей научно-методической школой. За годы существования университета подготовлено более 110 тысяч высококвалифицированных инженеров-строителей, специалистов и руководителей всех уровней в области промышленного, гражданского, энергетического, водохозяйственного, специального и уникального строительства, экономики, планирования и управления строительным производством, информационных систем и технологий, проектирования и автоматизации зданий, сооружений и комплексов.

В МГСУ выполнили и защитили диссертации более 3000 кандидатов и докторов наук, аттестованы более 5000 профессоров и доцентов.

МГСУ — головной вуз Российской Федерации в области строительного образования. Заслуги коллектива ученых, педагогов и инженеров МГСУ перед государством отмечены орденом Трудового Красного Знамени (1946 год), медалью «За освоение целинных и залежных земель» (1964 год), орденом «Дружба» Социалистической Республики Вьетнам (1982 год).

Желаю вам успехов и осуществления самых смелых замыслов.

Председатель Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации В.И. МАТВИЕНКО

Дорогие коллеги! От имени президиума Российской академии архитектуры и строительных наук и лично сердечно приветствую и поздравляю коллектив знаменитого МГСУ со славным юбилеем — 90-летием со дня основания.

Московский государственный строительный университет является ведущим строительным вузом страны. За многие годы своей деятельности из его стен вышли десятки тысяч квалифицированных специалистов по всем основным строительным специальностям, возглавивших в разных регионах и городах России крупные строительные и проектные организации. По сути, ни одна крупная стройка страны не обходилась без участия в ней выпускников МИСИ-МГСУ.

Университет был и остается основной базой развития строительной науки, его многие ученые и педагоги стали членами нашей Академии, МГСУ вошел в число победителей всероссийского конкурса высших учебных заведений и получил статус Национального исследовательского университета, что свидетельствует о его мощном потенциале в подготовке ученых и практиков, в развитии строительного дела.

Уверен, что и впредь МГСУ будет лидером в подготовке строителей высшей квалификации, в развитии строительной науки в России.

Желаю педагогическому коллективу, студентам и аспирантам МГСУ доброго здоровья, научных и творческих успехов на благо нашей Родины!

*Президент Российской академии архитектуры и строительных наук,
народный архитектор России А.П. КУДРЯВЦЕВ*

Уважаемые коллеги! От имени членов Российской инженерной академии Президиум РИА поздравляет вас со знаменательной датой — 90-летием со дня основания.

1921 год — год основания вашего университета — символично связан с именем Московского технического училища им. Н.Э. Баумана, из факультета которого родился будущий МИСИ им. В.В. Куйбышева, а теперь МГСУ.

Вы отмечаете свой юбилей — 90-летие со дня основания в числе старейших вузов нашей страны и можете гордиться тем, что настройках России и других стран трудится многотысячный отряд строителей — выпускников МИСИ и МГСУ, среди которых более 80 членов-корреспондентов и действительных членов Российской инженерной академии.

В нашей академии плодотворно работает секция «Строительство», которая выполняет совместно с учеными МГСУ большой объем научно-исследовательских и конструкторских работ в области мониторинга зданий и сооружений, оценки надежности конструктивных элементов, материаловедения с использованием современных материалов, защиты от коррозионных разрушений и по другим направлениям.

Совместные результаты ученых Российской инженерной академии и МГСУ широко используются в практике московского строительства.

За годы работы в стенах вуза подготовлено более 110 тысяч инженеров-строителей, среди которых 3 тысячи специалистов из 103 стран мира.

МГСУ — головной вуз Российской Федерации и по праву возглавляет учебно-методическое объединение вузов Российской Федерации по образованию в области строительства и Международную Ассоциацию строительных высших учебных заведений, включающих в себя 142 вуза России.

МГСУ пользуется заслуженным международным авторитетом и плодотворно сотрудничает с 80 университетами и научно-образовательными центрами 30 стран.

Являясь современным научно-исследовательским и образовательным центром, МГСУ активно участвует в развитии и формировании профессионального и интеллектуального потенциала России.

В год юбилея желаем коллективу Московского государственного строительного университета успехов в подготовке и воспитании нового поколения инженеров-строителей страны, а также здоровья, оптимизма и бодрости.

Благополучия вам и вашим семьям на долгие годы!

По поручению Президиума РИА почетный профессор МГСУ, президент Российской инженерной академии, лауреат Государственных премий СССР и РФ и премий Правительства Б.В. ГУСЕВ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.072.2:624.014

А.В. КОРОТКИХ, А.А. ГЕРБЕР, И.И. КРЫЛОВ

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ФЕРМЫ С ПЕРЕКРЕСТНОЙ РЕШЕТКОЙ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ОЦИНКОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Приводятся результаты экспериментального исследования особенностей работы фермы с перекрестной решеткой из тонкостенных оцинкованных профилей на сдвигостойчивых болтовых соединениях.

Ключевые слова: ферма с перекрестной решеткой, тонкостенные оцинкованные профили, болтовые сдвигостойчивые соединения.

Проведены экспериментальные исследования особенностей работы фермы с поясами составного таврового сечения и перекрестной решеткой из одиночных С-образных тонкостенных оцинкованных профилей (ТОП) на сдвигостойчивых болтовых соединениях. Настоящая статья продолжает публикацию результатов исследований, представленных в [1]. Полученные результаты свидетельствуют о более высокой несущей способности сдвигостойчивых болтовых соединений ТОП по сравнению с соединениями, работающими на смятие (срез). Одним из перспективных направлений их использования являются стропильные фермы на основе ТОП.

Для экспериментального исследования была принята ферма с параллельными поясами составного таврового сечения и перекрестной решеткой из одиночных ТОП. К достоинствам принятой конфигурации фермы относятся возможность доставки в компактном виде и простота сборки на строительной площадке. Это достигается за счет предварительного выполнения перекрестной решетки в виде «механизма», собранного на болтах (рис. 1, а). На строительной площадке он легко растягивается до нужной длины и фиксируется в заранее подготовленные вспомогательные отверстия О.1 и О.2 поясов фермы (рис. 1, б). После этого устанавливается проектное количество болтов в каждый узел решетки фермы.

На сегодняшний день известны результаты исследований конструкций ферм с поясами из прокатных тавров и перекрестной решеткой из одиночных уголков (толщина проката $t \geq 4$ мм). Исследованиями особенностей работы таких ферм занимались В.А. Балдин, В.И. Трофимов, В.В. Бирюлев, В.В. Волков, В.В. Берцин, В.Н. Васылаев, И.Ф. Баранцев и др. К особенностям работы таких ферм можно отнести возникновение в элементах решетки, помимо продольных усилий, изгибающих моментов из плоскости фермы, вызванных эксцентрикитетом их крепления к поясам¹. При этом за счет пересечения раскосов решетки расчетная

¹ Волков В.В. Металлические фермы пониженной высоты с поясами из тавров и перекрестной решеткой из одиночных уголков: автореф. дис... канд. техн. наук. Новосиб. инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева. Новосибирск, 1991.

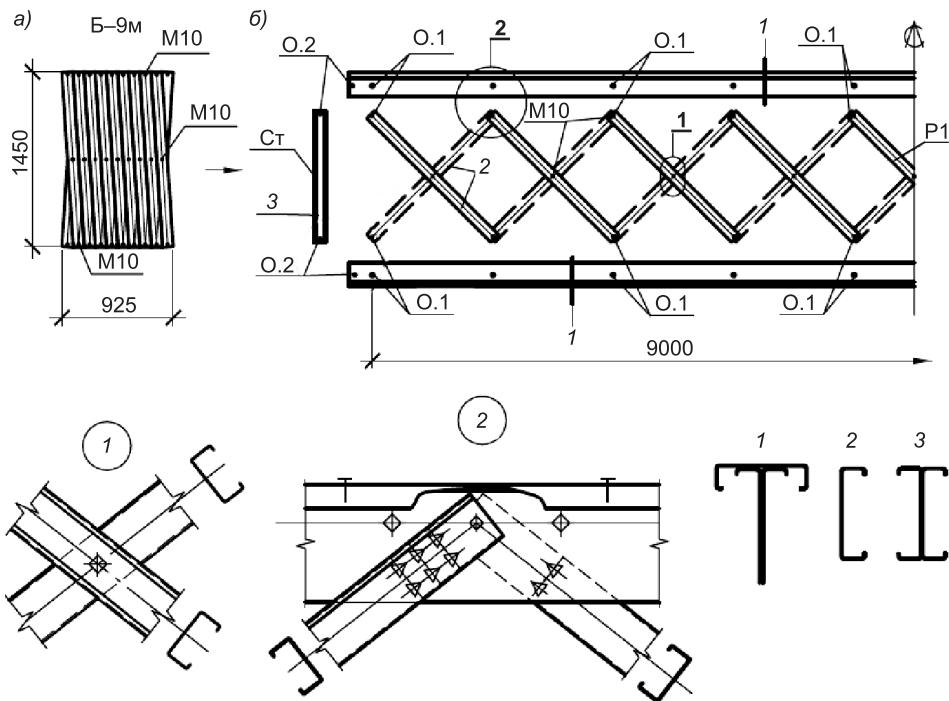


Рис. 1. Схема фермы с перекрестной решеткой

а — решетка фермы пролетом 9 м в собранном виде; б — схема сборки фермы

длина сжатых может быть уменьшена в плоскости и из плоскости фермы [2]. При использовании в решетке фермы С-образных ТОП, соединенных с поясами через стенку, особенно актуально уменьшение расчетной длины сжатых раскосов из плоскости фермы за счет применения перекрестной решетки.

Существующие методики расчета ферм с поясами из тавров и перекрестной решеткой из одиночных профилей, представленные в нормах [2, 3], а также в [4], разработаны для горячекатанных профилей. Настоящее исследование ставит целью изучить особенности работы фермы из ТОП с перекрестной решеткой на предварительно напряженных болтовых соединениях.

Задачи исследования:

1. Экспериментально изучить особенности напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов и узловых соединений фермы и переход фермы в предельное состояние.
2. Изучить работу сдвигостойчивых соединений ТОП в составе фермы.
3. Уточнить расчетную схему фермы и ее элементов из ТОП на сдвигостойчивых соединениях.
4. Разработать пути совершенствования конструкции фермы.

Для решения поставленных задач была запроектирована и изготовлена крупномасштабная модель фермы с перекрестной решеткой из одиночных С-образных профилей пролетом $L = 3700$ мм, высотой по осям $h = 735$ мм ($1/5L$) (рис. 2). Генеральные размеры (пролет и высота) модели диктовались расстоянием между гранями верхнего и нижнего поясов в свету и размерами силовой рамы для испытания. Все сечения несущих элементов модели выполнялись из ТОП по ТУ 1120-001-51725800-2005. Узловые фасонки из стали $t = 4$ мм по ГОСТ 19904-90 подвергались цинкованию. Проектная марка стали элементов фермы соответствовала С285 (принята на основании фактических характеристик стали, приведенных ниже).

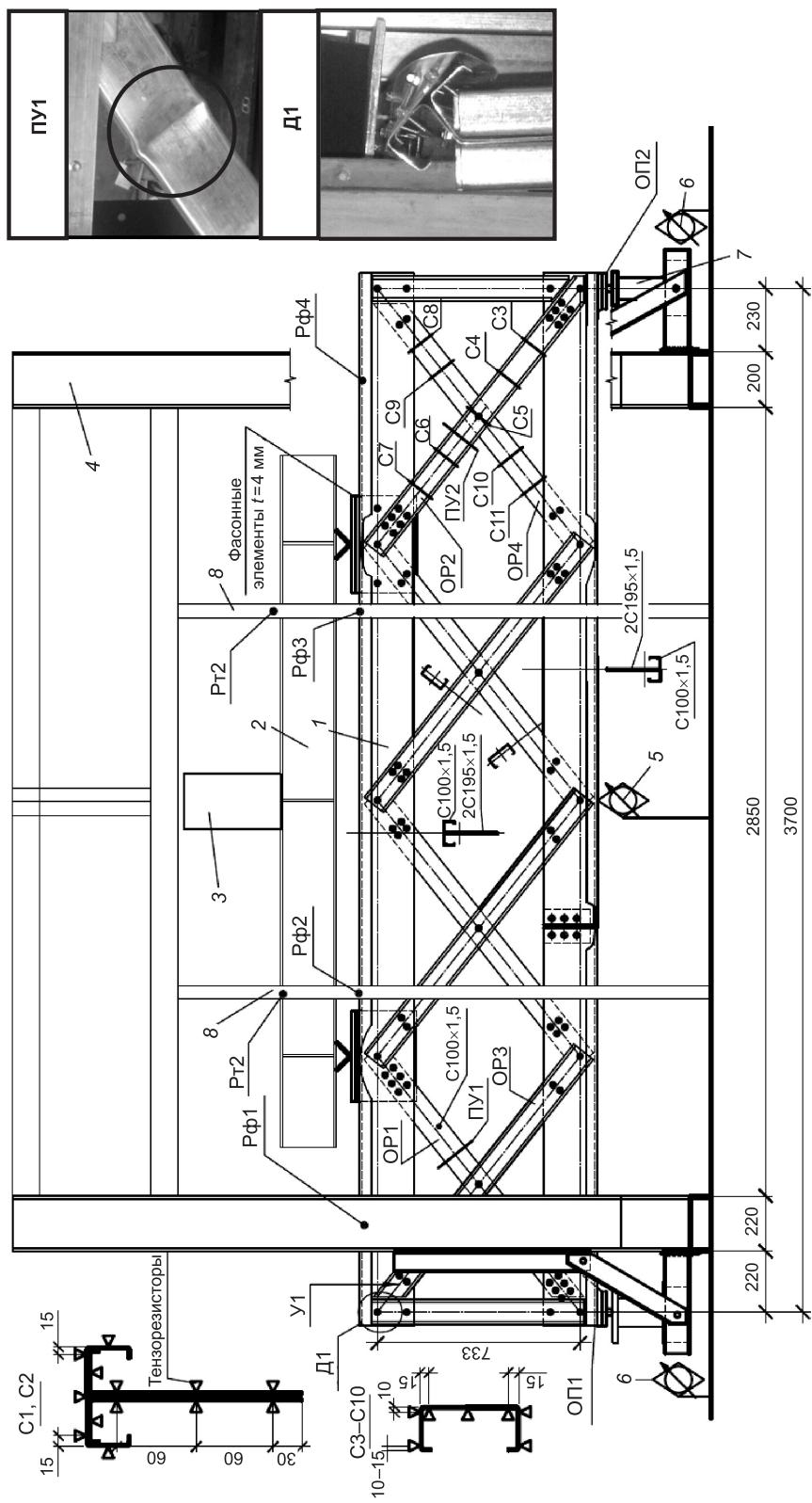


Рис. 2. Общий вид экспериментальной фермы в силовой раме
 1 — экспериментальная ферма; 2 — распределительная траперса; 3 — гидравлический домкрат; 4 — силовая рама; 5 — прогибомеры; 6 — места раскрепления фермы; Рф1...Рф4 — места раскрепления траперса
 ПУ1 — рама для раскрепления; 7 — динамометр; 8 — тензорезисторы

Составные сечения верхнего и нижнего поясов фермы собирались на самонарезающих шурупах. Количество шурупов для крепления полки сечения (C100×1,5) в каждой панели определялось на расчетное усилие сдвига. Узловые соединения элементов экспериментальной фермы выполнены сдвигостойчивыми на болтах М10 по ГОСТ 7805–70 класса прочности 5.6, шайбы — по ГОСТ 9649–78 и гайки — по ГОСТ 5915–70. Класс прочности болтов принят по $\sigma_b = 453,7$ МПа, полученному по результатам испытаний пяти образцов на растягивающее усилие. В узлах пересечения раскосов между собой натяжение болтов проектом не предусматривалось. Расстановка болтов в соединениях осуществлялась с соблюдением требований норм [2]. В каждом болтопакете принято по одной шайбе под головкой болта и гайкой. Нагрузка на экспериментальную ферму принята сосредоточенной, приложенной симметрично в двух узлах верхнего пояса через траверсу. Опорение фермы шарнирное. Верхний пояс фермы раскреплялся от потери устойчивости из плоскости в четырех точках (рис. 2) с обеспечением свободы вертикальных перемещений.

Статический расчет экспериментальной фермы производился с использованием программного комплекса SCAD Office и методик расчета действующих норм [2, 3]. Для уточнения расчетной схемы фермы рассмотрено три варианта. Первая расчетная схема принята плоской с жестким креплением элементов решетки к поясам фермы при количестве болтов два и более [3]. Вторая расчетная схема принята плоской с шарнирным соединением элементов решетки с поясами фермы. Третья (уточненная) расчетная схема принята пространственной с введением специальных узловых элементов — «жестких вставок», позволяющих имитировать эксцентрикситет передачи нагрузки на раскосы решетки из плоскости фермы. Крепление элементов решетки к поясам фермы — жесткое.

Результаты расчета фермы для принятых расчетных схем представлены в табл. 1. Расчетная длина сжатых и растянутых раскосов в плоскости и из плоскости фермы на основании [2] принята 0,5 от их геометрической длины. Расчет сдвигостойчивых соединений и определение количества болтов в узлах фермы производились по [2] с учетом рекомендуемого коэффициента $\gamma_c = 0,85$, установленного в [1]. Расчет сжатого опорного раскоса производился как элемента, подверженного сжатию с изгибом по нормам [2], расчет опорного растянутого раскоса — по рекомендациям [3, 4]. В расчетах учтено, что усилия, передающиеся на раскосы, приложены с эксцентрикситетом в точке с нулевой секториальной координатой сечения. Таким образом, в элементах решетки не появляется дополнительной внутренней пары моментов (бимоментов). В них возникают усилия только от сопротивления сжатию с изгибом в плоскости наименьшей жесткости. Количество болтов в опорных узлах сжатых опорных раскосов рассчитывалось по [2] на усилие $N_{\text{сжат}} = 44,1$ кН (табл. 1). В опорных узлах остальных раскосов решетки количество болтов определялось на усилия при нагрузке на ферму $P_{\text{Ф1}} = 86,1$ кН. В расчете использовались значение ранее установленного коэффициента трения $\mu = 0,55$ [1] и усилие продольного натяжения болтоконтактов $N_{\text{нат}} = 19,6$ кН, определенное по [2], на основании фактических механических характеристик стали болтов. В соответствии с табл. 1 за минимальное значение расчетной несущей способности фермы принят критерий потери местной устойчивости опорного сжатого раскоса ($P_{\text{пу, Ф1}} = 61,5$ кН). Минимальные значения предела текучести и временного сопротивления элементов ТОП соответственно равны $\sigma_t = 286,9$ МПа, $\sigma_b = 354,1$ МПа.

При сборке экспериментальной фермы оцинкованные болтопакеты (болты, шайбы, гайки) и соприкасающиеся поверхности в узловых соеди-

Таблица 1

Усилия в элементах фермы

Элементы	Критерий расчета	Расчетные значения (R _y = 279,6 МПа)				Расчетные значения по фактическим характеристикам ($\sigma_t = 287$ МПа)				Результаты эксперимента
		Продольное усилие в элементе, кН	№ 1 P _{ПГ1}	№ 2 P _{ПГ2}	№ 3 P _{ПГ3}	Продольное усилие в элементе, кН	№ 1 P _{ФГ1}	№ 2 P _{ФГ2}	№ 3 P _{ФГ3}	
1. Потеря общей устойчивости (ПО)	<u>34,86</u> 1,05	<u>69,25</u> 1,11	<u>63,88</u> 1,03	<u>73,38</u> 1,18	<u>35,64</u> 1,06	<u>70,79</u> 1,14	<u>65,29</u> 1,05	<u>75,00</u> 1,21	<u>33,75</u>	62,19
2. Потеря местной устойчивости (ПУ)	<u>30,31</u> 0,91	<u>60,21</u> 0,97	<u>55,52</u> 0,89	<u>63,69</u> 1,02	<u>30,95</u> 0,92	61,48 0,99	<u>56,70</u> 0,91	<u>65,03</u> 1,05	<u>33,75</u>	62,19
3. Пересчет на экспериментальное усилие	—	—	—	—	33,75	<u>66,25</u> 1,07	61,11 0,98	<u>70,07</u> 1,13	<u>33,75</u>	62,19
4. Достижение текучести по сечению брута	<u>43,13</u> 1,16	<u>85,69</u> 1,36	<u>79,04</u> 1,25	<u>90,78</u> 1,44	<u>44,15</u> 1,18	<u>87,69</u> 1,39	<u>80,88</u> 1,28	<u>92,91</u> 1,47	37,28	63,13
5. Достижение текучести на границе шайб в узлах	<u>70,75</u> 2,58	<u>147,93</u> 2,58	<u>129,64</u> 2,26	<u>148,89</u> 2,59	<u>72,63</u> 2,64	<u>151,86</u> 2,64	<u>133,07</u> 2,32	<u>152,87</u> 2,66	27,48	57,42
6. Сдвиг в опорном узле	51,79	105,56	94,91	109,01	64,75	132,83	118,64	136,27	—	—
7. Достижение текучести по сечению брута	34,43	137,34	158,29	130,72	35,31	140,86	162,35	134,07	—	—
8. Достижение текучести на границе шайб в узлах	70,74	282,18	325,23	268,58	72,63	289,71	333,91	275,74	—	—
9. Сдвиг в опорном узле (СД)	<u>17,27</u> —	<u>68,87</u> 0,98	<u>79,37</u> 1,13	<u>65,54</u> 0,93	<u>21,58</u> —	<u>86,08</u> 1,23	<u>99,22</u> 1,41	<u>81,93</u> 1,17	<u>70,19</u>	70,19
10. Вертикальные перемещения фермы при нагрузке, мм	33,49	<u>0,9</u> 0,57	<u>0,95</u> 0,60	<u>1,22</u> 0,77	—	—	—	—	1,58	33,49

Причение. Под чертой приведен испытательный коэффициент, равный $K_{эксп} = N_{расч}/N_{эксп}$.

нениях подвергались очистке и обезжириванию. Натяжение установленных в проектное положение болтопакетов сдвигостойчивых соединений производилось протарированным ключом (Force 6474470). Для регистрации общих вертикальных перемещений (прогибов) на ферму устанавливались два прогибомера (точность 0,1 мм) в пролете и по одному индикатору часового типа на опорах (рис. 2). Для регистрации НДС элементов решетки и узловых соединений они снабжались тензорезисторами фольгового типа (база 2 мм) и проволочного типа (база 6 мм). Тензорезисторы были подключены к тензометрической системе СибНИА ММТС-64.01. Перед испытанием ферма предварительно нагружалась до $P = 9,8$ кН ($0,16P_{\text{пу}, \text{фт}_1}$) с последующим разгружением.

Испытание экспериментальной фермы проводилось при пошаговом приложении нагрузки: шаг 4,9 кН до нагрузки $P = 58,8$ кН ($0,96P_{\text{пу}, \text{фт}_1}$) с последующим уменьшением до 2,3 кН. На каждом шаге производились выдержка до стабилизации деформаций, регистрация показаний приборов и тензорезисторов. При суммарной нагрузке на ферму $P_{\text{Э, пу}} = 62,2$ кН ($1,01P_{\text{пу}, \text{фт}_1}$) была зарегистрирована потеря местной устойчивости стенки сжатого опорного раскоса ОР1 (ПУ1, рис. 2). При дальнейшей выдержке под нагрузкой была зарегистрирована потеря общей устойчивости опорного сжатого раскоса ОР1. Как следствие, произошло перераспределение усилий между опорным сжатым ОР1 и опорным растянутым ОР3 раскосами. С увеличением нагрузки до $P = 70,2$ кН ($1,14P_{\text{пу,фт}_1}$) зарегистрирована потеря местной устойчивости стенки второго сжатого опорного раскоса фермы ОР2 (ПУ2). При визуальном осмотре установлен сдвиг (срыв) в узле крепления растянутого опорного раскоса к верхнему поясу фермы над опорой ОР1 (У1, рис. 2), что соответствует $0,82P_{\text{сд,фт}_1}$. Явление раннего (до расчетного) сдвига вызвано перераспределением усилий между опорными раскосами ОР1 и ОР3.

Для выявления возможных резервов несущей способности фермы была произведена разгрузка фермы, в опорные узлы растянутых опорных раскосов установлены и натянуты по два болтоконтакта и произведен второй этап эксперимента. На втором этапе эксперимента были повторены шаги первого этапа. При достижении нагрузки на ферму $P = 74,9$ кН ($1,21P_{\text{пу,фт}_1}$) установлены значительные деформации кручения верхнего пояса фермы над опорой ОР1, не позволявшие дальнейшего увеличения нагрузки на ферму (рис. 2, Д1). Значительные деформации кручения вызваны эксцентричной передачей усилия к верхнему поясу фермы от опорного растянутого раскоса ОР3 после потери общей устойчивости раскоса ОР1.

По результатам испытаний построены график вертикальных перемещений (рис. 3) и эпюры напряжений по сечениям элементов фермы (табл. 1). По графикам работы фермы на первом и втором этапах были выделены следующие характерные стадии.

Этап I.

Стадия 1 — упругая (линейная) работа модели фермы. Характеризуется малыми вертикальными перемещениями, примерно $(9/10\,000)L$ или $0...3,2$ мм, при допускаемых нормами для конструкции $\left(\frac{1}{250}L\right)$ или $14,8$ мм, где L — пролет модели фермы. За окончание упругой работы принято значение нагрузки $P_{\text{упр}} = 57,6$ кН (рис. 3), соответствующее точке касания графика с линией, имеющей угол наклона $\alpha = \arctan(P/2f)^2$.

² Мельников Н.П. Металлические конструкции / под ред. Н.П. Мельникова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1980.

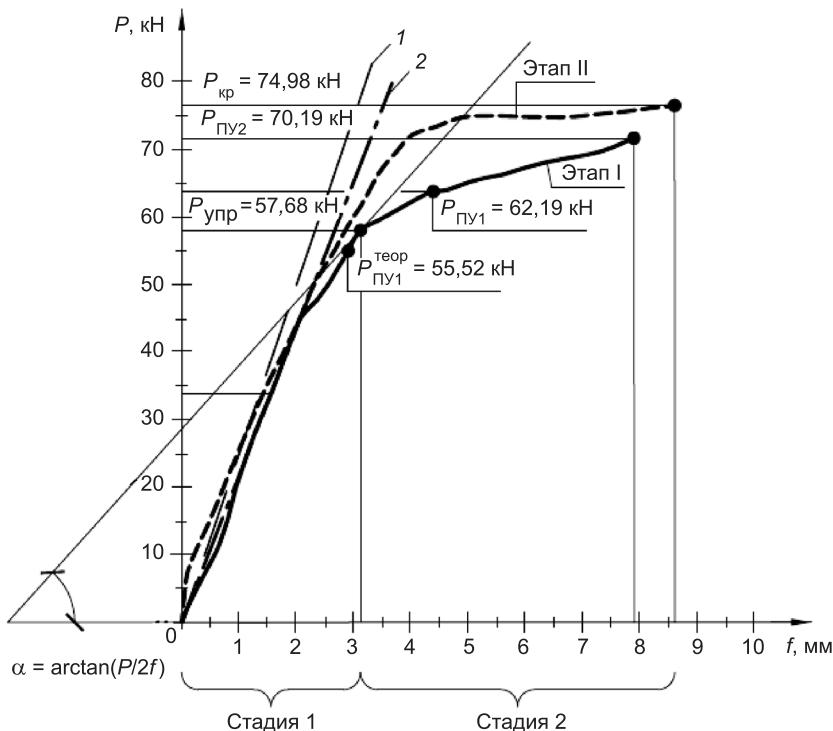


Рис. 3. Диаграмма работы модели фермы на I и II этапах эксперимента
 $P_{\text{упр}}$ — нагрузка, соответствующая пределу упругой работы фермы; $P_{\text{yu}1}$, $P_{\text{yu}2}$ — нагрузка, соответствующая потере устойчивости стенки первого и второго опорных раскосов соответственно; P_{kp} — нагрузка достижения предельного состояния по критерию недопустимых крутых деформаций;

1 — теоретический график зависимости вертикальных прогибов от нагрузки по первой расчетной схеме; 2 — теоретический график зависимости вертикальных прогибов от нагрузки по второй расчетной схеме

Стадия 2 — неупругая (нелинейная) работа модели фермы. Характеризуется:

- увеличением скорости роста деформаций при малых приращениях нагрузки;
- потерей местной и общей устойчивости первого сжатого опорного раскоса при нагрузке $P_{\text{yu}1} = 62,19$ кН (усилие в раскосе $N = 33,75$ кН);
- появлением деформаций кручения верхнего пояса фермы над опорой ОП1 (рис. 2);
- потерей устойчивости стенки второго сжатого опорного раскоса фермы при нагрузке $P_{\text{yu}2} = 70,19$ кН (рис. 2, ПУ2);
- регистрацией сдвига в узле крепления опорного растянутого раскоса к верхнему поясу фермы при нагрузке $P = 70,19$ кН.

Вертикальные перемещения при окончании второй стадии работы составили примерно $(21/10\,000)L$ или 7,9 мм.

Экспериментальные значения потери местной и общей устойчивости опорного сжатого раскоса практически соответствуют расчетным. Погрешность расчетов для усилия в раскосе N_{yu} до 7 % и для нагрузки на ферму по второй схеме P_{ft2} до 9 %. При расчете фермы на экспериментальное усилие $N_{\text{yu1,3}} = 33,75$ кН, нагрузка на ферму $P_{\text{ft2}} = 61,11$ кН по второй расчетной схеме (табл. 1, п. 3) соответствует экспериментальной с погрешностью до 2 %. Это подтверждает, что вторая расчетная схема

является наиболее корректной из рассмотренных. На данной стадии завершался первый этап эксперимента.

На втором этапе эксперимента опорные раскосы фермы ОР1 и ОР2 уже претерпели локальные пластические деформации в результате потери общей и местной устойчивости соответственно. Второй этап проводился только для выявления резервов несущей способности конструкции фермы, т.е. возможных запасов при второй схеме работы, когда основным опорным раскосом становится растянутый. Потеря общей устойчивости сжатого раскоса ОР1 предполагает, что он практически не участвует в работе фермы, а нагрузка на опору ОР1 передается за счет растянутого ОР3. Для исключения дальнейших сдвигов в опорных узлах растянутые раскосы были усилены установкой дополнительных болтов.

Этап II.

Стадия 1 — упругая (линейная) работа экспериментальной фермы. Характеризуется малыми вертикальными перемещениями примерно $(8/10\ 000)L$ или 2,8 мм при допускаемых нормами для конструкции $\left(\frac{1}{250}L\right)$ или 14,8 мм. Окончание упругой работы конструкции при нагрузке $P = 70,19$ кН.

Стадия 2 — неупругая (нелинейная) работа экспериментальной фермы. Характеризуется:

— увеличением скорости роста деформаций при малых приращениях нагрузки;

— при нагрузке $P = 73,37$ кН наблюдается начало деформаций кручения верхнего пояса фермы над второй опорой ОР2;

— при нагрузке $P_{kp} = 74,97$ кН установлены значительные деформации кручения верхнего пояса фермы (до 45°) над опорой ОР1, не позволяющие в дальнейшем увеличивать нагрузку на ферму (рис. 2, Д1);

— увеличение сдвигов (деформаций) в узле крепления опорного растянутого раскоса к верхнему поясу фермы не наблюдалось.

Вертикальные перемещения при окончании второй стадии работы составляли примерно $\frac{23}{10\ 000}L$ или 8,6 мм. Сравнивая работу фермы на первом этапе испытания со вторым, следует отметить, что:

— длительность стадии упругой работы конструкции увеличилась примерно на 20 % за счет перераспределения усилий между опорным сжатым и опорным растянутыми раскосами;

— деформации кручения верхнего пояса фермы за счет передачи значительной части опорного усилия через растянутый раскос ОР3 за пределами упругой работы конструкции увеличились после потери общей устойчивости опорного сжатого раскоса ОР1;

— постановка дополнительных болтов (больше расчетного количества) в узлы сопряжения опорных растянутых раскосов с поясами фермы позволила увеличить несущую способность фермы примерно на 10 %.

Фактические вертикальные перемещения фермы в упругой стадии работы конструкции примерно в 1,66–1,75 раза больше расчетных, определенных по первой и второй плоским схемам (табл. 1). Расчетные прогибы по пространственной схеме (схеме 3) примерно в 1,3 раза меньше экспериментальных. Это связано с уменьшением жесткости узлов сопряжения раскосов решетки с поясами фермы при введении «жестких вставок» (эксцентриков).

Анализируя НДС элементов решетки, можно отметить следующее:

1. Уровень максимальных напряжений в опорном растянутом раскосе в упругой стадии работы конструкции, до потери общей устойчивости сжатого опорного раскоса, примерно в 2–2,3 раза ниже максимальных напряжений опорного сжатого раскоса (табл. 2), что соответствует результатам статического расчета в SCAD Office.

Таблица 2
Напряжение по сечениям элементов модели фермы

Напряжения в сечениях опорных раскосов (МПа) при нагрузке на ферму (кН)			Напряжения в сечениях поясов (МПа) при нагрузке на ферму (кН)						
Сечения	Сжатый		Сечения	Растянутый		Сечения	Верхний и нижний пояса фермы		
	Сечения	33,49		Сечения	33,49		Сечения	33,49	
C7		15,9 -42,4 21,2 -41,9	C11		38,6 49,9 32,1 20,8 7,4 -14,7 -6,3	C1		-19,8 -21,8 -17,2 -12,9 -7,6 -0,5 -10,5 -18,3 -20,1 -5,8 -0,3 -12,6	
C6		6,7 -76,3 6,8 -68,4 -115,4 -122,5 -111,9	C10		26,9 43,3 38,3 32,5 -12,3 -45,5 0,1	C2		6,4 13,6 9,8 -19,8 15 2,2 3,8 1,2 -3,4 -19,8 5,7 7,8	
C5		-1,2 -33,5 -8,9 -120,5							
C4		4,4 -31,9 -1,3 -41,3 -60,2 -70,2 -65,4	C9		13,2 35,1 50,5 60,2 -11,0 0,1 39,7	C3		2,9 15,6 25,4 43,1 -7,1 -4,5 22,3	
C3		12,9 -31,1 3,4 -28,1 -53,2 -95,7 -54,1	C8		14,7 35,6 59,6 44,1 -16,7 1,8				
Расчетные		-75,8 7,2 7,2 -75,8 -124,6	Расчетные						

Примечание. Расположение сечений С1...С11 приведено на рис. 2.

2. Распределение напряжений по сечениям сжатого опорного раскоса (табл. 2, С7, С6, С4, С3) характеризует его работу как сжато-изогнутого в плоскости наименьшей жесткости с максимальными сжимающими напряжениями в стенке профиля и растягивающими по внешним граням полок у отгибов.

3. Расчетные эпюры напряжений по сечениям сжатого и растянутого опорных раскосов, полученные без учета моментов в плоскости фермы (табл. 2, расчетные), в сравнении с экспериментальной (табл. 2, С6, С9) имеют погрешность не более 10 %. Это свидетельствует о том, что изгибающие моменты в плоскости фермы, возникающие в стержнях решетки, не существенны и могут не учитываться в расчете.

4. Напряжения у опорных узлов сжатого раскоса (С3, С7) практически совпадают, что говорит о равенстве продольных усилий выше и ниже узла пересечения раскосов.

5. Растянутый опорный раскос раскрепляет сжатый из плоскости, о чем свидетельствуют максимальные напряжения сжатого опорного раскоса в первой четверти по С6, а также напряжения одного знака в полках сжатого раскоса по сечению С5.

6. Сравнение экспериментальных напряжений опорного растянутого раскоса по сечению С9 с расчетными дает погрешность не более 2 %, что подтверждает их хорошую сходимость и достоверность расчетных данных.

7. Напряжения в отдельных элементах составных сечений распределены достаточно равномерно. Напряжения в полке С195×1,5 и в стенке С100×1,5 практически совпадают ($\sigma = 16,4 \dots 19,8$ МПа), что говорит об их совместной работе.

Анализируя НДС узловых соединений экспериментальной фермы, можно отметить следующее.

1. На границе шайб первого ряда болтоконтактов со стороны усилия наблюдается концентрация напряжений. Коэффициент концентрации отличается от установленного ранее для листового проката $k = 1,15 \dots 1,2$ [1]. Так, для сжатого опорного раскоса ОРЗ максимальная концентрация составляет $k = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{ном}} = 2,85$. Это объясняется сгущением силового потока со всего сечения на участках под головкой первого ряда болтоконтактов.

2. Встыке по нижнему поясу фермы (см. рис. 2) в упругой стадии работы ($P = 33,49$ кН) отмечена максимальная концентрация напряжений на границе шайб первого ряда болтоконтактов $k = 5$.

3. При достижении напряжений на границе шайб первого ряда болтоконтактов со стороны усилия величины $\sigma_{\text{ном}}k = \sigma_t$, где k — коэффициент концентрации, наблюдается эффект ослабления натяжения болтокомплектов. При этом происходит перераспределение усилий между рядами — увеличение в 3 раза локальных напряжений напротив шайб второго ряда.

Выводы. 1. На основании экспериментальных данных рекомендуется расчет фермы по первому предельному состоянию производить по плоской расчетной схеме с шарнирным креплением элементов решетки к поясам фермы. При расчете фермы по второму предельному состоянию целесообразнее применять пространственную расчетную схему.

2. Установлено, что растянутые раскосы решетки уменьшают расчетную длину сжатых в плоскости и из плоскости фермы.

3. Экспериментально подтверждена совместная работа составных сечений верхнего и нижнего поясов фермы, собранных на самонарезающих шурупах и винтах.

4. Экспериментально получены коэффициенты концентрации напряжений в сдвигостойчивых узловых соединениях фермы на основе С-образных ТОП.

5. За расчетное предельное состояние фермы первой группы следует принимать достижение нагрузки по критерию потери местной (общей) устойчивости опорных сжатых раскосов. Наступление расчетного предельного состояния по второй группе определяется по максимальным вертикальным перемещениям фермы.

6. После потери местной (общей) устойчивости опорного сжатого раскоса происходит перераспределение усилий и основным опорным раскосом становится растянутый до наступления фактического предельного состояния по критерию достижения текучести одного из элементов либо исчерпанию несущей способности соединений.

7. Установлено, что для обеспечения резервов несущей способности фермы рекомендуется проектное количество болтов в опорных узлах растянутых опорных раскосов и опорных стоек определять на усилие опорного сжатого раскоса.

8. Необходимо разработать пути совершенствования конструкции фермы. Так, для увеличения местной устойчивости стенки сжатых раскосов могут быть применены профили с продольными элементами жесткости и Σ -профили.

9. Необходимо разработать и исследовать возможные пути снижения концентрации напряжений в узлах решетки. Одним из вариантов может служить увеличение количества болтов по высоте соединяемых профилей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коротких, А.В. Особенности работы двух- и трехболтовых фрикционных сдвигостойчивых соединений тонкостенных оцинкованных профилей [Текст] / А.В. Коротких, И.И. Крылов, В.Г. Черкасов // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 2. — С. 3–14.
2. СП 16.13330. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. Стальные конструкции [Текст] : Утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 27 декабря № 791 и введенного с 20 мая 2011 г. — М., 2011. — 172 с.
3. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) [Текст] : Утв. приказом ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР от 15.08.1985 г. № 243 / л./ Центр. ин-т типового проектирования. — М., 1989. — 150 с.
4. Кузин, Н.Я. Проектирование и расчет стальных ферм покрытия промышленных зданий [Текст] / Н.Я. Кузин : учеб. пособие. — М. : Изд-во АСВ, 1998.

КОРОТКИХ Александр Васильевич, асп.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ГЕРБЕР Андрей Андреевич, асп.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

КРЫЛОВ Иосиф Иосифович, канд. техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Korotkikh A.V., post-graduate student, Novosibirsk State of Architecture and Civil Engineering University (Sibstrin), Russia

Gerber A.A., post-graduate student, Novosibirsk State of Architecture and Civil Engineering University (Sibstrin), Russia

Krylov I.I., candidate of technical sciences, professor, Novosibirsk State of Architecture and Civil Engineering University (Sibstrin), Russia

FEATURES OF THE WORK FARM WITH A CROSS BARS OF THIN WALLED ZINC COATED PROFILES

The results of experimental researches of the working farm with cross bars of the thin-walled zinc coated profiles on slip critical connections.

Key words: farm with cross bars, the thin-walled zinc coated profiles, slip critical connections.

