

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

№ 8–9 (632–633)
Август–сентябрь 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

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МА-
ТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Игнатова А.М., Попов В.Л.,
Антонов Ю.Б., Вагин В.В.,
Игнатов М.Н., Чернов В.П.,
Ханов А.М. Рациональные
направления использования
камнелитых изделий из син-
тетических минеральных
сплавов в строительстве ... 3

- Баталин Б.С., Белозеро-
ва Т.А., Сеньков С.А. На-
номодификации керамики
из террикоников угольных
шахт введением добавки
коллоидного раствора оли-
гопептидов 17

- Кучерова Э.А., Сат Д.Х.,
Кара-Сал Б.К. Цеолитсо-
держащая порода — поли-
функциональная добавка
для производства керами-
ческих стеновых материа-
лов 21

- Наумов А.А., Юндин А.Н.
Увеличение морозостойко-
сти кирпича полусухого
прессования минеральной
модифицирующей добавкой
..... 27

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО

- Гахова Л.Н., Кузнецо-
ва Ю.А. Оценка напряжен-
ного состояния турбинных
водоводов методом гранич-
ных интегральных уравне-
ний 32

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

- Уляшева В.М. К вопросу
организации воздухообмена
в помещениях с источни-
ками тепловыделений 38

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 11.11.11. Формат 70×108 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 11,20+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 744.

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

Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л. Технологии подготовки питьевой воды из источников с высоким содержанием органических соединений	47
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Ломухин В.Б., Виноградов А.Б., Лаптева И.В., Сургин В.В. Ремонтно-восстановительные составы и возможность их классификации	54
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Багрова Н.В. Хронотопические фреймы архитектурно-критической мысли	59
Пуляевская Е.В. Архитектурно-градостроительное наследие сельских поселений и принципы формирования исторических ландшафтов Предбайкалья	64
Черных О.И. «Историзм» как основа выбора архитектурного решения в культовой архитектуре Иркутска последней четверти XIX в.	70
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Кононова М.С. Оценка снижения теплопотребления на отопление зданий при повышении сопротивления теплопередаче наружных ограждений	78
Мойсейчик Е.А. Предельные состояния растянутых болтов и их учет в соединениях	84
Пантелеев Н.Н. Компенсационное устройство в каркасах многоэтажных зданий с применением вязкоупругой модели в стыках при строительстве в сейсмических районах	92
Савков П.А., Лубягин А.В., Криворотов А.П. Оценка сжимаемости геокомпозитной среды	97
Тарасевич В.В., Мороз А.А., Ли А.К. Квазистационарный подход к описанию течения через местное сопротивление	104
Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных материалов сухого и мокрого способов измельчения. Часть 1. Размерный интервал критического размера наночастиц	112
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Адищев В.В., Березина Э.В., Ершова Н.В. Экспериментальная апробация метода трансформации эталонных диаграмм деформирования бетона при изгибе	118
НАШИ ЮБИЛЯРЫ	
Выдающийся ученый, изобретатель, педагог (к 75-летию Владимира Александровича Воробьева)	125
Талантливый ученый-механик, изобретатель, педагог (к 75-летию Эдуарда Александровича Абраменкова)	126

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.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.002.3

**А.М. ИГНАТОВА, В.Л. ПОПОВ, Ю.Б. АНТОНОВ,
В.В. ВАГИН, М.Н. ИГНАТОВ, В.П. ЧЕРНОВ, А.М. ХАНОВ**

РАЦИОНАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМНЕЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Проведены обзорные исследования по изучению возможности конкуренции между камнелитыми изделиями из синтетических минеральных сплавов и традиционными строительными материалами. Доказано, что камнелитые изделия не только конкурентоспособны по отношению к традиционным материалам, но и превосходят их по ряду параметров. Экономические показатели применения камнелитых изделий свидетельствуют о рациональности их использования в строительстве.

Ключевые слова: строительство фундаментов, тротуарные плиты, блоки, архитектурные каменные изделия, камень, каменное литье, синтетические минеральные сплавы.

Камнелитые материалы на основе синтетических минеральных сплавов (симиналов) в строительстве используются весьма ограниченно. Причина этого — отсутствие как технологических, так и экономически обоснованных рекомендаций по их рациональному применению.

Настоящее исследование посвящено обзору возможных наиболее рациональных направлений использования камнелитых изделий из симиналов в строительной индустрии.

Синтетические минеральные сплавы (симиналы) — недавно предложенное название для определения группы материалов, получаемых по технологии «каменного литья».

Симиналы получают из моно- или многокомпонентной шихты, состоящей из различных горных пород основного и ультраосновного характера (габбро-, базальты и диабазы) и/или подобных им техногенных отходов (доменный шлак, зольные отходы ТЭЦ, отвальные породы и т.д.). Основой для всех симиналов является диоксид кремния, структура симиналов представляет собой сочетание кристаллических и аморфных минеральных фаз, состав которых близок к природным материалам. От природных «аналогов» симиналы отличаются тем, что в их состав входит дополнительный набор

Таблица 1
Химический состав симиналов

Разновидность симиала	Содержание мас., %								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O+Na ₂ O	FeO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
На основе габброидных пород	47,3	2,3	12,5	8,3	9,5	2,1	10,9	3,4	0,5
На основе базальтоидных пород	45,5	1,7	15	12	11,5	2,4	9,1	3,5	—

металлов и оксидов, которые в природных минералах не соседствуют, кроме того структура симиналов более равномерная, а структурные агрегаты, как правило, меньше по размерам [1–3 и др.]. В рамках данного исследования рассматриваются в основном симиналы, синтезированные на основе габброидных и базальтоидных пород, их химический состав указан в табл. 1.