REFERENCES

1. Korotkikh, A.V. Features of work two and a three of bolts slip critical connections of the thin-walled zinced profiles [Text] / A.V. Korotkikh, I.I. Krylov, V.G. Cherkasov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 2. — P. 3–14.
 2. SP 16.13330. The updated edition of SNiP II-23-81 Steel Construction [Text] — M., 2011. — 172 p.
 3. Manual for the design of steel structures (to SNiP II-23-81) [Text] / Central Institute of Model Design. — M., 1989. — 150 p.
 4. Kuzin, N.Ya. Engineering and Design of Steel Trusses Covered by Industrial Buildings : Tutorial [Text] / N.Ya. Kuzin. — M. : Pabl. ASV, 1998.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.327:666.973.6

А.А. РЕЗАНОВ, А.А. БЕДАРЕВ

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОРООБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОСИЛИКАТА

Детально рассмотрены причины дефектообразования в ячеистой структуре газосиликата на стадии поризации смеси. Выявлен новый управляющий технологический фактор — давление внешней газовой фазы. Разработаны подходы к управлению процессом формирования ячеистой структуры газосиликата, и создана установка с системой автоматического управления процессом поризации путем целенаправленного оперативного воздействия на смесь давлением внешней газовой фазы. Подтверждена эффективность предлагаемого способа поризации силикатной смеси.

К л ю ч е в ы е с л о в а: газосиликат, ячеистая структура, порообразование, баланс сил, автоматическое управление, газовыделение, давление газовой фазы.

Благодаря своим высоким физико-техническим свойствам ячеистый силикатный бетон (газосиликат) по праву относится к эффективным стекловым материалам и является одним из наиболее востребованных в современном строительстве. Причем в течение последних лет отчетливо наблюдается повышение спроса на изделия из газосиликата, что обусловило появление в России новых производственных мощностей преимущественно иностранных фирм: WERHAN, ITONG, HEBEL, SIPOREX и др. [1]. Все эти европейские производители оборудования ориентированы на литьевую технологию формования, главными достоинствами которой являются: благоприятный режим производства, связанный с отсутствием вибрации, длительный ресурс службы форм и зачастую формование более совершенной макроструктуры, обусловленное спокойным, растянутым во времени процессом порообразования. Однако существенным недостатком предприятий, работающих по литьевому методу, является их жесткая привязка к качеству сырьевых материалов (в особенности извести), тонкости помола сырья и его чистоте. Не секрет, что в настоящее время российские производители извести не всегда способны обеспечить постоянство качества выпускавшегося продукта.

Кроме того, некоторые свойства молотой негашеной извести, входящей в состав известково-песчаного вяжущего (ИПВ), существенно зависят от условий и продолжительности хранения, что связано, прежде всего, с частичной гидратацией частиц извести, а также с уменьшением реакционно-активной поверхности вследствие агрегации отдельных частиц в кластерные структуры. На рис. 1 приведены полученные нами данные по кинетике тепловыделения формовочной силикатной смеси в зависимости от продолжительности хранения ИПВ. При этом вяжущее хранилось в плотно герметизированной таре.

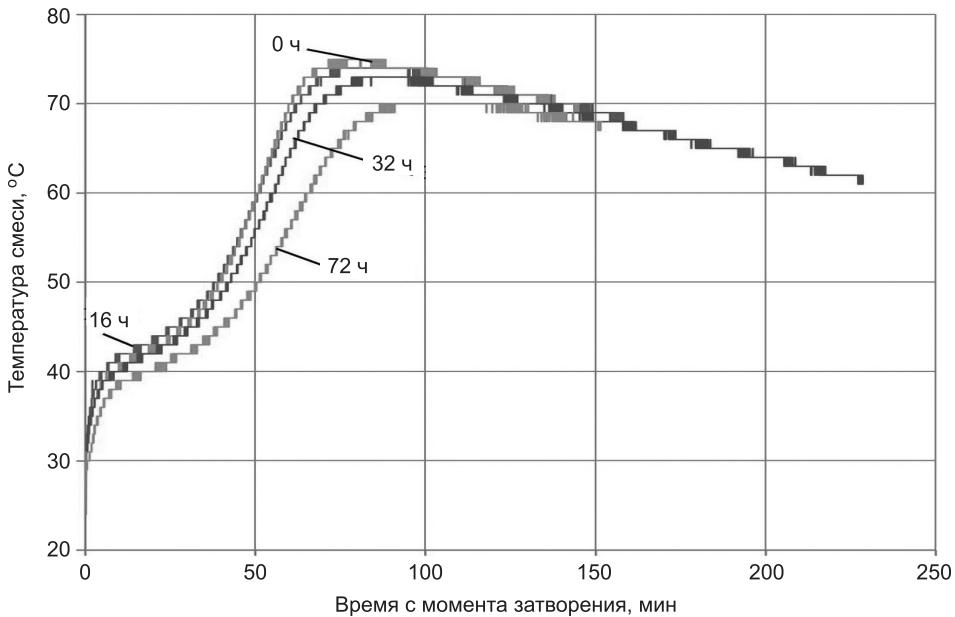


Рис. 1. Графики кинетики тепловыделения формовочной смеси при различной продолжительности хранения ИПВ

Из представленных графиков следует, что даже в герметичных условиях хранения с течением времени ИПВ изменяет свои свойства. Колебания экзотермических свойств известны приводят к рассогласованию протекания во времени двух ключевых процессов порообразования: газовыделения и нарастания вязкопластичных характеристик смеси [2]. Даже при полной автоматизации технологического процесса управление формированием по литьевой технологии не обладает должной оперативностью, так как ориентировано только на рецептурные факторы. На сегодняшний день в литьевой технологии не существует эффективных способов оперативного вмешательства в ход процесса порообразования в случае отключения его от оптимума.

В результате анализа процессов, протекающих при порообразовании на всех его стадиях, и рассмотрения баланса сил, действующих на газовый пузырек, можно заключить, что наиболее опасна с точки зрения возникновения деструктивных процессов заключительная стадия порообразования. Межпоровые перегородки, теряя пластичность, утрачивают способность к релаксации растягивающих напряжений, обусловленных внутрипоровым давлением водорода и температурным расширением газовой фазы. При этом неокрепшие межпоровые мембранны разрушаются, в итоге заметно снижаются физико-механические показатели затвердевшего газосиликата.

Устойчивость образующейся ячеистой структуры будет обеспечена, если растягивающие напряжения в межпоровых перегородках будут компенсированы результирующей сжимающих сил от внешнего давления вплоть до момента приобретения растворной составляющей прочности, способной сопротивляться воздействию возникающих напряжений. Среди сжимающих внешних давлений основная роль должна принадлежать искусственно создаваемому дополнительному давлению внешней газовой фазы, которое следует рассматривать как управляющий технологический фактор, позволяющий оперативно вмешиваться в процесс [3, 4].

Величина противодавления, которое необходимо прикладывать к поризуемой системе, зависит главным образом от кинетики газовыделения и температурных изменений после потери системой пластичности. Естественно, что непрерывный контроль за процессом порообразования с точки зрения величины требуемого противодавления возможен только при реализации автоматического управления процессом поризации [4].

На первой стадии реализации автоматического управления порообразованием основное внимание было сосредоточено на получении математической модели, достаточно точно описывающей процесс газовыделения. В ходе решения этой задачи были выявлены основные факторы, определяющие скорость газовыделения. С учетом основных положений химии гетерогенных реакций к этим факторам относятся: дисперсность и форма частиц алюминиевой пудры, pH раствора дисперсионной среды, температура реакции, вязкость растворной составляющей. Для всех экспериментов использовалась алюминиевая пудра одной партии, поэтому фактором «дисперсность и форма частиц алюминиевой пудры» можно пренебречь. В ходе отсеивающего эксперимента выяснилось, что в качестве действенного фактора, определяющего процесс взаимодействия порошкообразного алюминия с водой в щелочной среде, следует рассматривать температуру среды. Остальные факторы в исследуемом диапазоне оказывают малозаметное влияние на кинетику газовыделения.

В рамках поставленной задачи была спроектирована и сконструирована установка для определения кинетики газовыделения, позволяющая в автоматическом режиме регистрировать данные, характеризующие процесс поризации, при фиксированной температуре смеси.

Конструктивно установка представляет собой теплоизолированный корпус, заполненный водой, температура которой при помощи системы автоматического регулирования поддерживается постоянной. В термостатированном корпусе размещается герметичный реактор с мешалкой пропеллерного типа и системой впрыска алюминиевой суспензии, а также накопитель газа с высокоточным датчиком измерения давления (погрешность измерения $\pm 0,001 \text{ кгс}/\text{см}^2$). Установка позволяет с высокой точностью в автоматическом режиме отслеживать состояние процесса газовыделения и регистрировать данные для дальнейшей математической обработки.

Точность работы установки подтвердилась коэффициентом вариации, который не превысил 3,5 %, что говорит о достаточной достоверности полученных результатов. Затем была поставлена серия основных экспериментов, направленных на определение закономерностей газовыделения при различной температуре поризуемой смеси. Результаты определения кинетики газовыделения в зависимости от температуры реакции представлены на рис. 2, они убедительно доказывают, что скорость газовыделения в значительной степени зависит от температуры реакции. Установлено, что наиболее подходящей функцией для аппроксимации полученных зависимостей является функция вида

$$V = 1 - e^{-k\tau}, \quad (1)$$

где V — доля выделившегося газа относительно объема при полном газовыделении, %;

τ — время с момента начала реакции, мин;

k — коэффициент аппроксимации, зависящий от температуры реакции.

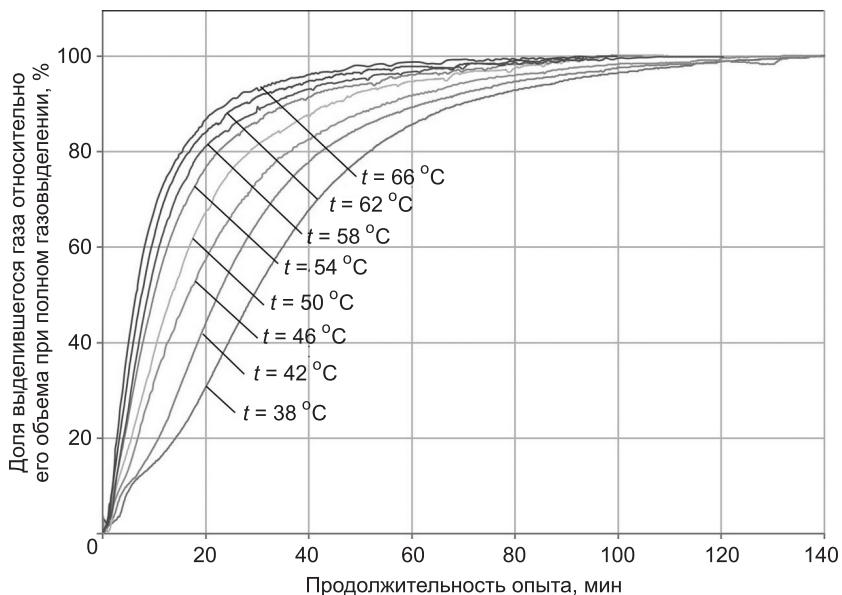


Рис. 2. Экспериментальные зависимости кинетики газовыделения при различных температурах смеси

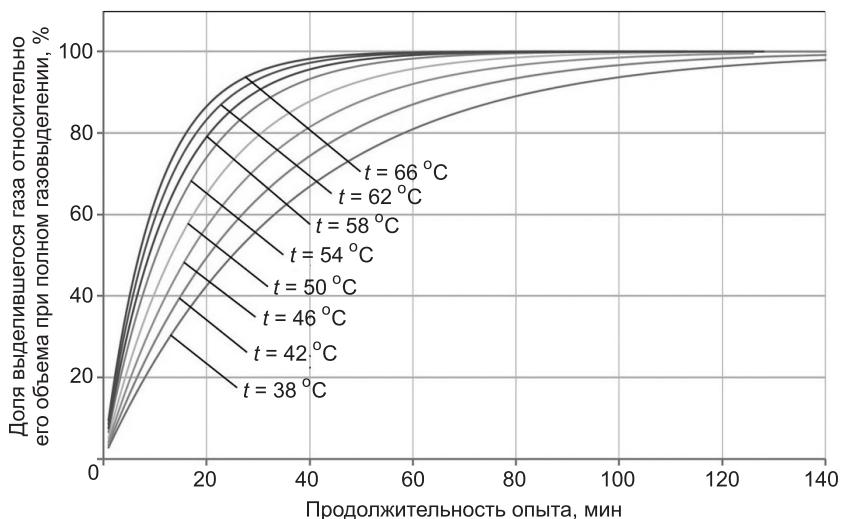


Рис. 3. Результаты аппроксимации экспериментальных графиков газовыделения функцией вида $V = 1 - e^{-kt}$

То, что формула (1) достаточно точно описывает исследуемый процесс, хорошо иллюстрирует рис. 3.

По результатам аппроксимации полученных зависимостей определены значения коэффициента аппроксимации k и получена модель их изменения в зависимости от температуры реакции:

$$k = (5 \cdot 10^{-5} T^2 + 0,0004T - 0,0219). \quad (2)$$

Обобщенная модель газовыделения, которая является основой для автоматического управления величиной давления внешней газовой фазы, имеет вид

$$V = 1 - e^{(0,0219 - 5 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,0004T)\tau}. \quad (3)$$

Получив достоверную модель процесса газовыделения, можно перейти к основной идеи определения текущего внутрипорового давления, которая заключается в оценке объема порового пространства массива и объема газа, выделившегося в результате реакции алюминия со щелочным раствором с учетом температурных поправок. Объем порового пространства предлагается оценивать по степени вспучивания массива при известной исходной плотности растворной смеси, а объем выделившегося газа на текущий момент времени — расчетным путем по модели газовыделения (см. формулу (3)). Определение степени вспучивания смеси осуществляется путем измерения текущей высоты массива. Является очевидным, что текущее внутрипоровое давление можно принять прямо пропорциональным отношению объема выделившегося газа к объему порового пространства.

Для практической реализации алгоритма разработана автоматическая система управления процессом порообразования, представляющая собой аппаратно-программный комплекс. Для реализации аппаратной части была спроектирована и сконструирована установка, схема и внешний вид которой представлены на рис. 4.

Система предусматривает обратную связь по следующим параметрам: температура смеси и внешней газовой фазы; степень вспучивания смеси; текущее значение давления внутри формы. Для измерения температуры применены хромель-копелевые гибкие термопары 8. Степень вспучивания определяется бесконтактной оптической регистрацией высоты подъема массива при помощи оптико-электронной системы, состоящей из лазерного источника когерентного излучения 4 и видеокамеры 6, регистрирующей смещение падающего под углом светового пучка. Величина давления в герметичной форме 1 определяется с помощью прецизионного датчика давления 3, обеспечивающего точность $\pm 0,001$ атм. Для преобразования измерительных и управляющих сигналов используются измерители и преобразователи интерфейса (13–16, 19). Обработка информации и генерация управляющего цифрового сигнала обеспечивается портативным компьютером 18. Далее управляющий цифровой сигнал трансформируется в аналоговую форму при помощи цифроаналогового преобразователя 19, обеспечивая своевременное открытие и закрытие электромагнитных клапанов 2, 11 для нагнетания и спуска сжатого воздуха. Для реализации программной части комплекса разработана SCADA-система с применением функциональных средств пакета MatLab и системы быстрой разработки приложений Delphi.

Разработанная система позволяет в итерационном режиме поддерживать необходимую расчетную величину противодавления, препятствующего дефектообразованию в межпоровых перегородках. С учетом того, что время итерации не превышает 1 с, обеспечивается оперативное управление процессом порообразования.

С использованием разработанной системы управления процессом порообразования удалось повысить степень совершенства ячеистой структуры и физико-механические показатели ячеистого силикатного бетона. В результате получен газосиликат со следующими характеристиками: средний диаметр пор 1,75 мм; средняя толщина межпоровых перегородок 0,25 мм; степень сферичности пор 0,78; плотность в сухом состоянии 320 кг / м³; прочность при сжатии 2,4 МПа; коэффициент конструктивного качества 234 кН · м² / кг⁴ · 10⁻⁴.

Таким образом, проведенными исследованиями обоснован дополнительный фактор оперативного управления процессом поризации ячеистого

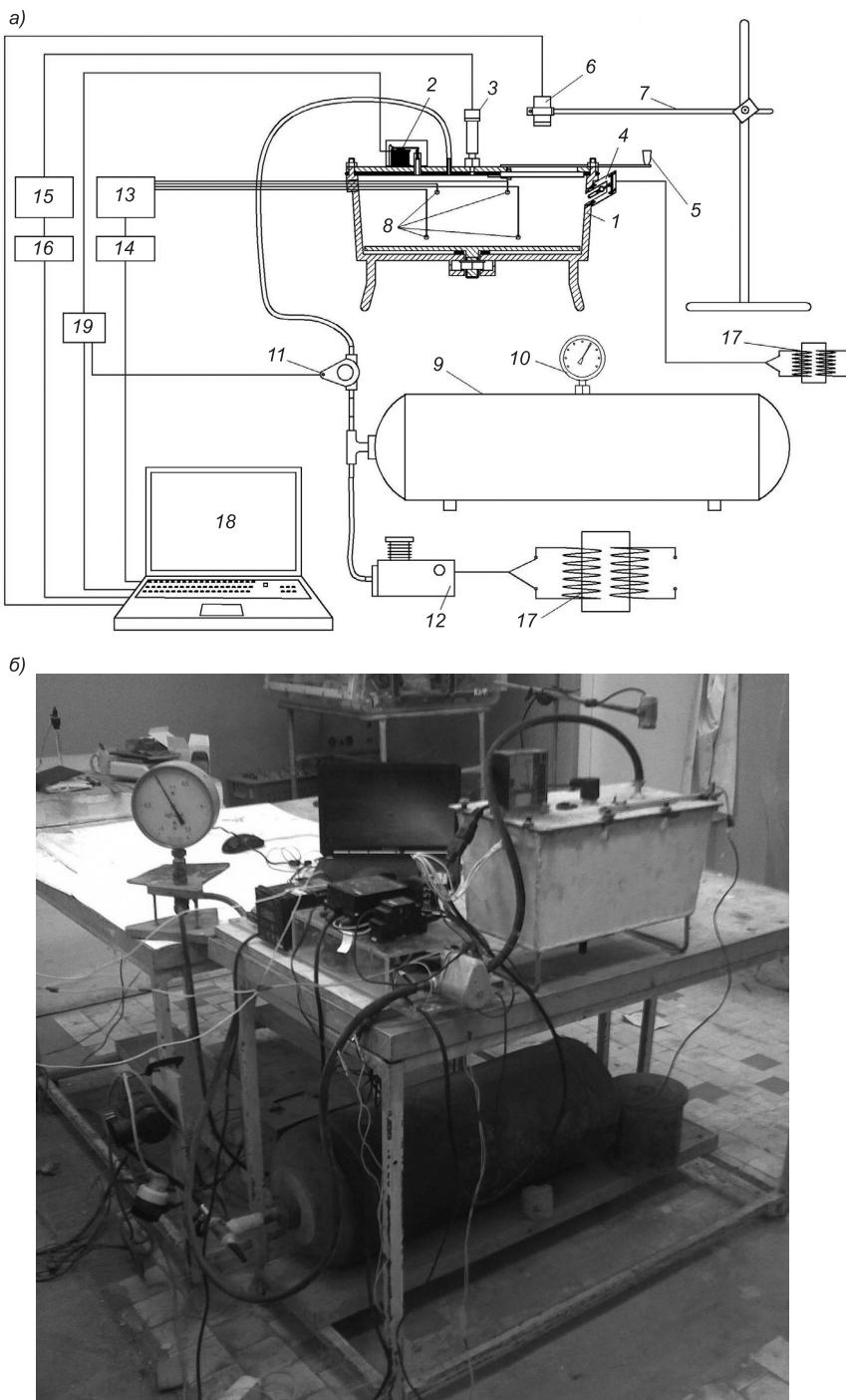


Рис. 4. Схема (а) и внешний вид лабораторной установки (б) для формования ячеистого силикатного бетона под давлением с системой автоматического управления процессом порообразования

1 — герметичная форма с выдвижным дном; 2 — электромагнитный клапан для сброса давления в форме; 3 — датчик давления; 4 — лазерный источник светового пучка для контроля уровня роста массива; 5 — очиститель конденсата; 6 — вебкамера; 7 — штатив вебкамеры; 8 — термопара хромель-копелевая ДТПЛ011-0.5/1.5; 9 — ресивер; 10 — манометр МТИ; 11 — выпускной электромагнитный клапан; 12 — компрессор; 13 — измеритель-регулятор температуры ТРМ138; 14 — преобразователь интерфейса RS232 АС2 (Овен); 15 — измеритель ТРМ200 (Овен); 16 — преобразователь интерфейса RS485 АС4 (Овен); 17 — трансформатор понижающий; 18 — портативный компьютер; 19 — цифродискретный преобразователь

силикатного бетона — давление внешней газовой фазы, использование которого позволяет целенаправленно воздействовать на баланс внутренних и внешних сил в газовых пузырьках. Эффективность предлагаемого способа управления достигается за счет автоматического определения требуемой величины прикладываемого внешнего давления, которое препятствует деструктивному расширению внутренней газовой фазы. Управление порообразованием позволяет получать газосиликат пониженной плотности с высокими физико-механическими характеристиками и использовать его в качестве эффективного конструкционно-теплоизоляционного материала. При этом уровень качества газосиликата, полученного по разработанной технологии формования, заметно превосходит показатели образцов, изготовленных по «классической» литьевой технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сажнев, Н.П. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика [Текст] / Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич [и др.]; под общ. ред. Н.П. Сажнева — 2-е изд., доп. — Минск : Стринко, 2004. — 384 с.
2. Куннос, Г.Я. Элементы технологической механики ячеистых бетонов [Текст] / Г.Я. Куннос, В.Х. Лапса, Б.Я. Линденберг [и др.] ; под общ. ред. Г.Я. Кунноса. — Рига : Зиннатне, 1976. — 96 с.
3. Шмитко, Е.И. Изучение процесса структурообразования ячеистого силикатного бетона автоклавного твердения и роль внешнего давления окружающей среды в формировании бездефектных структур [Текст] / Е.И. Шмитко, А.А. Резанов, А.А. Бедарев // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии : матер. XV акад. чтений РААСН. — В 2 т. — Т. 1. — Казань, 2010. — С. 369–374.
4. Резанов, А.А. Внешнее давление газовой среды как дополнительный технологический фактор оптимизации процесса порообразования при производстве ячеистых силикатных бетонов [Текст] / А.А. Резанов // Вест. Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. — 2010. — № 3. — С. 68–78.

РЕЗАНОВ Александр Александрович, асп.; E-mail: rezanovss@mail.ru
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
БЕДАРЕВ Анатолий Андреевич, асп.; E-mail: bedarev@ogent.net
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 27.10.11

Rezanov A.A., post-graduate student; E-mail: rezanovss@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Bedarev A.A., post-graduate student; E-mail: bedarev@ogent.net, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

SOME QUESTIONS OF CONTROL PROCESS PORE FORMATION IN THE GAS SILICATE TECHNOLOGY

The reasons for the formation of defects of the cellular structure of gas silicate at the stage of pore formation in mixture are examined in detail. New managing technological factor is identified, which serves as the external pressure of the gas phase. Approaches to managing the process of forming a cellular structure of gas silicate are developed, and installation of automatic process of control of pore formation through targeted operational impact on the external pressure of a mixture of gas phase is created. The effectiveness of the proposed method of pore formation of silicate mixture is confirmed.

Key words: gas silicate, cellular structure, pore formation, the balance of power, automatic control, gas release, the pressure of the gas phase.

REFERENCES

1. S a z h n e v, N.P. Manufacturing Cellular Concrete Items: Theory and Practice [Text] / N.P. Sazhnev, V.N. Goncharik, G.S. Garnashevich et al. — 2nd ed., ed. by N.P. Sazhnev. — Minsk, 2004. — 384 p.
 2. Kunnos, G.Ya. Elements of Technological Mechanics of Cellular Concrete [Text] / G.Ya. Kunnos, V.Ch. Lapsa, B.Ya. Lindenberg et al. — Ed. by G.Ya. Kunnos. — Riga, 1976. — 96 p.
 3. S h m i t k o, Ye.I. The study of the process of the structure formation of cellular silicate concrete of pressure hardening and role of exterior pressure of the environment in the formation of defect-free structures [Text] / Ye.I. Shmitko, A.A. Rezanov, A.A. Bedarev // Achievements and Problems of Material Science and Modernization of Construction Industry : Conf. Proc. — Vol. 1. — Kazan, 2010. — P. 369–374.
 4. Re z a n o v, A.A. Exterior pressure of the gaseous medium as an additional technological factor for optimizing the vaporization process in the production of cellular silicate concrete [Text] / A.A. Rezanov // Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. — 2010. — N 3. — P. 68–78.
-

УДК 666.94.052:66.084

С.А. ШАХОВ, Т.Л. РУДАЯ, Н.С. КЛЮЧНИКОВА

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКТИВАЦИИ ВЯЖУЩЕГО
ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ**

Показано, что эффективная дезагрегация частиц цемента достигается при параметрах ультразвукового воздействия, провоцирующих кавитационный взрыв пузырьков газа, которые находятся во внутренних полостях скоплений частиц, т. е. агрегатов. Предложен алгоритм расчета параметров ультразвукового излучения.

Ключевые слова: агрегат, ультразвуковое воздействие, цемент, дисперсность, кавитация.

По современным представлениям повышение реакционной способности порошков в значительной степени обусловлено уменьшением размеров частиц. Взаимосвязь дисперсности цемента и отдельных клинкерных минералов со скоростью их гидратации, прочностными и другими физико-химическими и физико-механическими свойствами гидратированного материала изучена в большом числе работ как в Российской Федерации, так и за рубежом. Внимание к этому вопросу вызвано непрерывно возрастающими требованиями к качеству цемента и развитием производства его новых видов (высокопрочных и особо высокопрочных быстротвердеющих цементов). Повышение тонины помола во всех известных случаях приводит к росту активности вяжущих, характеризуемой скоростью гидратации образцов. Отмечено, что наибольший прирост активности в результате измельчения наблюдается у двухкальциевого силиката — наименее активного из клинкерных минералов, наименьший — у трехкальциевого алюмината [1]. Причем величины эффекта диспергирования цемента и клинкерных минералов, измеряемого приростом активности, отнесенным к приросту удельной поверхности, в разных исследованиях существенно не совпадали. Принято было считать указанное несовпадение следствием разницы в гранулометрическом составе порошков, поскольку серийные порошки цемента состоят из частиц разных размеров и формы и являются в большинстве своем агрегированными.

Агрегаты — группы частиц порошка, связанные между собой в результате различных воздействий силами различной природы, образуются в порошках по разным причинам. По нашему мнению, дисперсные зерна цемента приобретают заряд статического электричества из-за механических воздействий на них мелющих тел и взаимного трения цемента. Поэтому они агрегируются и налипают на мелющие тела, чему способствует также наличие в измалываемой шихте таких веществ, как гипс с электрическим зарядом другого знака. Процессы агрегирования отличаются также тем, что в результате колоссальной концентрации энергии на поверхности цементного зерна в точках приложения механической силы удара шара вследствие пластической деформации происходят процессы «сваривания» аналогично тому, как это бывает в минералах. Уместно заметить, что при этом возможно молекулярно-плотное агрегирование, обусловлен-

ное изменением состояния поверхности твердой фазы, т.е. ее модификацией — превращением исходных рыхлых агрегатов в плотноупакованные микродисперсные системы по типу молекулярно-плотных агрегатов, наблюдавшихся Т.С. Ходаковым на кварце [2]. Возможная схема образования таких агрегатов представлена на рис. 1.

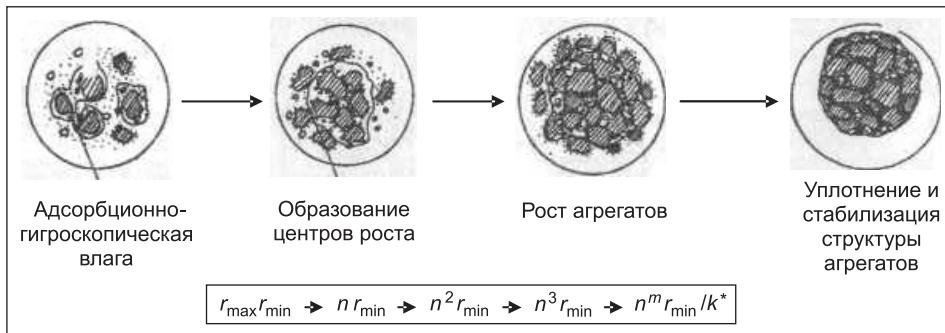


Рис. 1. Схема формирования агрегатов при измельчении цемента

Наличие в дисперсных системах структурно упорядоченных агрегатов, в которые объединяются первичные кристаллы, является причиной нестабильной активности цементов, так как в дальнейшем, вследствие сокращения площади контактной поверхности между твердой и жидкой фазами, приводит к неполной гидратации цемента.

Очевидно, что для получения цементов с максимальной и стабильной активностью необходимо добиваться как можно большей гомогенности дисперсной системы за счет разрушения локальных неоднородностей, т.е. агрегатов. Однако результаты исследований, а также практика показывают, что традиционная обработка клинкера в механических активаторах различной энергонапряженности (шаровых, вибрационных, планетарных мельницах) не приводит к дезагрегации порошков. С увеличением длительности обработки в порошке устойчиво образуются вторичные агрегаты, состоящие из частиц микронных размеров, которые имеют блочную структуру.

Более эффективно дезагрегация протекает при обработке порошков с помощью физико-энергетических воздействий, в частности ультразвука [3]. Развитию процесса структурного разрушения при ультразвуковом воздействии способствуют растворенный в воде газ и газ внутри агрегатов, которые являются идеальной средой для возникновения зародышей кавитации — основной движущей силы, обуславливающей протекание процессов структурного разрушения в дисперсной системе. Под действием ультразвука происходит захлопывание кавитационных пузырьков с образованием в жидкой среде ударных волн, которые, в свою очередь, и вызывают разрушение структуры дисперсной системы.

Поскольку единого и общепризнанного теоретического объяснения механизма ультразвуковой дезагрегации еще нет, в рамках настоящей работы предпринята попытка выбора оптимальных параметров ультразвукового воздействия, обеспечивающих эффективную дезагрегацию цемента исходя из следующей рабочей гипотезы: наиболее эффективная дезагрегация будет происходить при параметрах ультразвукового воздействия, провоцирующих кавитационный взрыв пузырьков газа, которые находятся во внутренних полостях скоплений частиц, т.е. агрегатов. С учетом такого подхода для расчета параметров ультразвукового излучения был использован следующий алгоритм.

Известно, что основным фактором, определяющим параметры кавитации, является интенсивность ультразвука — функция амплитуды P_m и частоты $f = \omega / 2\pi$ границы ультразвукового излучения. Анализ динамики изменения размера (радиуса) одиночной кавитационной полости с течением времени показал, что в зависимости от размера газового пузырька для возбуждения кавитации необходимо использовать ультразвуковое воздействие с различными значениями амплитуды P_m и частоты f . В качестве амплитуды звукового давления P_m принималась величина критического давления P_{cr} (давление, при превышении которого возникает кавитация), которую рассчитывали исходя из размера пор (газовых пузырьков), имеющихся в агрегатах (рис. 2), а частота возмущающей границы выбиралась из соображений максимального технологического эффекта, экономичности и техники безопасности. На последнем этапе определялась амплитуда смещения ξ и интенсивность ультразвукового излучения I .

Рассмотренный алгоритм расчета параметров ультразвукового излучения представлен на рис. 3. Результаты расчетов по предложенной схеме приведены в табл. 1. Из данных, представленных в таблице, видно, что для возникновения кавитации для пузырьков размером 0,2...0,8 мкм (размер пор в агрегатах) при гидростатическом давлении $P_0 = 10^6$ Па необходимы звуковое давление 1,0...1,15 МПа, амплитуда не меньше 5,9...6,5 мкм и интенсивность ультразвукового излучения 384...460 Дж/(с · м²). Верхний порог звукового давления для кавитации в данном случае практического значения не имеет, так как соответствующие этому давлению размеры

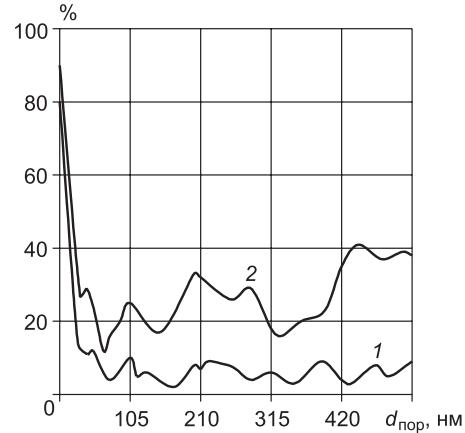


Рис. 2. Распределение пор по размеру (1) и объему (2)

кавитация), которую рассчитывали исходя из размера пор (газовых пузырьков), имеющихся в агрегатах (рис. 2), а частота возмущающей границы выбиралась из соображений максимального технологического эффекта, экономичности и техники безопасности. На последнем этапе определялась амплитуда смещения ξ и интенсивность ультразвукового излучения I .

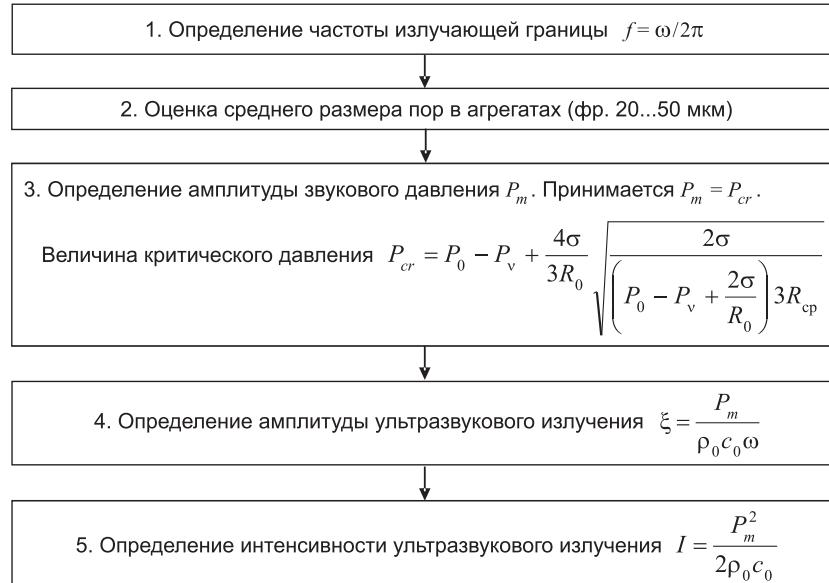


Рис. 3. Алгоритм расчета параметров ультразвукового излучения

Таблица 1

Амплитуда звукового давления, амплитуда смещения и интенсивность ультразвукового излучателя, необходимые для развития кавитации в зависимости от размера пор

R_0 , мк	P_m , МПа	ξ , мк	I , кДж/(с · м ²)
0,2	1,135	6,45	460
0,4	1,072	6,09	410
0,6	1,049	5,96	393
0,8	1,038	5,90	384

пузырьков в десятки раз превосходят размеры твердых частиц, т.е. выходят за рамки рассматриваемой задачи.

На рис. 4 и в табл. 2 представлены результаты обработки ультразвуком при режимах, близких к расчетным, порошков, измельченных в планетарной мельнице, которые свидетельствуют о том, что выбор параметров ультразвукового излучения с учетом индивидуальных характеристик

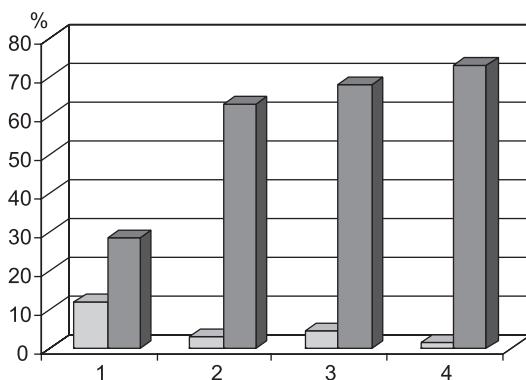


Рис. 4. Влияние интенсивности ультразвукового воздействия на дисперсность порошка

□ до обработки ультразвуком; ■ после обработки ультразвуком

Таблица 2
Результаты эксперимента

Номер опыта	I , кДж/(с · м ²)	% частиц < 25 мкм	
		до обработки ультразвуком	после обработки ультразвуком
1	360	11,8	32,4
2	400	2,7	43,1
3	440	4,1	48,0
4	480	1,2	53,1

порошка (в данном случае с учетом размера пор в агрегатах) обеспечивает эффективную дезагрегацию цемента.

Выводы. 1. Анализ характеристик порошков, диспергированных в механических активаторах, показывает, что с увеличением длительности измельчения в порошках устойчиво образуются плотные агрегаты, которые состоят из частиц микронных размеров, имеющих блочную структуру.

2. Наличие неразрушенных агрегатов негативно сказывается на активности цементов. Для повышения и стабилизации активности цементов необходимо добиваться как можно большей гомогенности дисперсной системы за счет разрушения с помощью ультразвука локальных неоднородностей, т.е. агрегатов.

3. Механизм ультразвуковой дезагрегации связан с провоцированием кавитации пузырьков газа, находящихся в полостях отдельных частиц или агрегатов. При этом параметры ультразвукового воздействия, обеспечивающие эффективную дезагрегацию, могут быть рассчитаны исходя из размеров пор в агрегатах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский. — М. : Стройиздат, 1986. — 217 с.
2. Ходаков, Г.С. Физика измельчения [Текст] / Г.С. Ходаков. — М. : Наука, 1992. — 405 с.

3. А г р а н а т, Б.А. Ультразвук в порошковой металлургии [Текст] / Б.А. Агранат, А.П. Гудович, Л.Б. Нежевенко. — М. : Металлургия, 1986. — 168 с.

ШАХОВ Сергей Александрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: sashakhov@mail.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

РУДАЯ Татьяна Леонтьевна, асп.; E-mail: lativtik@ya.ru

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

КЛЮЧНИКОВА Наталья Сергеевна, асп.-стажер; E-mail: Natarius2020@yandex.ru

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 26.10.11

Shahov S.A., doctor of technical sciences, professor; E-mail: sashakhov@mail.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Rudaya T.L., post-graduate student; E-mail: lativtik@ya.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Kluchnikova N.S., graduate student intern; E-mail: Natarius2020@yandex.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

SELECTION OF PARAMETERS OF ULTRASONIC ACTIVATION OF BINDER IN THE PREPARATION OF CONCRETE AND MORTAL

It is shown that effective disaggregation of fractious of cement is achieved when ultrasonic impacts cause cavitation explosion of gas bubbles, that remain in interior pocket of confluences of particles, i.e. aggregates. Algorithm of computation of ultrasonic radiation parameters is introduced below.

Key words: unit, ultrasonic treatment, cement, dispersion, cavitation.

REFERENCES

1. Volzhensky, A.V. Mineral Binders [Text] / A.V. Volzhensky. — M.: Stroyizdat, 1986. — 217 p. (in Russian).
 2. Khodakov, G.S. Physics of Grinding [Text] / G.S. Khodakov. — M. : Nauka, 1992. — 405 p. (in Russian).
 3. Agranat, B.A. Ultrasound in Powder Metallurgy [Text] / B.A. Agranat, A.P. Gudovich, L.B. Nezhevenko. — M. : Metallurgiya, 1986. — 168 p. (in Russian).
-

УДК 666.64-442.3:66.041.9

В.З. АБДРАХИМОВ, Д.Ю. ДЕНИСОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ
НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ОБЖИГА КЕРАМЗИТА
ИЗ МЕЖСЛАНЦЕВОЙ ГЛИНЫ**

Установлены особенности фазовых превращений при обжиге межсланцевой глины — отхода горючих сланцев. Определено, что в межсланцевой глине появление жидкой фазы отмечается при температуре 950 °C, кристобалита — при 1050 °C, а интенсивная кристаллизация муллита — при 1100...1150 °C.

Ключевые слова: фазовые превращения, обжиг, межсланцевая глина, керамзит, теплоизоляционный материал, монтмориллонит, муллит, жидккая фаза, кристобалит, гематит, шпинель, анортит.

Производство теплоизоляционного материала — керамзита имеет в основном две трудности. Это сокращение запасов хорошо вспучивающихся монтмориллонитовых глин и высокая температура вспучивания, что требует дорогостоящих футеровок, сложного оборудования и высоких энерго- и финансовых затрат.

Одним из перспективных направлений является получение пористых заполнителей на основе техногенных отложений. Добыча и переработка природного минерального сырья связана с образованием больших количеств различных промышленных отходов, накопление которых приводит к ухудшению экологической обстановки в регионах. Одним из путей решения этой актуальной проблемы может быть применение техногенного сырья в керамических материалах [1].