Симиналы изготавливают из того же сырья, что и большинство минералооксидных строительных материалов, таких как бетон, цемент и т.д. Следовательно, камнелитую продукцию из симиналов можно внести в общую классификацию подобных строительных материалов (рис. 1). Так как камнелитые изделия и технология их получения относятся к разновидностям технологий, не имеющих широкого распространения, то основным признаком классификации считается именно освоенность технологии.



Рис. 1. Классификация строительных материалов на минеральной основе

Технология каменного литья, по которой и производится непосредственно потребительская продукция из симиналов, предполагает получение расплава, манипуляцию с ним и дальнейшую кристаллизационно-отжигательную обработку изделий. Разумеется, этот технологический процесс достаточно энергоемкий и продукция, производимая по такой технологии, может по стоимости превосходить материалы, выполненные по традиционным и хорошо освоенным технологиям (рис. 2). Но если сравнивать по трудозатратности, то камнелитые изделия оказываются в весьма выигрышном положении (рис. 3).

Подобная ситуация позволяет говорить о том, что рациональность применения камнелитых изделий зависит прежде всего от вида рассматриваемой продукции. В зависимости от того, какие манипуляции произ-

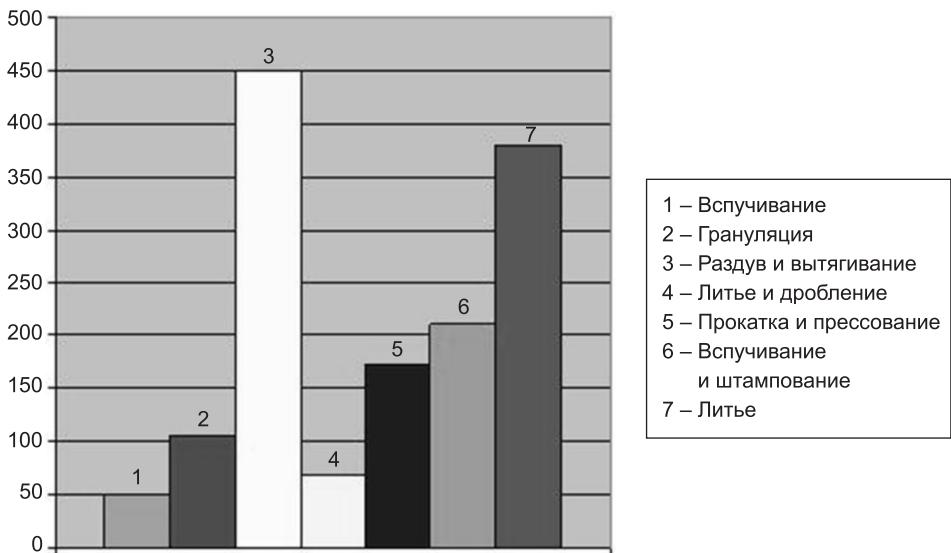


Рис. 2. Уровень себестоимости 1 м³ (руб.) строительной продукции, изготовленной по различной технологии

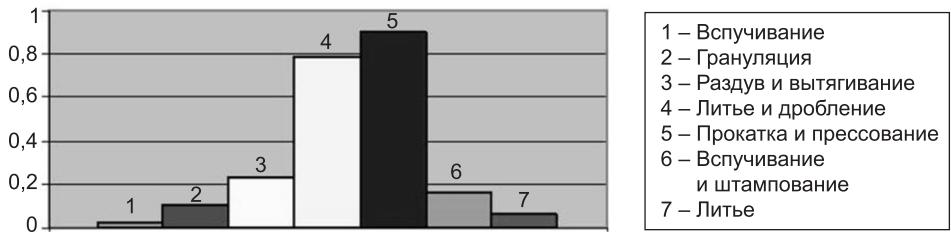


Рис. 3. Уровень трудозатрат, необходимых для изготовления 1 м³ (чел./день) строительной продукции по различным технологиям

водить с расплавом симиналов, можно получить широкий спектр изделий. В настоящее время наиболее освоенными являются следующие манипуляции с расплавом: заливка расплава (получение отливок), раздув расплава (получение волокна), производства ровинга (получение нитей, непрерывного волокна и тканей) и грануляция (получение сварочных плавленых материалов, т.е. флюсов). Все эти технологии взаимосвязаны, так как начальным этапом каждой из них является получение расплава. В данном обзоре нас в большей степени интересуют литье изделия.

Изготовление отливок позволяет получать монолитные изделия простой конфигурации, например, плиты, блоки и т.д., именно такие изделия востребованы в строительстве. Однако камнелитые изделия обладают комплексом свойств, которые во много раз превосходят свойства более известных и распространенных материалов (табл. 2).

Следует отметить, что и срок службы камнелитых изделий в значительной степени превосходит срок службы аналогичных изделий из других материалов. Например, если рассматривать камнелитые плиты из симиналов как материал для дорожного покрытия, то становится очевидным, что его долговечность несомненно превышает общие показатели долговечности традиционных материалов (табл. 3).

Основными рабочими свойствами литых симиналов, эксплуатирующихся в агрессивных условиях, подобных тем, которые возникают при использовании их в качестве дорожного материала, являются твердость, износстойкость, высочайшая прочность при сжатии, морозо-, термо-, ки-

Таблица 2

Обзор основных физических и механических свойств камнелитых материалов и его традиционных аналогов

Показатель	Каменное литье			Серый чугун СЧ12	Огнеупорный кирпич	Огнеупорный бетон ПКБП-441
	износостойкое	термостойкое	шлаковое			
Объемная масса, кг / м ³	2900–3000	2800–3000	2900–3000	7200	2200	1900
Предел прочности при сжатии, МПа	200–500	150–350	200–450	500	23	45
Предел прочности при изгибе МПа	20–50	15–40	20–45	280	5	4
Водопоглощение, %	0,1	0,7	0,2	—	11,0	10,0
Ударная вязкость, кДж / м ²	1,25	1,06	1,10	3,00	—	1,20
Модуль упругости, МПа	100 500	45 000	84 000	120 000	10 000	18 000
Термостойкость, °C	200	900	850	—	1000	1100
Теплопроводность при 20 °C, Вт / (м·C)	1,52	1,07	1,37	51,00	1,00	0,83

Таблица 3

Обзор показателей стоимости и долговечности дорожных покрытий

Показатель	Материал			
	натураильный камень	асфальтобетон	симинал	искусственный камень
Твердость по Моосу	3–8	2–4	6–8	2–4
Износстойкость, г / см ²	1,0–5,5	3,0–8,0	1,0–2,0	2,0–6,0
Кислотостойкость, %	85–99	60–90	85–97	70–80
Морозостойкость, кол-во циклов	200–350	50–80	200–300	20–60
Средний межремонтный срок службы, лет	15–30	2–3	15–25	8
Стоимость 1 м ² с учетом расходов на монтаж, руб.	900–1500	450–600	600–800	500–600

слотостойкость (табл. 3) и, конечно, долговечность. Особено следует отметить среди них морозостойкость, так как она имеет рекордно высокий показатель, поскольку симиналы обладают практически нулевым водонасыщением. Для достижения комплекса основных свойств необходимо проводить кристаллизационно-отжигательную термическую обработку отливок непосредственно после заливки. В случае получения отливок в песчано-глинистых формах обработка проходит без извлечения отливок, в остальных случаях отливки из форм извлекаются. В процессе термообработки обеспечивается медленное затвердевание при высоких температурах и небольших скоростях, это позволяет получать кристаллическую структуру, которая собственно и определяет набор и уровень свойств продукции из симиналов. Говоря о долговечности камнелитых изделий, следует отметить, что именно она явила фактором, тормозящим широкое распространение этого материала как в строительной индустрии, так и в других сферах. Она оказалась настолько высока, что некоторые изделия исправно работали и не требовали замены в течение более 20 лет. Предприятия просто не регулярно приобретали продукцию, из-за этого темпы и объемы производства не увеличивались.

Долговечность во многом зависит от другого весьма важного свойства продукции из симиналов — износстойкости. Камнелитые изделия из симиналов показывали одинаково высокие показатели долговечности в раз-

личных, даже весьма суровых условиях эксплуатации. Благодаря этому сфера применения камнелитых изделий из симиналов по-настоящему велика, она не ограничивается промышленным и гражданским строительством, а охватывает и сферу специального строительства, включая:

- фундаменты, каналы ливнеприемников, канализационные сооружения, шахты колодцев и другие строительные элементы сооружений;
- опоры мостов, элементы мостов для дробления льда, облицовка причалов и прочие гидротехнические сооружения;
- бордюры и отбойники дорог, дорожные плиты, элементы укрепления дорожных и железнодорожных откосов;
- защитная футеровка пневмопроводов для нужд стекольной и электроламповой промышленности;
- футеровка шаровых мельниц и изготовление мелющих тел для нужд лакокрасочной, эмалевой, карандашной и других отраслей промышленности;
- футеровка отводов пневмоподач в цементной и глиноземной промышленности;
- футеровка линий подачи зеленого щелока из содорегенерационных котельных в цеха подготовки щелоков для целлюлозной промышленности;
- термостойкая футеровка стартовых столов космических комплексов и пусковых шахт;
- термосплавоустойчивая футеровка электролизеров для получения магния и алюминия;
- контейнеры для радиационной и биологической защиты окружающей среды.

Большое влияние на срок службы камнелитых изделий оказывает и величина остаточных напряжений, образующихся в процессе формирования и отжига камнелитых изделий. Получение отливок из симиналов размером более $400 \times 400 \times 40$ мм затруднено из-за возникающих напряжений, поэтому при их изготовлении применяется армирование стальной проволокой $\varnothing 4\text{--}8$ мм. Единичные испытания, проведенные на экспериментальных производственных площадках Украины, показали, что при расчете несущих конструкций из камнелитых изделий можно использовать СНиПы, применяемые в строительной индустрии для изделий аналогичных конструкций [4]. В качестве примера применения камнелитых армированных изделий в промышленном строительстве можно привести утяжелители для газопроводов $\varnothing 1420$ мм взамен бетонных и чугунных для укладки их на переходах через реки, озера. Производились также и седловые утяжелители для трубопроводов $\varnothing 1420$ мм весом 7 т для пригруза газопроводных труб в припойменных частях рек во время весенних подтоплений и в период наводнений.

Предел прочности на сжатие в камнелитых изделиях превышает прочность на изгиб в 10 раз, что создает определенные сложности в их эксплуатации. Камнелитая конструкция надежно эксплуатируется при условии, что все ее элементы работают только на сжатие. Поэтому, как правило, камнелитые изделия (плиты (рис. 4), трубы (рис. 5)) монтируются на цементном растворе или бетонном основании, которые исключают появление изгибающих нагрузок.