В настоящей работе представлены исследования физико-химических процессов на различных этапах обжига керамзита из межсланцевой глины, которая образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (шахтах). По числу пластичности она относится к высокопластичному глинистому сырью (число пластичности 27...32) с истинной плотностью 2,55...2,62 г/см³. Химический состав межсланцевой глины представлен в табл. 1.

Таблица 1
Химический состав межсланцевой глины, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
45–47	13–14	5–6	11–13	2–3	3–4	9–20

Для определения размера частиц исследуемой межсланцевой глины был проведен металлографический анализ на микроскопе МИМ-8М при увеличении в 200 раз (рис. 1). Как видно, в образцах много частиц размером более 2...5 мкм. Микроструктура межсланцевой глины представлена на рис. 2.

Минералогический состав межсланцевых глин разнообразен, однако общим для них является наличие кремнезема, гидрослюды, монтмориллонита и кальцита.

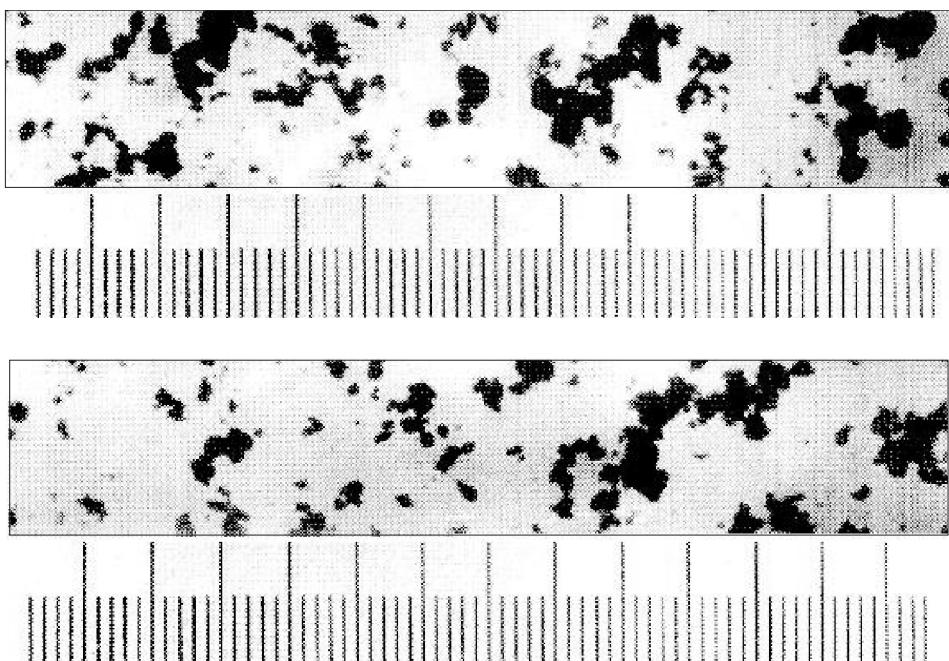


Рис. 1. Данные металлографического анализа межсланцевой глины

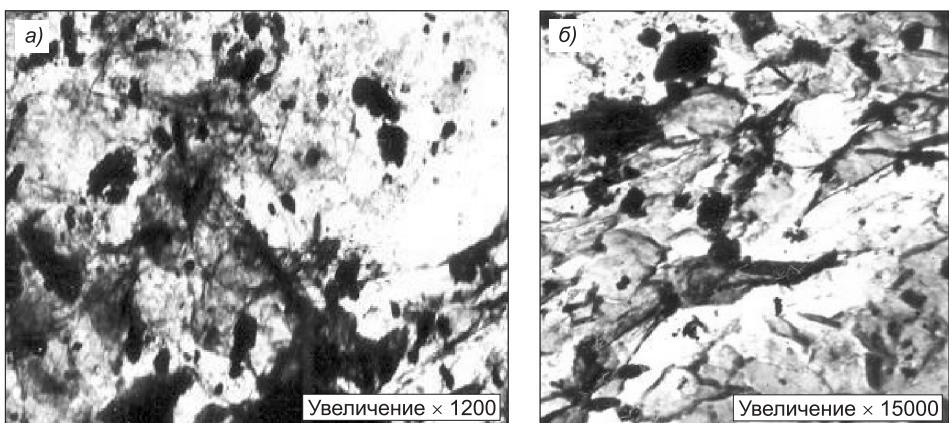


Рис. 2. Микроструктура межсланцевой глины

Исследование рентгенофазового состава межсланцевой глины проводилось на дифрактометре ДРОН-6 с использованием CoK_α -излучения при скорости вращения столика с образцом 1 град/мин. На рис. 3 представлена рентгенограмма межсланцевой глины.

На дифрактограмме порошка межсланцевой глины отмечаются характерные интенсивные линии ($d/n = 0,190; 0,304$ и $0,350$ нм) кальцита, присутствие линии ($d/n = 0,227$ нм) обусловлено гематитом, линии ($d/n = 0,181; 0,212; 0,223; 0,244; 0,334$ и $0,335$ нм) — кварцем, линии ($d/n = 0,198; 0,218$ и $0,238$ нм) — гидрослюдой, линии ($d/n = 0,260; 0,282; 0,308$ и $1,420$ нм) — монтмориллонитом, а линии ($d/n = 0,320$ и $0,387$ нм) — полевым шпатом.

Глинистые минералы в межсланцевой глине представлены в основном монтмориллонитом с примесью гидрослюды, поэтому она вполне может заменить монтмориллонитовую глину при производстве пористого заполнителя, например керамзита.

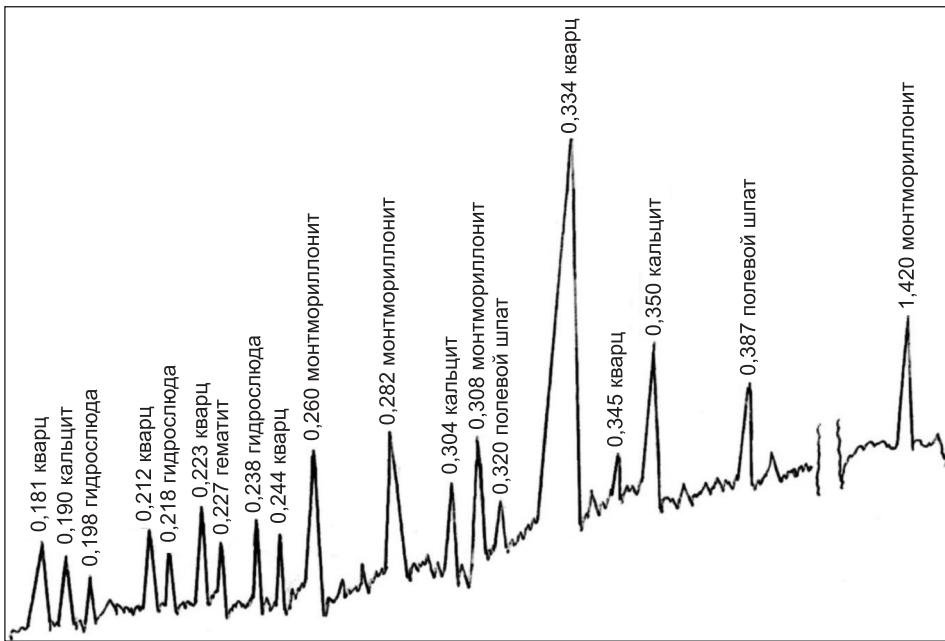


Рис. 3. Рентгенограмма межсланцевой глины

Производство керамзита осуществлялось по следующей технологии. Межсланцевая глина подсушивалась, измельчалась на лабораторных «бенуах», просеивалась через сито с отверстиями 1,2 мм. Затем в шихту межсланцевой глины вводили вспучивающие добавки (мазут — 1 %, соляровое масло — 1 % от веса сухой массы) и затворяли шихту водой до формовочной влажности. Подготовленную массу с целью усреднения ее влажности помещали на одни сутки в эксикатор над хлористым кальцием (CaCl_2), после чего на ручном прессе при давлении 2,5 кг / см² производилось формование сферических гранул диаметром 16 мм. Сформованные образцы подсушивались в сушильном шкафу до постоянного веса при температуре 110 °С. Высушенные образцы обжигали при температурах 800...1250 °С с интервалом 50 °С от температурной границы, соответствующей переходу массы из пластичного в хрупкое состояние и до температуры, при которой глинистые образцы оптимально вспучивались. Изотермическая выдержка производилась при максимальной температуре 30 мин.

При температуре обжига 800 °С в образцах из межсланцевой глины электронно-микроскопические исследования показали наличие полей аморфизованного вещества, остаточных кристаллов монтмориллонита и иллита в виде изоморфных угловатых пластинок и чешуек с резкими очертаниями, мелких кристаллов кварца и кристаллов полевого шпата таблитчатого облика (рис. 4, а). При повышении температуры обжига до 850 °С в образцах наблюдалась поля аморфизованных глинистых минералов, кристаллы кварца таблитчатого облика, редкие кристаллы гематита таблитчатого облика и небольшое количество мелких кристаллов шпинели (рис. 4, б).

Шпинель — это сложный минерал оксидов магния и алюминия (MgAl_2O_4). Название, вероятно, происходит от латинского (spinella — маленький шип, шипик — по форме остроконечных октаэдрических кристаллов). Магний и алюминий могут частично замещаться марганцем, железом и хромом. В общем случае шпинели — это минералы класса сложных оксидов общей формулы AM_2O_4 , где A — Mg^{2+} , Zn^{2+} ,

Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} ; M — Al^{2+} , Mn^{3+} , Fe^{3+} , V^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} . Шпинели можно отнести к системам твердых растворов с широким изоморфизмом катионов А и М; в пределах каждого изоморфного ряда смесимость

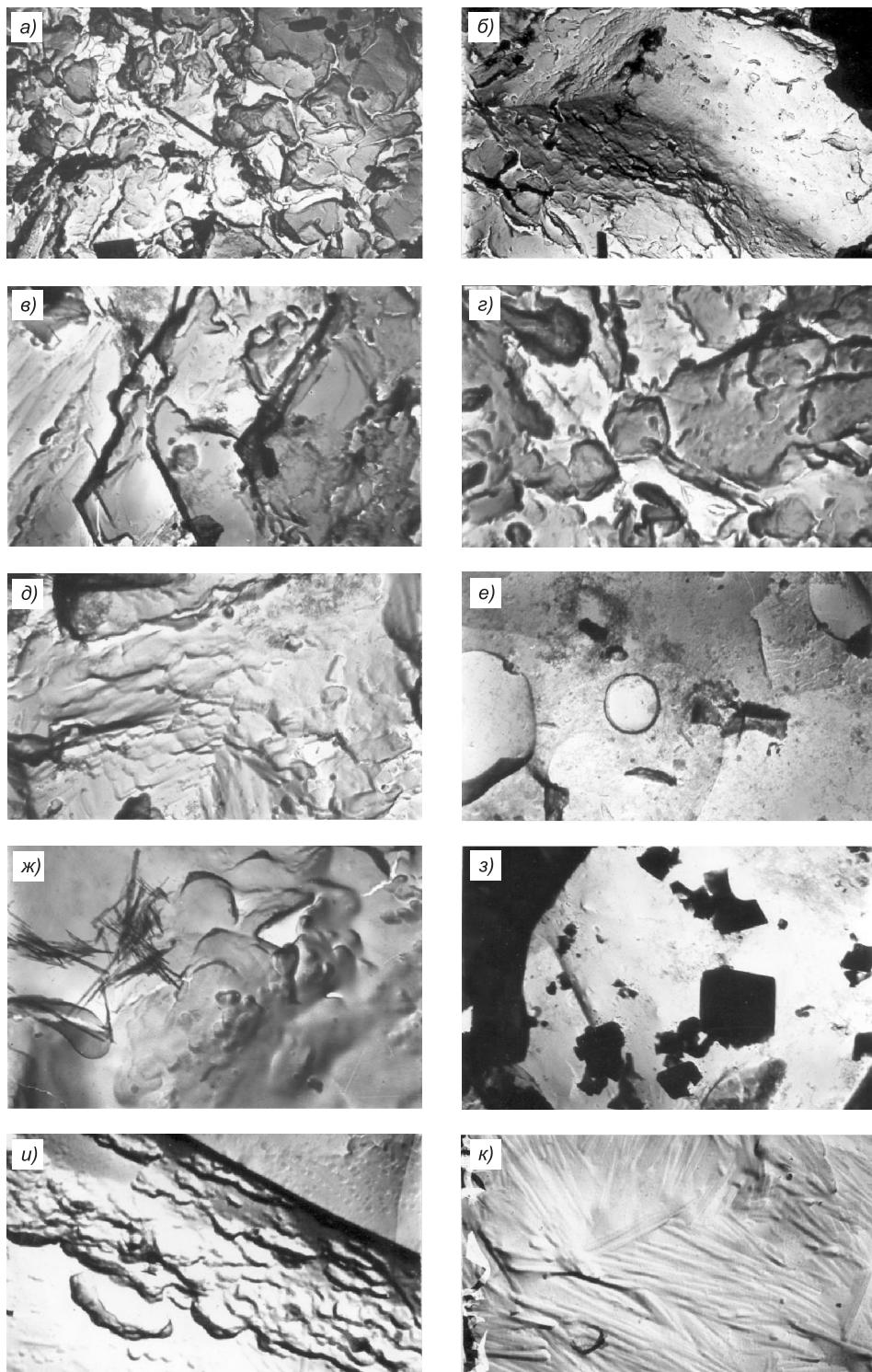
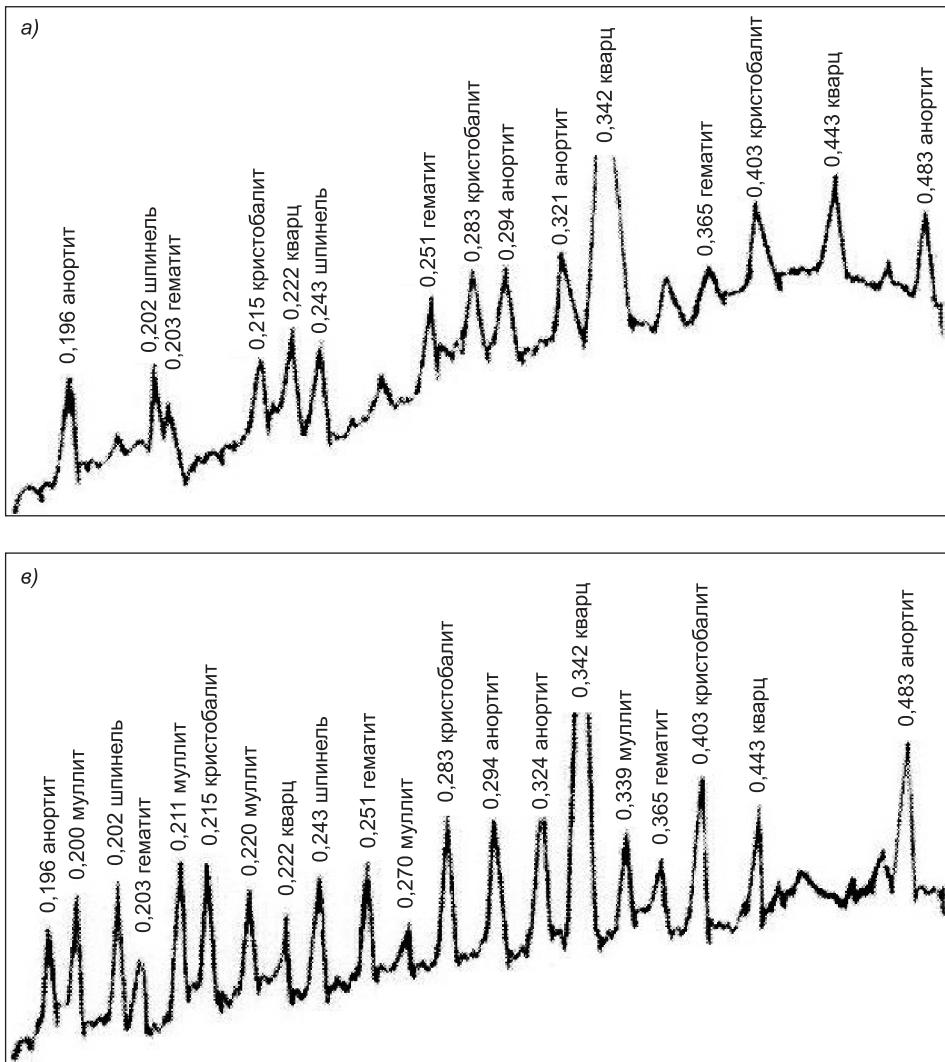


Рис. 4. Микроструктура образцов из межсланцевой глины, обожженных при температуре, °C
 $a = 800$; $b = 850$; $c = 900$; $d = 950$; $e = 1000$; $f = 1050$; $g = 1100$; $h = 1150$; $i = 1200$; $j = 1250$. Увеличение $\times 15\,000$



минералов полная, между членами различных рядов ограниченная. В зависимости от содержания преобладающего катиона M различают группы: алюмошинели, ферришинели, хромошинели, титаношинели, ванадиошинели.

Для оксида железа, как было показано в работах [2–4], известны следующие полиморфные модификации: устойчивая α -модификация или гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и неустойчивая модификация $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$, которая образуется при нагревании Fe_3O_4 в окислительной среде до 220 °C. При этом превращении магнитные свойства в кристаллической решетке исходного магнетита остаются неизменными. При температуре 550 °C происходит потеря магнитных свойств и изменение решетки, что связано с переходом β -фазы в устойчивую α -форму.

Гематит в керамических материалах способствует образованию железистого стекла, которое инициирует на ранних стадиях обжига (1050...1100 °C) образование структурно несовершенного муllibта. Гематит образуется практически во всех глинах, содержащих более 3 % Fe_2O_3 [2–4].

При температуре обжига 900 °C в образцах из межсланцевой глины наблюдаются крупные кристаллы кварца и анортита таблитчатого облика

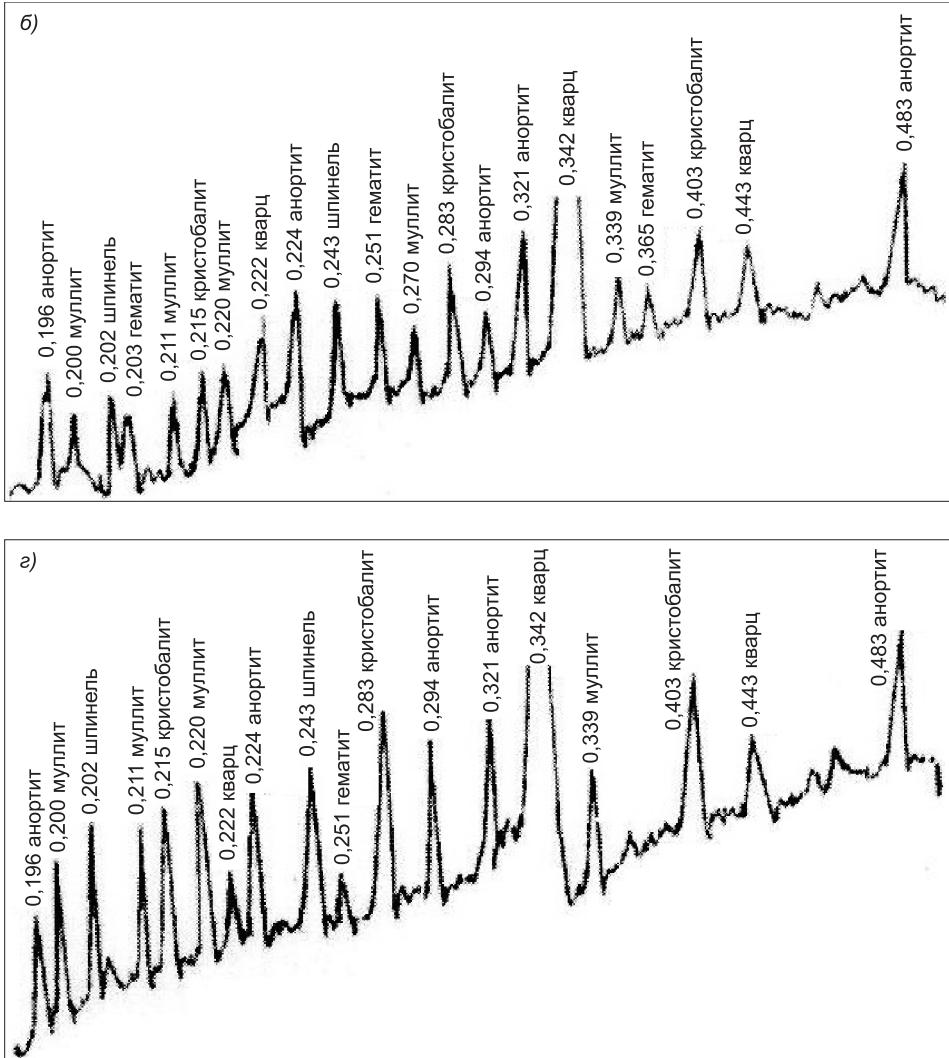


Рис. 5. Рентгенограммы образцов из межсланцевой глины при различных температурах обжига, °C

а — 1050, б — 1100, в — 1150, г — 1200

(содержание CaO = 11...13, см. таблицу) и небольшое количество кристаллов гематита таблитчатого облика (рис. 4, в).

Анонит — полевой шпат ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), который является конечным членом плагиоклазов, обладает всеми свойствами, присущими полевошпатовым минералам, и в составе неметаллических материалов встречается только в устойчивой модификации, температура плавления которой 1550 °C [3]. Данные по формированию кристаллических новообразований анонита и его влиянию на рост прочности при обжиге керамических материалов в литературе встречаются крайне редко.

Электронно-микроскопические исследования показали, что при температуре обжига 950 °C в образцах из межсланцевой глины наблюдаются крупные кристаллы кварца в виде ромбоэдров и призм, кристаллы анонита таблитчатого облика, одиночные кристаллы шпинели и поля стеклофазы (рис. 4, г).

Под микроскопом в образцах видны бесцветные, желтоватые и бурые стекла с показателями преломления N от 1,50 до 1,54, которые образова-

лись в результате плавления шпатов и смешанно-слойных глинистых образований. Присутствие в исследуемом глинистом материале Fe_2O_3 и R_2O способствует появлению жидкой фазы при 950 °C (рис. 4, *г*).

Оксидами, оказывающими флюсующее действие в исследуемых глинистых материалах, являются оксиды щелочных, щелочно-земельных металлов и железа [1–4].

При повышении температуры обжига до 1000 °C в образцах из межсланцевой глины отмечены поля стеклофазы, мелкие кристаллы шпинели октаэдрического габитуса, кристаллы аортита и гематита таблитчатого облика, одиночные хорошо очерченные кристаллы кварца бипирамидального габитуса (рис. 4, *д*). Увеличение температуры обжига образцов до 1050 °C к особым изменениям не приводит, за исключением увеличения количества стеклофазы и появления кристобалита. В образцах наблюдаются поля стеклофазы, мелкие и крупные кристаллы шпинели, кристаллы аортита, гематита и кристобалита таблитчатого облика, одиночные мелкие хорошо сохранившиеся средние кристаллы кварца бипирамидального габитуса (рис. 4, *е*).

Начало кристаллизации кристобалита в исследуемых образцах при температуре обжига 1050 °C подтверждает и появление его линий на рентгенограммах ($d/n = 0,215; 0,283$ и $0,403$ нм, рис. 5, *а*).

Объемный эффект при переходе α -кварца в α -кристобалит составляет 15,4 %, что способствует разрыхлению поверхности кристаллической решетки. У разрыхленных и богатых дефектами, а также аморфных веществ твердофазовые реакции протекают быстрее благодаря ускоренной само- и гетеродиффузии [1–4].

При повышении температуры обжига до 1100 °C в образцах из межсланцевой глины электронно-микроскопические исследования показали наличие полей стеклофазы, скопление кристаллов кварца бипирамидального габитуса, значительное количество мелких и средних кристаллов шпинели октаэдрического габитуса, присутствие мелких кристаллов аортита таблитчатопризматического облика и появление кристаллов муллита игольчатого облика (рис. 4, *ж*). Начало кристаллизации муллита в исследуемых образцах при температуре обжига 1100 °C подтверждает появление его линии на рентгенограммах ($d/n = 0,200; 0,11; 0,220; 0,270$ и $0,339$ нм, рис. 5, *б*).

При повышении температуры обжига до 1150 °C в образцах из межсланцевой глины в ходе электронно-микроскопических исследований отмечено скопление кристаллов кварца бипирамидального и призматического габитуса, наличие большого количества мелких и средних кристаллов шпинели октаэдрического габитуса, мелких кристаллов аортита таблитчатопризматического облика, кристаллов муллита короткостолбчатого облика, обширных областей стеклофазы (рис. 4, *з*). Об увеличении содержания стеклофазы свидетельствует и изменение соотношения интегральных площадей дифракционных отражений и аморфного «гало» (рис. 5, *в*).

При увеличении температуры обжига до 1200 °C повышается содержание кристаллических новообразований муллита, аортита и кристобалита. Интенсифицируется полиморфный переход α -кварца в α -кристобалит, при этом заметно растет содержание жидкой фазы и увеличивается содержание микропор (рис. 4, *и* и 5, *г*).

В обожженных образцах под микроскопом наблюдается увеличение содержания стеклофазы. Показатели светопреломления стекол изменяются от 1,54 до 1,61. На рентгенограммах появляются линии, характер-

ные для веществ с большим содержанием стеклофазы. Кристаллические фазы представлены на рентгенограмме лишь линиями муллита, α -кварца, α -кристобалита и анортита (рис. 5).

Другие кристаллические фазы (например, гематит, который ранее был обнаружен под микроскопом) переходят в расплав. Его присутствие не обнаруживается и под микроскопом. По-видимому, матрица стекла захватывает в свою структуру также часть анортита и гематита, так как интенсивность их линий снижается. В целом количество стекла в образцах, обожженных при 1200 °C, составляет около 40–50 %.

Повышение температуры обжига до 1250 °C приводит к значительному увеличению стеклофазы (рис. 4, к). В табл. 2 представлены физико-механические показатели керамзита, обожженного при 1250 °C.

Таблица 2
Физико-механические показатели керамзита

Показатель	Числовые значения
Плотность	2,1...2,3 г / см ³
Насыпная плотность	500...600 кг / м ³
Прочность при раскалывании	5,5...6,5 МПа

Таким образом, в результате проведенных исследований определены особенности фазовых превращений при обжиге легкоплавких глин с различными химико-минералогическими составами. Установлено, что в бей-деллитовой и межсланцевой глинах появление жидкой фазы отмечается при температуре 950 °C, кристобалита — при 1050 °C, а интенсивная кристаллизация муллита происходит при 1100...1150 °C.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдрахимов, В.З. Вопросы экологии и утилизации техногенных отложений в производстве керамических композиционных материалов [Текст] / В.З. Абдрахимов. — Самара : Самар. академия гос. и муницип. управления, 2010. — 160 с.
2. Абдрахимов, В.З. Исследование железосодержащего традиционного природного и техногенного сырья на спекание керамических материалов. Влияние ионов Fe²⁺ и Fe³⁺ на образование низкотемпературного муллита [Текст] / В.З. Абдрахимов. — Самара : СГАСУ, 2009. — 427 с.
3. Литвинова, Т.И. Петрография неметаллических включений [Текст] / Т.И. Литвинова, В.П. Пирожкова, А.К. Петров. — М. : Металлургия, 1972. — 184 с.
4. Абдрахимова, Е.С. Фазовые превращения при обжиге лессовидных суглинков [Текст] / Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2000. — № 5. — С. 68–73.

АБДРАХИМОВ Владимир Закирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 3375892@mail.ru
Самарская академия государственного и муниципального управления
ДЕНИСОВ Денис Юрьевич, асп.
Самарская академия государственного и муниципального управления

Получено 16.08.11

Abdrahimov V.Z., doctor of technical sciences, professor; E-mail: 3375892@mail.ru,
Samara Academy of State and Municipal Steering, Russia
Denisov D.Yu., post-graduate student, Samara Academy of State and Municipal
Steering, Russia

RESEARCH OF PHASE TRANSFORMATIONS AT VARIOUS STAGES OF ROASTING KERAMZITE FROM INTERSLATE CLAY

Features of phase transformations are established at roasting interslate clay — a withdrawal of combustible slates. It is established, that in interslate clay occurrence of a liquid phase is marked at temperature 950 °C, kristobalite — at 1050 °C, and intensive crystallization myllite — at 1100...1150 °C.

Key words: phase transformations, roasting, interslate clay, keramzite, heatisolation a material, montmorillonite, myllite, a liquid phase, kristobalite, hematite, chpinel, anortit.

REFERENCES

1. A b d r a h i m o v, V.Z. Problem of Ecology and Salvaging of Technogenic Adjournments in Manufacture of Ceramic Composites [Text] / V.Z. Abdrahimov. — Samara : Samara Academy of State and Municipal Steering, 2010. — 160 p.
 2. A b d r a h i m o v, V.Z. Probe of Ferruginous Traditional Natural and Technogenic Raw Material on a Sintering of Ceramic Materials. Influence of Ions Fe^{2+} and Fe^{3+} on Education of the Cold Myllite [Text] / V.Z. Abdrahimov. — Samara : SGASU, 2009. — 427 p.
 3. L i t v i n o v a, T.I. Petrograph of Nonmetallics [Text] / T.I. Litvinova, V.P. Pirozhkova, A.K. Petrov. — M. : Metallurgy, 1972. — 184 p.
 4. A b d r a h i m o v a, E.S. Phase transformation at furnacing loess-like loams [Text] / E.S. Abdrahimova, V.Z. Abdrahimov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2000. — N 5. — P. 68–73.
-

УДК 691.43:699.86

В.А. БЕРЕГОВОЙ, Д.С. КОСТИН, А.М. БЕРЕГОВОЙ

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННАЯ ГАЗОСТЕКЛОКЕРАМИКА НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Приведены результаты исследований по разработке составов эффективных обжиговых теплоизоляционных материалов, ячеистая структура которых формируется способом газообразования на начальном этапе их изготовления. В качестве основного сырьевого компонента опробована опока — широко распространенная кремнистая опал-кристобалиловая горная порода. Полученные экспериментальные данные указывают на принципиальную возможность использования опочных пород для получения эффективной теплоизоляционной газостеклокерамики.

Ключевые слова: непластичное керамическое сырье; ячеистая стеклокерамика на основе опочных пород; корректирующие добавки; фазовый состав, влияние состава на свойства.

Задача проведенного исследования связана с одним из перспективных направлений повышения эффективности теплоизоляционных материалов — дальнейшим совершенствованием технологии получения обжиговых изделий с ячеистой структурой. Результаты работ, проведенных в рамках этого направления, освещены в ряде научных статей и изобретений [1–3].

Среди группы обжиговых изделий выделяются пенокерамические и пеностекольные материалы, которые благодаря сочетанию изначально высоких эксплуатационных показателей и большому потенциалу совершенствования способны составить конкуренцию полимерным аналогам, широко используемым в настоящее время. Главным недостатком обжиговой теплоизоляции является ее высокая стоимость, обусловленная несовершенством существующих технологий получения [3].

Для решения указанной задачи предлагается технологический подход, предусматривающий использование технических решений, применяемых в технологии газобетона, пеностекла и пенокерамики. При таком подходе ячеистая структура материала — газокерамобетона — создается на дообжиговом этапе его изготовления в результате взаимодействия газообразователя (ПАП-2) с минеральным вяжущим, входящим в состав сырьевой смеси, а окончательный фазовый состав и свойства материала формируются в результате обжига.

В качестве основного минерального компонента газокерамобетона были опробованы широко распространенные разновидности опочных горных пород. Усредненный химический состав использованных опок представлен оксидами (мас. %):

— трепеловидной:

SiO_2 — 83,40; Al_2O_3 — 2,53; Fe_2O_3 — 1,50; CaO — 1,88;

MgO — 0,89; П.п.п. — 9,40;

— кремнистой:

SiO_2 — 86,90; Al_2O_3 — 2,00; Fe_2O_3 — 1,90; CaO — 1,29;

MgO — 0,63; П.п.п. — 6,98.

Минералогический состав трепеловидных опок по данным полуколичественного рентгенофазового анализа включает кварц (15...20 %), монтмориллонит (20...25 %), сепиолит (4...8 %) и опаловидный кремнезем (45...55 %).

Преобладание в составе сырьевой смеси мягкой породы с низкой чувствительностью к температурным воздействиям способствует расширению минерально-сырьевой базы и снижению затрат на подготовку компонентов, сушку и обжиг материала.

Важнейшим условием получения качественного газокерамобетона является обеспечение достаточной прочности. Результаты экспериментов по исследованию влияния водотвердого (В/Т) отношения на прочность материала-основы базового состава были получены путем испытаний обожженных образцов, отформованных из трепеловидных опок (табл. 1).

Таблица 1
Влияние водотвердого отношения на свойства материала-основы

Водотвердое отношение	Показатели свойств	
	$R'_{сж}$, МПа	Средняя плотность, кг / м ³
0,4	14,0...16,0	1200...1220
0,5	10,0...10,5	1100...1140
0,55	6,1...6,5	1000...1060
0,75	1,4...1,6	900...915
0,9	1,1...1,3	815...830

Обработка данных табл. 1 позволила получить зависимость прочности материала-основы от водотвердого отношения:

$$R'_{сж} = \frac{R'_{сж}}{m\left(\frac{B}{T}\right)^n}, \quad (1)$$

где $R'_{сж}$ — прочность материала-основы при В/Т, равном 0,4; m и n — коэффициенты, равные соответственно 3,63 и 26,3.

С учетом влияния макропористости на прочность обожженного ячеистого материала зависимость (1) для газокерамобетона примет вид

$$R_{гкб} = 0,7 \frac{R'_{сж}}{m\left(\frac{B}{T}\right)^n} \left(1 - V_{пор}^{\frac{2}{3}}\right), \quad (2)$$

где $V_{пор}$ — макропористость, создаваемая в процессе газообразования.

Анализ экспериментальных данных, полученных в ходе механических испытаний, показал, что максимально достижимые значения прочности материала-основы ($R'_{сж}$) не привышают 16...18 МПа, а введение в сырьевую смесь 8...10 % цемента или извести (контрольный состав) сопровождается заметным снижением прочности образцов. При этом прочность образцов газокерамобетона плотностью 350...450 кг / м³, изготовленных из сырьевой смеси контрольного состава, оказалось явно недостаточной и не превышала 0,15...0,35 МПа.

Существенное повышение прочности газокерамобетонов было достигнуто путем корректировки контрольного состава материала-основы добавками, увеличивающими количество минерального расплава при

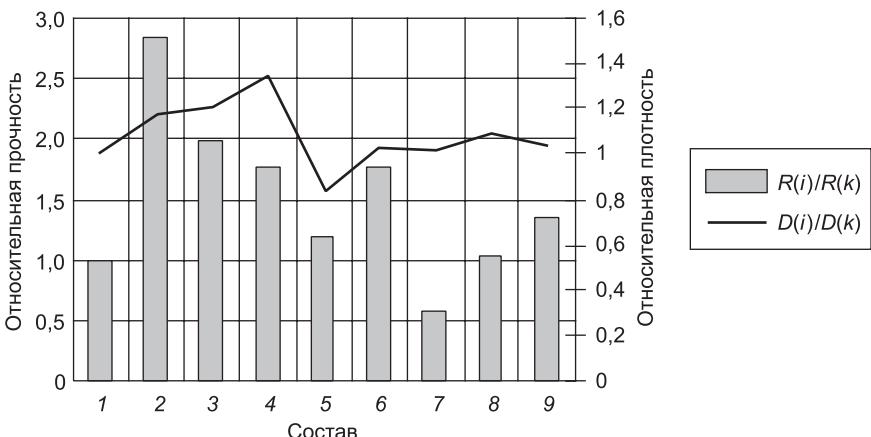


Рис. 1. Влияние добавок на свойства материала-основы $R(k)$ и $R(i)$ — соответственно прочность контрольного состава и состава с добавкой; $D(k)$ и $D(i)$ — соответственно плотность контрольного состава и состава с добавками;
1 — без добавки (контрольный); контрольный состав с добавками: 2 — 3 % NaF; 3 — 6 % Na_2SiF_6 ; 4 — 3 % $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 5 — 4,5 % $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 6 — 6 % MgF_2 ; 7 — 8,5 % Na_2SiO_3 ; 8 — 5,4 % BaF_2 ; 9 — 3 % NaF + 3 % доломита

температурах обжига 900...950 °C. Положительное влияние таких добавок на механические показатели ячеистого материала сочетается с существенным улучшением его теплоизоляционных показателей за счет формирования стекловидной фазы с низкими показателями теплопроводности и гигроскопичности.

В данной работе были использованы добавки на основе:

— солей натрия (карбонат, хлорид, фосфат, фторид, силикат, кремнефторид и тетраборат), фторидов бария и магния, тонкомолотых стеклянных фригит;

— смесей карбоната натрия и кальция, карбоната натрия и доломита, фторида натрия и доломита.

Положительное влияние некоторых из исследованных добавок на свойства материала-основы показано на рис. 1. Таким образом, введение в контрольный состав большинства добавок приводит к существенному увеличению прочности материала-основы. Максимальный рост прочности наблюдается при использовании веществ, содержащих в своем составе ионы Na^+ и F^- (NaF , Na_2SiF_6). Повышение плотности образцов свидетельствует об образовании в структуре обжигаемого материала достаточно большого количества упрочняющего расплава.

В процессе обжига цементсодержащих сырьевых смесей существует опасность образования в составе газокерамобетона значительного количества CaO . В табл. 2 приведены результаты экспериментов, иллюстри-

Таблица 2
Концентрация ионов Na^+ и Ca^{2+} в растворе, мг/г

Состав (содержание компонентов в % от массы)	Катион	Температура обжига, °C			
		без обжига	500	700	900
ПЦ (к) — 19; NaF — 19; опока — 62	Ca^{2+}	1,4	1,0	0,4	0,1
	Na^+	38,2	28	6,9	2,7
ПЦ (к) — 19; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ — 19; опока — 62	Ca^{2+}	16,4	8,3	6,0	3,0
	Na^+	22,5	20,1	3,7	0,9

Примечание. ПЦ (к) — молотый портландцементный камень.

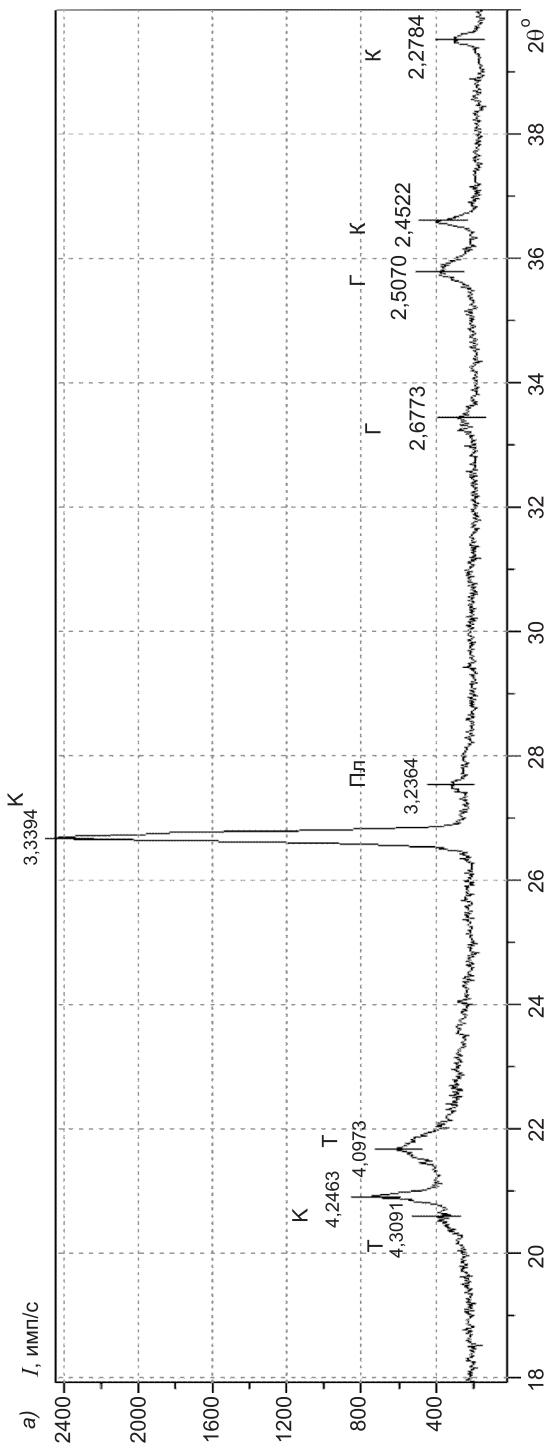
рующих влияние корректирующих добавок на основе фторида и бората натрия на концентрацию ионов Na^+ и Ca^{2+} в водной фазе супензии порошков, полученных измельчением газокерамобетонных образцов. Анализ данных показывает, что после обжига при температуре 900 °С исследуемые составы содержат крайне незначительное количество водорастворимых соединений натрия или кальция. Это позволяет сделать вывод об их вхождении в состав водостойких кристаллических и стекловидных фаз.

Фазовый состав газокерамобетона и исходных сырьевых компонентов был изучен методом рентгенофазового анализа с использованием дифрактометра «Дрон-7». Приведенными исследованиями установлено следующее.

1. Основными рентгеноидентифицируемыми компонентами использованных опочных пород являются кремнийсодержащие минералы, представленные кварцем, тридимитом и кристобалитом, а также глинистые примеси (сепиолит).

2. Добавление к опоке шлакопортландцемента (ШПЦ) приводит к заметному увеличению кристаллических новообразований в составе обожженных образцов: наряду с кристобалитотридимитовой фазой происходит образование гематита, фаялита, диопсида и муллита.

3. Введение в контрольный состав (опока и ШПЦ) флюсующей натрийсодержащей добавки (Na_2SiF_6) сопровождается интенсивным развитием в процессе обжига фазы плагиоклаза. Рентгенограмма свидетельствует о том, что продукты распада минералов опоки и цементного камня почти полностью растворились в расплаве. Частичному расплавлению подверглась также фаза кварца. Стекловидный материал отмечается как рентгеноаморфная масса в области углов 20...26° (рис. 2).



Результаты проведенных исследований были учтены при разработке составов теплоизоляционных газокерамобетонов. В качестве упрочняющих добавок использовали тонкомолотые фритты, полученные сплавлением при температуре 1050 °С смеси опоки, ШПЦ и флюсующего вещества.

В качестве флюса, регулирующего количество и теплопроводящие свойства фритты, использовали:

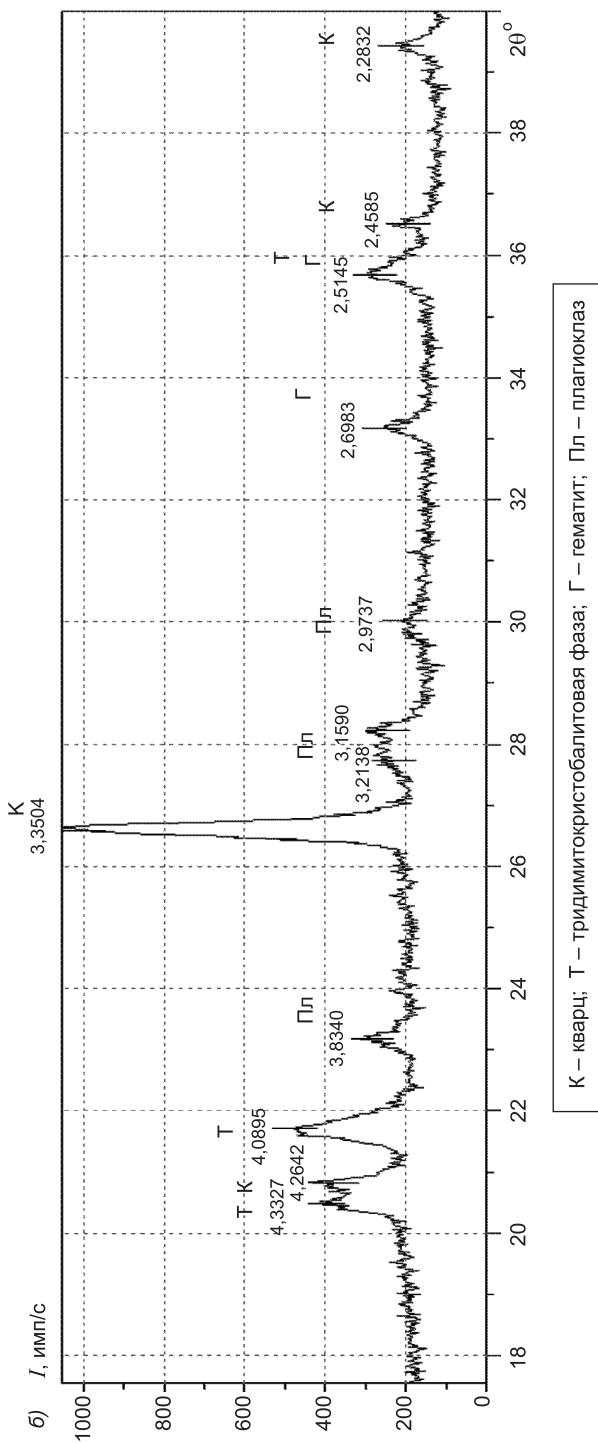


Рис. 2. Рентгенограммы образцов, обожженных при 900 °С:
 а) — опока (100 %); б) — смесь опоки и ШПЦ (соотношение 6:1) с добавкой Na_2SiF_6 (20 % по массе)

— карбонаты, сульфаты, фосфаты, бораты и фториды натрия (калия, магния или кальция) (Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , Na_3PO_4 , K_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, NaF , MgF_2 и CaF_2);

— вещества, уменьшающие длину свободного пробега проводников тепла за счет увеличения количества изолированных кремнекислородных тетраэдров в структуре материала;

— вещества, способствующие рассеиванию энергии тепловой волны за счет значительной тепловой инерции присутствующих в их составе элементов с высокой атомной массой (PbO , Pb_3O_4).

Выбор флюсующего вещества и расчет его оптимального количества осуществляли по параметрам образующихся стекловидных связок.

На первом этапе с помощью петрохимического расчета последовательно вычисляли температуру спекания системы, ее химический состав и количество расплава. Температуру спекания исследуемых минеральных систем оценивали по известным диаграммам состояния или расчетным методом, основанным на зависимости Эпстейна–Хаулена [4]. Химический состав трехкомпонентных расплавов находили по числу плавкости, устанавливающему зависимость между температурой плавления и относительным содержанием легко- и тугоплавких оксидов.

На втором этапе производили оценку влияния состава стекловидной связки на теплопроводящие и прочностные свойства материала-основы контрольного состава. С этой целью использовали зависимости, разработанные в технологии стекла и предусматривающие аддитивный характер влияния оксидного состава на показатели свойств материала.

Результаты экспериментов показали, что при формировании в структуре газокерамобетона 25...30 % низкотеплопроводной стекловидной фазы решается задача снижения высокой гигроскопичности пористой керамики и сохранения ее теплозащитных качеств в процессе эксплуатации (рис. 3).

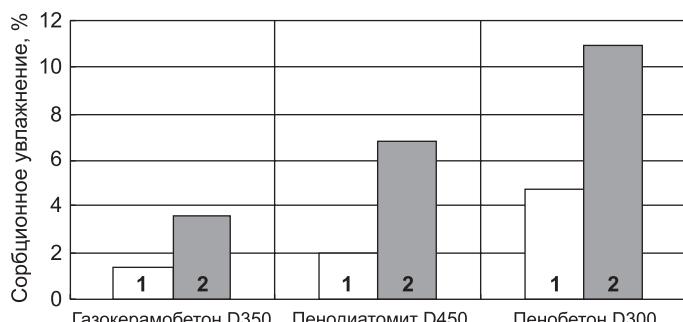


Рис. 3. Сорбционное увлажнение газокерамобетона и существующих аналогов при влажности воздуха: 1 — 75 %; 2 — 97 %

Газокерамобетон, полученный на основе опочных пород, имеет конкурентоспособные показатели основных свойств (табл. 3). Использование в качестве минеральной основы более дешевого и распространенного опочного сырья позволяет значительно улучшить экономические показатели производства.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что экологически чистое и доступное местное опочное сырье может

Таблица 3

Показатели свойств существующих аналогов и разработанных материалов

Показатель	Промышленные аналоги		Разработанные материалы	
	кирпич шамотный легковесный ШЛ-04	кирпич пенодиатомитовый ПД-400	ГКБ-400	ГКБ-400А
Плотность, кг./м ³	400	351...400	350...400	380...420
Прочность при сжатии, МПа	0,9...1,0	0,7...1,4	0,8...1,6	0,9...1,8
Сорбционное увлажнение, % ($\varphi = 97\%$)	Не нормируется	5...7	2...5	Не нормируется
Теплопроводность, Вт/(м · °C)	0,10...0,12	0,10...0,12	0,09...0,11	0,092...0,12
Температура эксплуатации не более, °C	1300	900	900	1200
Стоимость, руб./м ³	от 7800	от 8500	2015	3984

быть использовано в качестве минеральной основы для изготовления эффективных стеклокерамических материалов с пористой структурой, формируемой по технологии газокерамобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Безбородов, В.Г. Влияние технологических факторов на свойства пенокерамики на основе суглинков [Текст] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Меденцев и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 10. — С. 19–24.
- Пат. 2349563. РФ. Способ получения пенокерамических изделий [Текст] / М.Г. Габидуллин, А.Г. Хузагарипов. — Опубл. 20.03.2009. — Бюл. № 8.
- Кетов, А.А. Опыт производства пеностеклянных материалов из стеклобоя [Текст] / А.А. Кетов, И.С. Пузанов, Д.В. Саулин // Строит. материалы. — 2007. — № 3. — С. 37–41.
- Масленникова, Г.Н. Расчеты в технологии керамики [Текст] / Г.Н. Масленникова, Ф.Я. Харитонов, И.В. Дубов. — М. : Стройиздат, 1991. — 320 с.

БЕРЕГОВОЙ В.А., канд. техн. наук, доц.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
КОСТИН Д.С., асп.*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
БЕРЕГОВОЙ А.М., д-р техн. наук, проф.*

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено 05.07.11

Beregovoi V.A., candidate of technical sciences, assistant professor, Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kostin D.S., post-graduate student, Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Beregovoi A.M., doctor of technical sciences, professor, Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

HEAT-INSULATING POROUS GLASS CERAMIC ON BASIS OF SILICA CLAY MOUNTAIN SORTS

Results of the studies are brought in article on development composition efficient ceramics heat-insulating material, porous structure is formed by gas method on initial stage of their fabrication. As main raw materials component are tested silica clay. Got experimental

data prove the principle possibility of the use the specified sorts for reception efficient heat-insulating porous glass ceramic with required technical feature.

Key words: non plastic ceramic raw material; porous glass ceramic on base of silica clay; the correcting additives; phase composition, influence of the composition on characteristic.

REFERENCES

1. Bezborodov, V.G. The influence of technological factors on properties of foamed ceramic on basis of the loam [Text] / V.G. Bezborodov, L.F. Medentsov et al. // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 10. — P. 19–24.
 2. Pat. № 2349563. RF. The Way of the reception foamed ceramic product [Text] / M.G. Gabitullin, A.G. Huzagaripov. — 20.03.2009. — Bul. N 8.
 3. Ketov, A.A. The experience production foamed glass material from waste glass [Text] / A.A. Ketov, I.S. Puzanov, D.V. Saulin // Building Materials. — 2007. — N 3. — P. 37–41.
 4. Maslennikova, G.N. The calculations in technologies of the ceramics [Text] / G.N. Maslennikova, F.Ya. Haritonov, I.V. Dubov. — M. : Stroyizdat, 1991. — 320 p.
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69.05:658.512.6.001.24

Ю.Б. КАЛУГИН

РАСЧЕТ КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ РАБОТ С ВЕРОЯТНОСТНЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Реализованы методы и модели, которые обосновывают увеличение фактических сроков выполнения работ по сравнению с плановыми. Представлены расчетные календарные графики с учетом вероятностных временных параметров.

Ключевые слова: достоверность планов, вероятностные временные параметры, математическое ожидание, прогнозирование сроков.

Анализ современного состояния теории и практики календарного планирования показывает недостаточную надежность и достоверность этих планов и программ. Так, фактическая стоимость и продолжительность различных инвестиционных строительных проектов существенно превышают соответствующие показатели, определенные на стадии планирования. Причина существенной разницы между плановыми и фактическими параметрами заключается прежде всего в воздействии на выполняемые работы многочисленных дестабилизирующих факторов, которые могут быть учтены посредством использования вероятностных оценок продолжительности выполнения работ.

В работах [1, 2] для различных исполнителей (строительных бригад, подразделений) в зависимости от уровня их организации (высокий, средний, низкий) установлены законы распределения продолжительности работ, определены зависимости между их числом и сроками выполнения, а также исследованы вероятностная структура строительного потока и ее влияние на сроки реализации работ.

Реализованные методы и полученные на их основе математические зависимости позволяют определять наиболее вероятные сроки окончания работ для каждого события календарного графика. На рис. 1 представлен сетевой график с ранними и поздними сроками свершения событий, рассчитанный обычным способом с учетом детерминированных

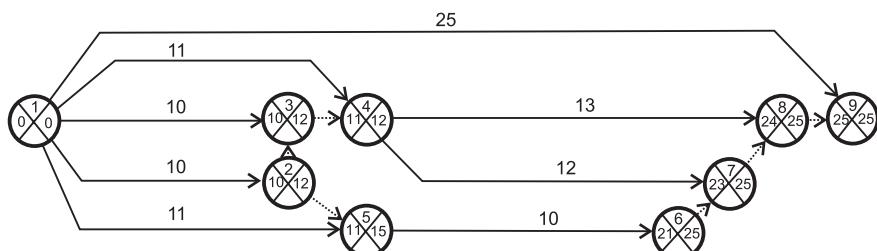


Рис. 1. Сетевой график с детерминированными временными параметрами

временных параметров. Общая продолжительность реализации проекта составляет 25 недель.

Вычисление вероятностных временных параметров календарного плана производилось с учетом следующих условий:

1) уровень организации исполнителей высокий (продолжительность выполнения отдельной работы соответствует нормальному распределению);

2) ресурсы исполнителей не задействованы на других объектах и ожидают выполнения предшествующих работ (ресурсно-объектные связи других объектов не влияют на данный объект) [3].

Для нормального закона распределения, предполагающего изменение продолжительности выполнения отдельной работы в диапазоне от $0,5t$ до $1,5t$ с математическим ожиданием $1,0t$ [1], рассчитаны следующие равновероятные значения t центров тяжести равных площадей $0,0833\Phi_0$: $0,5t; 0,698t; 0,789t; 0,857t; 0,917t; 0,971t; 1,029t; 1,083t; 1,143t; 1,211t; 1,302t; 1,5t$.

Расчет вероятностных параметров календарного графика производился последовательно для каждого события. Так, вероятный срок свершения события 2 (его математическое ожидание) в соответствии с из-

Равновероятные значения сроков окончания работы 1–2

5,0	6,98	7,89	8,57	9,17	9,71	10,29	10,83	11,43	12,11	13,02	15,0
-----	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Равновероятные значения сроков окончания работы 1–3

5,0	6,98	7,89	8,57	9,17	9,71	10,29	10,83	11,43	12,11	13,02	15,0
-----	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------

144 равновероятных значений сроков свершения события 3

5,0	5,0	6,98	7,89	8,57	9,17	9,71	10,29	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0
6,98	6,98	7,89	8,57	9,17	9,71	10,29	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0	
7,89	7,89	7,89	8,57	9,17	9,71	10,29	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0	
8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	9,17	9,71	10,29	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0
9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,71	9,71	10,29	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0
9,71	9,71	9,71	9,71	9,71	9,71	9,71	10,29	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0
10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0	
10,83	10,83	10,83	10,83	<u>10,83</u>	10,83	10,83	<u>10,83</u>	11,43	12,11	13,02	15,0	
11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	12,11	13,02	15,0	
12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	13,02	15,0	
13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	15,0	
15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	

Равновероятные значения сроков свершения события 3

7,59	8,97	9,67	10,29	<u>10,79</u>	11,23	11,60	12,11	12,72	13,02	14,84	15,0
-------------	------	-------------	-------	--------------	-------	--------------	-------	-------	-------	-------	------

$$t_3^{\text{MO}} = 11,486$$

Рис. 2. Расчет сроков свершения события 3

ложенными выше параметрами нормального закона распределения составит 10 недель. Расчет сроков свершения события 3 представлен ниже. При расчете 144 равновероятных сроков учитывалось, что срок свершения события 3 определится максимальным сроком окончания работ 1-2 и 1-3:

$$t_3 = \max(t_{1-2}, t_{1-3}). \quad (1)$$

В результате объединения 144 значений в 12 интервалов получены 12 равновероятных сроков свершения события 3 (рис. 2). Математическое ожидание срока свершения события 3 составило 11,486 недель. Аналогичные расчеты были выполнены для событий 4 (рис. 3) и 5 (рис. 4).

Сроки окончания работы 5-6 определяются суммой равновероятных сроков свершения события 5 и вероятностных значений продолжительности работы 5-6.

Представленный на рис. 5 расчет показывает, что равновероятные сроки свершения события 6 (после группировки 144 значений) изменяются от 15,8 до 28,54 недель. При этом математическое ожидание состав-

Равновероятные значения сроков окончания работы 1-4

5,5	7,68	8,68	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
-----	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Равновероятные значения сроков свершения события 3

7,59	8,97	9,67	10,29	10,79	11,23	11,60	12,11	12,72	13,02	14,84	15,0
------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

144 равновероятных значений сроков свершения события 4

7,59	7,59	7,68	8,68	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
8,97	8,97	8,97	8,97	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
9,67	9,67	9,67	9,67	9,67	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	10,79	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
11,23	11,23	11,23	11,23	11,23	11,23	11,23	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,57	13,32	14,32	16,50
12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	13,32	14,32	16,50
13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,32	14,32	16,50
14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	14,84	16,50
15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	16,50

Равновероятные значения сроков свершения события 4

9,03	10,37	11,01	11,46	11,95	12,42	12,80	13,17	13,99	14,75	14,99	16,50
-------------	-------	-------	-------	--------------	-------	-------	--------------	-------	-------	-------	-------

$$t_4^{\text{MO}} = 12,70$$

Рис. 3. Расчет сроков свершения события 4

Равновероятные значения сроков окончания работы 1–2

5,0	6,98	7,89	8,57	9,17	9,71	10,29	10,83	11,43	12,11	13,02	15,0
-----	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Равновероятные значения сроков окончания работы 1–5

5,5	7,68	8,68	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
-----	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

144 равновероятных значений сроков свершения события 5

5,0	5,5	7,68	8,68	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
6,98	6,98	7,68	8,68	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
7,89	7,89	7,89	8,68	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
8,57	8,57	8,57	8,68	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
9,17	9,17	9,17	9,17	9,43	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
9,71	9,71	9,71	9,71	9,71	10,09	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,29	10,68	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	10,83	11,32	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,91	12,57	13,32	14,32	16,50
12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11	12,57	13,32	14,32	16,50
13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,32	14,32	16,50
15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	16,50

Равновероятные значения сроков свершения события 5

7,96	9,46	10,22	10,66	11,36	11,79	12,41	12,65	13,25	14,15	14,94	16,50
------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$t_5^{\text{MO}} = 12,11$$

Рис. 4. Расчет сроков свершения события 5

ляет 22,11 недель. Аналогичные расчеты позволили установить следующие вероятностные параметры работ 4-7 и 4-8 (рис. 6 и 7). Представлен расчет вероятностных сроков свершения события 7 (рис. 8). Последующие расчеты позволили установить вероятностные параметры завершающего события графика — события 9 (рис. 9).

Сетевой график с учетом вероятностных временных параметров представлен на рис. 10. На графике над работами показаны вероятные сроки их окончания. Над событиями представлены наиболее вероятные сроки их свершения (математические ожидания). Их несовпадение (в случае параллельных работ) и показывает влияние вероятностных параметров параллельной работы на сроки свершения общих событий [1].

Анализ данных, представленных на рис. 9 и 10, а, позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее вероятный срок свершения события 9 (его математическое ожидание) составляет 29,45 недель:

$$P(29,45) = 0,5. \quad (2)$$

Равновероятные значения сроков свершения события 5

7,96	9,46	10,22	10,66	11,36	11,79	12,41	12,65	13,25	14,15	14,94	16,50
------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Равновероятные значения продолжительности работы 5–6

5,0	6,98	7,89	8,57	9,17	9,71	10,29	10,83	11,43	12,11	13,02	15,0
-----	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	------

144 равновероятных значений сроков окончания работы 5–6

5,0+	12,96	14,46	15,22	15,66	16,36	16,79	17,41	17,65	18,25	19,15	19,94	21,50
6,98+	14,94	16,44	17,20	17,64	18,34	18,77	19,39	19,63	20,23	21,13	21,92	23,48
7,89+	15,85	17,35	18,11	18,55	19,25	19,68	20,30	20,54	21,14	22,04	22,83	24,39
8,57+	16,53	18,03	18,79	19,23	19,93	20,36	20,98	21,22	21,82	22,72	23,51	25,07
9,17+	17,13	18,63	19,39	19,83	20,53	20,96	21,58	21,82	22,42	23,32	24,11	25,67
9,71+	17,67	19,17	19,93	20,37	21,07	21,50	22,12	22,36	22,96	23,86	24,65	26,21
10,29+	18,25	19,75	20,51	20,95	21,65	22,08	22,70	22,94	23,54	24,44	25,23	26,79
10,83+	18,79	20,29	21,05	21,49	22,19	22,62	23,24	23,48	24,08	24,98	25,77	27,33
11,43+	19,39	20,89	21,65	22,09	22,79	23,22	23,84	24,08	24,68	25,58	26,37	27,93
12,11+	20,07	21,57	22,33	22,77	23,47	23,90	24,52	24,76	25,36	26,26	27,05	28,61
13,02+	20,98	22,48	23,24	23,68	24,38	24,81	25,43	25,67	26,27	27,17	27,96	29,52
15,0+	22,96	24,46	25,22	25,66	26,36	26,79	27,41	27,65	28,25	29,15	29,94	31,50

Равновероятные значения сроков окончания работы 5–6

15,80	17,99	19,22	20,13	20,95	21,72	22,47	23,22	24,06	25,02	26,24	28,54
-------	--------------	-------	-------	--------------	-------	-------	--------------	-------	-------	--------------	-------

$$t_{5-6}^{\text{MO}} = 22,11$$

Рис. 5. Расчет сроков окончания работы 5–6 (свершения события 6)

17,85	20,31	21,57	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$t_{4-7}^{\text{MO}} = 24,70$$

Рис. 6. Равновероятные значения сроков окончания работы 4–7

18,43	21,04	22,42	23,47	24,39	25,29	26,10	26,98	27,92	28,99	30,42	32,99
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$t_{4-8}^{\text{MO}} = 25,70$$

Рис. 7. Равновероятные значения сроков окончания работы 4–8

Это означает, что с вероятностью 0,5 сроки реализации проекта не превысят 29,45:

— с вероятностью 0,75 (9:12) проект будет реализован в течение 31,725 недель:

$$P(31,725) = 0,75; \quad (3)$$

Равновероятные значения сроков окончания работы 4–7

17,85	20,31	21,57	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Равновероятные значения сроков окончания работы 6–7

15,80	17,99	19,22	20,13	20,95	21,72	22,47	23,22	24,06	25,02	26,24	28,54
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

144 равновероятных значений сроков свершения события 7

15,80	17,85	20,31	21,57	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
17,99	17,99	20,31	21,57	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
19,22	19,22	20,31	21,57	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
20,13	20,13	20,31	21,57	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
20,95	20,95	20,95	21,57	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
21,72	21,72	21,72	21,72	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
22,47	22,47	22,47	22,47	22,61	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
23,22	23,22	23,22	23,22	23,22	23,45	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
24,06	24,06	24,06	24,06	24,06	24,06	24,32	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,03	25,88	26,79	27,82	29,14	31,58
26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24	26,79	27,82	29,14	31,58
28,54	28,54	28,54	28,54	28,54	28,54	28,54	28,54	28,54	28,54	28,54	29,14	31,58

Равновероятные значения сроков свершения события 7

20,12	22,09	23,09	23,92	24,67	25,17	26,00	26,61	27,56	28,42	29,14	31,58
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$t_7^{\text{MO}} = 25,70$$

Рис. 8. Расчет сроков свершения события 7

23,60	25,54	26,51	27,27	28,23	28,68	29,37	30,24	31,08	32,37	32,95	37,5
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

$$t_9^{\text{MO}} = 29,45$$

Рис. 9. Равновероятные сроки свершения события 9

— вероятность реализации проекта в течение 25 недель (в соответствии с детерминированными оценками) составит 0,148:

$$P(25,00) = 0,148; \quad (4)$$

— наиболее вероятный срок реализации проекта (29,45) увеличился (по сравнению с детерминированными оценками — 25,0) почти на 18 %.

Аналогичные расчеты были выполнены и для условий среднего и низкого уровней организации исполнителей проекта.

Для усеченного нормального закона распределения, характеризующего средний уровень, и предполагающего изменение продолжительности выполнения отдельной работы в диапазоне от $0,6t$ до $2,6t$ с математическим ожиданием $1,4t$ [1] были приняты следующие равновероятные

значения t центров тяжести равных площадей $0,0833\Phi_0$: $0,6t; 0,736t; 0,869t; 0,998t; 1,125t; 1,254t; 1,387t; 1,533t; 1,69t; 1,883t; 2,13t; 2,6t$.

Результаты расчетов представлены на рис. 10, б. Анализ приведенных данных позволяет сделать следующие выводы:

— наиболее вероятный срок свершения события 9 (его математическое ожидание) составляет 46,71 недель:

$$P(46,71) = 0,5. \quad (5)$$

Это означает, что с вероятностью 0,5 сроки реализации проекта не превысят 46,71:

— с вероятностью 0,75 проект будет реализован в течение 52,335 недель:

$$P(52,335) = 0,75; \quad (6)$$

— вероятность реализации проекта в течение 35,255 недель составит 0,0833;

— наиболее вероятный срок реализации проекта (46,71) увеличился (по сравнению с детерминированными оценками — 25,0) почти на 87 %.

Для равномерного распределения, характеризующего низкий уровень, и предполагающего изменение продолжительности выполнения отдельной работы в диапазоне от $0,625t$ до $3,375t$ с математическим ожиданием $2,0t$ [1] были принятые следующие равновероятные значения t : $0,625t; 0,875t; 1,125t; 1,375t; 1,625t; 1,875t; 2,125t; 2,375t; 2,625t; 2,875t; 3,125t; 3,375t$.

Результаты расчетов представлены на рис. 10, в. Анализ приведенных данных позволяет сделать следующие выводы:

— наиболее вероятный срок свершения события 9 (его математическое ожидание) составляет 66,82 недель:

$$P(66,82) = 0,5. \quad (7)$$

Это означает, что с вероятностью 0,5 сроки реализации проекта не превысят 66,82:

— с вероятностью 0,75 (9:12) проект будет реализован в течение 73,675 недель:

$$P(73,675) = 0,75; \quad (8)$$

— вероятность реализации проекта в течение 25 недель (в соответствии с детерминированными оценками) отсутствует;

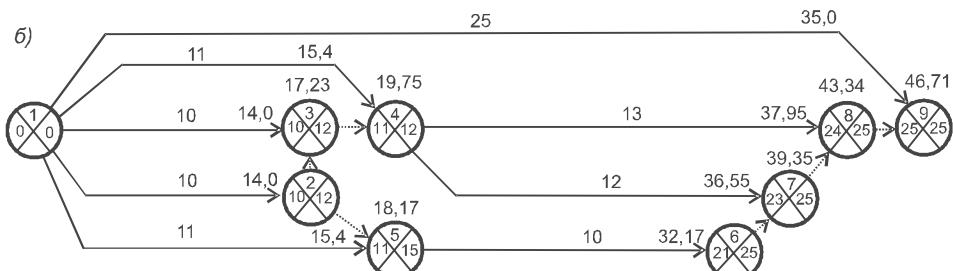
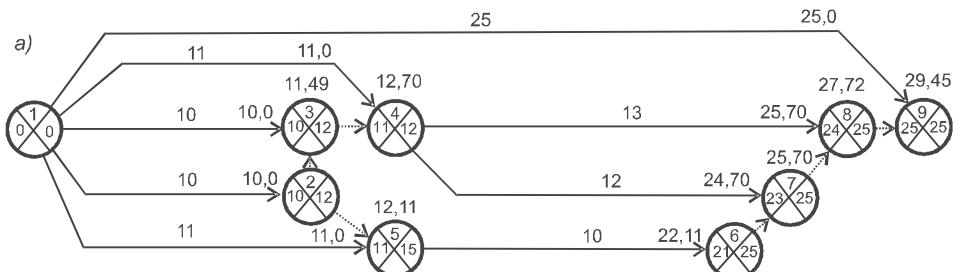
— наиболее вероятный срок реализации проекта (66,82) увеличился (по сравнению с детерминированными оценками — 25,0) на 167 %.

В том случае, если в процессе составления календарного плана возможные исполнители задействованы на других объектах (имеется влияние ресурсно-объектных связей), вероятные сроки реализации проекта дополнительно увеличиваются [3]. Это увеличение для исполнителей высокого уровня организации составит 15 %; среднего уровня — 32 %; низкого — 50 % от первоначальной продолжительности.

Итоговое смещение сроков реализации проекта может составить в данном случае:

- для исполнителей высокого уровня 33 %;
- для исполнителей среднего уровня 120 %;
- для исполнителей низкого уровня организации 217 %.

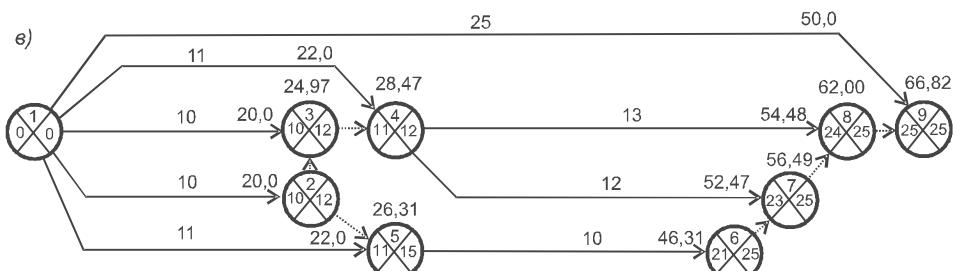
Полученные результаты во многом дают ответ на причины существенного увеличения сроков реализации разнообразных проектов и показывают, что реализация представленных выше методов и моделей ка-



Равновероятные сроки окончания события 9

33,18	37,33	39,55	41,72	43,02	45,45	47,13	48,03	51,48	53,19	55,39	65,0
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

$$t_9^{\text{MO}} = 46,71$$



Равновероятные сроки окончания события 9

48,20	55,10	58,67	61,13	64,17	65,82	67,73	71,16	72,03	75,32	78,13	84,38
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$t_9^{\text{MO}} = 66,82$$

Рис. 10. Вероятностные параметры сетевого графика для исполнителей высокого (а), среднего (б) и низкого (в) уровней организации

лендарных планов работ с вероятностными временными параметрами позволит повысить достоверность и надежность разрабатываемых календарных графиков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калугин, Ю.Б. Расчет вероятностных параметров параллельных работ [Текст] / Ю.Б. Калугин // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 6. — С. 35–42.
2. Калугин, Ю.Б. Вероятностная структура строительного потока [Текст] / Ю.Б. Калугин // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 7. — С. 36–43.
3. Калугин, Ю.Б. Прогнозирование сроков реализации проекта с помощью модели квазипараллельных работ [Текст] / Ю.Б. Калугин // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 3. — С. 45–51.

*КАЛУГИН Юрий Борисович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: Yuri_Kalugin@inbox.ru
Военно-транспортный институт железнодорожных войск и военных сообщений,
г. Санкт-Петербург*

Получено 28.09.11

Kalugin Yu.B., doctor of technical sciences, professor; E-mail: Yuri_Kalugin@inbox.ru,
Military Institute of Rail Transport Troops and Military Communications, St. Petersburg,
Russia

CALCULATION OF THE SCHEDULES OF WORK WITH PROBABILISTIC TEMPORARY PARAMETER

Methods and models of planning and scheduling, which prove increase of actual time in comparison with the planned are realized. The schedule plans with provision for probabilistic temporary parameter are presented.

Key words: reliability plans, probabilistic temporal parameters, mathematical expectations, predicting the timing.

REFERENCES

1. Kalugin, Yu.B. Calculation of probabilistic parameters of parallel processes [Text] / Yu.B. Kalugin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 6. — P. 35–42.
 2. Kalugin, Yu.B. Probabilistic structure of the flow of works [Text] / Yu.B. Kalugin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 7. — P. 36–43.
 3. Kalugin, Yu.B. Predicting the timing of the project with the help of a model quasi-parallel processes [Text] / Yu.B. Kalugin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 3. — P. 45–51.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628.218 : 532.542

В.В. ТАРАСЕВИЧ, А.К. ЛИ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАТНЫХ КЛАПАНОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ КАНАЛИЗАЦИОННОГО КОЛЛЕКТОРА

Рассмотрена задача о расположении обратных клапанов вдоль проектируемой трассы канализационного коллектора с целью защиты коллектора от гидравлических ударов при обесточивании насосов. Разработана математическая модель переходного процесса в коллекторе при обесточивании насосов с учетом работы обратных клапанов в квазидинамическом режиме. Оценено влияние установки клапанов на максимальные давления в трубопроводе, приведены эпюры максимальных давлений и напоров вдоль трассы трубопровода в различных случаях. Установлены «ключевые» клапаны, которые влияют на безопасность трубопровода, а также клапаны, установка которых не оказывает никакого влияния на максимальные напоры в коллекторе.

Ключевые слова: трасса коллектора, обратные клапаны, гидравлический удар, кавитация, расчет.

В работе рассматривается проектируемый канализационный коллектор, представленный на рис. 1. Целью работы является оценить роль обратных клапанов в обеспечении безопасных режимов работы коллектора и определить рациональную расстановку этих клапанов.

Применение обратных клапанов имеет своей целью предотвратить обратное движение жидкости и защитить от возможного повышения давления. Отметим, что если при гидравлическом ударе направление течения жидкости через клапан не изменяется, то волны гидравлического удара проходят через него беспрепятственно, т.е. в этом случае обратный клапан никакой защитной функции не выполняет. Поэтому случаи частичного снижения расхода, вызванные, например, частичным отключением насосов или незначительным разрушением трубопровода, в рамках данного исследования можно не рассматривать. При изменении направления течения картина течения существенно меняется.

Срабатывание обратных клапанов препятствует развитию больших отрицательных скоростей; при этом на отдельных участках трубопровода возникают гидравлические удары, вызванные закрытием клапана.

Схематизация задачи. Профиль трассы коллектора представлен на рис. 1, где показано исходное расположение клапанов, предусмотренное первоначальным проектом. В начало коллектора (начало координат, $x = 0$) поступает со стороны канализационной напорной станции (КНС) заданный расход. В конце трубопровода ($x = 5000$ м), где расположена камера гашения напора (КГН), происходит излив в атмосферу. Диаметр трубопровода d по всей длине одинаков и равен 1420 мм. Проектная

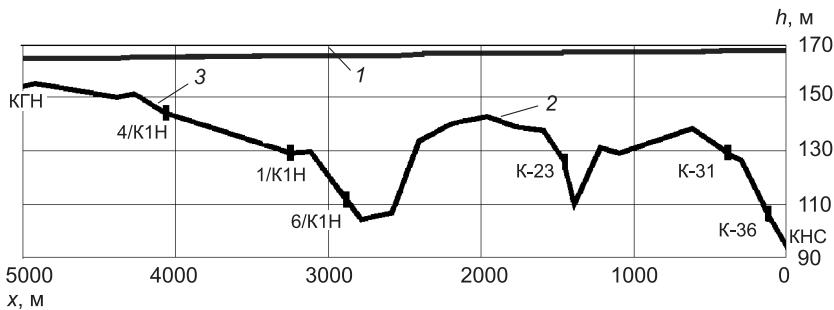


Рис. 1. Трасса коллектора и исходная линия пьезометров
1 — линия пьезометров (исходный режим); 2 — линия дна; 3 — обратные клапаны

производительность 140 000 м³/сут. Расчетная схема коллектора изображена на рис. 2.

Гидравлический удар в системе возникает вследствие внезапной остановки насосов (обесточивание) и прекращения подачи. Волна гидравлического удара проходит весь коллектор (от КНС до КГН) за 4,845 с. Поэтому, если за время $2 \cdot 4,845 = 9,69$ с расход на входе в коллектор (КНС) изменяется до нуля (вследствие обесточивания насосов или значительного разрушения трубопровода), мы имеем дело с прямым гидравлическим ударом, который (в отношении максимальных давлений в трубах) равносителен случаю мгновенного прекращения подачи. Если время снижения подачи превышает 9,69 с, то будет иметь место непрямой гидравлический удар, при котором ударное давление ниже, чем при прямом гидравлическом ударе [1].



Рис. 2. Расчетная схема коллектора

Точки 1 и 8 — КНС и КГН соответственно, точки 2–7 (колодцы К-36, К-31, К-23, 6/К1Н, 1/К1Н, 4/К1Н) — места возможной установки обратных клапанов, соединяющие участки коллектора

Таким образом, самым неблагоприятным является случай прямого гидравлического удара, который в вышеупомянутом смысле равносителен мгновенному прекращению подачи (в начальный момент времени $t = 0$ расход Q падает до нуля). Этот случай и принят в качестве расчетного. По тем же соображениям срабатывание обратных клапанов принимается мгновенным, т.е. без учета инерционности их закрытия и «проскачивания» части жидкости через обратный клапан до его полного закрытия. Такой подход, возможно, дает несколько завышенные значения давлений, что будет работать в запас надежности системы.

Сначала рассматривается задача с точки зрения классической теории гидравлического удара, т.е. гидравлического удара, распространяющегося в сплошной жидкости [1].

Математическая постановка задачи. Канализационный коллектор представляет собой сложную трубопроводную систему. Насосную станцию (КНС), КГН, колодцы и т.п. будем называть узлами этой системы, которые задают разбиение всей трассы коллектора на отдельные участки, представляющие собой простые трубопроводы. Пусть узлы и участки трубопровода пронумерованы и i обозначает номер участка, а j — номер узла. Такое разбиение представлено на рис. 2. Условимся, что нижний индекс i будет означать, что рассматриваемая переменная отно-

сится к i -му участку, а верхний индекс j — что эта величина относится к j -му узлу.

Нестационарный процесс в трубах коллектора будет описываться известными уравнениями гидравлического удара [1, 2] в виде

$$\frac{\partial H_i}{\partial t} + \frac{a_i^2}{g\omega_i} \frac{\partial Q_i}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial Q_i}{\partial t} + g\omega_i \frac{\partial H_i}{\partial x} + \frac{\lambda_i |Q_i| Q_i}{2d\omega_i^2} = 0, \quad (1)$$

где $H = H(x, t)$ — напор;

$Q = Q(x, t)$ — расход;

a — скорость волны гидравлического удара [1];

$\omega = \pi d^2/4$ — площадь поперечного сечения потока;

λ — коэффициент гидравлического трения [3].

Границные условия описывают течение жидкости в точках примыкания коллектора к насосной станции и камере гашения напора, соединения труб с гидравлической арматурой (в данном случае — с обратными клапанами).

Пусть напор и расход на том конце i -й трубы, который примыкает к j -му узлу, обозначаются как H_i^j и Q_i^j соответственно. В качестве граничных условий на местных сопротивлениях используется система уравнений, описывающая потери напора на рассматриваемых местных сопротивлениях [3] и равенство расходов (потери жидкости в узле не учитываются).

Пусть i_1 — номер входящей в узел j (местное сопротивление) трубы, а i_2 — номер выходящей из узла j трубы, как показано на рис. 3.

Потери напора на местном сопротивлении в общем случае будем задавать по двучленной формуле потерь:

$$H_{i_1}^j - H_{i_2}^j = \xi_1 Q^2 + B_1 Q \quad (2)$$

при положительном направлении потока ($Q \geq 0$) и

$$H_{i_1}^j - H_{i_2}^j = -\xi_2 Q^2 + B_2 Q \quad (3)$$

при отрицательном направлении потока ($Q < 0$), при этом должен выполняться баланс расходов в узле (утечками пренебрегаем)

$$Q_{i_1}^j = Q_{i_2}^j = Q. \quad (4)$$

Здесь ξ_1, ξ_2 — размерные коэффициенты сопротивлений в квадратичной зоне;

B_1, B_2 — размерные коэффициенты сопротивлений в ламинарной зоне.