Наибольшим опытом по выпуску камнелитых абразиво- и термостойких плит, а также труб, футерованных камнелитыми вкладышами, обладает предприятие ОАО «Первоуральский завод горного оборудования». Его продукция используется на ведущих горно-обогатительных предприятиях как на территории РФ, так и за рубежом, в основном в странах СНГ. Кро-

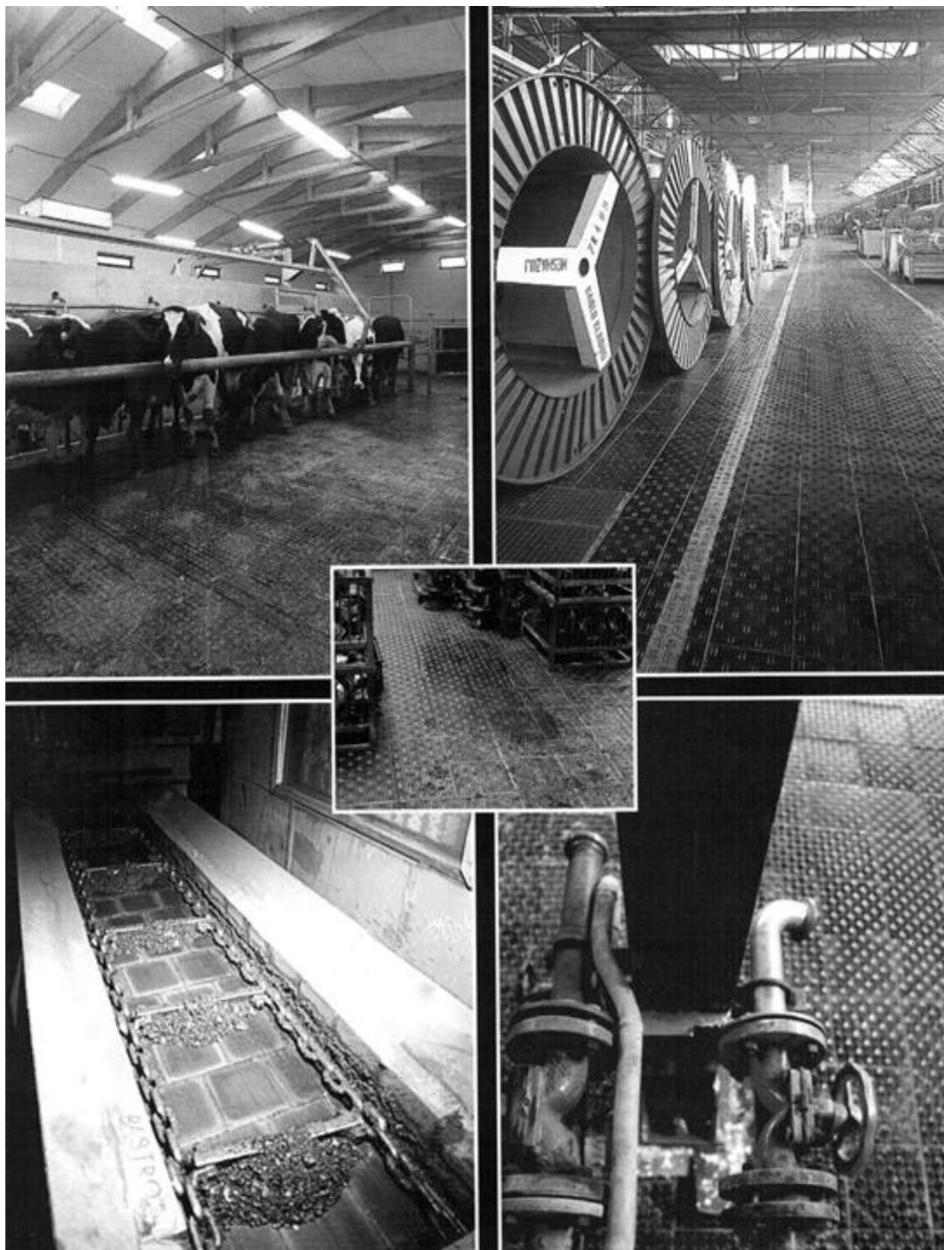


Рис. 4. Плитка из симиналов

ме плит и футерованных труб, по данным предприятия, у потребителей пользуются спросом следующие камнелитые изделия из симиналов:

- колеса коксового грохота (рис. 6, а);
- камнелитые желоба (рис. 6, б);
- мультициклоны, футерованные каменным литьем (рис. 6, в);
- порошок кислотоупорный.

Кислотоупорный порошок представляет собой раздробленные до мелкодисперсного состояния отходы литья. Он необходим для создания вяжущего раствора, предназначенного для монтажа камнелитых деталей, на поверхности составных элементов готовой продукции.

Кроме монтажа на специализированный вяжущий раствор, сборка может осуществляться по методу пайки, такие соединения прочнее и зна-

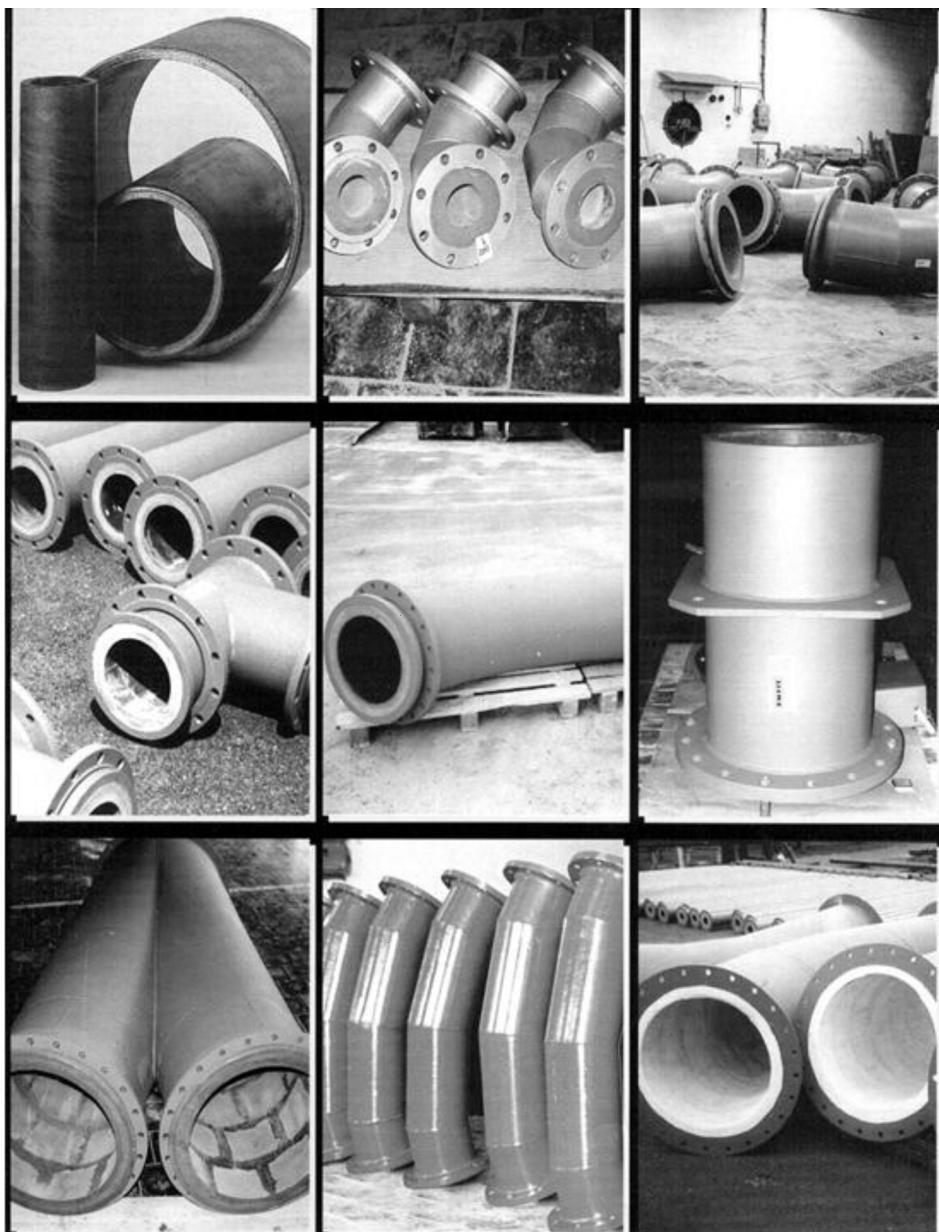


Рис. 5. Трубы из симиналов с металлической броней

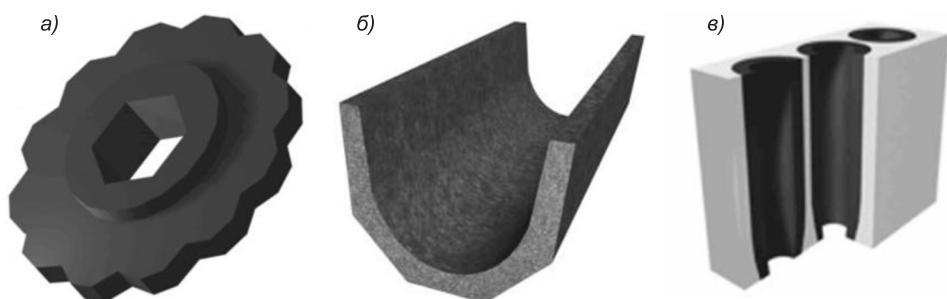


Рис. 6. Специальные изделия из каменного литья ОАО «ПЗГО»:
а — колесо грохота; б — желоб; в — мультициклон

чительно герметичнее, а за счет использования в качестве припоя силикатных фритт такое соединение еще и не подвергается разрушению при нагреве, так как имеет почти одинаковое значение термического расширения непосредственно с самим материалом соединяемых деталей [5].

В гражданском строительстве камнелитые изделия могут использоваться для возведения городских коммуникаций. Большие проблемы для многих городов создают канализационные системы диаметром от 400 до 3600 мм, выложенные в основном железобетонными конструкциями. Срок службы таких канализационных систем не превышает 10–20 лет. Любая авария на магистрали, как правило, является катастрофой для городов, так как у них нет резервной линии. Один из самых надежных вариантов увеличения срока службы коллекторов — защита их камнелитыми облицовочными изделиями и желобами. В этом случае срок службы может быть увеличен до 30 лет и более. Такой смелый прогноз основан на примере шламопровода \varnothing 1220 мм, зафутерованного камнелитыми износостойкими вкладышами, установленными на предприятиях Украины, он эксплуатируется до сих пор, т.е. почти 40 лет.

Наибольшее распространение камнелитые изделия получили в Европе, где много канализационных коллекторов, выложенных базальтовыми блоками, которые эксплуатируются столетиями. По этому пути пошли и чешские городские службы, защищая нижнюю половину коллектора фасонными камнелитыми плитами, а верхнюю половину и свод — красным кирпичом, гарантируя срок службы коллектора не менее 100 лет. Европейский опыт по производству камнелитых изделий связан с чешскими промышленниками и исследователями данной технологии, поскольку именно в Чехии были обнаружены месторождения базальта, который используется и до сих пор для производства литых изделий без какой-либо дополнительной подшихтовки.

В Украине разработана технология производства двухслойных канализационных труб «камень–бетон» с футеровкой внутренней поверхности камнелитыми трубами внутренним \varnothing 400–1100 мм с гарантированным сроком службы не менее 100 лет.