Обратные клапаны являются частным случаем местного сопротивления с односторонней проводимостью. При описании обратного клапана инерционностью подвижных частей клапана пренебрегаем и закрытие или открытие его полагаем мгновенным. В этом случае вместо условий (2)–(4) будут

$$H_{i_1}^j - H_{i_2}^j = \xi_1 Q^2 + B_1 Q \quad \text{при} \quad H_{i_1}^j \geq H_{i_2}^j; \quad (5)$$

$$Q_{i_1}^j = Q_{i_2}^j = Q = 0 \quad \text{при} \quad H_{i_1}^j < H_{i_2}^j. \quad (6)$$

В точке примыкания коллектора к канализационной напорной станции (точка 1 на рис. 2) задается зависимость расхода, поступающего в коллектор, от времени

$$Q_{i_2}^j = f(t). \quad (7)$$

Здесь $j = 1, i_2 = 1$ для точки 1.

В точке, соответствующей на схеме камере гашения энергии (рис. 2), пренебрегая потерями напора на выходе, можно задавать равенство давления на выходе атмосферному давлению:

$$P_{i_1}^j = P_{\text{атм}}. \quad (8)$$

Здесь $j = N, i_1 = 7$ для точки 8.

Для однозначного решения задачи должны быть заданы параметры потока в начальный момент времени $t = 0$ при

$$H_i(x, 0) = H_{i,0}(x), \quad V_i(x, 0) = V_{i,0}, \quad \text{где } i = 1, \dots, S, \quad (9)$$

в качестве которых используются параметры потока до разрушения трубопровода, соответствующие параметрам стационарного течения жидкости. Эти параметры находятся в результате стандартного гидравлического расчета трубопровода.

Разрыв сплошности потока. Вследствие волнового характера переходного процесса в трубопроводе могут наблюдаться значительные отрицательные значения давления в коллекторе. Если при этом давление в трубопроводе достигает давления насыщенных паров жидкости, жидкость не выдерживает напряжения на разрыв и ее сплошность нарушается. Эти разрывы в виде каверн начинают расти и заполняться насыщенными парами жидкости, поэтому давление в каверне постоянно и равно давлению насыщенных паров жидкости. Это говорит о том, что гидравлический удар будет сопровождаться возможным образованием зон безнапорного течения [2].

Условием бескавитационного течения жидкости будем считать неравенство

$$H(x, t) \geq H_{\text{cav}}(x) = \frac{p_s}{\rho g} + z(x), \quad (10)$$

где p_s — давление насыщенных паров жидкости при заданной температуре.

Методика расчета. Расчет проводился по явной схеме на основе метода характеристик, при этом используется прямоугольная разностная сетка с шагами Δx_i по каждому i -му участку и с единым шагом по времени τ . Исходная система уравнений (1) записывается в характеристической форме.

Расчет выполняется в два этапа. На первом этапе, проводя интегрирование вдоль приходящих в узел характеристик, вычисляются значения переменных во внутренних точках разностной схемы. На втором этапе определяются значения переменных на границах. Для этого решаются совместно соответствующие граничные условия и соотношения, полученные интегрированием вдоль приходящих в рассматриваемый узел характеристик.

Подробнее методика расчета изложена в работе авторов [4].

Учет разрыва сплошности потока в трубопроводе осуществляется следующим образом. В каждую k -ю расчетную точку помещается услов-

ная каверна, объем которой $W_{i,k}$ при бескавитационном режиме равен нулю. При нарушении условия (10) начинается рост каверны.

Критерием возникновения кавитации в k -й расчетной точке на m -м шаге по времени является выполнение следующих условий (индекс i здесь и далее для простоты опущен):

$$H_k^{m-1} \geq H_{\text{cav}}(k\Delta x), \quad W_k^{m-1} = 0, \quad H_k^m < H_{\text{cav}}(k\Delta x), \quad (11)$$

где значения напоров H_k^{m-1} и H_k^m получены на основе «бескавитационного» расчета, методика которого изложена выше.

Рост каверны определяется уравнением

$$dW_k / dt = \omega(V_{\text{l},k} - V_{\text{p},k}), \quad (12)$$

где $V_{\text{l},k}$ и $V_{\text{p},k}$ — скорость левой и правой границ каверны.

Соотношение (12) реализуется по явной разностной схеме. Критерием исчезновения кавитации (схлопывания каверны) в k -й расчетной точке на m -м шаге по времени является выполнение условий

$$W_k^{m-1} > 0, \quad W_k^m \leq 0. \quad (13)$$

Далее для точек, где выполняются эти условия, необходимо пересчитать значения напора и расхода по изложенной выше методике расчета бескавитационных течений. Объем каверны на новом шаге полагается равным нулю: $W_k^m = 0$.

Алгоритм моделирования кавитации в местных сопротивлениях (в частности, в обратных клапанах) подробнее рассмотрен в статье В.В. Тарасевича, А.А. Мороза, А.К. Ли¹.

Результаты расчета. На основе вышеописанного алгоритма разработано программное обеспечение, при помощи которого выполнен расчет гидравлического удара в канализационном коллекторе.

Расчеты проводились без учета разрыва сплошности потока и с учетом него. Рассмотрены несколько вариантов расстановки обратных клапанов по трассе канализационного коллектора и случай без них.

1. Результаты расчета без учета разрыва сплошности потока.

При отсутствии обратных клапанов максимальное значение давления в коллекторе будет равно 1,75 МПа. Обратные клапаны снижают максимальные давления на участке до последнего клапана (КНС — 4/K1H) на 0,716 МПа. Однако на участке от клапана 4/K1H до выхода в атмосферу давление даже несколько повышается (рис. 4). Так, отрицательная волна гидравлического удара, возникающая при остановке насоса, беспрепятственно проходит весь коллектор от точки КНС до КГН за 4,845 с. Отразившись от КГН, обратная волна вызывает срабатывание обратного клапана 4/K1H, который отсекает ее от дальнейшего участка трубопровода. Поэтому обратная волна дальше не распространяется и на участке коллектора от 4/K1H до КГН никаких значительных всплесков давления не наблюдается.

Таким образом, наиболее интенсивный гидравлический удар будет на участке от КГН до обратного клапана 4/K1H (1,26 МПа у обратного клапана 4/K1H), что подтверждает рис. 4. Если удалить этот обратный клапан (4/K1H), то участок интенсивного гидравлического удара продлится

¹ Тарасевич В.В., Мороз А.А., Ли А.К. Квазистационарный подход к описанию течения через местное сопротивление // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 8–9.

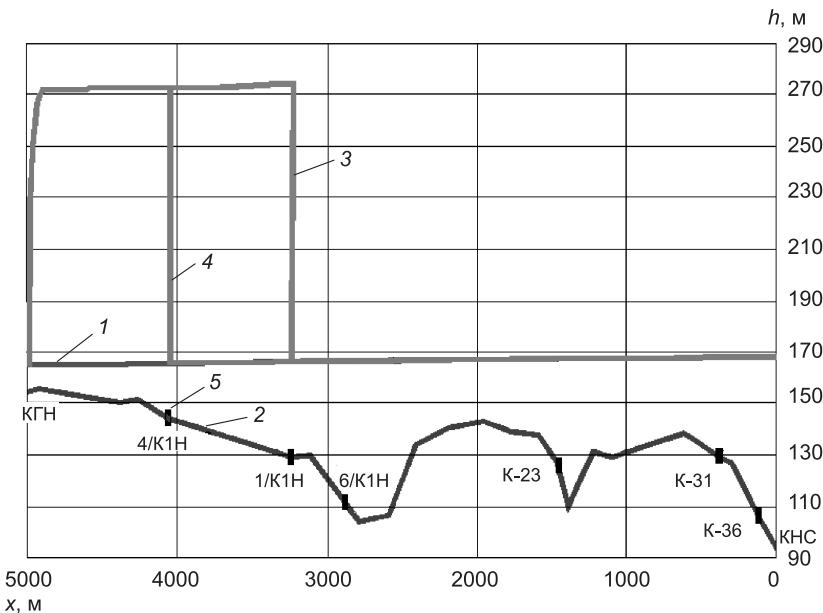


Рис. 4. Исходный и максимальные пьезометры при установке всех обратных клапанов и при отсутствии одного из них (1/K1H)

1 — линия пьезометров (исходный режим); 2 — линия дна; 3 — линия максимальных пьезометров без одного обратного клапана 1/K1H; 4 — линия максимальных пьезометров при установке обратных клапанов; 5 — обратные клапаны

до следующего обратного клапана 1/K1H. При этом максимальное давление на этом участке возрастет до 1,407 МПа, т.е. на 10 % по сравнению с первоначальным вариантом. Выгоднее приблизить точку установки обратного клапана как можно ближе к КГН, что сократит длину незашитной части коллектора и уменьшит риск от воздействия гидравлического удара.

Остальные обратные клапаны (1/K1H, 6/K1H, K-23, K-31) находятся как бы в тени обратного клапана 4/K1H и не оказывают особого влияния на процесс, так как основная нагрузка по отсечению волны гидравлического удара ложится на клапан 4/K1H. Остальные клапаны выполняют в основном подстраховочную роль на случай разрушения или несрабатывания обратного клапана 4/K1H. Поэтому любой из них может быть удален без особого влияния на максимальные давления (снижается только общая надежность системы).

2. Результаты расчета с учетом кавитации. В этом случае максимальное давление в коллекторе будет равно 0,967 МПа. Сопоставление вариантов расчетов без учета разрыва сплошности потока и с учетом него при отсутствии обратных клапанов показывает, что в первом случае максимальные давления в коллекторе значительно снижаются (примерно на 29 %). Это объясняется тем, что в коллекторе образуются зоны безнапорного течения, которые при данной конфигурации трубопровода играют смягчающую роль. Расположение зон кавитации показано на рис. 5.

Сопоставление результатов расчетов показывает, что наличие обратных клапанов снижает максимальные давления до 0,716 МПа. Хотя защитный эффект от применения обратных клапанов в данном случае существует, но при наличии кавитации он значительно слабее (обратные клапаны обеспечивают снижение давления на 12–13 %).

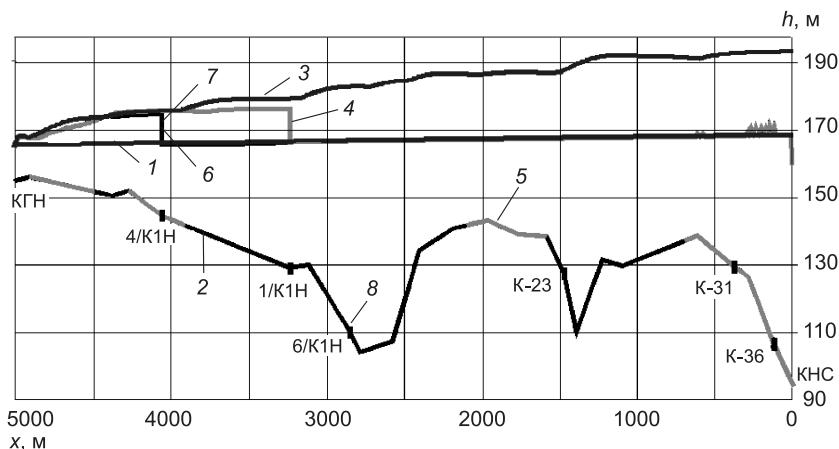


Рис. 5. Максимальные пьезометры для различных случаев установки обратных клапанов

1 — линия пьезометров (исходный режим); 2 — линия дна; 3 — линия максимальных пьезометров при отсутствии обратных клапанов; 4 — линия максимальных пьезометров при отсутствии клапана 4/K1H; 5 — зоны кавитации; 6 — линия максимальных пьезометров при установке обратных клапанов K-36 и 4/K1H; 7 — линия максимальных пьезометров при установке полного комплекта обратных клапанов; 8 — обратные клапаны

Случай удаления клапана 4/K1H аналогично случаю без кавитации продвигает зону высокого давления от КГН до следующего клапана (1/K1H); на картину давления на участке КНС — 1/K1H удаление последнего клапана (4/K1H) никак не влияет (рис. 5). Отсюда можно сделать вывод, что так же, как и для случая без кавитации, клапан 4/K1H играет ключевую роль. Сопоставление результатов расчетов для случаев установки полного комплекта обратных клапанов и при исключении клапана 4/K1H показывает, что, за исключением начального участка КНС — K-36, максимальные давления в коллекторе остаются теми же, что и при наличии шести обратных клапанов. Таким образом, за исключением первого клапана K-36, влияющего на максимальные давления на начальном участке КНС — K-36, остальные клапаны не играют никакой роли.

Сопоставление результатов расчетов для случая установки полного комплекта обратных клапанов и случая, когда оставлен только первый клапан K-36 в начальной части коллектора и последний клапан 4/K1H перед КГН, показывает, что эти два варианта практически ничем не отличаются друг от друга, т.е. наличие двух обратных клапанов K-36 и 4/K1H обеспечивает точно такую же защиту от повышенных давлений, как и полный комплект из шести обратных клапанов. Другими словами, обратные клапаны K-31, K-23, 6/K1H и 1/K1H в данном случае никакой полезной функции не выполняют и являются лишними.

На рис. 5 изображены максимальные пьезометры для различных случаев установки обратных клапанов. Видно, что графики для случаев установки полного комплекта обратных клапанов и только клапана 4/K1H и клапана K-36 практически совпадают, а случай отсутствия клапана 4/K1H менее благоприятен, чем случай установки полного комплекта обратных клапанов. Ни один из вариантов не защищает конечный участок коллектора (от 4/K1H до КГН) от повышенных давлений, но все варианты в различной степени защищают оставшуюся часть коллектора (от КНС до 4/K1H).

Выводы. Установка обратных клапанов безусловно снижает высокие давления в коллекторе при гидравлическом ударе. Это подтверждают как результаты расчета по классической теории гидравлического удара без учета кавитации, так и с учетом кавитации. В обоих случаях наиболее интенсивный гидравлический удар будет наблюдаться на начальном участке коллектора (от КГН до 4/К1Н). В связи с этим самый первый (вдоль трассы) клапан К-36 играет важную роль в защите начального, самого уязвимого участка коллектора, а все промежуточные клапаны, а именно К-31, К-23, 6/К1Н и 1/К1Н, никакой защитной функции в данном случае не выполняют. Удаление какого-либо промежуточного клапана или их всех никак не сказывается (в рамках рассматриваемой задачи) на максимальных давлениях в коллекторе, а установка этих клапанов имеет значение только с точки зрения надежности системы. Поэтому при проектировании такого рода трубопроводов целесообразно проводить тестовые расчеты нестационарных режимов с различными вариантами применения обратных клапанов, так как правильная их установка поможет не только существенно повысить безопасность объекта, но и сократить финансовые вложения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жуковский, Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах [Текст] / Н.Е. Жуковский. — М. ; Л. : Гос. изд-во техн.-теор. лит., тип. им. Е. Соколовой в Лгд., 1943. — 104 с.
2. Картвелишвили, Н.А. Гидравлический удар и уравнительные резервуары [Текст] / Е.К. Любимцев / под ред. Н.А. Картвелишвили. — М. : Наука, 1968. — 247 с.
3. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления [Текст] / А.Д. Альтшуль. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1982. — 224 с.
4. Тарасевич, В.В. Математическое моделирование аварийных ситуаций на подводных трубопроводных переходах [Текст] / В.В. Тарасевич, А.К. Епишева // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 5. — С. 42–48.

ТАРАСЕВИЧ Владимир Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доц.; E-mail: tvv@academ.org

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЛИ Анастасия Константиновна, ст. препод.; E-mail: anleegq@gmail.com

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 08.09.11

Tarasevich V.V., candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor; E-mail: tvv@academ.org, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Li A.K., senior lecturer; E-mail: anleegq@gmail.com, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

EFFICIENCY OF THE NONRETURN VALVES USING IN THE SEWAGE COLLECTOR UNDER EMERGENCIES

The problem of optimal allocation of non-return valves along the collector road for the purpose of the water hammer protection owing to pumps de-energization is considered. The mathematical model of the transient in the collector under pumps de-energization subject to the nonreturn valves functioning in the quasidynamic regime was developed. The effect of nonreturn valves allocation on maximal pressures in pipeline are evaluated. The

maximal pressure and pressure heads profiles along the pipeline are demonstrated for various situations. The key valves are ascertained which have an effect on pipeline safety and the valves are also ascertained which have no effect on maximal pressures in the pipeline.

Key words: collector road, non-return valves, water hammer, cavitation, computation.

REFERENCES

1. Zhukowsky, N.E. About the water hammer in the water pipes [Text] / N.E. Zhukowsky. — M. ; L. : State publ. house of engineering and theoretical literature, 1943. — 104 p.
 2. Kartvelishville, N.A. Water hammer and surge tanks [Text] / N.A. Kartvelishville, E.K. Lyubimtzev. — M. : Nauka, 1968. — 247 p.
 3. Altshul, A.D. Hydraulic resistance [Text] / A.D. Altshul. — 2nd edition, rev. — M. : Nedra, 1982. — 224 p.
 4. Tarasevich, V.V. Mathematical modeling of the emergencies on underwater pipe passages [Text] / V.V. Tarasevich, A.K. Episheva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007.— N 5. — P. 42–48.
-

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.712.004.18

В.С. БОРОВИК, Л.О. КАЗАЧКОВА

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ТРАНСПОРТА

На основе теории подобия исследован расход топлива транспортным потоком для различных городских улиц и дорог согласно принятой классификации.

Ключевые слова: расход топлива транспортным потоком, подобные явления, критерий подобия, константы подобия, городские улицы и дороги.

Задачи энергосбережения в стране находятся в центре государственной политики¹. Повышение энергоэффективности является важнейшим направлением работы автомобильного транспорта, в котором одна из основных задач — определение фактических затрат энергии транспортным потоком в зависимости от дорожных условий [1]. В настоящее время эта задача не получила положительного решения.

Авторами предлагается рассчитывать энергозатраты транспортного потока, используя теорию подобия [2, 3]. Явление, подобное заданному, может быть получено путем такого преобразования, когда каждый характеризующий его параметр изменяется в определенное число раз.

Условие необходимости и достаточности для инвариантности уравнений по отношению к подобным преобразованиям заключается в гомогенности функции, т.е. функция должна обладать особым свойством, что подобное преобразование отдельных переменных приводит к подобному преобразованию функции в целом [2, 3]. Следует отметить, что функция обладает свойством гомогенности только в том случае, если представляет собой степенной комплекс, т.е., иными словами, представлена в виде, например, мультипликативной функции:

$$f = C_0 \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i}. \quad (1)$$

В общем виде переход от x'_1, \dots, x'_n — параметров одного явления к x''_1, \dots, x''_n — параметрам другого, ему подобного, может быть выражен уравнением

$$x'_i = c_{x_i} x''_i |_{i=1}^{i=n}, \quad (2)$$

где c_{x_i} — константы подобия.

Для каждой пары величин константы подобия имеют свое численное значение, поэтому помечаются соответствующими индексами. Они опре-

¹ Закон № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты».

деляются отношением значения величины подобного явления к ее значению в базовой модели:

$$c_{x_i} = \frac{x_i''}{x_i'} . \quad (3)$$

В ходе исследования движения транспорта на различных участках улично-дорожной сети с помощью регрессионного анализа установлено, что расход топлива транспортным потоком определяется следующей формулой:

$$Q = 3,09L^{0.94}B^{-0.56}V^{-1.21}N^{1.22}, \quad (4)$$

где L — длина участка автомобильной дороги;

B — ширина проезжей части;

V — скорость движения;

N — интенсивность движения транспорта.

Для базовой системы будем иметь

$$Q_0 = 3,09L_0^{0.94}B_0^{-0.56}V_0^{-1.21}N_0^{1.22}. \quad (5)$$

Для первой системы будем иметь

$$Q_1 = 3,09L_1^{0.94}B_1^{-0.56}V_1^{-1.21}N_1^{1.22}. \quad (6)$$

Вследствие подобия явлений и согласно свойству гомогенности

$$\begin{aligned} Q_1 &= c_Q Q_0, \quad L_1 = c_L^{0.94} L_0, \quad B_1 = c_B^{-0.56} B_0, \\ V_1 &= c_V^{-1.21} V_0, \quad N_1 = c_N^{1.22} N_0. \end{aligned} \quad (7)$$

После подстановки равенств (7) в уравнение (4) получим

$$\left[\frac{c_Q}{c_L^{0.94} c_B^{-0.56} c_V^{-1.21} c_N^{1.22}} \right] Q_0 = 3,09L_0^{0.94}B_0^{-0.56}V_0^{-1.21}N_0^{1.22}. \quad (8)$$

Таким образом, имеются два уравнения (5) и (8), связывающие между собой одни и те же величины L_0, B_0, V_0, N_0 . Эти уравнения совместны только при условии, что

$$\frac{c_Q}{c_L^{0.94} c_B^{-0.56} c_V^{-1.21} c_N^{1.22}} = 1. \quad (9)$$

Равенство (9) является обусловливающим подобие равенством или условием подобия. Оно показывает, что константы подобия нельзя выбирать произвольно. Поскольку величины связаны между собой уравнением (4), константы подобия также взаимосвязаны. Определяем c_Q из (9):

$$c_Q = c_L^{0.94} c_B^{-0.56} c_V^{-1.21} c_N^{1.22}. \quad (10)$$

Подставив в (5) и (6) выражения для констант подобия из (7), получим

$$\frac{Q_0}{L_0^{0.94}B_0^{-0.56}V_0^{-1.21}N_0^{1.22}} = \frac{Q_1}{L_1^{0.94}B_1^{-0.56}V_1^{-1.21}N_1^{1.22}}, \quad (11)$$

т.е. комплекс $\frac{Q}{L^{0.94}B^{-0.56}V^{-1.21}N^{1.22}}$ одинаков для всех подобных между собой условий, следовательно:

$$K = \frac{Q}{L^{0.94}B^{-0.56}V^{-1.21}N^{1.22}} = \text{idem.} \quad (12)$$

Комплекс K является инвариантом подобия или критерием подобия.

Таким образом,

$$Q_1 = c_Q Q_0. \quad (13)$$

Следует отметить, что в базовой системе значения величин L_0 , B_0 , V_0 , N_0 являются нормативными и берутся из СНиП 2.07.01–89 [1]. Нахождение констант подобия производилось для каждого конкретного случая в рамках имеющейся классификации городских улиц и дорог согласно [1]. Для каждой категории улиц и дорог берется наименьшее количество полос движения (из возможных). Затем находятся значения ширины проезжей части и интенсивности движения. В базовой системе L_0 равняется 1 км.

В табл. 1 для каждой категории улиц и дорог приводятся значения величин B_0 , V_0 , N_0 и полученные расчетным путем согласно уравнению (4) значения расхода топлива транспортным потоком, а в табл. 2 и 3 — полученные в ходе исследования значения констант подобия. Аналогично определены константы подобия и для других категорий улиц и дорог. Следует оговориться, что для пешеходно-транспортных улиц, улиц в жилой застройке, парковых дорог, основных и второстепенных проездов приводятся только константы подобия по скорости, поскольку согласно [1] на данных дорогах предусмотрены две полосы движения либо одна, что учтено при расчете расхода топлива в базовой системе.

Пример. Пусть необходимо определить расход топлива транспортным потоком на магистральной улице общегородского значения регулируемого движения, если известны следующие данные: ширина проезжей части равна 21 м; интенсивность движения 4200 приведенных ед./ч; длина улицы 1,2 км; скорость движения транспортного потока 60 км/ч.

Таблица 1
Значения величин L_0 , B_0 , V_0 , N_0 и Q_0 для каждой категории улиц и дорог

Категория дорог и улиц	V_0 , км/ч	B_0 , м	N_0 , привед. ед./ч	Q_0 , л · 1 км/ч
<i>Магистральные дороги</i>				
скоростного движения	120	15	4800	64
регулируемого движения	80	7	1600	42
<i>Магистральные улицы</i>				
общегородского значения:				
непрерывного движения	100	15	4800	80
регулируемого движения	80	14	2800	56
районного значения:				
транспортно-пешеходные	70	7	1000	28
пешеходно-транспортные	50	8	1400	58
<i>Улицы и дороги местного значения</i>				
Улицы в жилой застройке	30	6	200	12
Улицы и дороги научно-производственных, промышленных и коммунально-складских районов	40	7	600	29
Парковые дороги	40	6	400	20
<i>Проезды</i>				
основные	40	5,5	300	14
второстепенные	30	3,5	50	3

Из табл. 1 известно, что расход топлива транспортным потоком на магистральной улице общегородского значения регулированного движения для базовой системы равен 56 л · 1 км / ч.

Определяем расход топлива транспортным потоком:

- 1) в табл. 2 находим значения констант подобия;
- 2) согласно формуле (13) определяем c_Q .

В нашем случае $c_Q = 1,19 \cdot 0,8 \cdot 1,42 \cdot 1,64 = 2,2$. Следовательно, для рассматриваемого случая $Q = c_Q \cdot Q_0 = 2,2 \cdot 56 = 123,2$ л · 1 км / ч.

Таблица 2
**Значения констант подобия для магистральных улиц общегородского значения
 регулируемого режима**

V	40	50	60	70	80
C_V	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00
$c_V^{-1,21}$	2,31	1,77	1,42	1,18	1,00
B	14	17,5	21	24,5	28
C_B	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$c_B^{-0,56}$	1,00	0,88	0,80	0,73	0,68
N	2800	3500	4200	4900	5600
C_N	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблица 3
Значения констант подобия для L

L	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
c_L	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$c_L^{0,94}$	0,22	0,42	0,62	0,81	1,00	1,19	1,37	1,56	1,74

Выводы. Предложенная модель позволяет рассчитать энергозатраты транспортного потока на городских улицах и дорогах, используя уравнение подобия и нормативные характеристики дорожных условий. Знание энергозатрат транспортного потока дает возможность планировать организацию движения автомобильного транспорта и работы по реконструкции городских дорог с целью повышения эффективности использования энергетических ресурсов транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.07.01–89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
2. Гухман, А.А. Введение в теорию подобия [Текст] / А.А. Гухман. — М. : Высш. шк., 1973. — 296 с.
3. Кирпичев, М.В. Теория подобия и тепловое моделирование [Текст] / М.В. Кирпичев. — М. : Наука, 1987. — 166 с.

БОРОВИК Виталий Сергеевич, д-р техн. наук, проф.

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
 КАЗАЧКОВА Людмила Олеговна, ассист.*

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Получено после доработки 28.10.11

Borovik V.S., doctor of technical sciences, professor, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kazachkova L.O., assistant, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

ESTIMATION OF INFLUENCE PARAMETERS OF STREET GRID ON TRANSPORT POWER INPUTS

On the basis of similarity theory is investigated fuel consumption of traffic flow for various city streets and roads under the accepted classification.

Key words: fuel consumption by traffic flow, such phenomena, the similarity criterion, the similarity constant, city streets and roads.

REFERENCES

1. SNiP 2.07.01-89. Town-planning. Planning and Buildings of Urban and Country Deportee.
 2. G u k h m a n , A.A. Introduction to the Theory of Similarity [Text] / A.A. Gukhman. — M. : Higher School, 1973. — 296 p.
 3. K i r p i c h e v , M.V. Theory of Similarity and Thermal Modeling [Text] / M.V. Kirpichev. — M. : Nauka, 1987. — 166 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.878.2:621.396

Ю.В. АВДЕЕВ, А.Д. КОНОНОВ, А.А. КОНОНОВ, Н.А. ВАРДАНЯН

УСТРОЙСТВО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ КООРДИНАТОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫМИ МАШИНАМИ

Предложен вариант технической реализации фазоизмерительного устройства для цифровой обработки сигналов, позволяющих определять координаты землеройно-транспортных машин при дистанционном управлении.

Ключевые слова: землеройно-транспортные машины, следящее дистанционное управление, фазоизмерительное устройство.

Важным направлением повышения эффективности применения землеройно-транспортных машин (ЗТМ) и безопасности жизнедеятельности оператора является развитие систем следящего дистанционного радиоуправления [1]. Важную роль в функционировании системы дистанционного управления ЗТМ играют схемное решение и техническая реализация фазоизмерительного устройства (ФИУ), которое является неотъемлемой частью разностно-дальномерной навигационной системы [2]. Так как определение координат машины может осуществляться с помощью информации, содержащейся в фазе сигнала, то измерение расстояния сводится к измерению сдвига фаз между сигналами двух антенных станций, которые могут быть установлены на ЗТМ, как и само устройство обработки сигналов, или быть стационарными.

Рассмотрим в качестве примера вариант, в котором используются сигналы трех антенных станций (примем, что ст1 — основная станция, ст2, ст3 — вспомогательные станции). В этом случае в фазоизмерительном устройстве сравниваются фазы сигналов между ст1 и ст2 по первому каналу и между ст1 и ст3 по второму каналу. Измеряемый фазовый сдвиг между ст1 и ст2 позволяет вычислить разность расстояний $r_2 - r_1$, а между ст1 и ст3 — разность расстояний $r_3 - r_1$ (r_1, r_2, r_3 — расстояния до передающих станций ст1, ст2, ст3 соответственно). Две такие разности (гиперболы местонахождения) полностью определяют координаты ЗТМ.

Так как оба измерительных канала идентичны, рассмотрим описание только одного из них. Для устранения многозначности, свойственной фазовому методу измерения разности расстояний, необходимо использовать многошкальные отсчеты. В данной системе используются две шкалы (грубый и точный отсчет). Грубый отсчет ведется по мгновенным значениям огибающей полезных сигналов, точный отсчет — по мгновенным значениям высокочастотного заполнения.

Каждый из измерительных каналов представляет собой интегрирующий фазометр с постоянным временем измерения. В основе действия фазометра лежит непосредственное преобразование величины фазового сдвига (временного интервала) в цифровой код. В фазометре осуществляется измерение интервала времени между переходами полезных сигналов через нуль с одновременным расчетным определением фазового сдвига между этими сигналами.

Функциональная схема одного канала ФИУ приведена на рис. 1. С выхода приемника модулирующие сигналы $S_{\text{огиб. ст1}}$ и $S_{\text{огиб. ст2}}$ (для грубого отсчета) и сигналы промежуточного высокочастотного заполнения [2] $S_{\text{пр. ст1}}$ и $S_{\text{пр. ст2}}$ (для точного отсчета) поступают на входы формирующих схем, в состав которых входит усилитель-формирователь, собранный по балансной схеме с использованием туннельных диодов для формирования импульсов с крутыми фронтами, и дифференцирующая цепь.

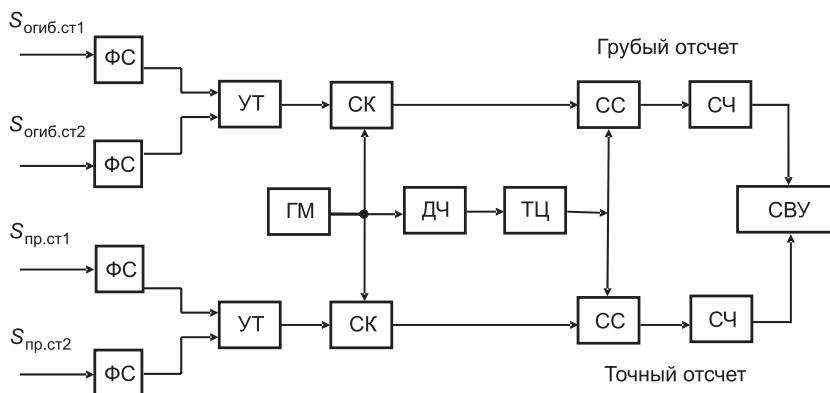


Рис. 1. Функциональная схема одного канала фазоизмерительного устройства обработки сигналов в системе дистанционного управления ЗТМ

Эпюры напряжений, характеризующие работу ФИУ, приведены на рис. 2. В результате дифференцирования переднего фронта положительной полуволны входного сигнала $S_{\text{огиб. ст1}}$ (рис. 2, *а*) возникает остроконечный однополярный старт-импульс (рис. 2, *д*), который запускает управляющий триггер (УТ), формируя при этом начало измеряемого временного интервала. Остроконечный стоп-импульс (рис. 2, *е*), возникающий при дифференцировании входного сигнала $S_{\text{огиб. ст2}}$ (рис. 2, *б*), возвращает управляющий триггер в исходное состояние, формируя при этом конец временного интервала. Таким образом, триггер выдает прямоугольный строб-импульс (рис. 2, *ж*), длительность которого пропорциональна фазовому сдвигу между сигналами от ст1 и ст2. В исходном состоянии квантующие импульсы (рис. 2, *з*) высокой частоты ($f_{\text{квант}} = 100 \text{ МГц}$) генератора меток (ГМ), поступающие на вход селектора (селектор-ключ СК), не могут пройти в счетчик (СЧ), так как на втором входе селектора отсутствует строб-импульс. При появлении строб-импульса селектор пропускает счетные импульсы (рис. 2, *и*) длительностью, пропорциональной фазовому сдвигу, которые поступают на схему совпадений (СС). При включении сигнала запуска фазометра делитель частоты (ДЧ) запускает триггер (ТЦ), который вырабатывает заданный интервал времени измерения (рис. 2, *ж*). Положительный перепад триггера (ТЦ) открывает схему

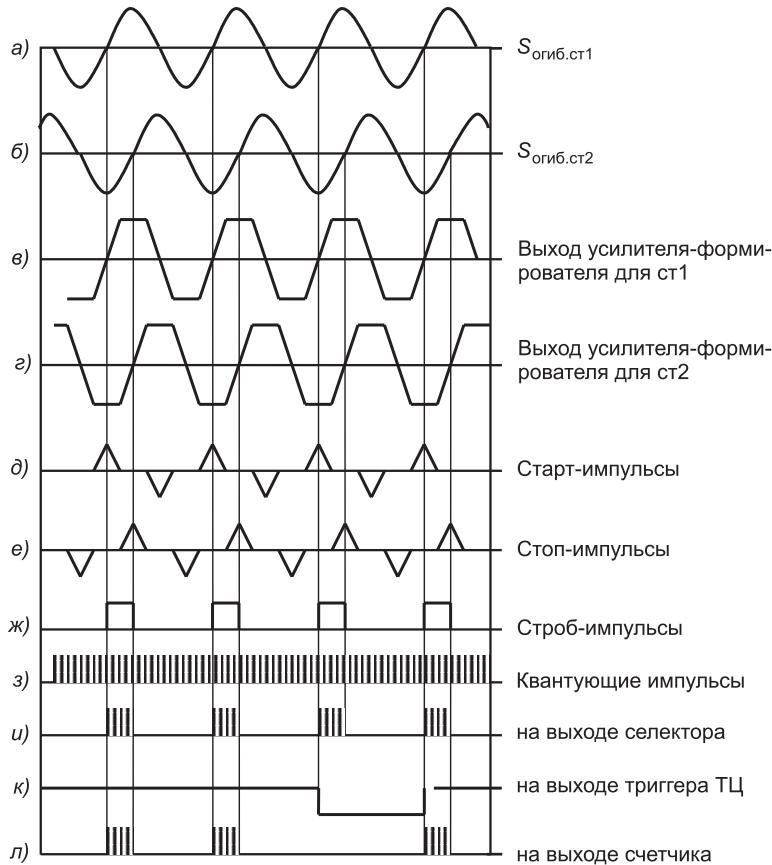


Рис. 2. Динамика работы ФИУ обработки сигналов в системе дистанционного управления ЗТМ

совпадений и определенное количество «пачек» (например, $n = 100$) проходит на счетчик (СЧ) в течение времени $t_{\text{ц}} = 1000 \text{ мкс}$ (рис. 2, з, и, к, л).

После прохождения заранее заданного числа «пачек» делитель частоты выдает сигнал на триггер (ТГ), отрицательный перепад которого захватывает схему совпадения (СС) и процесс измерения прекращается. Количество импульсов в «пачке» обратно пропорционально частоте входного сигнала ($f_{\text{огиб}} = 100 \text{ кГц}$), но пропорционально измеряемой разности фаз ϕ . Результат измерения регистрируется счетчиком (СЧ) в цифровой форме. Фазометр производит измерение среднего значения относительной величины временного сдвига между входными сигналами за время $t_{\text{ц}}$.

Общее число квантующих импульсов, выданное генератором за время $t_{\text{ц}}$:

$$N_{\text{общ}} = t_{\text{ц}} f_{\text{квант}}. \quad (1)$$

Длительность временного сдвига между сигналами ст1 и ст2

$$\tau \cong \frac{\Phi}{360^\circ f_{\text{огиб}}}. \quad (2)$$

Количество импульсов, зафиксированное счетчиком за один период огибающей полезного сигнала:

$$N_{\tau} = f_{\text{квант}} \tau = \frac{\Phi f_{\text{квант}}}{360^\circ f_{\text{огиб}}}. \quad (3)$$

Количество периодов («пачек») выходного сигнала за время измерения $t_{\text{ц}}$:

$$n \cong f_{\text{огиб}} \tau_{\text{ц}}. \quad (4)$$

Общее количество квантующих импульсов, зарегистрированных счетчиком за время измерения:

$$N_{\text{изм}} = n N_{\tau} = \frac{\Phi f_{\text{квант}} \tau_{\text{ц}}}{360^\circ}. \quad (5)$$

Усреднение измеренных временных интервалов за достаточно большое число периодов сигнала $S_{\text{огиб}}$ позволяет существенно снизить погрешности измерения, обусловленные наличием помех и нестабильностью параметров отдельных каскадов.

В общем случае в фазометре могут возникнуть две погрешности:

- 1) высокочастотная погрешность дискретного преобразования, обусловленная возможностью потери одного квантующего импульса;
- 2) низкочастотная погрешность дискретного преобразования, обусловленная возможностью потери в течение времени измерения $t_{\text{ц}}$ «пачки» или доли «пачки» квантующих импульсов.

Высокочастотная погрешность возникает при преобразовании одного интервала времени в количество квантующих импульсов. Так как реальные сигналы, фазовый сдвиг между которыми должен быть измерен, сопровождаются помехами, то длительность преобразуемого интервала может изменяться и результат измерений может отличаться от истинного. Погрешность измерения зависит от соотношения между периодом следования счетных импульсов и длительностью преобразуемого интервала. Максимальная погрешность дискретности составляет ± 1 младшего разряда счета за один период $T_{\text{огиб}}$. При усреднении высокочастотная погрешность составляет при грубом отсчете

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{360^\circ}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{f_{\text{огиб}}}{t_{\text{ц}} f_{\text{квант}}^2}} = \frac{360^\circ}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{T_{\text{квант}}^2}{t_{\text{ц}} T_{\text{огиб}}}} \approx 0,015^\circ,$$

где $T_{\text{квант}}$ — период для высокочастотного заполнения.

Низкочастотная погрешность возникает при преобразовании последовательности временных интервалов в количество квантующих импульсов и составляет

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{90^\circ}{\sqrt{3} t_{\text{ц}} f_{\text{огиб}}} = \frac{90^\circ \cdot T_{\text{огиб}}}{\sqrt{3} t_{\text{ц}}} \approx 0,52^\circ.$$

Среднеквадратичная погрешность дискретного преобразования [3]

$$\sigma_{\text{гр}} = \sqrt{\sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{н}}^2} \approx 0,5202^\circ,$$

т.е. в основном определяется низкочастотной погрешностью.

При точном отсчете для уменьшения низкочастотной погрешности $t_{\text{ц}}$ выбирается равным 10 мс, тогда

$$\sigma_{\text{точ}} \approx 0,05^\circ.$$

Для повышения точности измерений необходимо также, чтобы запуск генератора меток относительно старт-импульса осуществлялся с постоянным опережением квантующего импульса на время, равное $T_{\text{квант}}/2$, т.е. надо произвести синхронизацию момента запуска со сдвигом на полпериода либо ввести автоматическую подстройку частоты

квантующих импульсов, обеспечивающую кратность времени измерения периоду $T_{\text{огиб}}$. Выходные сигналы счетчиков в цифровой форме, однозначно определяющие фазовый сдвиг приходящих от разных станций сигналов, поступают для дальнейшей обработки на специализированное вычислительное устройство, необходимое для автоматического дистанционного управления ЗТМ. Это устройство сравнивает текущие значения координат X и Y с заранее определенными и находящимися в памяти параметрами [4] и в случае их расхождения формирует команды управления, необходимые для адекватного изменения местоположения ЗТМ.

Предлагаемое устройство цифровой обработки выходных сигналов координатомерной системы для дистанционного управления ЗТМ, реализованное с применением элементов дискретной микроэлектроники, обладает высокой стабильностью, большим динамическим диапазоном, высоким быстродействием и возможностью гибкой оперативной перестройки параметров системы при необходимости изменения технологии проведения работ ЗТМ.

Выполненные исследования имеют практическое значение и могут быть полезны при разработке систем дистанционного управления ЗТМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдеев, Ю.В. К вопросу исследования радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 10. — С. 86–92.
2. Авдеев, Ю.В. Техническая реализация системы определения координат для автоматического управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов и др. // Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы инновационного биосферно-сочетанного социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах». — Брянск, 2010. — Т. 1. — С. 285–290.
3. Кассандрова, О.Н. Обработка результатов наблюдений [Текст] / О.Н. Кассандрова, В.В. Лебедев. — М. : Наука, 1970. — 104 с.
4. Кононов, А.Д. Алгоритм формирования сигналов управления в системах следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / А.Д. Кононов, Ю.В. Авдеев, А.А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 1. — С. 81–86.

АВДЕЕВ Юрий Валентинович, канд. техн. наук, доц.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
КОНОНОВ Александр Давыдович, канд. физ.-мат. наук, доц.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
КОНОНОВ Андрей Александрович, д-р техн. наук; E-mail: kniga_16@mail.ru
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
ВАРДАНЯН Наря Артшесовна, асп.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 30.08.11

Avdeev Yu.V., candidate of technical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kononov A.D., candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kononov A.A., doctor of technical sciences; E-mail: kniga16@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Vardanyan N.A., post-graduate student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE DEVICE OF NUMERAL HANDLING OF OUTPUT SIGNALS OF DEFINING COORDINATE OF SYSTEM FOR FULL REMOTE CONTROL OF MOTORGRADERS, SCRAPERS AND BULLDOZERS

The version of engineering embodying of the phase meter for numeral signal processing permitting to determine coordinates motorgraders, scrapers and bulldozers is offered at full remote control.

Key words: motorgraders, scrapers and bulldozers, tracking full remote control, phase meter.

REFERENCES

1. Avdeev, Yu.V. To a problem of examination of a wave duct of a remote control system by the motorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov et al. // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 10. — P. 86–92.
 2. Avdeev, Yu.V. Engineering embodying of system of a coordinates setting for automatic control of motorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov et al. // Collection of Materials of Intern. Scientific-practical Conf. «Problems the Off-the-shelf Biosphere-compatible of a Socio Economic Development in Building, Housing-municipal and Road Complexes». — Bryansk, 2010. — Vol. 1. — P. 285–290.
 3. Kassandrova, O.N. Handling of Results of Observations [Text] / O.N. Kassandrova, V.V. Lebedev. — M. : Science, 1970. — 104 p.
 4. Kononov, A.D. Algorithm of shaping of a management signals in systems of tracking full remote control by the motorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / A.D. Kononov, Yu.V. Avdeev, A.A. Kononov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 1. — P. 81–86.
-

УДК 621.436.004.62

В.Б. ЛОМУХИН, А.Б. ВИНОГРАДОВ, В.В. СУРГИН, И.В. ЛАПТЕВА

**РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА
РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТАВА
ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
НА ПРИМЕРЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА**

Описаны трудности эксплуатации строительной техники. Приведена формула, с помощью которой можно рассчитать необходимое количество ремонтно-восстановительного состава для любого двигателя внутреннего сгорания без применения диагностических действий.

Ключевые слова: износ, ремонтно-восстановительный состав, двигатель внутреннего сгорания.

Цель исследования — разработка технологии, позволяющей в режиме штатной эксплуатации техники восстанавливать детали вращения, а также повышение надежности и продление их ресурса без разбора механизма.

Современные темпы роста экономики и развития промышленного производства ведут к интенсификации использования техники и ужесточают требования к повышению ее надежности и долговечности с минимизацией затрат на эксплуатационные расходы. Практика показывает, что ресурс силовых агрегатов дорожных и строительных машин зачастую значительно меньше номинального ресурса, установленного заводом-изготовителем.

Многочисленные исследования показали, что ресурс автотракторных двигателей зависит от ресурса кривошипно-шатунного механизма и цилиндкопоршневой группы, а подшипники скольжения коленчатых валов обладают наиболее низкой надежностью [1].

Для увеличения надежности, долговечности и снижения объема ремонтной базы строительных предприятий были рассмотрены различные способы сокращения затрат на техническое обслуживание и ремонт с помощью применения ремонтно-восстановительных составов (РВС), подтвердившие возможность восстановления деталей вращения в режиме штатной эксплуатации [2, 3].

В современных экономических условиях, когда основная часть парка строительной техники находится в невыгодных лизинговых условиях банка или выработала номинальный срок службы, проблема ремонта и повышения надежности изношенной техники становится все более актуальной.

На данный момент на российском рынке находится множество различных РВС для увеличения межремонтного пробега ДВС. Исследования о возможности их применения проводят Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, А.В. Дунаев, А.Ю. Шибанов, В.Б. Ломухин и др. Однако они не получили широкого применения как у предприятий, активно эксплуатирующих автомобильную технику, так и у частных владельцев автомобилей. Этот

факт связан с неопределенностью возможности начала и объема их применения.

В работе В.Б. Ломухина показано, что масса изношенного слоя деталей должна равняться массе привнесенного слоя РВС, а возможность начала применения РВС определяется по как минимум двум спектральным анализам картерного масла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [4]. Но на практике возможность проведения спектрального анализа зачастую отсутствует.

Принимая, что масса изношенного слоя равняется массе привнесенного слоя РВС, получим уравнение баланса

$$G_{\text{из. кп}} = G_{\text{РВС}} + (G_{\text{РВС}} \cdot \gamma), \quad (1)$$

где $G_{\text{из. кп}}$ — масса изношенного слоя деталей вращения до капитального ремонта, г;

$G_{\text{РВС}}$ — масса вносимого РВС, г;

γ — коэффициент, учитывающий потери РВС в маслофильтре и осаждение на дне картера, г.

Учитывая такие различия ДВС, как, например, металлы, из которых изготовлены детали, размерные характеристики, наработки до капитального ремонта и опустив промежуточные преобразования, получим формулу, позволяющую определить массу вносимого РВС для любого ДВС:

$$G_{\text{РВС}} = \left[\frac{\left(\left(\frac{\pi D_{\text{в.р.} i}^2}{4} B_{\text{в}} \right) - \left(\frac{\pi D_{\text{в.н.}}^2}{4} B_{\text{в}} \right) \right) \rho_{\text{в}} + \left(\left(\frac{\pi D_{\text{к.н.}}^2}{4} B_{\text{в}} \right) - \left(\frac{\pi D_{\text{к.р.} i}^2}{4} B_{\text{в}} \right) \right) \rho_{\text{к}}}{t_{\text{из}}} \right] t_{\text{из.м}} (1 + \gamma), \quad (2)$$

где $D_{\text{в.р.} i}$ — диаметр вкладыша i -го ремонтного размера, мм;

$D_{\text{в.н.}}$ — номинальный диаметр используемого вкладыша, мм;

$B_{\text{в}}$ — ширина вкладыша, мм;

$D_{\text{к.н.}}$ — номинальный диаметр используемого коленчатого вала, мм;

$D_{\text{к.р.} i}$ — диаметр коленчатого вала i -го ремонтного размера, мм;

$\rho_{\text{в}}$ — плотность материала вкладыша, г/мм²;

$\rho_{\text{к}}$ — плотность материала коленчатого вала, г/мм²;

$t_{\text{из}}$ — продолжительность работы ДВС до капитального ремонта, км или ч;

$t_{\text{из.м}}$ — продолжительность работы ДВС на момент расчета, км или ч.

Предложенная формула (2) позволяет определить количество РВС, вводимого в ДВС без применения спектрального анализа, что позволит упростить технологию применения РВС в строительной технике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисов, А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей [Текст] / А.С. Денисов. — Саратов : СГТУ, 1999. — 450 с.
2. Гаркунов, Д.Н. Триботехника : краткий курс [Текст] / Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 344 с.
3. Ломухин, В.Б. Основы современной эксплуатации двигателей [Текст] / В.Б. Ломухин. — Новосибирск : Наука, 2004. — 188 с.

4. Ломухин, В.Б. Теоретические основы применения ремонтно-восстановительных составов для двигателей [Текст] / В.Б. Ломухин // Сиб. вест. с/х наук. — 2008. — № 11. — С. 45–48.

ЛОМУХИН Владимир Борисович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: dll91@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ВИНОГРАДОВ Алексей Борисович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: same@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

СУРГИН Вячеслав Владимирович, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ЛАПТЕВА Ирина Владимировна, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 27.09.11

Lomuhin V.B., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: dll91@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Vinogradov A.B., doctor of technical sciences, professor; E-mail: same@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Surgin V.V., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Lapteva I.V., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CALCULATION OF QUANTITY OF REPAIR-REGENERATIVE STRUCTURE FOR ENGINES OF BUILDING TECHNICS ON THE EXAMPLE OF THE CRANKED SHAFT

In article difficulties of operation of building technics are described. The formula with the help to which can calculate necessary quantity of repair-regenerative structure for any internal combustion engine without application of diagnostic actions is resulted.

Key words: deterioration, repair-regenerative structure, an internal combustion engine.

REFERENCES

1. Denisov, A.S. Bases of formation of an ekspluatatsionno-repair cycle of cars [Text] / A.S. Denisov. — Saratov : SGTU, 1999. — 450 p.
2. Garkunov, D.N. Tribotechnika : the short course [Text] / D.N. Garkunov, E.L. Melnikov, V.S. Gavrilyuk. — M. : Publ. house of MGTU of a name N.E. Bauman, 2008. — 344 p.
3. Lomuhin, V.B. Bases of modern operation of engines [Text] / V.B. Lomuhin. — Novosibirsk : Science, 2004. — 188 p.
4. Lomuhin, V.B. Theoretical bases of application of repair-regenerative structures for engines [Text] / V.B. Lomuhin // Sib. bulletin of agricultural sciences. — 2008. — N 11. — P. 45–48.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 726.54 (571.53)

А.В. КОРЗУН

РЕГИОНАЛЬНОЕ СВОЕОБРАЗИЕ КУЛЬТОВОГО ЗОДЧЕСТВА ИРКУТСКА XVIII века

Региональное своеобразие культовой архитектуры Иркутска XVIII века родилось из совокупности двух уровней местной интерпретации барокко. «Профессиональная» интерпретация предполагала сложные формы освоения местной культуры в русле барочного направления в условном канонизированном виде, закрепив в объемно-планировочном решении иркутских храмов ряд повторяющихся тем. «Фольклорная» интерпретация, являясь преемницей народной культуры, в большей степени уделяла внимание декоративному убранству церквей, где причудливо переплелись элементы «русского узорочья», бурятского орнамента и пышная декоративность Востока.

Ключевые слова: культовое зодчество, «сибирское барокко», сплав культур, «профессиональная» и «фольклорная» интерпретации барокко.

Обращаясь к архитектуре барокко, можно заметить, что монолитным этот стиль не был. Являясь первой всеобщей в европейском масштабе эстетической системой, первым «интернациональным» стилем, объединившим славянскую культуру с культурой других народов, барокко тем не менее легко принимало национальные оттенки. Зародившись в Москве и Петербурге, оно получило широкое распространение по всей России, создав местные варианты в провинции, где при ближайшем рассмотрении оно также оказывается составным целым, предполагающим возможность дальнейшего членения по регионам и, возможно, городам. Вместе с тем в пределах таких локальных образований формальные системы барокко имели достаточно много общего, чтобы составить определенное художественное единство. Таким художественным своеобразным единством предстает и «сибирское барокко». Формированию местного стилевого диалекта барокко в определенной степени способствовала допускаемая им значительная эстетическая свобода, облегчающая усвоение и ассимиляцию достижений культуры одного народа другими. Характерным примером является культовое зодчество Иркутска, которое определяется стилистическим своеобразием архитектуры отдельных временных периодов. XVIII век занимает особое место в истории архитектуры Сибири и Иркутска в частности. Именно в этот период в монументальном зодчестве сибирских городов формируются устойчивые стилевые признаки, связанные с региональным направлением, получившим название «сибирское барокко». Просуществовав не более полувека (20–70-е годы XVIII века), оно вызывает особый интерес тем, что, в отличие от предшествующих и последующих официальных стилей, получило достаточно яркие локальные художественные характеристики. Город сохранил первоклассные об-

разцы этого направления, участвующие в формировании его современного облика. Состав населения Сибири, и Иркутска в частности, был чрезвычайно неоднороден как по национальной принадлежности, так и по роду занятий. Естественно, что разные социальные группы тяготели к определенным моделям жизнеустройства, опирались на национальные и словесные традиции. При контакте с той или иной художественной формой у них рождались характерные ассоциации, своим было и восприятие языка барокко. В этой ситуации известное архитектурное течение оказалось системой, обладающей высокими коммуникативными свойствами, своего рода архитектурой «включения».

Раздвоение личности между началами земным и небесным, духовным и плотским стало главной антиномией барочного искусства. Отсюда направленность этого архитектурного стиля на многообразные способы выражения правды жизни, которая происходила сразу на двух уровнях («высокого» и «низового» барокко), осуществляя связь с разными слоями городской культуры. Особенности мировосприятия этнических и социальных слоев населения свелись в архитектурной практике Иркутска к «профессиональной» и «фольклорной» интерпретации языка барокко, каждая из которых была достаточно сложна и многогранна. Но оба уровня интерпретации по-своему выражали специфику культурной жизни города.

«Профессиональная» интерпретация — линия «высокого» барокко — предполагала сложные, ученые формы освоения художественной местной культуры в русле барочного направления в достаточно условном, канонизированном виде, доступном для посвященных. «Фольклорная» интерпретация, обращаясь к ранее неизведенным пластам жизни, являлась преемницей народной городской культуры, в основном ориентируясь на публику с традиционными эстетическими вкусами. Между «высоким» и «низовым» языками барокко существовали художественные своеобразные контакты, из их совокупности рождался местный стилевой диалект. Рассмотрим подробнее каждый вид и его особенности, выразившиеся в архитектуре культовых сооружений XVIII века.

Профессиональная трактовка барокко оказалась достаточно вольной. Законы принятого в центре официального стиля, «добравшись за тысячи верст до Иркутска и подышав местным воздухом, сплошь и рядом скользили со своих уставных колодок на грешную сибирскую землю — поэтому зданий, построенных в чисто том или ином стиле, здесь очень немного» [1]. Сооружения получали иную стилистическую окраску в значительной степени из-за удаленности от столичных центров. Новые художественные веяния проникали сюда с опозданием и приживались не сразу. Так, в облике культовых сооружений долго сосуществовали рядом барочные мотивы и свободные от жесткой канонизации формы допетровской архитектуры, благодаря которым сложилась профессиональная своеобразная местная интерпретация барокко.

Во многом по старинке строится первая каменная церковь города — Спасская (1706–1713 годы), задуманная по типу ранних посадских храмов, с простым объемом четверика, без колокольни, с нарядным, но сдержаным декоративным убранством. О преобладании строительных традиций древнерусского зодчества свидетельствуют простота и лаконичность объема, художественный контраст между чистой гладью стен и богатым узорочьем отделки окон и дверных проемов, а также небольшие окна (впоследствии растесанные). Однако уже видны и черты надвигающегося нового архитектурного стиля, «дух барокко» присутствует в намеренном отступлении от геометрической правильности, в усложненной игре светотени и прихотливой моделировке деталей, в высоком техническом со-



Рис. 1. Спасская церковь. Обрамление окон южного фасада. г. Иркутск.
Фото А.К. Чертилова

вершенстве выкладки сложного узора обрамления оконных и дверных проемов; встречаются и отдельные барочные мотивы — «разорванные» фронтоны над окнами (рис. 1). Декор Спасской церкви набирает силу от яруса к ярусу. При этом для каждого яруса найден свой неповторимый орнамент, варьирующий одну и ту же художественную тему полуколонок, перехваченных валиками. Это ощущение импровизационности развития темы, разночтение в мелочах напоминают ведущие принципы барокко — полифонию, единство в многообразии и др. При изысканной сложности и некоторой причудливости декора Спасская церковь все же производит впечатление строгости. Эта «лебединая песня древнерусского зодчества» (как назвал последние памятники допетровской эпохи И. Грабарь) воплотила на иркутской земле общенациональные черты своеобразия архитектуры XVII века. Региональные особенности барочного направления здесь еще слабо различимы.

Заложенный несколько позднее Богоявленский собор (1718 год), строительство которого растянулось до 1746 года, отмечен явным поворотом в сторону нового стиля. Усложняется композиция храма, появляются ярусность объема и обязательное декоративное пятиглавие. Вместе с четвериком и трапезной сразу строится колокольня. Архитектура в целом приобретает более живописный светский характер.

Влияние барокко сильнее всего сказалось в декоре памятника, убранство которого удивительно пышно и своеобразно. В наличниках нижнего яруса всех объемов храма появляется полный ордер с колонками и сандриками. Целые пучки колонн оформляют углы здания, соединения объемов, их развитые капители вписываются в венчающий стены многократно расчененный карниз. Соответственно принципам раннего периода русского барокко, перекликаясь с приемами «московского барокко», ордер на фасадах Богоявленского собора имеет сугубо декоративное значение, превращаясь в элемент ритмического членения и украшения. Более дробной становится орнаментация здания, появляется мелкая, рассыпанная по всем деталям порезка. Стены нижней части постройки закрывают-

ся сплошным орнаментальным поясом. Зрелые формы барокко пронизывают убранство памятника.

Но при этом композиция и образ сооружения находятся под сильным влиянием древнерусского зодчества, представляя причудливое сочетание старого и нового стилей. Элементом древности, свидетельствующим об известной преемственности от деревянных церквей Сибири, является шатровое завершение над колокольней собора. Отступая от нового канона, в духе русского «узорочья» выполнены и некоторые мотивы декоративного убранства (например, сложная фигурная кладка из кирпича одного из порталов и богатый керамический фриз). По мере того как барокко набирало свою силу в иркутских постройках, оно постепенно приобретало региональную окраску. В облике сооружений закреплялись определенные композиционные приемы и орнаментальные мотивы. Так, полуколонки, примененные в обрамлении наличников Спасской церкви, получили в декоре Богоявленского собора ордерное завершение с капителями и базами, а отдельные художественные мотивы, родившиеся при его возведении, перешли впоследствии на многие культовые постройки Иркутска этого периода (Чудотворскую, Тихвинскую, Троицкую, Знаменскую церкви) (рис. 2).



Рис. 2. Церковь Знамения Пресвятой Богородицы. Фрагмент южного фасада.
г. Иркутск. Фото И.Ю. Бержинского

Опыт местной интерпретации барокко в данных сооружениях выливается в 1747 году в фантастическую декоративность Крестовоздвиженской церкви — уникального памятника «сибирского барокко», где региональные особенности выражены с наибольшей силой (рис. 3). Черты барокко в композиции этого сооружения, построенного по традиционной для Иркутска планировочной и объемно-пространственной схеме, достигли своего кульминационного развития в разработке пластики стены, которой отдано предпочтение в образном строе памятника. Основным средством художественной выразительности является орнамент, который заполняет все поле стены от цоколя до карниза. При этом исчезает обычное представление о структуре кирпичной кладки — стена имитирует сплош-



Рис. 3. Крестовоздвиженская церковь. Фрагмент южного фасада. г. Иркутск.
Фото Г.В. Дмитриева

ной монолит, искусно обработанный резцом мастера. Скульптурное понимание пластики стены свойственно барокко в целом, когда материал, по образному выражению Г. Вёльфлина, «точно размяк и стал сочным». Но общие принципы стиля (живописность и динамичность композиции, стремление к творческой импровизации и др.) по-своему интерпретированы в Крестовоздвиженской церкви и убедительно доказывают мастерское владение художественным языком барокко в отдаленной сибирской провинции.

Не только проникновение форм древнерусского зодчества придало вольный характер профессиональным интерпретациям барокко в Иркутске, но и слияние множества культур — основополагающей русской, «ясачного» населения и народов, имеющих с городом тесные торговые и экономические связи. Это взаимопроникновение архитектурных традиций, каждая из которых имела свое видение высокого стиля, наложило значительный отпечаток на формирование местного варианта барокко.

Основополагающими для города стали принципы и формы русского зодчества в его московском и северорусском вариантах, так как первоначально большую часть населения составляли выходцы из центральных и северных областей России. Планировочное и объемно-пространственное решение иркутских храмов берется по типичной для отечественной архитектуры XVIII века схеме трехчастной планировочной структуры, когда вдоль одной оси восток–запад последовательно располагались храм с алтарной частью, трапезная и колокольня. Впоследствии, как правило, появлялись приделы и композиция получала асимметричное решение.

Однако в иркутском монументальном зодчестве этот тип церкви был интерпретирован в новом стилевом русле «протяженной динаминости». План был более вытянут по оси, система раскрытия пространств развивалась в одном продольном направлении, достигая максимальной целостности.

Казалось бы, в подражание «московскому барокко» решались и основные объемы храмов: большой восьмерик на четверике (тип «нарыш-

кинского» храма). Но и здесь внесены местные корректизы: на смену московской одноэтажной интерпретации четверика пришли два-три яруса вертикально устремленных объемов, что придавало особую стройность и вертикальность композиции. По отношению к столичным прототипам четверик в иркутских культовых постройках «имел значительно большие объемы, более массивную пластику и орнаментальность» [2] (рис. 4). При этом композиционный прием «восьмерик на четверике» применялся не только в объеме храма, но и звонницы, что в целом позволяло создать единое образное решение (например, в Троицкой церкви).



Рис. 4. Крестовоздвиженская церковь. Вид с юго-востока. г. Иркутск.
Фото И.Ю. Бержинского

Родственной русской культуре была культура другого славянского народа — украинского, оказавшая в период XVII века сильное воздействие на форму профессиональных интерпретаций барокко в городе. Ее влияние проявилось в общей композиции построек и их декоративном убранстве. Так, венчающее пятиглавие Богоявленского собора решено по «украинскому» типу. Украинизированные черты прослеживаются в сложной конфигурации барочных завершений с двойным изгибом куполов Крестовоздвиженской церкви и т.п. Проникли в архитектуру и некоторые характерные для украинского барокко элементы декора: фигурные трехлепестковые рельефные фронточки, венчающие верх наличников Троицкой церкви, «вдавленные» кресты в декоре Крестовоздвиженской церкви.

Профессиональная интерпретация барокко в Иркутске в основном коснулась объемно-планировочного решения сооружений и некоторых деталей, выдвинув ряд наиболее часто повторяющихся композиционных тем. По-новому были осмыслены и некоторые художественные приемы, например более глубокая, почти скульптурная проработка пластики стены при обработке фасадов. Этот прием умело подчеркивал климатические особенности города — яркость и большую продолжительность солнечного сияния в году. При этом белая окраска стен при обилии солнца и

прозрачности воздуха позволяла получить «потрясающий эффект простой игрой белого с черным, белого поля стены и темного узора теней» [3]. Климатические особенности города учитывал и характерный для сибирского барокко принцип наибольшего декорирования южных фасадов, где светотеневые контрасты были наиболее сильны. Так, например, декор северного фасада Спасской церкви значительно скромнее, там меньше размер оконных проемов и их число.

К профессиональной интерпретации «высокого стиля» примешивается другая линия — фольклорная. Она-то и вносит в пластическое решение иркутских памятников ярко выраженные региональные черты, образуя в художественном общепринятом направлении свой, местный диалект, что особенно ярко проявилось также в орнаменте культовых построек. Фольклорная интерпретация барокко основывалась на сочетании декоративных элементов различных художественных культур. В ней сплелись воедино «русское узорочье», бурятский национальный орнамент и пышная декоративность Востока.

Своеобразие «русского узорочья» в иркутских храмах определялось, во-первых, мелкой пластикой — многочисленными богато проработанными малыми архитектурными формами, во-вторых, цветным орнаментом, преимущественно изразцовым и расписным, покрывающим стены некоторых храмов.

Мелкая пластика включала знакомые мотивы зодчества XVII века, которое И. Грабарь назвал «эпохой освященного пятиглавия и узорочья». Так, сложная фигурная кладка одного из порталов Богоявленского собора была соткана «из множества точеных, граненых бусинок, бутылочек, дынек, наподобие жгутов, обвивающих проемы и двери храма и рождающих неистощимую игру светотени» [4]. Стена из таких узоров теряла свою материальность, статичность. Наиболее повторяющимися и характерными для города мотивами мелкой пластики являлись разорванные фронточки из кирпича, выложенного лесенкой; высокие, богато разработанные карнизы, отделяющие верх храмов от массивных оснований, разнообразные полукруги, круги, треугольники, треугольные бегунки.

Неповторимые черты вносили в фольклорную интерпретацию барокко многоцветные поливные изразцы, выполненные в самом Иркутске с введением местных сюжетов и символов, многие из которых были навеяны полузабытыми языческими преданиями. Бесконечно варьировались мотивы растительного орнамента: вазы с буйным полыханием неземных цветов, разного рода травы, растения. По славянским преданиям, цветы — символ добродетели и песнопений, виноградная лоза — один из распространенных символов рая. В пластическую ткань «русского узорочья» вплетались элементы бурятского орнамента. Семантика барочных форм в Сибири была сознательно ориентирована на вкусы коренного населения края и связана с задачей насаждения православия среди инородцев по возможности в понятных им формах. Борьбе с буддизмом и ламаизмом отвечала пышная декоративность барокко, способность ассимилировать различные художественные направления, в том числе и местные.

К распространенным бурятским мотивам восходит рисунок замковых камней, замурованных в небольшие углубления над окнами восьмерика Богоявленского собора. Отдаленно напоминают декоративные композиции дацанов карнизные тяги в соборе Знаменского монастыря, Тихвинской и Чудотворской церквях. Для бурят характерен преимущественно геометрический орнамент. Его элементы — вдавленные рельефы из сочетания простых фигур: квадратов, кругов, косо поставленных ромбов — ярко представляют в постройках этническое своеобразие края и, пере-

плетаясь с русским «узорочьем», становится своего рода эмблемой «сибирского барокко».

Культура бурятского населения близка по своему мировосприятию монгольской и в определенной степени послужила промежуточным звеном в контактах Иркутска с Монголией и Китаем, с которыми Россия в начале XVIII века имела торговые связи. Местное направление барокко оказалось одной из самых восточных ветвей в стране. Декоративная пышность Востока в равной степени импонировала и коренным жителям, и богатому иркутскому купечеству.

Влияние восточной культуры на фольклорную интерпретацию барокко в постройках этого периода сказалось в повышенной декоративности и красочной напряженности, появившихся в орнаментальной проработке стен, напоминавших восточный ковер и терявших всякую тектоничность. Задимствованными оказались и отдельные архитектурные детали.

Однако в скульптурной пластике храмов Востока преобладали зооморфный и антропоморфный рисунки. В Иркутске применялся лишь геометрический орнамент. Местной переработке подвергались и другие восточные мотивы. Даже в обработке каменных стен некоторые детали монгольской и китайской архитектуры принимают знакомые формы кокошников. Едва ли не лучшим образцом такой монголизированной орнаментации является стена иркутской Крестовоздвиженской церкви, особенно южная ее часть. Скульптурная проработка стен этого храма одновременно дает представление о народной фантазии и удивительном такте фольклорной интерпретации большого стиля, не исключавшей, однако, некоторых черт наивно реалистического отражения действительности, свойственных уровню «низового» барокко.

Народная трактовка большого стиля переплавила здесь в образный язык местного диалекта многое из того, что существовало ранее в христианской, буддийской и ламаистской символиках. Элементы орнамента несли определенную семантическую нагрузку, обозначая наиболее общие для данных культур символические понятия, неизобразимые никакими другими средствами. Здесь наглядно проявилось свойство низового барокко — возможность выразить свое миропонимание малообразованным слоям городского населения, для которых, однако, был открыт язык искусства.

Таким образом, в фольклорном толковании барокко в Иркутске свободно использовались формы народного декоративно-прикладного искусства, переплавляемые с формами искусства профессионального. Оно наиболее ярко проявилось в декоративном убранстве сооружений, в частности в орнаменте. При этом «низовое» барокко нередко оказывалось близким наивно реалистическому способу воспроизведения действительности, было наполнено метафорами и символикой.

В целом «сибирское барокко» — яркое художественное явление архитектуры XVIII века, оно предстает как феномен, отразивший специфику культуры Сибири вообще и особенности жизни Иркутска в частности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распутин, В.Г. Иркутск с нами [Текст] / В.Г. Распутин // Памятники отечества. — 1980. — № 1.
2. Прокурякова, Т.С. Особенности сибирского барокко [Текст] / Т.С. Прокурякова // Архитектурное наследство. — 1979. — № 27.
3. Болдырев-Казарин, Д.А. Народное искусство Сибири [Текст] / Д.А. Болдырев-Казарин. — Иркутск, 1924.

4. Полунина, Н.М. У истоков каменного града [Текст] / Н.М. Полунина. — Иркутск, 1979.

*КОРЗУН Алла Вадимовна, канд. арх., доц.; E-mail: korzunall@yandex.ru раб. c08@istu.edu
Научно-исследовательский Иркутский государственный технический университет*

Получено 04.10.11

Korzun Alla Vadimovna, candidate of architecture, assistant professor; E-mail: korzunall@yandex.ru work c08@istu.edu, Head of the Department of History of Architecture and Fundamentals of Design at National Research Irkutsk State Technical University, Russia

REGIONAL IDENTITY OF THE IRKUTSK RELIGIOUS ARCHITECTURE OF THE 18th CENTURY

Taken together, these two levels of baroque interpretation gave rise to the regional identity of the Irkutsk religious architecture of the 18th century. The «professional» interpretation implied complicated modes of assimilation of the local culture within the framework of baroque trend in a conditional canonized form. It settled a number of recurring themes in the space and layout design of the temples. Being the folk art's successor, the «folk» interpretation mostly focused on decoration of the churches with a fanciful interweaving of the elements of the Russian «uzorochie», the buryat ornament and the Oriental luxurious decoration.

Key words: religious architecture, siberian baroque, fusion of cultures, «professional» and «folk» interpretations of Baroque.

REFERENCES

1. Rasputin, V.G. Irkutsk with Us [Text] / V.G. Rasputin // Pamiatniki otechestva. — 1980.— N 1.
 2. Proskuryakova, T.S. Peculiarities of siberian baroque [Text] / T.S. Proskuryakova // Architectural Heritage. — 1979. — N 27.
 3. Boldyrev-Kazarin, D.A. Folk Art of Siberia [Text] / D.A. Boldyrev-Kazarin. — Irkutsk, 1924.
 4. Polunina, N.M. At the Wellsprings of the Stone Town [Text] / N.M. Polunina. — Irkutsk, 1979.
-

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 532.54.001.5

В.В. ДЕГТЯРЕВ-мл., А.В. ЧЕБОТНИКОВ

ПОЛЕ СКОРОСТИ ПРИ ОБТЕКАНИИ ЦИЛИНДРА, РАСПОЛОЖЕННОГО ВБЛИЗИ ДНА ПОТОКА СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ*

Приведены некоторые результаты экспериментального исследования поля скорости PIV-методом в окрестности поперечно-обтекаемого круглого цилиндра, расположенного вблизи твердого дна потока со свободной поверхностью. Показано, что цилиндр существенно изменяет поле скорости по сравнению с полем скорости в отсутствие цилиндра. В частности, при наличии цилиндра появляется значительная вертикальная компонента скорости и увеличиваются касательные напряжения на дне.

Ключевые слова: поток со свободной поверхностью, круглый цилиндр, поле скорости, эксперимент, PIV-метод.

Задаче обтекания цилиндра посвящено очень большое число научных исследований. Отметим здесь классическую работу [1], в которой исследовалась вихревая дорожка, и монографию [2], в которой приведены результаты экспериментальных исследований турбулентного следа при больших числах Рейнольдса. Долгое время экспериментальная техника не позволяла получить надежную количественную информацию на небольшом расстоянии от цилиндра. Такая возможность появилась с развитием PIV-метода измерения скорости (particle image velocimetry). Одно из первых исследований течения в окрестности цилиндра этим методом выполнено в работе [3], где основное внимание уделено влиянию свободной поверхности. В последнее время появилась также возможность численных расчетов сложных течений. Такие расчеты ближнего следа за цилиндром, обтекаемым потоком со свободной поверхностью, выполнены, например, в [4].

В настоящей работе приводятся некоторые результаты опытов с обтеканием цилиндра, расположенного вблизи твердого дна, стационарным докритическим потоком со свободной поверхностью. Одно из приложений этой задачи — анализ влияния крупного трубопровода, проложенного по дну реки, на локальный режим транспорта наносов в окрестности трубопровода. Для такого анализа необходимо использовать математические модели, центральное место в которых занимает описание поля скоростей. Цель данной работы — получить экспериментальную информацию для тестирования соответствующего фрагмента математических моделей в наиболее простых условиях.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Перпендикулярно боковым стенкам прямоугольного канала шириной $B = 0,2$ м с горизонтальным

* Работа выполнена в рамках Программы Президиума РАН № 21.10, Интеграционного проекта СО РАН № 23 и задания Министерства образования и науки РФ.

дном располагался цилиндр диаметром $D = 0,028$ м на различных расстояниях z_0 от его оси до дна. Принята неподвижная прямоугольная система координат. Цилиндр обтекался стационарным докритическим потоком. В опытах изменялись объемный расход Q и расстояние z_0 . С помощью регулятора уровня свободной поверхности, расположенного на выходе из канала, глубина набегающего потока H поддерживалась постоянной и равной 0,12 м. По расходу и глубине определялась среднерасходная скорость $U = Q / BH$. Расход измерялся с помощью расходомера Вентури со среднеквадратичной погрешностью не более 2 %. Глубина H определялась с помощью мерных игл со среднеквадратичной погрешностью не более 1 %. С помощью PIV-метода в продольной плоскости симметрии канала измерялись мгновенные значения продольной u и вертикальной w компонент скорости как функций x, z, t (t — время) и заданных параметров Π_i .

При использовании PIV-метода в поток вносятся частицы-трассеры, отслеживающие движение жидкости внутри потока. В настоящих опытах в качестве таких частиц использовалась обезжиренная алюминиевая пудра. С помощью светового «ножа», генерируемого импульсным лазером со специальной оптической системой, частицы-трассеры подсвечиваются в плоскости, где производится измерение скоростей. Измерялись скорости в продольной плоскости симметрии канала.

Синхронно с импульсами лазера осуществлялась съемка подсвеченных частиц специальной цифровой видеокамерой, позволяющей снимать пару кадров с заданным временным интервалом (от единиц микросекунд до 50 миллисекунд). Длительность временного интервала выбиралась в зависимости от величины измеряемых скоростей и размеров поля съемки. Видеокамера и лазер управлялись контроллером, соединенным с компьютером, оснащенным специализированным программным обеспечением, которое позволяет производить обработку полученных изображений.

При обработке пары изображений каждое изображение разбивалось на области заданных размеров и вычислялось положение светового центра в каждой области. От выбора размера области зависит число точек, в которых измеряют скорости. Далее вычислялись смещения световых центров областей на втором кадре относительно световых центров соответствующих областей на первом кадре. По вычисленным смещениям, заданным значениям интервала времени и масштабу изображений вычислялись две компоненты скорости в плоскости светового «ножа».

В размерном виде элементами множества заданных параметров Π_i являются B, H, D, z_0, U , кинематический коэффициент вязкости жидкости ν и ускорение свободного падения g . В опытах использовалась очищенная водопроводная вода при температуре 18 °C. Если при переходе к безразмерным величинам использовать характерные масштабы H и U , то критериями геометрического и кинематического подобия рассматриваемой задачи будут следующие безразмерные параметры Π_i^0 :

$$B^0 = B/H, \quad D^0 = D/H, \quad z_0^0 = z_0/H, \quad Re = HU/\nu, \quad Fr = U^2/gH,$$

где Re и Fr — критерии подобия Рейнольдса и Фруда. Далее будет рассматриваться также динамическая величина — касательные напряжения

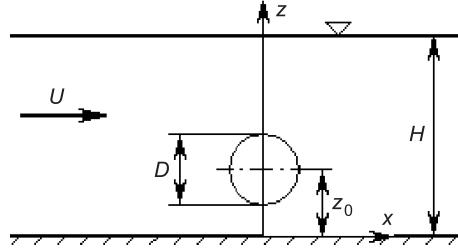


Рис. 1. Схема эксперимента

на дне канала. При представлении этой величины в безразмерном виде дополнительно использовали в качестве масштабной величины плотность жидкости ρ .

В опытах измерялись мгновенные значения продольной и вертикальной w компонент скорости. Осреднением по 20 реализациям определялись безразмерные средние значения продольной $u^0 = \langle u \rangle / U$ и вертикальной $w^0 = \langle w \rangle / U$ компонент скорости. Угловые скобки означают осреднение по множеству реализаций. Эти величины являются функциями $x^0 = x / H$, $z^0 = z / H$ и параметров Π_i^0 . По данным о продольной компоненте скорости вблизи дна определялись касательные напряжения на дне канала.

По определению касательные напряжения на дне канала в размерном τ_w и в безразмерном τ_w^0 виде определяются формулами

$$\tau_w = \mu \frac{du}{dz} \Big|_{z=0}, \quad \tau_w^0 = \frac{2\tau_w}{\rho U^2} = \frac{2}{\text{Re}} \frac{du^0}{dz^0} \Big|_{z^0=0},$$

где $\mu = \nu\rho$ — динамический коэффициент вязкости. С помощью PIV-метода не удается достаточно точно измерить скорость непосредственно вблизи стенки. В настоящих опытах наименьшее расстояние от стенки δ , на котором удалось измерить скорости со среднеквадратичной погрешностью не более 2 %, было в пределах 3...4 мм. В связи с этим для определения градиента скорости $(du/dz)|_{z=0}$ возникла необходимость экстраполяции измеренных профилей скорости на интервал $0 \leq z \leq \delta$. Чтобы осуществить такую экстраполяцию по полученным экспериментальным данным, необходимо задать только вид функции, описывающей профиль скорости вблизи стенки.

В случае течений в плоском пограничном слое, а также в круглой трубе и квадратном канале эмпирические формулы для профиля скорости, в том числе вблизи стенки, приведены, например, в [5]. Их вид зависит от критерия подобия Re [5]. В настоящих опытах этот критерий изменился в диапазоне $1,68 \cdot 10^4 \leq \text{Re} \leq 2,88 \cdot 10^4$. При таких значениях Re в пограничном слое выделяются ламинарный подслой, переходная область и область развитой турбулентности, причем суммарная толщина ламинарного подслоя и переходной области $\delta_1 = 4,5 \dots 10$ мм [5]. При указанном выше значении δ экспериментальные точки при $z = \delta$ попадали в переходную область между ламинарным подслоем и областью развитой турбулентности.

В переходной области скорость изменяется по координате z линейно [5]. С учетом сказанного при определении касательных напряжений на стенке осуществлялась линейная экстраполяция измеренных профилей скорости на интервал от $z = \delta$ до $z = 0$ и в качестве экспериментального значения касательных напряжений на стенке использовалась величина

$$\tau_{we}^0 = \frac{2}{\text{Re}} \cdot \frac{u^0}{\delta^0} \Big|_{z^0=\delta^0}.$$

Приведем некоторые результаты четырех серий опытов. В первой серии цилиндр отсутствовал, что соответствует полностью закопанному трубопроводу. Во второй серии цилиндр возвышался над дном на половину своего диаметра ($z_0 = 0$). В третьей серии цилиндр лежал на дне канала.

ла ($z_0 = 0,5 D$). В четвертой серии между дном канала и цилиндром имелся зазор, равный диаметру цилиндра ($z_0 = 1,5D$). В каждой серии задавались четыре значения среднерасходной скорости U : 0,14, 0,17, 0,21 и 0,24 м/с. Данные о поле скорости получены в диапазонах

$$-0,7 \leq x^0 \leq 0,5, \delta^0 \leq z^0 \leq 0,87.$$

На рис. 2 приведены профили продольной компоненты скорости $u^0(z^0)$ в поперечном сечении канала $x^0 = 0$ в отсутствие цилиндра и при указанных выше трех положениях его оси. Для этих профилей значения критериев Рейнольдса и Фруда равны $2,04 \cdot 10^4$ и 0,025 соответственно. Профиль скорости в отсутствие цилиндра имеет вид, характерный для турбулентного течения при указанном значении Re . При наличии цилиндра скорость на его поверхности равна нулю, а непосредственно за цилиндром образуется застойная зона, вне которой скорость существенно увеличивается.

С точки зрения транспорта наносов наибольший интерес представляет скорость вблизи дна. Данные, приведенные на рис. 2, показывают, что в случае расположения цилиндра с зазором, равным D (профиль 4 на рис. 2), скорость при значении $z^0 = \delta^0$ возросла в 1,7 раза по сравнению со случаем, когда цилиндра в потоке нет (профиль 1). В случае размываемого дна увеличение скорости вблизи дна приводит к более интенсивному выносу наносов. При расположении цилиндра на дне (профили 2 и 3) за цилиндром образуются статистически стационарный вихрь и застойная зона, в которой может происходить отложение наносов. При расположении цилиндра с зазором вихри за ним срываются то с одной, то с другой стороны. Наиболее четко такая картина отрыва вихрей, известная как вихревая дорожка Кармана, наблюдается в безграничном потоке [1, 5].