Заслуживает внимания и опыт российских коммунальных служб, которые во время ремонта канализационного коллектора в Санкт-Петербурге \varnothing 2600 мм защитили его дно и стены камнелитыми плитами.

Перспективным направлением является замена чугунных и бетонных тюбингов на камнелитые при укладке их в метро. В Первоуральске была отлита опытная партия камнелитых тюбингов, которые установили на одной из вентиляционных камер линии Московского метрополитена.

Большое будущее и у термостойкого литья из симиналов, работающего при температурах до 900 °C. Это, в первую очередь, стены и своды камерных и тоннельных печей, а также наиболее подверженных температурному воздействию горячих зон производственных помещений. Армирование позволяет изготавливать отливки размером до 3,6 м с толщиной стенки до 250 мм.

Особенные перспективы существуют при использовании продукции из симиналов для охраны окружающей среды, места проживания и работы человека от радиационного излучения и воздействия токсичных материалов. Исследования по установлению стойкости камнелитых изделий при воздействии на них радиоактивного излучения были проведены Институтом проблем литья, Карельским научным центром РАН (г. Петрозаводск), НИЦГСП «Техноцентр» (г. Киев – Чернобыль) и ОАО «Первоуральский завод горного оборудования» (г. Первоуральск, Свердловская обл.). Ими было установлено, что радиоактивные отходы (РАО) первой и второй групп

пы не воздействуют на прочностные свойства и структуру камнелитых изделий. РАО третьей группы незначительно (на 10–15 %) снижают прочностные свойства отливок за счет релаксации аморфной фазы. Петрографическое исследование базальтовых кернов с больших глубин (1,0–1,5 км), имеющих радиационную напряженность до 1000 миллиренген/час, также не обнаружили существенных изменений в структуре.

Опыт по производству контейнеров из симиналов для утилизации опасных отходов есть на уральском предприятии ОАО «ПЗГО». Однако на настоящее время практических примеров использования каменного литья в строительстве радиационной защиты нет.

Особую актуальность в последнее время приобретает направление использования каменного литья как материала для создания художественной продукции и оформления предметно-пространственной среды.

Первый опыт использования каменного литья для создания художественных изделий связан с успешной попыткой получить светлоокрашенное каменное литье, предпринятой еще в довоенный период. Это композиции из белокаменного литья, до сих пор украшающие павильоны Московской ВДНХ и набережную г. Сочи.

Впервые исследования по получению светлоокрашенного каменного литья проведены ориентировочно в 1931 г. Как известно, в те годы в приоритетные задачи советской промышленности входило обеспечение возможности возведения одного из самых масштабных проектов того времени — Дворца Советов. Каменное литье предполагалось использовать в качестве замены натурального камня для облицовки фасада этого грандиозного здания. Согласно проекту облицовка здания должна была быть светлой, а каменное литье представляло собой материал темно-серого цвета. Перед советскими учеными всталая задача получить светлое каменное литье. Эта задача была успешно решена на первом Российском петрографическом предприятии «Московском камнелитейном заводе», построенном для обеспечения в дальнейшем грандиозной стройки. Светлое каменное литье (светлокаменное) было получено путем удаления из шихты оксидов железа и введения в состав оксидов цинка и титана.

С отказом от строительства Дворца Советов о каменном литье временно забыли. Вновь к нему обратились только после Великой Отечественной войны, тогда стране понадобилось восстанавливать здания, разрушенные в результате военных действий. Натурального камня просто не хватало, а транспортировать его в те области, где в нем была наибольшая потребность, было просто невозможно по экономическим соображениям. Тогда и приняли решение о возобновлении камнелитейного производства, причем не в Московской области, а в южных областях Советского Союза, поскольку именно они пострадали в большей степени от военных действий и больше всего нуждались в каменном литье. Камнелитейное производство тогда было организовано как вспомогательное на предприятиях, занимающихся добычей угля, поскольку в качестве сырья использовалась пустая порода, являющаяся побочным продуктом разработки угольных месторождений [6].

Создание светлоокрашенного или белокаменного литья — первый шаг к синтезу цветных камнелитых материалов, что позволит значительно расширить область применения камнелитых плит и барельефов в декорировании экsterьеров и интерьеров (рис. 7).

Некоторые разновидности каменного литья и без дополнительных технологических решений обладают определенной цветностью. Например, зеленоватый цвет никопольских камнелитых плит привлек внимание ленинградских метростроевцев, и они 20 лет назад уложили их на входных и выходных дверях одной из станций взамен гранитных, которые ме-



Рис. 7. Оформление плитами из симиналов интерьеров общественных помещений

нялись через каждые 5–10 лет, эти плиты служат и по сей день. Из каменного литья можно отливать скульптуры и барельефы. Например, в Никополе была отлита скульптура известного ученого и архитектора В.Г. Шухова, которая установлена на его родине в Курской области.

Расцвет камнелитейной промышленности в России приходится на 50–60-е годы XX в. Однако об использовании каменного литья как материала для создания художественных изделий быстро забыли, поскольку внимание промышленников перешло от эстетических возможностей этого материала к эксплуатационным. Оценив по достоинству стойкость каменного литья к абразивному изнашиванию и агрессивным средам, было принято решение о его внедрении на предприятия тяжелой промышленности в качестве материала для защиты наиболее уязвимых и быстро из-

нашивающихся конструкций. С тех пор каменное литье перешло в разряд исключительно конструкционных материалов, вопросы о его использовании для изготовления художественных изделий больше не рассматривались.