На некотором расстоянии за цилиндром формируется турбулентный гидродинамический след, осредненная скорость в котором меньше скорости набегающего потока. Уменьшение осредненной локальной скорости имеет место также перед цилиндром. Соответствующие иллюстрации для случая расположения цилиндра с зазором, равным D , приведены на рис. 3. Здесь выполнено сравнение профилей скорости при значении $x_1^0 = -0,23$ (перед цилиндром) и при значении $x_2^0 = 0,35$ (за цилиндром) с профилем скорости в отсутствие цилиндра. Так же, как в поперечном сечении $x^0 = 0$ (см. профиль 4 на рис. 2), скорости и их градиенты вблизи дна в указанных поперечных сечениях больше, чем в отсутствие цилиндра. На расстоянии от дна $z^0 = \delta^0$ скорость перед цилиндром возросла в 1,28 раза, а за цилиндром — в 1,74 раза.

Существенное влияние на процесс размыва оказывают касательные напряжения на дне канала. Результаты сравнения касательных напряже-

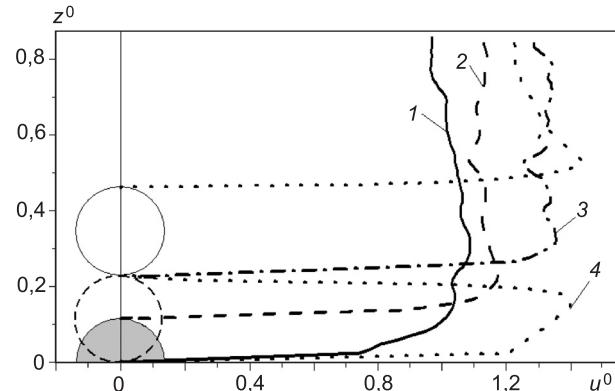


Рис. 2. Профили продольной компоненты скорости u^0
 $H = 0,12$ м, $U = 0,17$ м/с, $x^0 = 0$; 1 — цилиндр отсутствует,
 $2 — z_0 = 0, 3 — z_0 = 0,5D, 4 — z_0 = 1,5D$.

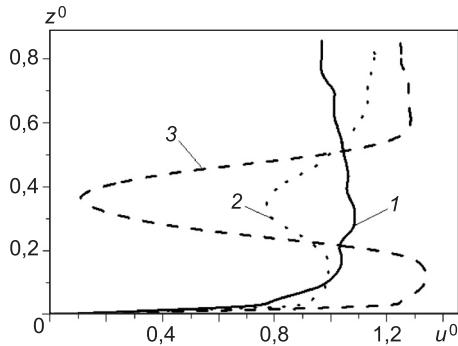


Рис. 3. Сравнение профилей продольной компоненты скорости u^0

$H = 0,12$ м, $U = 0,17$ м/с; 1 — в отсутствие цилиндра, $x^0 = 0$; 2 — $z_0 = 1,5D$, $x_1^0 = -0,23$; 3 — $z_0 = 1,5D$, $x_2^0 = 0,35$

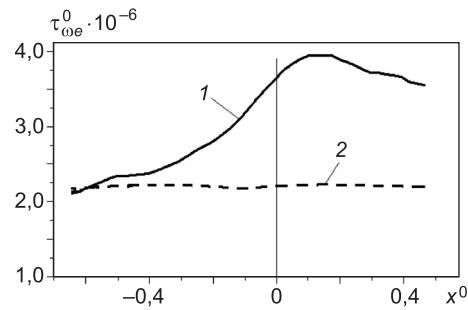


Рис. 4. Распределение касательных напряжений $\tau_{we}^0 \cdot 10^{-6}$ на дне канала

$H = 0,12$ м, $U = 0,17$ м/с; 1 — $z_0 = 1,5D$; 2 — цилиндр отсутствует

ний на дне канала τ_{we}^0 , вычисленных по приведенной выше формуле, для случаев, когда цилиндр отсутствует и когда под цилиндром имеется зазор, равный D , приведены на рис. 4. Наличие цилиндра приводит к увеличению τ_{we}^0 по сравнению со случаем равномерного потока. При указанных в подписи под рисунком значениях U , H и z_0 значение τ_{we}^0 превышает касательные напряжения в равномерном потоке в 1,8 раза. Наибольшее превышение имеет место немного ниже по потоку от цилиндра.

Гидродинамическое давление на дно и транспорт наносов существенно зависят от наличия в потоке вертикальной компоненты скорости. В отсутствие цилиндра вертикальная компонента осредненной скорости в равномерном потоке равна нулю. При наличии цилиндра эта компонента скорости отлична от нуля, причем она может быть как положительной (направленной вверх), так и отрицательной.

В качестве примера на рис. 5 приведены профили осредненной вертикальной компоненты скорости $w^0(z^0)$ на различных расстояниях x^0 в случае расположения цилиндра с зазором, равным D . Данные, приведенные на рис. 5, и результаты визуальных наблюдений показывают, что на подходе к цилиндуру происходит разделение потока на два слоя на расстоя-

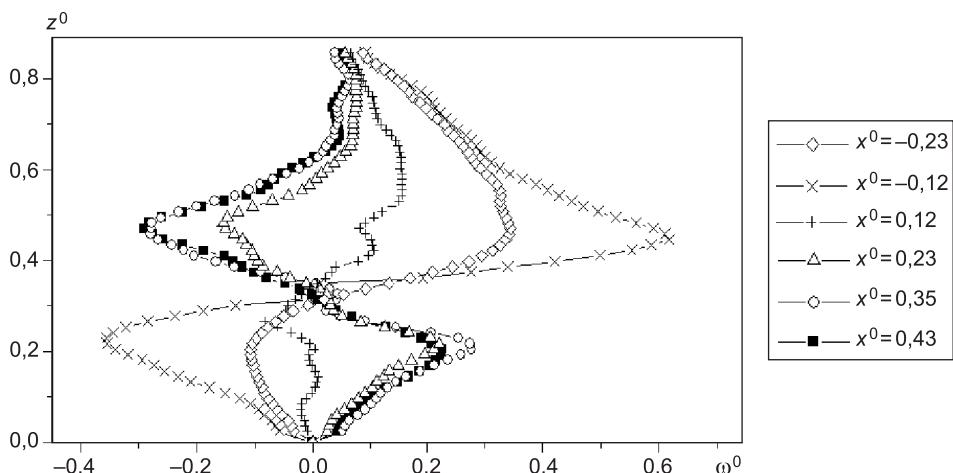


Рис. 5. Профили вертикальной компоненты скорости w^0
 $H = 0,12$ м, $U = 0,17$ м/с, $z_0 = 1,5D$

нии от дна, соответствующем оси цилиндра. Нижний слой устремляется в зазор, и скорость w^0 в нем становится отрицательной. Верхний слой отклоняется вверх, и скорость w^0 в нем становится положительной. За цилиндром происходит расширение слоев и скорости w^0 в каждом из них изменяют знак.

По абсолютной величине максимальные значения w^0 -компоненты меньше максимальных значений u^0 -компоненты. Сравнение данных, приведенных на рис. 2 и 5, показывает, что максимальные значения w^0 -компоненты скорости соизмеримы по абсолютной величине с максимальными значениями u^0 -компоненты. Следует отметить также, что вертикальная компонента скорости порождает волны на свободной поверхности, которые также влияют на процесс транспорта наносов. Экспериментальное исследование волнообразования при обтекании цилиндра потоком со свободной поверхностью выполнено, например, в работе [6].

Выводы. Наличие цилиндра существенно изменяет поле скорости в потоке со свободной поверхностью. В окрестности цилиндра увеличивается осредненная горизонтальная компонента скорости и появляется осредненная вертикальная компонента скорости, сравнимая с горизонтальной по абсолютной величине. Такие изменения следует учитывать, в частности, при анализе процесса деформации размываемого дна. С этой точки зрения наибольший интерес представляют результаты опытов, в которых между дном и цилиндром имелся зазор. При величине зазора, равной диаметру цилиндра, продольная компонента осредненной скорости вблизи дна может превысить ее значение в отсутствие цилиндра в 1,8 раза. Примерно во столько же раз увеличиваются касательные напряжения на дне. Абсолютная величина максимума вертикальной компоненты может достигать 60% от среднерасходной скорости. При этом вертикальная компонента осредненной скорости может быть как положительной, так и отрицательной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Karman, Th. v. Über den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt [Текст] / Th. v. Karman // Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse. — 1911. — S. 509–517.
2. Таунсенд, А.А. Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом [Текст] / А.А. Таунсенд. — М. : Изд-во иностр. лит., 1959. — 399 с.
3. Sheridan, J. Flow past a cylinder close to a free surface [Текст] / J. Sheridan, J.C. Lin, D. Rockwell // J. Fluid Mech. — 1997. — Vol. 330. — P. 1–30.
4. Reichl, P. Flow past a cylinder close to a free surface [Текст] / P. Reichl, K. Hourigan, M.C. Thompson // J. Fluid Mech. — 2005. — Vol. 533. — P. 269–296.
5. Дейли, Дж. Механика жидкости [Текст] / Дж. Дейли, Д. Харлеман. — М. : Энергия, 1971. — 480 с.
6. Букреев, В.И. Колебания цилиндра, индуцируемые потоком со свободной поверхностью [Текст] / В.И. Букреев, В.А. Костомаха // Изв. РАН. МЖГ. — 2003. — № 3. — С. 123–130.

ДЕГТАРЕВ-мл. Владимир Владимирович, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)
ЧЕБОТНИКОВ Алексей Владимирович, канд. техн. наук
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск

Degtyarev-youn. V.V., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Chebotnikov A.V., candidate of technical sciences, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of Siberian Branch of Russian Academy of Science, Novosibirsk

THE VELOCITY FIELD FOR FLOW PAST A CYLINDER LOCATED CLOSE TO THE BOTTOM STREAM WITH FREE SURFACE

Some results of experimental study by PIV-method of the velocity field in the vicinity of cross flow circular cylinder, located close the solid bottom of the flow with free surface are presented. It is shown that the cylinder is significantly alters the velocity field in comparison with velocity field in the absence of the cylinder. In particular, the presence of the cylinder causes a significant vertical velocity component and an increase shear stress on the bottom.

Key words: velocity field, cylinder, bottom, experiment.

REFERENCES

1. K a r m a n, Th. v. Über den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt [Text] / Th. v. Karman // Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse. — 1911. — S. 509–517.
2. T o w n s e n d, A.A. The Structure of Turbulent Shear Flow [Text] / A.A. Townsend. — Cambridge : Cambridge University Press, 1956. — 315 p.
3. S h e r i d a n, J. Flow past a cylinder close to a free surface [Text] / J. Sheridan, J.C. Lin, D. Rockwell // J. Fluid Mech. — 1997. — Vol. 330. — P. 1–30.
4. R e i c h l, P. Flow past a cylinder close to a free surface [Text] / P. Reichl, K. Hourigan, M.C. Thompson // J. Fluid Mech. — 2005. — Vol. 533. — P. 269–296.
5. D a i l i, J. Fluid Dynamics [Text] / J. Daili, D. Harleman. — Boston : Addison-Wesley Pabl. Co., 1966. — 454 p. (english version).
6. B u k r e e v, V.I. Oscillations of a cylinder induced by free surface flow [Text] / V.I. Bukreev, V.A. Kostomakha // Fluid Dinamics. — 2003. — Vol. 38. — N 3. — P. 458–464. (english version).

УДК 624.04

А.И. САПОЖНИКОВ, С.М. ГРИГОРШЕВ, Н.В. КУПЧИКОВА

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Исследовано влияние сдвиговых деформаций при расчете балок на упругом основании, загруженных сосредоточенными силами. Доказана необходимость учета сдвига в конструкциях, рассчитываемых посредством моделей упругого основания. Предложена методика расчета, позволяющая с высокой точностью оценивать напряженно-деформированное состояние балок на упругом основании.

Ключевые слова: упругое основание, балка, грунт, сдвиговые деформации, концентрация напряжений.

Проектирование оснований и фундаментов является важнейшим элементом обеспечения общей прочности и устойчивости зданий и сооружений. При этом наибольшее значение имеет выбор расчетной модели основания, от которого зависит надежность будущего фундамента проектируемого объекта.

Известно, что грунт по своей структуре является анизотропным материалом, в котором преобладают пластические деформации. Кроме того, в отличие от материалов, применяемых для конструкций, свойства грунта существенно зависят от местоположения объекта строительства, что делает разработку универсальной расчетной модели основания сложной задачей. Однако грунт, так же как и строительные материалы, при небольших деформациях работает практически как упругий материал, что значительно упрощает работу по поиску универсальной расчетной модели основания при условии обеспечения малости его деформаций. Именно на этом предположении основаны многие расчетные модели упругого основания, применяемые при проектировании фундаментов зданий и сооружений.

В данной статье изучаются вопросы формирования деформированного состояния одного из наиболее распространенных типов фундаментов — ленточного, для расчета которого применяются различные модели балок на упругом основании [1, 2]. Существующие методики расчета хотя и отличаются друг от друга, но все они основаны на учете только изгибных деформаций балок, сдвиговые же деформации¹ от поперечных сил в практике проектирования не учитываются, что, как будет показано далее, может привести к существенным неточностям в расчетах.

Также следует отметить, что упругое основание вносит существенные изменения в работу балок, загруженных поперечными сосредоточенными обобщенными силами [3]. Это касается и свай, воспринимающих горизонтальную сосредоточенную нагрузку [4]. Из этих работ следует, что расчетная длина таких балок (свай) определяется местом и характером приложения нагрузки, а также соотношением жесткостей балки (сваи) и основания. Поскольку смещение конструкций благодаря сопро-

¹ В данном случае речь идет об учете третьего члена интеграла Мора для определения перемещений (2.3), а именно члена, зависящего от поперечной силы [1].

тивлению основания концентрируется около нагрузки, уменьшение жесткости балки вследствие учета ее сдвиговых деформаций приводит к значительной концентрации напряжений непосредственно под нагрузкой, что может вызвать развитие в грунте пластических деформаций и привести к снижению прочности и устойчивости здания в целом. При равномерном распределении нагрузки по длине балки данный эффект менее выражен, так как давление под подошвой фундамента распределяется более равномерно.

Таким образом, целью исследования является разработка методики определения влияния сдвиговых деформаций поперечных сечений балок, расположенных на упругом основании, загруженных сосредоточенными силами, на напряженно-деформированное состояние балок и основания в зависимости от их жесткости.

Исследование выполнено в два этапа. На первом этапе производился анализ деформированного состояния балки на упругом основании, полученного путем непосредственного решения предложенных уравнений равновесия балки с учетом деформаций, обусловленных изгибом и сдвигом их поперечных сечений, а также учитывающих сопротивление грунта смещению и повороту расчетных площадок балки по линии ее контакта с грунтом (балочная модель). На втором этапе проводился сравнительный анализ деформаций, полученных посредством методики, предложенной на первом этапе, с решением трехмерной конечно-элементной модели (КЭМ) балка–основание, выполненным в программе MSC.Nastran.

Система уравнений равновесия² расчетной модели балки (рис. 1), состоящей из n связей и разделенной на i участков, записанная для k -й точки, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{12E_i I_i}{s_i^3} \Theta_i V_{k-1} - \frac{6E_i I_i}{s_i^2} \Theta_i \varphi_{k-1} + \left(\frac{12E_i I_i}{s_i^3} \Theta_i + \frac{12E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}^3} \Theta_{i+1} + C_{V,k} \right) V_k + \\ + \left(\frac{6E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}^2} \Theta_{i+1} - \frac{6E_i I_i}{s_i^2} \Theta_i \right) \varphi_k - \frac{12E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}^3} \Theta_{i+1} V_{k+1} + \frac{6E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}^2} \Theta_{i+1} \varphi_{k+1} = P_k, \\ \\ \frac{6E_i I_i}{s_i^2} \Theta_i V_{k-1} + \frac{E_i I_i}{s_i} (3\Theta_i - 1) \varphi_{k-1} + \left(\frac{6E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}^2} \Theta_{i+1} - \frac{6E_i I_i}{s_i^2} \Theta_i \right) V_k + \\ + \left(\frac{E_i I_i}{s_i} (3\Theta_i + 1) + \frac{E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}} (3\Theta_{i+1} + 1) + C_{\varphi,k} \right) \varphi_k - \\ - \frac{6E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}^2} \Theta_{i+1} V_{k+1} + \frac{E_{i+1} I_{i+1}}{s_{i+1}} (3\Theta_{i+1} - 1) \varphi_{k+1} = M_k, \end{array} \right. \quad (1)$$

где E_i , I_i — модуль упругости и момент инерции рассматриваемого i -го участка балки длиной s_i ;

V_k , φ_k — соответственно смещение и поворот k -й точки;

P_k , M_k — поперечная сила и момент в k -й точке;

² При составлении расчетной модели не были в полной мере учтены продольные (горизонтальные) деформации балки, возникающие вследствие ее изгиба, а также смещения точек подошвы балки относительно основания в результате их проскальзывания ввиду предположения об их незначительном влиянии на конечный результат по сравнению с вертикальными деформациями балки. Этот же факт был позже подтвержден совпадением результатов с КЭМ, которая учитывала весь спектр деформаций балки и основания.

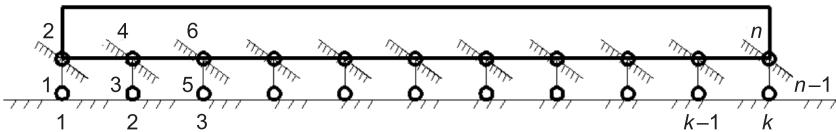


Рис. 1. Расчетная схема балки на упругом основании

Θ_i — коэффициент, учитывающий влияние сдвига, определяемый по формуле $\Theta_i = 1 / (1 + 12E_i I_i \eta / G_i A_i s_i^2)$;

G_i — модуль сдвига i -го участка балки;

A_i — площадь поперечного сечения балки;

η — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по высоте поперечного сечения балки;

$C_{V,k}$ и $C_{\varphi,k}$ — жесткость основания в k -й точке балки, соответствующая ее смещению и повороту V_k , φ_k .

Жесткости основания $C_{V,k}$ и $C_{\varphi,k}$ определим по следующим формулам [2]:

$$C_{V,k} = C_{z,k} + A_{f,k}; \quad (2)$$

$$C_{\varphi,k} = 0,7 C_{z,k} A_{f,k} z_k. \quad (3)$$

Величина $C_{z,k}$, характеризующая жесткость основания, определяется по общезвестным формулам в зависимости от типа грунта и его прочности либо по табличным значениям, например по [2].

При большом количестве участков балки удобнее пользоваться матричной формой записи системы уравнений (1), представляющих собой канонические уравнения метода перемещений

$$C \cdot \{V\} = \{P\}, \quad (4)$$

где $\{V\}$ — искомый вектор перемещений балки;

$\{P\}$ — вектор внешних нагрузок;

C — общая матрица жесткости системы балка—основание,

$$C = \|R\| + \|C_{rp}\|, \quad (5)$$

где $\|R\|$ — матрица жесткости балки, имеющая следующий блочный вид:

$$\|R\| = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & R_{32} & R_{33} & R_{34} & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & R_{43} & \ddots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & R_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{n,n-1} & R_{nn} \end{vmatrix}.$$

Для балки с постоянным по длине модулем упругости E , моментом инерции I , модулем сдвига G и с равным шагом расчетных точек s компоненты матрицы жесткости балки $\|R\|$ определяются как

$$R_{11} = \begin{vmatrix} \frac{12EI}{s^3} \Theta & \frac{6EI}{s^2} \Theta \\ \frac{6EI}{s^2} \Theta & \frac{EI}{s} (3\Theta + 1) \end{vmatrix},$$

$$R_{12} = R_{23} = R_{34} = R_{n-1,n} = \begin{vmatrix} -\frac{12EI}{s^3}\Theta & \frac{6EI}{s^2}\Theta \\ -\frac{6EI}{s^2}\Theta & \frac{EI}{s}(3\Theta - 1) \end{vmatrix},$$

$$R_{21} = R_{32} = R_{43} = R_{n,n-1} = \begin{vmatrix} -\frac{12EI}{s^3}\Theta & -\frac{6EI}{s^2}\Theta \\ \frac{6EI}{s^2}\Theta & \frac{EI}{s}(3\Theta - 1) \end{vmatrix},$$

$$R_{22} = R_{33} = R_{n-1,n-1} = \begin{vmatrix} \frac{24EI}{s^3}\Theta & 0 \\ 0 & \frac{2EI}{s}(3\Theta + 1) \end{vmatrix},$$

$$R_{n,n} = \begin{vmatrix} \frac{12EI}{s^3}\Theta & -\frac{6EI}{s^2}\Theta \\ -\frac{6EI}{s^2}\Theta & \frac{EI}{s}(3\Theta + 1) \end{vmatrix}.$$

Матрица жесткости упругих опор основания, соответствующая основанию Винклера:

$$\|C_{rp}\| = \begin{vmatrix} C_{rp}^1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & C_{rp}^2 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & C_{rp}^{k-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{rp}^k \end{vmatrix},$$

где $C_{rp}^k = \begin{vmatrix} C_{V,k} & 0 \\ 0 & C_{\varphi,k} \end{vmatrix}$ — жесткость основания в k -й расчетной точке.

Проанализируем балку длиной 4 м и поперечным сечением $0,6(h)\times 0,4(m)$, выполненную из бетона класса на сжатие B20, имеющего начальный модуль упругости $E = 27$ ГПа и коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$. В качестве грунта примем плотный песок средней крупности (расчетное сопротивление 0,5 МПа) с модулем деформации $E = 50$ МПа. Шаг разбиения балки 0,2 м. Нагрузку примем сосредоточенную, приложенную в середине балки и равную 40 кН. Расчетная схема модели представлена на рис. 2. Коэффициент C_z согласно [2] для грунта с расчетным сопротивлением 0,5 МПа примем равным 70 МПа/м. Данное значение

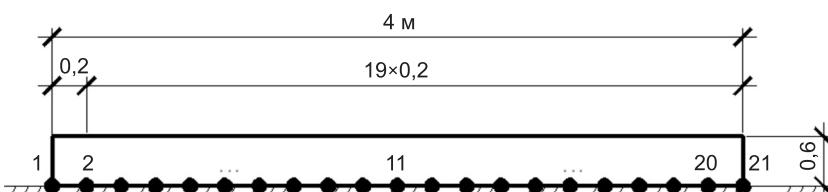


Рис. 2. Расчетная схема принятой балки на упругом основании

при подстановке в (1) переведем в МПа / м³ в зависимости от площади, приходящейся на k -ю расчетную точку системы.

Создание пространственной модели грунта в программном комплексе MSC.Nastran производилось посредством использования элементов типа Solid, при этом был учтен контакт балки с грунтом введением в конечно-элементную модель элемента типа Slide Line. Шаг конечно-элементной сетки в зоне опирания балки на грунт был принят аналогичным первой, «балочной», модели (см. рис. 2), а именно 0,2 м. Конечно-элементная модель получена разбиением на тетраэдры геометрических моделей балки и грунта. Модель имеет 16 770 узлов и 89 884 элемента (рис. 3).

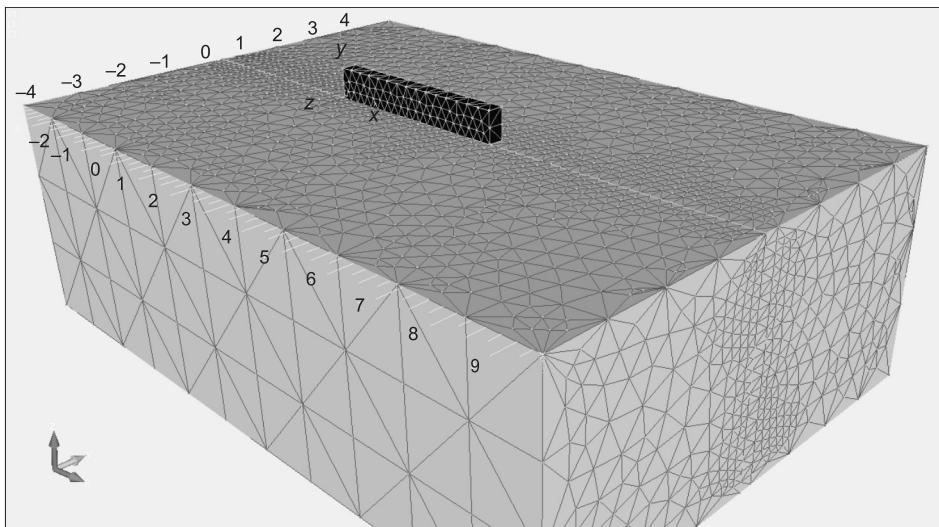


Рис. 3. Расчетная пространственная конечно-элементная модель системы балка–основание

Решение уравнения (1) с учетом принятых параметров расчетной модели балки на упругом основании, а также результаты расчета пространственной модели представлены в графическом виде на рис. 4 и в таблице. Моделирование отсутствия сдвига поперечных сечений балки производилось путем присвоения коэффициенту Θ в уравнениях (1) значения 1, что соответствует системе, не учитывающей влияние сдвига. Отсутствие сдвига в пространственной конечно-элементной модели в программе MSC.Nastran учитывалось путем приятия коэффициенту Пуассона значения, близкого к величине, равной -1. Данная идеализация, носящая характер формальной математической процедуры, введенная в КЭМ, основана на значительном уменьшении деформаций, вызываемых сдвигом поперечных сечений, путем значительного увеличения модуля сдвига. А именно, если воспользоваться известной формулой, связывающей модуль упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона $G = E/2(1+\nu)$, то не трудно определить, что при значении ν , близком к величине -1, значение модуля сдвига будет стремиться к бесконечности, следовательно, деформации, зависящие от сдвига поперечных сечений балки, будут в свою очередь стремиться к нулю.

Как видно из рис. 4 и таблицы, деформации балок с учетом и без учета сдвига (традиционная модель) существенно различаются особенно в центре балки, когда деформации с учетом сдвига на 16,17 % больше аналогичных деформаций у балки, полученных без учета сдвига. Следует отметить, что деформации балки на концах с учетом сдвига меньше, чем у балки при учете только деформаций изгиба. Это свидетельствует об

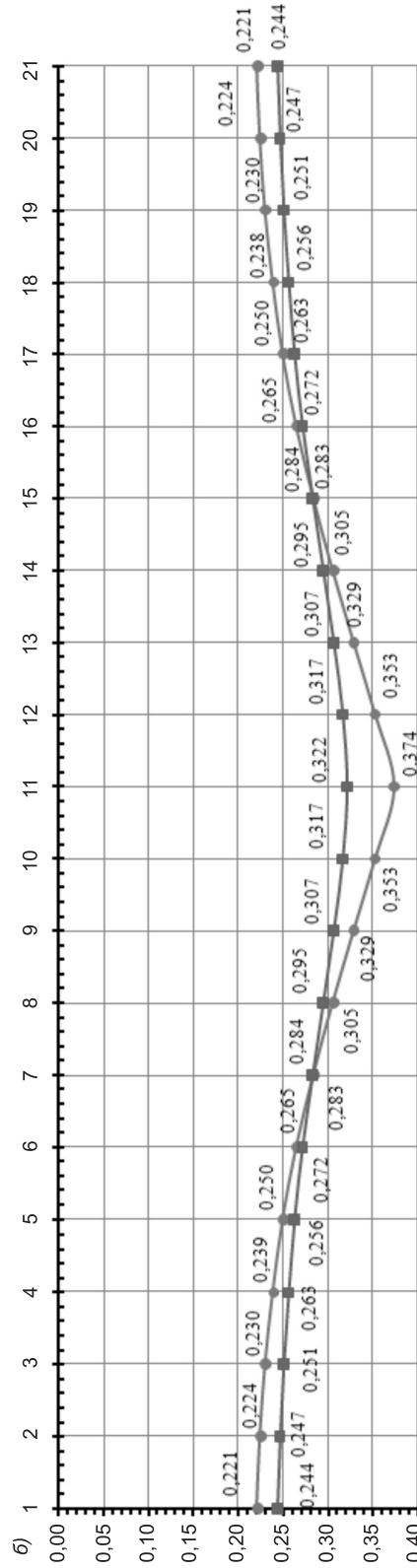
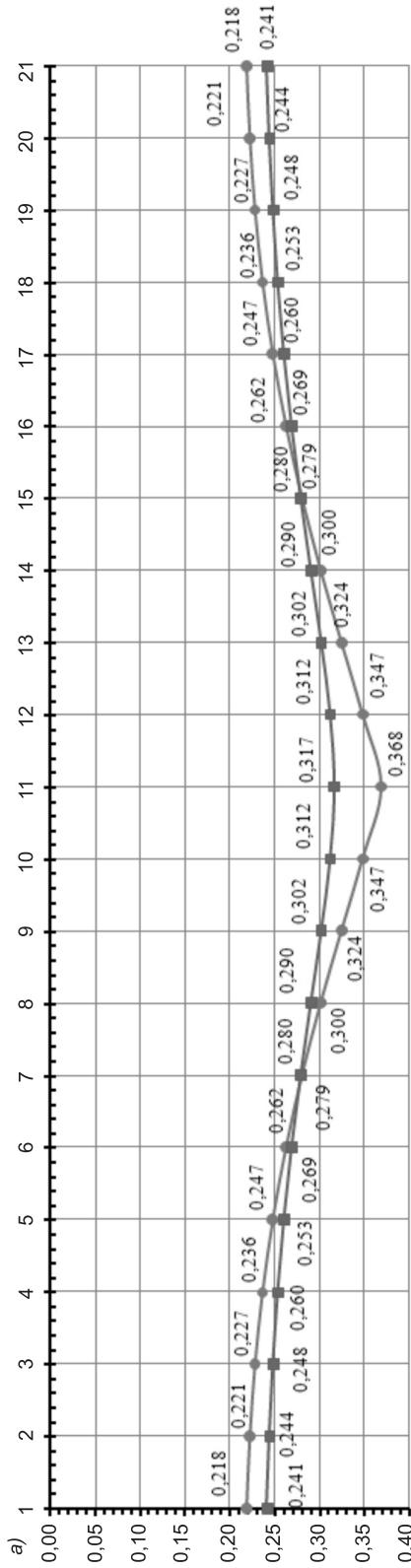


Рис. 4. Деформации балки с учетом (—●—) и без учета (—■—) сдвига
 α — балочная модель, β — пространственная КЭМ, мм

уменьшении жесткости балки при учете деформаций сдвига ее поперечных сечений, а именно, при неизменной жесткости основания и неизменности внешней нагрузки, очевидно, что единственным параметром, влияющим на деформации балки, является ее жесткость, из-за уменьшения которой при учете сдвига большая часть нагрузки воспринимается центральной опорной зоной балки. Для модели, не учитывающей сдвиг, распределение давления по длине балки ввиду большей ее жесткости оказывается более равномерным. Это нетрудно заметить, сравнив разность осадки в центре балки от осадки на опоре, для первой кривой (рис. 4) она составляет порядка 70 % (0,374 и 0,221 мм), для второй кривой данный показатель равен примерно 30 % (0,317 и 0,241 мм).

Таким образом, можно сделать вывод, что при учете сдвига в моделях балок на упругом основании происходит существенное перераспределение давления под подошвой балки, которое выражается в его локализации в месте приложения нагрузки. В таком случае увеличение давления на основание в месте приложения нагрузки может привести к развитию пластических деформаций в грунте, а следовательно, к значительному росту осадок.

Полученные результаты с использованием предложенной методики расчета балок на упругом основании, учитывающей изгиб и сдвиг ее поперечных сечений, позволяют сделать вывод о большей по сравнению с другими упрощенными методиками расчета достоверности определения как деформированного, так и напряженного состояния системы балка–основание. При этом данный факт доказан, прежде всего, высокой степенью совпадения результатов расчета по предложенной методике³ с результатами, полученными из расчета пространственной модели (см. рис. 4 и таблицу). Следует отметить, что разработанную методику расчета балок

Деформации балки

Номер точки	Модель, мм				Относительное изменение, %	
	балочная		пространственная КЭМ		Балочная модель	Пространственная КЭМ
	с учетом сдвига	без учета	с учетом сдвига	без учета		
1	0,218	0,241	0,221	0,244	-9,55	-9,59
2	0,221	0,244	0,224	0,247	-9,23	-9,23
3	0,227	0,248	0,230	0,251	-8,39	-8,39
4	0,236	0,253	0,239	0,256	-6,99	-6,99
5	0,247	0,260	0,250	0,263	-5,07	-5,07
6	0,262	0,269	0,265	0,272	-2,64	-2,64
7	0,280	0,279	0,284	0,283	0,18	0,18
8	0,300	0,290	0,305	0,295	3,44	3,44
9	0,324	0,302	0,329	0,307	7,12	7,12
10	0,347	0,312	0,353	0,317	11,25	11,25
11	0,368	0,317	0,374	0,322	16,17	16,17
12	0,347	0,312	0,353	0,317	11,25	11,25
13	0,324	0,302	0,329	0,307	7,12	7,12
14	0,300	0,290	0,305	0,295	3,44	3,44
15	0,280	0,279	0,284	0,283	0,18	0,18
16	0,262	0,269	0,265	0,272	-2,64	-2,64
17	0,247	0,260	0,250	0,263	-5,07	-5,07
18	0,236	0,253	0,238	0,256	-6,99	-6,99
19	0,227	0,248	0,230	0,251	-8,39	-8,39
20	0,221	0,244	0,224	0,247	-9,23	-9,23
21	0,218	0,241	0,221	0,244	-9,55	-9,55

³ Отличие результатов, полученных по предложенной методике, от решения пространственной КЭМ системы балка–грунт составило не более 2 %.

можно использовать и для учета пластических деформаций грунта. Для этого следует построить диаграммы «нагрузка–перемещение» грунта с последующим итерационным решением уравнений (1) по схеме, описанной в работе [4].

Подводя итог выполненному исследованию, можно сделать следующие выводы:

1. Учет сдвига поперечных сечений балок при их расчетах на упругом основании является необходимым, так как это позволяет повысить точность оценки напряженно-деформированного состояния системы балка–основание.

2. Сдвиговые деформации оказывают значительное влияние на распределение давления ленточных фундаментов на грунт под их подошвой.

3. Предложенная приближенная методика расчета балок на упругом основании с учетом изгиба и сдвига их поперечных сечений позволяет при небольшом объеме вычислений производить расчеты с высокой точностью, что подтверждено сравнением полученных результатов с данными расчета с помощью пространственной модели общего вида.

4. Запись уравнений в матричном виде позволила упростить контроль ввода исходных данных и выполнение расчета, а также повысила наглядность вычислений.

5. Предложенная методика расчета, таким образом, может использоваться не только в непосредственных расчетах, но и как эффективный инструмент контроля результатов, получаемых с использованием современных программных комплексов конечно-элементного анализа, которые из-за скрытости вычислений и значимости человеческого фактора трудно контролируются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саргсян, А.Е. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов. 2-е изд., испр. и доп. [Текст] / А.Е. Саргсян, А.Т. Демченко, Н.В. Дворянчиков, Г.А. Джинчевелашвили. — М. : Высш. шк., 2000. — 416 с.
2. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Б.И. Далматов. — Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. — 415 с.
3. Сапожников, А.И. Модель и эффективные расчетные схемы грунтового полу-пространства [Текст] / А.И. Сапожников // Изв. вузов. Строительство, 1996. — № 4. — С. 26–31.
4. Сапожников, А.И. Расчет свай на горизонтальную нагрузку в нелинейно-деформируемом основании [Текст] / А.И. Сапожников, Ю.В. Солгалов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1980. — № 4. — С. 9–11.

САПОЖНИКОВ Адольф Иосифович, д-р филос. наук, проф.; E-mail: sapozhnikov-37@mail.ru

Астраханский инженерно-строительный институт

ГРИГОРШЕВ Сергей Михайлович, асп.; E-mail: surely@rambler.ru

Астраханский инженерно-строительный институт

КУПЧИКОВА Наталья Викторовна, доц.

Астраханский инженерно-строительный институт

Получено после доработки 15.06.11

Sapozhnikov A.I., doctor of philos., professor; E-mail: sapozhnikov-37@mail.ru, Astrakhan Engineer-Building Institute, Russia

Grigorschew S.M., post-graduate student; E-mail: surely@rambler.ru, Astrakhan Engineer-Building Institute, Russia

Kirpchikova N.V., assistant professor, Astrakhan Engineer-Building Institute, Russia

FEATURES OF WORK OF BEAMS ON THE ELASTIC FOUNDATION

Influence of shear deformations is investigated at calculation of beams on the elastic foundation, loaded by the concentrated forces. Necessity of the account of shear for the designs considered by means of models of the elastic basis is proved. The design procedure allowing with high accuracy to estimate tensely-deformed a condition of beams on the elastic foundation is suggested.

Key words: elastic foundation, beam, ground, shear deformations, concentration of strain.

REFERENCES

1. Sargsyan, A.E. Building mechanics. Bases of the theory with examples of calculations. 2 edition corrected and added [Text] / A.E. Sargsyan, A.T. Demchenko, N.V. Dvoryanchikov, G.A. Dzhinchvelashvili. — M. : Higher school, 2000. — 416 p.
 2. Dalmatov, B.I. Mechanics of a ground, the basis and the foundations. 2 edition corrected and added [Text] / B.I. Dalmatov. — L. : Stroyizdat, Leningrad branch, 1988. — 415 p.
 3. Sapozhnikov, A.I. Model and effective settlement circuits earth half spaces [Text] / A.I. Sapozhnikov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 1996. — N 4. — P. 26–31.
 4. Sapozhnikov, A.I. Calculation of piles on horizontal loading in nonlinear deformation the foundation [Text] / A.I. Sapozhnikov, Yu.V. Solgalov // Grounding, bases and mechanics of a ground. — 1980. — N 4. — P. 9–11.
-

УДК 621.791.011

А.В. ЧЕРНЫХ, В.В. ЧЕРНЫХ

К ОЦЕНКЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ В ПОСТОЯННОМ ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рассматриваются закономерности движения жидкого металла при дуговой сварке в однородном постоянном магнитном поле. Изучаются вопросы формообразования сварного шва. Приводится соотношение для расчета угловой скорости вращения металлического расплава при дуговой сварке. Сопоставляются результаты расчета с экспериментальными данными.

Ключевые слова: дуговая сварка, формирование сварного шва, внешнее постоянное продольное электромагнитное поле, угловая скорость металлического расплава.

Качество сварных соединений в значительной степени зависит от формы шва. Вопросам, связанным с изучением формообразования сварных соединений, всегда уделяется большое внимание. Традиционной задачей гидродинамики жидких металлов при дуговой сварке считается изучение явлений, позволяющих учитывать действие внешних сил на жидкий металл как с целью установления новых закономерностей, так и для усовершенствования существующих технологических процессов и разработки новых приемов.

При изготовлении строительных сварных металлоконструкций для повышения производительности и качества работ, а также для управления формой поверхности металла применяются внешние магнитные поля [1–3]. При сварке в продольном магнитном поле (по отношению к оси электрода) жидкий металл приходит во вращение, которое вызвано взаимодействием радиальной составляющей тока (j) в сварочной ванне с магнитным полем (см. рисунок). Формирование шва в этом случае происходит за счет появления дополнительной силы [1], которая вызвана суммированием собственного потока расплава и потока, возникающего вследствие вращения жидкого металла [3]. Одной из основных характеристик при таком воздействии является угловая скорость (ω) вращения металлического расплава.

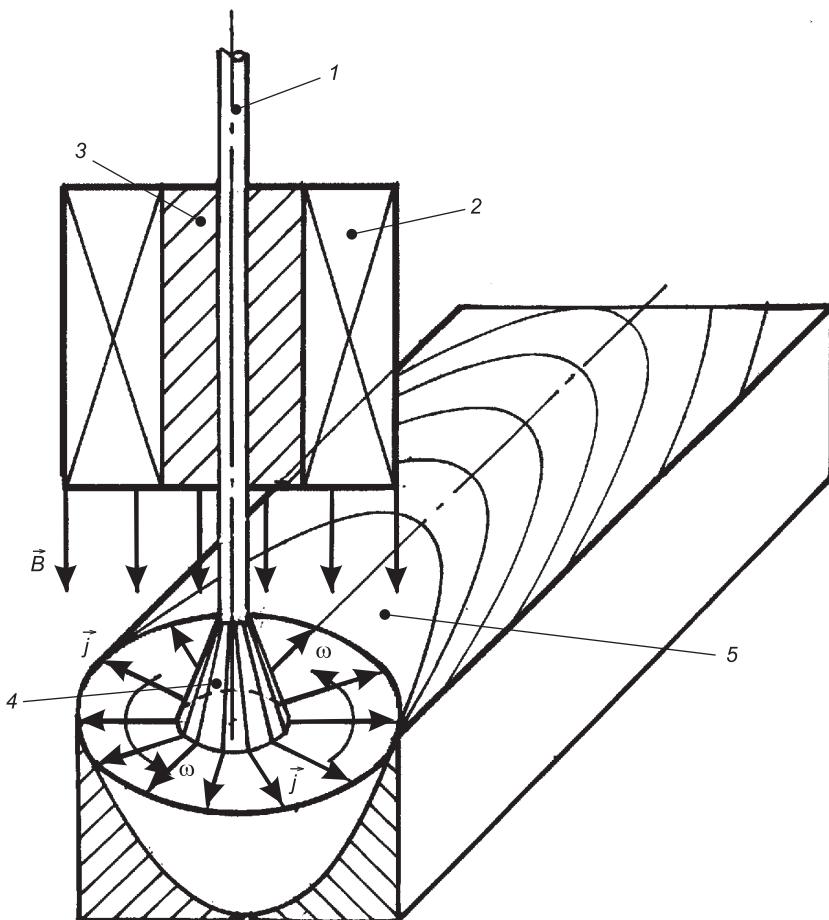
Целью работы является установление зависимости угловой скорости вращения расплава от режимов дуговой сварки и электромагнитной обработки жидкого металла с учетом физических свойств расплавленного металла.

Оценку угловой скорости вращения выполняли исходя из предположения о том, что коэффициент динамической вязкости жидкого металла, находящегося под сварочной дугой, не меняется по всему объему, что с учетом градиента температур в указанной зоне вполне обоснованно.

Запишем дифференциальное уравнение вращения вокруг вертикальной оси, совпадающей с осью электрода:

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = \sum M_z,$$

где J_z — момент инерции головной части металлического расплава, которая представляет собой полушар. Такой выбор модели оправдан как ха-



Расчетная схема для оценки угловой скорости вращения жидкого металла в постоянном продольном магнитном поле:

1 — электрод; 2 — катушка; 3 — сердечник электромагнита; 4 — сварочная дуга; 5 — металлический расплав; \vec{B} и \vec{j} — векторы индукции магнитного поля и плотности сварочного тока соответственно; ω — угловая скорость вращения жидкого металла

рактерной для дуговой сварки формой провара, близкой к полушару, так и вращательным движением металла в головной части расплава вследствие взаимодействия магнитного поля с радиальной составляющей плотности тока. Для полушара $J_z = \frac{2}{5}mR^2$ или $J_z = \frac{2}{5}\rho VR^2$ (где ρ — плотность жидкого металла; V — объем полушара);
 $\sum M_z$ — сумма моментов внешних сил, действующих на металлический расплав. Или

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = M - M_{tp}, \quad (1)$$

где $M = jBVr$ — момент силы Лоренца относительно оси вращения (j — плотность тока на поверхности жидкого металла; B — величина магнитной индукции; r — текущий радиус).

Момент силы вязкого трения определяется выражением $M_{tp} = \frac{Fv}{v}$
 $(F$ — сила вязкого трения; v — кинематический коэффициент вязкости; v — линейная скорость потока жидкого металла). Или, учитывая $v = \mu / \rho$, получим

$$M_{\text{tp}} = \frac{v \dot{\omega} \mu}{v} = \frac{v \dot{\omega} \mu}{\omega} = \frac{d\omega \mu}{dt} v,$$

где μ — динамический коэффициент вязкости; $\dot{\omega}$ — первая производная скорости по времени (ускорение).

Учитывая, что $\frac{d\omega}{dt} = \omega r \frac{d\omega}{dr}$, уравнение (1) после сокращения на r и V запишем в виде

$$\frac{2}{5} \rho R^2 \omega \frac{d\omega}{dr} = jB - \omega \frac{d\omega \mu}{dr}.$$

Разделив переменные и проинтегрировав при условии $r = 0, \omega = 0$, получим квадратное уравнение относительно ω :

$$\frac{1}{5} \rho R^2 \omega^2 + \mu \omega - jB = 0. \quad (2)$$

Откуда

$$\omega = \frac{\sqrt{\frac{4}{9} \mu^2 + \frac{16}{45} \rho R^2 jB} - \frac{2}{3} \mu}{\frac{4}{15} \rho R^2}.$$

Или, учитывая, что $j = \frac{i}{\pi R^2}$, окончательно получим

$$\omega = \frac{5}{2} \frac{\sqrt{\mu^2 + \frac{4}{5} \cdot \frac{\rho}{\pi} iB} - \mu}{\rho R^2}. \quad (3)$$

Для расчета примем динамический коэффициент вязкости $\mu = \rho v$, где $v = 10^2 \text{ м}^2/\text{с}$; плотность жидкой стали $\rho = 7,23 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$; i — величина сварочного тока.

Режимы сварки и электромагнитной обработки: сварочный ток 350 А; напряжение на дуге 12...13 В; диапазон изменения величины индукции магнитного поля 0...40 мТл.

Расчетные зависимости угловой скорости вращения от величины индукции магнитного поля указаны в таблице.

Зависимость угловой скорости вращения металлического расплава от величины индукции внешнего продольного магнитного поля

B , мТл	ω , рад/с
10	45
20	55
40	90

Расчетные значения угловых скоростей, полученные по выражению (3), по порядку величин достаточно хорошо согласуются с известными экспериментальными результатами, представленными в работе [4], где определяли угловую скорость вихревого движения, но без использования внешних магнитных полей.

Следует отметить, что точное решение этого уравнения представляет определенные трудности (ввиду сложности определения теплофизических характеристик жидкого металла вблизи тройной точки, а также из-за сложной пространственной формы потоков внутри объема жидкого металла). Тем не менее такие решения, как правило, вызывают существенный интерес — если не строго количественный, то во всяком случае с позиции качественной оценки.

Таким образом, получена математическая зависимость угловой скорости вращения металлического расплава при дуговой сварке от тепло-

физических характеристик металла, режимов сварки и электромагнитной обработки, которая удовлетворительно согласуется с известными экспериментальными результатами [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черных, А.В. Определение величины смещения гребня шва горизонтальных соединений при дуговой сварке с использованием магнитного поля [Текст] / А.В. Черных, В.В. Черных // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 6. — С. 113–118.
2. Болдырев, А.М. Особенности плавления электродного металла при сварке во внешнем продольном магнитном поле [Текст] / А.М. Болдырев, В.А. Биржев, А.В. Черных // Сварочное производство. — 1991. — № 5. — С. 28–30.
3. Ковалев, И.М. Движение жидкого металла в сварочной ванне при сварке в продольном магнитном поле [Текст] / И.М. Ковалев, А.С. Рыбаков // Сварочное производство. — 1977. — № 9. — С. 41–42.
4. Шицyn, Ю.Д. О движении металла в хвостовой части сварочной ванны при плазменной сварке проникающей дугой [Текст] / Ю.Д. Шицyn, Ю.М. Тыткин // Сварочное производство. — 1995. — № 11. — С. 17–19.

ЧЕРНЫХ Александр Васильевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: alexander.v.chernyh@gmail.com

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

ЧЕРНЫХ Валерий Васильевич, канд. физ.-мат. наук, ст. препод.

Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского

Получено 11.07.11

Chernykh A.V., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: alexander.v.chernyh@gmail.com, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Chernykh V.V., candidate of physical and mathematical sciences, senior lecturer, Central Aerohydrodynamic Institute named after N.E. Zhukovsky

ESTIMATION OF ANGULAR ROTATION VELOCITY OF LIQUID METAL UNDER ARC WELDING IN STEADY-STATE LONGITUDINAL MAGNETIC FIELD

The peculiarities of the motion of liquid metal under arc welding in homogeneous steady-state magnetic field are considered. The issues of generation of geometry of weld joint are studied. The correlation for calculation of angular rotation velocity of metal melt under arc welding is presented. The results of calculations are correlated with experimental data.

Key words: arc welding, weld joint formation, external homogeneous steady-state electromagnetic field, angular velocity of metal melt.

REFERENCES

1. Chernykh, A.V. Estimation of displacement of horizontal joint tongue under arc welding with the use of magnetic field [Text] / A.V. Chernykh, V.V. Chernykh // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 6. — P. 113–118.
2. Boldyrev, A.M. The peculiarities of melting of metal electrode under welding in external longitudinal magnetic field [Text] / A.M. Boldyrev, V.A. Birzhev, A.V. Chernykh // Welding Production. — 1991. — N 5. — P. 28–30.
3. Kovalev, I.M. The motion of liquid metal in weld pool under welding in longitudinal magnetic field [Text] / I.M. Kovalev, A.S. Rybakov // Welding Production. — 1977. — N 9. — P. 41–42.
4. Shitsyn, Yu.D. On the motion of metal in the end of weldpool under plasma penetration arc welding [Text] / Yu.D. Shitsyn, Yu.M. Tytkin // Welding Production. — 1995. — N 11. — P. 17–19.

ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

УДК 691.328:726.1

К.В. ТАЛАНТОВА, Н.М. МИХЕЕВ, А.Н. ТРОШКИН

ПРАКТИКА СОЗДАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА С ЗАДАННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Возможности фибрового армирования стальной фиброй, а также современные программные средства и вычислительная техника позволили сформулировать концепцию создания сталефиброжелезобетонных конструкций с заданными эксплуатационными характеристиками. Практическая реализация предлагаемых решений при проектировании и возведении оболочки покрытия подтвердила их технико-экономическую целесообразность.

Ключевые слова:сталефибробетон, фибра стальная, оболочка покрытия, монодисперсное фибровое армирование, зонное монодисперсное фибровое армирование, технология поэтапного формования, сталефибробетонная плоская заготовка, технико-экономические показатели.

Результаты экспериментально-теоретических исследований [1, 2] позволили сформулировать концепцию создания конструкций на основе композита — сталефибробетона, в рамках которой предложен нетрадиционный подход к обеспечению заданных эксплуатационных характеристик сталефибробетонных конструкций, базирующийся на формировании направленного фибрового армирования при их проектировании и изготовлении. Такой подход открывает возможность регулировать структуру материала, а значит, и его свойства в соответствии с напряженно-деформированным состоянием конструкции и получить требуемый результат при минимальных затратах.

В рамках предложенной концепции разработана классификация сталефибробетона по прочности, в соответствии с классами определены его нормативные сопротивления, получены коэффициенты надежности по сталефибробетону [2]. Сформулированы принципы подготовки исходных данных для проектирования и изготовления конструкций, позволяющие задавать свойства сталефибробетона для обеспечения эксплуатационных характеристик сталефибробетонных и сталефиброжелезобетонных конструкций.

Одним из объектов практической реализации разработанной концепции является оболочка покрытия Храма Покрова Божьей Матери в Алтайском крае. Строительство храма осуществляется в районном центре Волчиха, где нет предприятий строительной индустрии и строительных организаций, поэтому строительство выполняется хозяйственным способом.

© Талантова К.В., Михеев Н.М., Трошкин А.Н., 2011

В первоначальном варианте проекта (Д-341-04 ЗАО «Классика») разработана монолитная гладкая железобетонная оболочка пролетом 5,2 м с длиной волны 4,2 м, стрелой подъема 1,40 м, толщиной 150 мм без учета опорных зон оболочки (рис. 1, а). Реализованный вариант оболочки, имеющий те же габаритные размеры, что и железобетонная оболочка, за-проектирован и возведен в сборно-монолитном варианте из стальфиброжелезобетона.

Нетиповая тонкостенная цилиндрическая ребристая стальфиброжелезобетонная оболочка толщиной 20 мм усиlena ребрами жесткости — диафрагмами (рис. 1, б), шарнирно оперта на монолитные железобетонные опорные балки — бортовые элементы, уложенные на несущие стены вдоль пролета, и примыкает к торцевым стенам. Распорные усилия на стены не передаются, а воспринимаются затяжками, которые в процессе устройства оболочки размещаются в торцевых стенах впотовай.

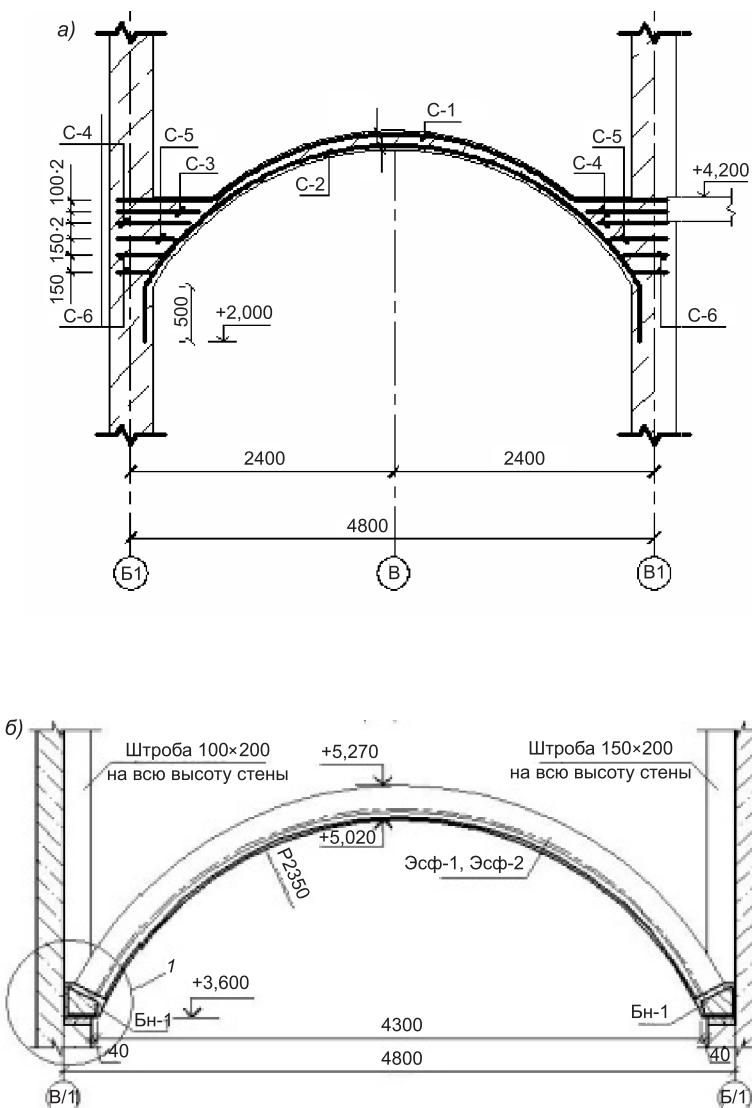
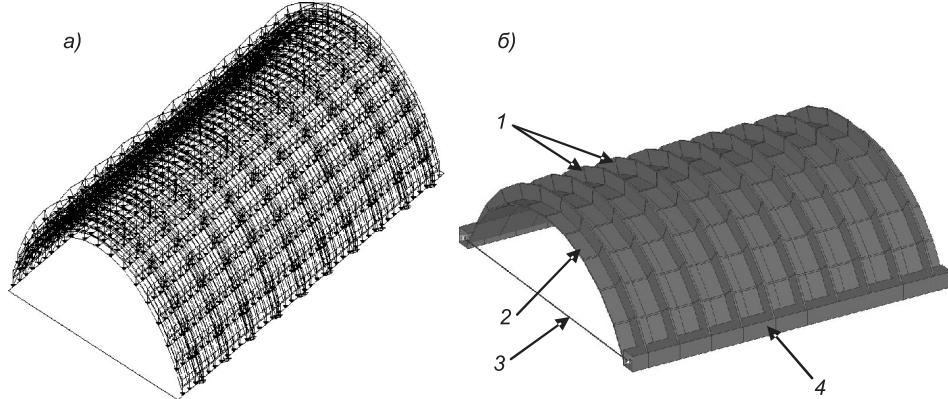


Рис. 1. Оболочка покрытия Храма Покрова Божьей Матери
Поперечный разрез: а) конструкция из железобетона; б) конструкция из стальфиброжелезобетона

Статический расчет стальноефиброжелезобетонной оболочки покрытия выполнен средствами вычислительного комплекса SCAD с расчетной схемой в виде оболочки, шарнирно опертой по длине бортовых элементов (рис. 2), загруженной нормативными нагрузками: постоянной — от собственного веса ($g_1 = 1,05$ кПа) и теплоизоляции ($g_2 = 0,25$ кПа), а также временной нагрузкой от одного монтажника (1,0 кН).



Rис. 2. Оболочка покрытия на основе стальноефибробетона:
а) расчетная схема, полученная средствами ПВК SCAD; б) геометрическое представление оболочки
1 — ребра жесткости; 2 — оболочка; 3 — затяжка; 4 — опорная балка

Для описания оболочки приняты конечные элементы (КЭ) № 44 (четырехугольный элемент оболочки), бортовые элементы и затяжки описаны КЭ № 5 (пространственный стержень). В качестве материала для оболочки предварительно принят стальноефибробетон классов по прочности на сжатие $B_f 20$ и $B_f 25$ и с модулями упругости $E_{fb} = 23,5 \cdot 10^3$ и $26,8 \cdot 10^3$ МПа. В качестве фибровой арматуры принята фибра стальная 2ФЛ2 — 0,4/0,6/40 ТУ 0991-123-53832025-2001, в качестве регулярной арматуры — проволочная арматура Ø5 Вр-I.

В результате статического расчета получены картины полей напряжений от невыгодного сочетания нагрузок (рис. 3). В соответствии со значениями максимальных нормальных напряжений были уточнены классы стальноефибробетона ($B_f 25$ и $B_f 30$), модули упругости и, соответственно, его расчетные сопротивления.

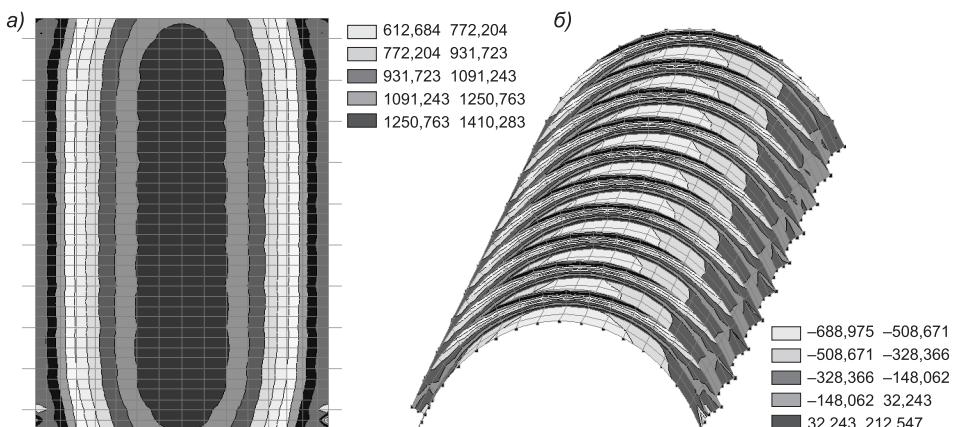


Рис. 3. Картина полей напряжений от невыгодного сочетания нагрузок:
а) растяжения по нижней грани оболочки; б) сжатия по верхней грани оболочки

На основе изолиний картин полей нормальных напряжений была разработана схема армирования, выделены зоны фибрового армирования оболочки (рис. 4). При этом максимальные нормальные напряжения возникают в центре оболочки (зона 2). Анализ картин полей напряжений показал, что в зоне 1 максимальное нормальное напряжение растяжения составляет $\sigma_{t \max} = 1,576$ МПа, уточненное расчетное сопротивление ста-лефибробетона $R_{fbt} = 1,34$ МПа. Для восприятия указанного напряжения достаточно фибрового армирования сечения с объемным процентом армирования $\mu_{fv} = 0,5\%$, работающего совместно с регулярной арматурой 1Ø5 Бр-I. В зоне 2 при $\sigma_{t \max} = 1,98$ МПа, $R_{fbt} = 1,89$ МПа указанное напряжение передается на фиброармированное сечение с $\mu_{fv} = 1,0\%$ совместно с регулярной арматурой 1Ø5 Бр-I, принятой в зоне 1.

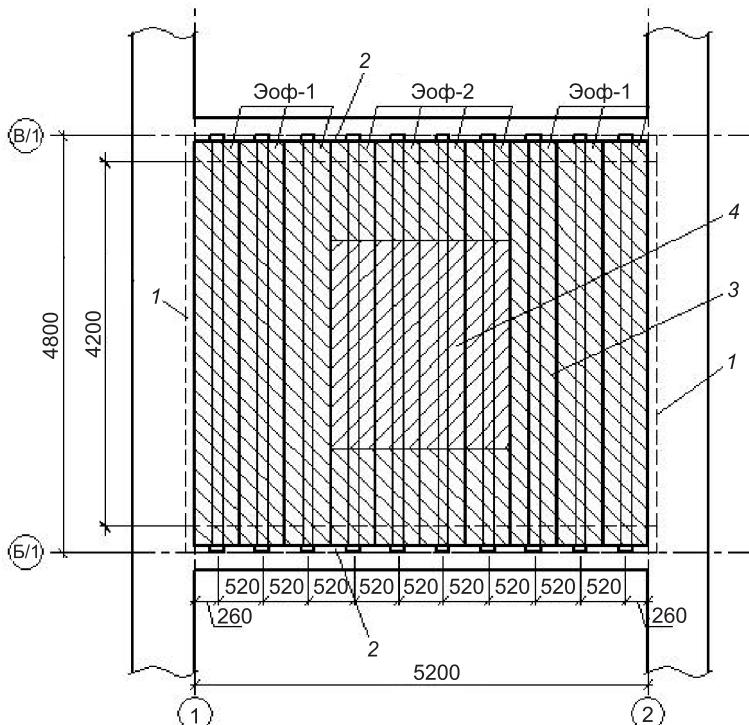


Рис. 4. План сталефиброжелезобетонной оболочки покрытия

Раскладка элементов: 1 — затяжка; 2 — бортовой элемент; 3 — зона 1;
4 — зона 2

Напряжение сжатия в обеих зонах оболочки значительно меньше расчетных сопротивлений сталефибробетона на сжатие: максимальное напряжение сжатия 4,43 МПа, минимальная прочность сталефибробетона на сжатие при $\mu_{fv} = 0,5\% = 13,98$ МПа. Главные напряжения сжатия в опорной зоне оболочки 0,56 МПа, что существенно меньше сопротивления сталефибробетона сжатию.

Проверка оболочки по образованию трещин показала ее соответствие требованиям первой категории трещиностойкости. Разработанная сталефиброжелезобетонная оболочка покрытия соответствует всем предъявляемым требованиям по первой и второй группам предельных состояний, включая устойчивость, которая проверена согласно требованиям СП 52-117 [3].

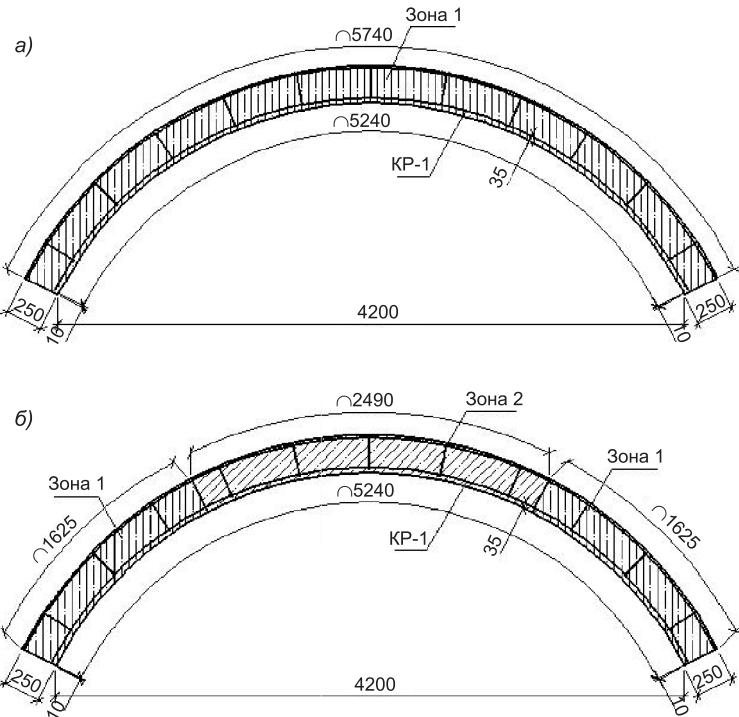


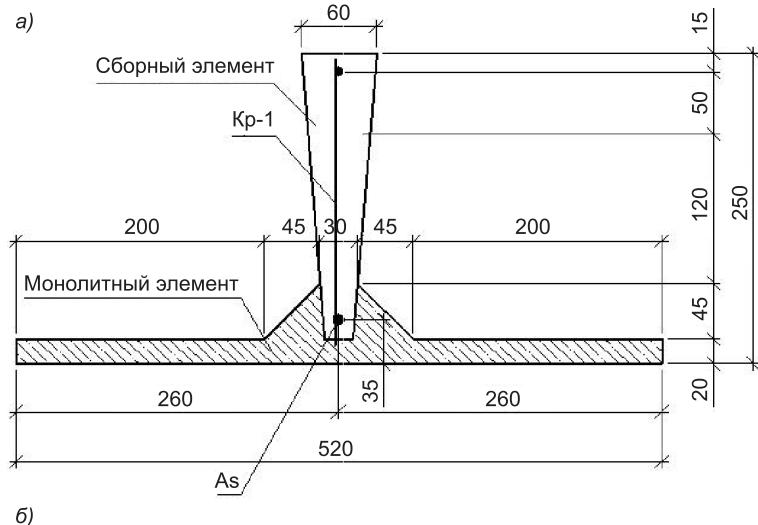
Рис. 5. Схемы армирования стальноефиброжелезобетонных элементов оболочки покрытия

Конструирование оболочки выполнено в соответствии с результатами расчетов. Оболочка условно разделена на два типа элементов: Эсф-1 (6 шт.) и Эсф-2 (4 шт.) (рис. 5), всего 10 элементов, объединенных в единую сборно-монолитную конструкцию.

Сечение конструктивного элемента оболочки — тавр с полкой в растянутой зоне толщиной 20 мм, шириной 520 мм, с ребрами жесткости высотой 250 мм и средней шириной 45 мм (рис. 6, а). Для удобства изготовления сечение ребра жесткости запроектировано и выполнено трапециевидной формы. Деление на 10 конструктивных элементов принято с целью более четкого представления о зонном фибровом армировании оболочки.

Элементы Эсф-1, Эсф-2 запроектированы с монодисперсным фиброподовым армированием. В элементе Эсф-1, как отмечалось выше, содержание стальной фибры 0,5 % по объему ($39 \text{ кг}/\text{м}^3$); в элементе Эсф-2 предусмотрено зонное монодисперсное фибровое армирование: в зоне 1 — содержание фибры 0,5 % по объему; в зоне 2 — 1,0 % по объему ($78 \text{ кг}/\text{м}^3$). Помимо этого все элементы заармированы каркасом KP-1 для обеспечения проектного положения продольной рабочей арматуры $1\varnothing 5 \text{ Br-I}$ и устройства сопряжения ребра и собственно оболочки в зоне вута.

Приготовление жесткой стальноефибробетонной смеси осуществлялось на стройплощадке в гравитационном смесителе с объемом замеса 150 л, введение фибры производилось вручную. Формование элементов оболочки выполнялось с использованием поэтапной технологии производства [4]. Она включает предварительное изготовление на заводе ЖБИ сборного ребра жесткости, формование в условиях стройплощадки плоской заготовки стальноефибробетонного элемента оболочки, придание ей на проектной отметке на кружале заданной формы, приформовывание в проектном положении ребра жесткости, устройство монолитных стальноефибробетонных ву-



б)



Рис. 6. Тонкостенная ребристая стальфиброжелезобетонная оболочка покрытия

а) сечение сборно-монолитного элемента ЭСФ-1 (ЭСФ-2); б) вид после завершения устройства оболочки. Октябрь 2010 г.

тов размерами 45×45 мм. Таким образом, в результате выполненных работ в соответствии с разработанной концепцией создания конструкций на основе сталефибробетона с заданными свойствами [2] разработана и возведена сталефиброжелезобетонная оболочка покрытия (рис. 6, б). Технико-экономические показатели сталефиброжелезобетонной оболочки значительно превосходят показатели железобетонного аналога, а именно, вес снижен более чем в 5 раз, расход стали — более чем в 4 раза.

По действующим в настоящее время правилам расчета и конструирования сталефиброжелезобетонных конструкций фибровое армирование обычно принимается по величине максимальных усилий. В таком случае потребовалось бы на 35 % стальной фибры больше того, что было использовано при принятом в представленной работе зонном фибровом армировании, соответствующем напряженно-деформированному состоянию оболочки. С уменьшением объемного содержания фибры, помимо

снижения стоимости, упрощается процесс приготовления сталефибробетонной смеси и формования сталефиброжелезобетонных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таланто в а, К.В. Основы создания сталефибробетонных конструкций с заданными свойствами [Текст] / К.В. Таланто ва // Бетон и железобетон. — 2003. — № 5. — С. 4–8.
2. Таланто в а, К.В. Создание элементов конструкций с заданными свойствами на основе сталефибробетона [Текст] / К.В. Таланто ва // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 10. — С. 4–9.
3. СП 52-117-2008. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. — М. : ФГУП НИЦ «Строительство», 2008. — 150 с.
4. Михеев, Н.М. Технология формования тонкостенных элементов конструкций на основе сталефибробетона [Текст] / Н.М. Михеев, К.В. Таланто ва // Проектирование и строительство в Сибири. — 2008.— № 6.— С. 4–5.

ТАЛАНТОВА К.В., канд. техн. наук, доц.; E-mail: talant_bar@mail.ru
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

МИХЕЕВ Н.М., препод.; E-mail: miheevnm@bk.ru

Барнаульский строительный колледж

ТРОШКИН А.Н., гл. спец.; E-mail: alex_troshkin@rambler.ru

ООО «Строй-Перспектива», г. Барнаул

Получено после доработки 28.11.11

Talantova K.V., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: talant_bar@mail.ru, Altai State Technical University under I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

Micheev N.M., senior lecturer; E-mail: miheevnm@bk.ru, Barnaul Construction College, Russia

Troshkin A.N., ch. specialist; E-mail: alex_troshkin@rambler.ru, ООО «Строй-Перспективе», Barnaul, Russia

THE PRACTICE OF CREATING STRUCTURES BASED ON STEEL FIBER CONCRETE WITH PRESET PROPERTIES

Features of reinforcing with steel fibers, as well as advanced tools and computer technology allowed to formulate the concept of creating steel fiber concrete structures with preset performance characteristics. Practical realization of the proposed solutions for the design and construction of the shell cover has confirmed its technical and economic advisability.

Key words: steel fiber concrete, steel fiber, shell coating, steel fiber concrete element, monodisperse fiber reinforcement, zonal monodisperse fiber reinforcement, technology phase-forming, steel fiber concrete slab, technical and economic indicators.

REFERENCES

1. Talantova, K.V. Basics of steel fiber concrete structures with preset properties [Text] / K.V. Talantova // Concrete and Reinforced Concrete. — 2003. — N 5. — P. 4–8.
2. Talantova, K.V. Creation of structural elements with preset properties based on steel fiber concrete [Text] / K.V. Talantova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 10. — P. 4–9.
3. SP 52-117-2008. Spatial reinforced concrete structures of roofs and floors [Text]. — M. : Research Center of Construction, 2008. — 150 p.
4. Micheev, N.M. Technology of forming thin-walled structure elements based on steel fiber concrete [Text] / N.M. Micheev, K.V. Talantova // Design and Construction in Siberia. — 2008.—N 6. — P. 4–5.

НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

НОВЫЙ УЧЕБНИК ДЛЯ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

В 2011 г. в издательстве Ассоциации строительных вузов (г. Москва) вышел учебник «Железобетонные и каменные конструкции» (3-е изд.). Авторы — преподаватели Томского ГАСУ: д-р техн. наук, профессор О.Г. Кумпяк, доценты, канд. техн. наук З.Р. Галляутдинов, О.Р. Пахмурин, В.С. Самсонов.

Содержание учебника представлено в виде курса лекций по основам расчета и конструирования железобетонных и каменных конструкций в соответствии с типовой программой «Железобетонные и каменные конструкции» для высших учебных заведений, обучающих по направлению 270100 — «Строительство» и специальности 270102 — «Промышленное и гражданское строительство».

В нем приведены материалы по физико-механическим свойствам бетона, арматуры и железобетона, метод расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям, принципы расчета железобетонных и каменных конструкций при различном напряженно-деформированном состоянии. Значительная часть учебника посвящена расчету и конструированию железобетонных конструкций многоэтажных и одноэтажных промышленных зданий, каменных конструкций, пространственных покрытий и специальных сооружений. Приведены также материалы по особенностям проектирования железобетонных конструкций, эксплуатируемых в экстремальных условиях при действии сейсмических, температурных и коррозионных факторов.

В учебнике достаточно подробно изложены теоретические основы проектирования зданий и сооружений из железобетона и каменной кладки. Представлены проектные решения различных конструкций и частей зданий. Рабочие чертежи и иллюстрации к расчетам выполнены с хорошей детальной проработкой, что безусловно будет способствовать лучшему пониманию студентами изучаемого материала.

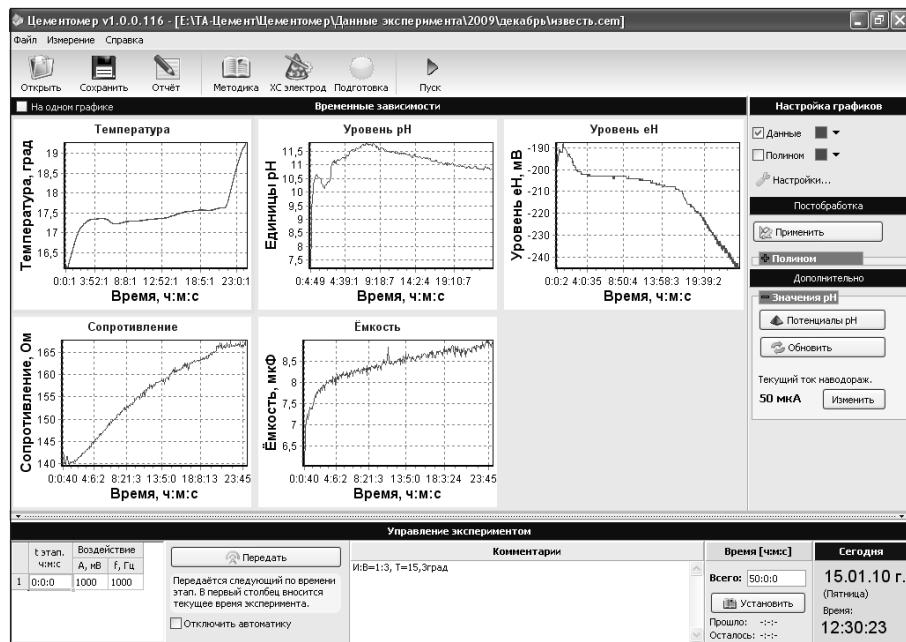
Каждая лекция завершается контрольными вопросами для проверки студентами качества усвоения материала, приведены примеры расчета железобетонных и каменных конструкций. Наличие контрольных вопросов и примеров расчета делают учебник особенно удобным при самостоятельном изучении дисциплины «Железобетонные и каменные конструкции».

Грамотное системное изложение материала, четкая его подача, хороший иллюстративный материал позволяют рекомендовать данное издание для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Строительство».

Н.Г. ГОЛОВИН, проф.,
зав. кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции»
Московского государственного строительного университета

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В НГАСУ (Сибстрин) на кафедре строительных материалов и специальных технологий разработан универсальный комплекс «УККМ-1», предназначенный для изучения процессов твердения и деструкции композиционных материалов.



ПРИМЕНЕНИЕ

Этот прибор позволяет исследовать и контролировать свойства композиционных материалов в процессе их твердения.

ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

• pH (металлический электрод)	7–14 (0,01)
• Окислительно-восстановительный потенциал, В	0,5 (0,002)
• Электрическая емкость, мкФ	0–20
• Электрическое сопротивление, Ом	5–8000

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

• Переменный ток:	
○ диапазон частот, кГц	10–500 000
○ напряжение, В	10
○ величина тока, А	0,4
• Диапазон температур, °C	от –20 до +50

Особенности работы. В камеру прибора помещают три испытываемых образца размерами 20×20×20 мм, необходимых для измерения физико-химических характеристик, проведения воздействий электрическим током на образец и для получения материала без воздействий, который можно подвергнуть физико-механическим испытаниям. Прибор (УККМ-1) подключается к компьютеру для регистрации и обработки полученных от него данных и настройки методик для проведения испытаний.

Время проведения эксперимента может быть не ограничено.

Разработчики: Н.А. МАШКИН, д-р техн. наук, проф.,
В.С. БАЕВ, канд. хим. наук, докторант.

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин).

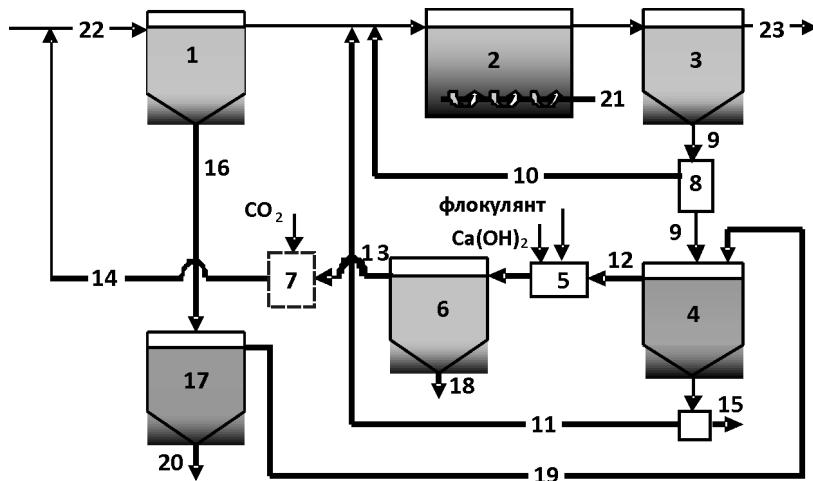
E-mail: ntio@vandex.ru

Internet: www.sibstrin.ru

Тел./факс: (383) 266-28-89

УДАЛЕНИЕ ФОСФОРА ИЗ СТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ

В НГАСУ (Сибстрин) на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» разработан способ удаления фосфора из сточной жидкости. Согласно данной технологии, эффект удаления фосфора достигает 96,8 % (как в летний, так и в зимний период года), т.е. концентрация фосфора (по PO_4^{3-}) в очищенной сточной воде составляет 0,38 мг/л.



Комбинированный метод удаления фосфора

1 — первичный отстойник, 2 — аэротенк, 3 — вторичный отстойник, 4 — сооружение для дефосфатирования циркулирующего ила, 5 — камера смешения и реакции, 6 — отстойник физико-химической очистки, 7 — карбонизатор, 8 — насосная станция, 9 — циркулирующий и избыточный активный ил, 10 — циркулирующий активный ил, 11 — дефосфатированный циркулирующий активный ил, 12 — иловая вода, обогащенная фосфатами, 13 — иловая вода, освобожденная от фосфатов, 14 — иловая вода на повторную очистку, 15 — уплотненный избыточный активный ил, 16 — осадок из первичного отстойника, 17 — ацидофикатор, 18 — осадок, содержащий $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ и $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 19 — иловая вода, обогащенная летучими жирными кислотами, 20 — осадок из ацидофикатора, 21 — воздух, 22 — сточная жидкость, поступающая на очистку, 23 — очищенная сточная жидкость

Данная технология очистки сточной жидкости от фосфора предполагает замену дорогостоящей уксусной кислоты на продукт метаболизма отходов очистных сооружений канализации, содержащий большое количество летучих жирных кислот, и позволяет увеличить чистый дисконтированный доход на 1,3 млн руб.

Данный способ подтвержден патентами на изобретение № 2276108 (заявл. 05.08.2004, опубл. 27.01.2006), № 2230042 (заявл. 23.11.2002, опубл. 10.06.2004), № 43258 (заявл. 05.08.2004, опубл. 10.01.2005).

Разработчики: Г.Т. АМБРОСОВА, канд. техн. наук, доц.,
Т.А. БОЙКО, канд. техн. наук, доц.

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

E-mail: ntio-ngasu@yandex.ru

Internet: www.sibstrin.ru

Тел/факс: (383) 266-28-89

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
— сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. 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 Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Сыг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов;

— название статьи на английском языке;

— аннотацию на английском языке;

— ключевые слова на английском языке;

— библиографический список на английском языке.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (ставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстраций не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. **Русские и греческие буквы** и индексы, а также **цифры**, **аббревиатуры** и **стандартные функции** (*Re*, *cos* и др.) набираются **прямым шрифтом**. **Латинские буквы** набирать **курсивом**. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2011 г. — из расчета 650 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 2-е полугодие 2011 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 1260 р.

Цена отдельного номера — 210 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 10 (634) 2011

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Т.П. Петроченко*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*