Позднее было создано несколько петрографических производств по всему Союзу, но на сегодняшний день осталось и до сих пор работает только одно, на Первоуральском заводе горного оборудования (Свердловская обл.), о котором уже неоднократно упоминалось.

В годы расцвета камнелитейного производства в России параллельно к нему возник интерес в странах Восточной Европы. В 1953 г. в Чехии в г. Стара Вода был построен завод по производству каменного литья из местного базальта. В номенклатуру изделий этого предприятия входили как технические изделия, так и художественные, в основном плиты (облицовочные, напольные и т.д.) и плинтуса, также в единичном порядке на предприятии изготавливали фонтаны, изделия для оборудования саун и бань.

В настоящее время совместно с промышленными предприятиями, специализирующимися на выпуске камнелитой продукции, ведутся работы по совершенствованию декоративных свойств камнелитых изделий. Достигнутые результаты позволили получать отливки более сложной формы и тонким рельефом (рис. 8, 9), это позволяет положительно оценить перспективу применения камнелитых изделий из симиналов в архитектурном строительстве. Особенно это иллюстрируют подсчеты приведенной экономии применения каменного литья по сравнению с ситаллами, наиболее близкими по принципу производства строительными материалами (рис. 10).

Таким образом, проведенное исследование доказывает, что изделия из симиналов способны конкурировать с традиционными материалами и успешно превосходить их по многим параметрам, в том числе и по таким значительным, как долговечность и безопасность. Экономические показатели применения камнелитых изделий свидетельствуют о рациональности их использования в строительстве. Наибольший экономический эффект достигается при использовании такой камнелитой продукции, как тротуарные и напольные плиты и вкладыши для труб, а также при ис-

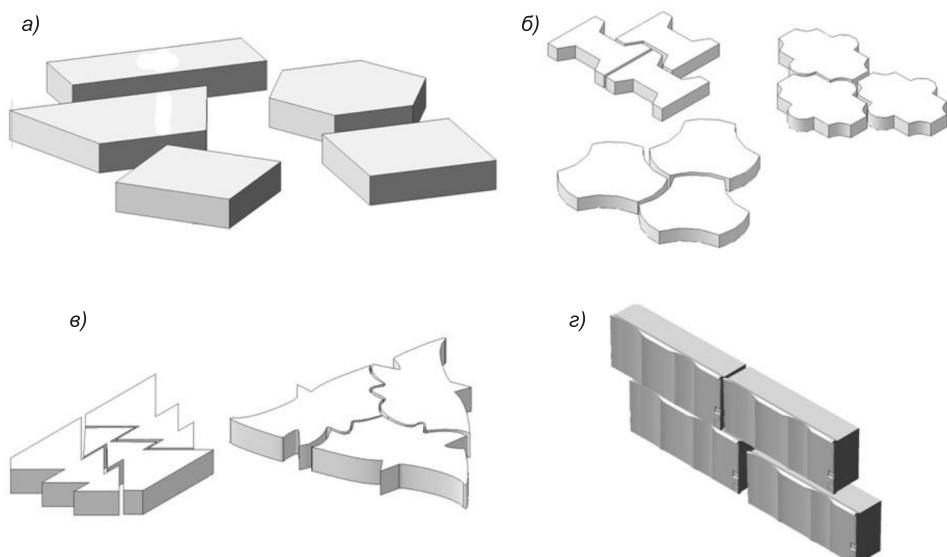


Рис. 8. Формы декоративной напольной и тротуарной камнелитой плитки
а — простые геометрические; б — сложные геометрические; в — абстрактные; г — имитационные



Рис. 9. Облицовочные изделия из симиналов

а — полированная плитка из симиала на основе базальта ($200 \times 120 \times 15$); б — неполированная на основе горнблендита ($200 \times 100 \times 15$); в–д — розетки, полученные литьем в песчаную форму из симиала на основе горнблендита ($\varnothing 300$, $\varnothing 230$, $\varnothing 120$); е — рельефная плита, полученная литьем в разную песчаную форму из симиала на основе горнблендита ($200 \times 100 \times 15$); ж — полированная плитка из симиала на основе горнблендита со вставками из натурального гранита ($200 \times 100 \times 15$)

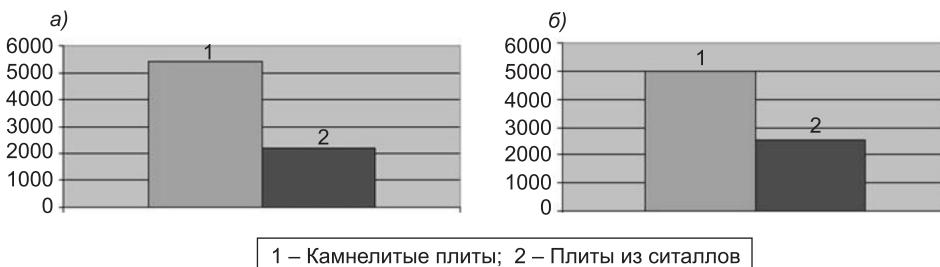


Рис. 10. Показатели приведенной экономии для гладких (а) и декоративных (б) плит

пользовании каменного литья для создания изделий, подвергающихся агрессивному воздействию окружающей среды (низкие и высокие температуры, абразивный износ, химическое и радиационное воздействие и т.д.) в процессе эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сибильев, А.И. Производство и применение изделий из каменного литья [Текст] / А.И. Сибильев, И.Е. Липовский. — Донецк : Облиздат, 1960. — 70 с.
2. Липовский, И.Е. Камнелитейное производство [Текст] / И.Е. Липовский, В.А. Дорофеев. — М.: Металлургия, 1965. — 176 с.
3. Вагин, В.В. Пути интенсификации плавки шихт и улучшения качества петрографических расплавов [Текст] / В.В. Вагин, С.В. Ладохин, П.П. Панюшкин // Проблемы каменного литья. — Киев : Наук. Думка, 1975. — С. 102–111.
4. ГОСТ 9479–98. Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий [Текст]. — Введ. 2001-01-01. — М. : Изд-во стандартов, 2000. — 20 с.
5. Игнатова, А.М. Создание цветных износостойких покрытий на поверхности изделий из синтетических минеральных сплавов [Текст] / А.М. Игнатова, М.М. Черных // Современные проблемы машиностроения : сб. тр. МНТК. — Томск : НИ ТПУ, 2010. — С. 192–197.
6. Чернышев, В.В. Светлый литой камень [Текст] / В.В. Чернышев и др. // Инф. Бюл. ИТЭИН. — М. : АН СССР, 1954. — 56 с.

ИГНАТОВА А.М., асп.

Пермский научно-исследовательский политехнический университет

ПОПОВ В.Л., консультант

ЗАО «Первоуральский завод горного оборудования»

АНТОНОВ Ю.Б., ведущий технолог

ЗАО «Первоуральский завод горного оборудования»

ВАГИН В.В., заслуженный работник камнелитейной промышленности

г. Днепропетровск, Украина

ИГНАТОВ М.Н., д-р техн. наук, проф.

Пермский научно-исследовательский политехнический университет

ЧЕРНОВ В.П., д-р техн. наук, проф.

Магнитогорский государственный технический университет

ХАНОВ А.М., д-р техн. наук, проф.

Пермский научно-исследовательский политехнический университет

Получено 13.08.11

Ignatova A.M., post-graduate student, Perm Research Technical University, Russia

Popov V.L., consultant, Pervouralsky mining equipment plant, Russia

Antonov Yu.B., senior process, Pervouralsky mining equipment plant, Russia

Vagin V.V., honored worker stonemasonry industry, Dnepropetrovsk, Ukraine

Ignatov M.N., doctor of technical sciences, professor, Perm Research Technical University, Russia

Chernov V.P., doctor of technical sciences, professor, Magnitogorsk State Technical University, Russia

Hanov A.M., doctor of technical sciences, professor, Perm Research Technical University, Russia

RATIONAL AND USAGE STONECASTING PRODUCTS FROM SYNTHETIC MINERALALLOY CONSTRUCTION

Conducted observational studies to explore the possibility of competition between products made from stonecasting (synthetic mineral alloys) and traditional building materials. It is proved that stonecasting products not only compete with conventional materials, but also surpass them by a number of parameters. Economic indicators of stonecasting products show the rationality of their use in construction.

Key words: building foundations, paving slabs, blocks, architectural stone products, stone, stonecasting, synthetic mineral alloys.

REFERENCES

1. Sibilev, A.I. Production and Use of Products Made of Stone Casting [Text] / A.I. Sibilev, I.E. Lipovsky. — Donetsk : Oblizdat, 1960. — 70 p.
 2. Lipovsky, I.E. Stonecasting Production [Text] / I.E. Lipovsky, V.A. Dorofeev. — M. : Metallurgy, 1965. — 176 p.
 3. Vagin, V.V. Ways of Intensifying Smelting Furnace Feed and Improve the Quality of Petrurgical Melts [Text] / V.V. Vagin, S.V. Ladokhin, P.P. Panyushkin // Problems of Stonecasting. — Kiev : Naukova Dumka, 1975. — P. 102–111.
 4. GOST 9479–98. Blocks of Rock to Produce Stone for Architectural, Memorial and Other Products [Text]. — Introduced. 2001-01-01. — M. : Standards Press, 2000. — 20 p.
 5. Ignatova, A.M. Creating Colored Wear-resistant Coatings on the Surface of Products Made from Synthetic Mineral Alloys [Text] / A.M. Ignatova, M.M. Chernih // Modern Problems of Engineering : Sat Proceedings of IRTC. — Tomsk : TPU, 2010. — P. 192–197.
 6. Chernyshev, V.V. Light Cast Stone [Text] / V.V. Chernyshev et al. // Info. Bulletin ITEIN. — M. : USSR Academy of Sciences, 1954. — 56 p.
-

УДК 666.31:678.06.004.8

Б.С. БАТАЛИН, Т.А. БЕЛОЗЕРОВА, С.А. СЕНЬКОВ

**НАНОМОДИФИКАЦИИ КЕРАМИКИ
ИЗ ТЕРРИКОНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ
ВВЕДЕНИЕМ ДОБАВКИ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА
ОЛИГОПЕПТИДОВ**

Исследовано влияние коллоидного раствора олигопептидов (КРОП) на свойства керамических материалов. Приводится гипотеза о возможности наномодификации керамики с помощью добавок КРОП.

Установлено, что применение коллоидного раствора олигопептидов способствует улучшению технических характеристик керамических материалов, изготовленных методом шликерного, пластического и сухого формования из террикоников угольных шахт.

Ключевые слова: терриконики, керамика, наномодификация, олигопептиды, мицелла, темплат.

Известно, что органические соединения широко применяются в технологии строительных материалов для модификации свойств дисперсных систем. Так, лигносульфонаты, производные ароматических углеводородов типа меланина, нафталина и т.п., применяют в качестве поверхностно-активных добавок: пластификаторов и суперпластификаторов в бетонных и растворных смесях, в керамических массах и т.п. [1, 2]. Эти вещества способны образовывать мицеллы вокруг силикатных и алюмосиликатных частиц в водной дисперсионной среде.

Ранее [3, 4] было показано, что одна из разновидностей коллоидного раствора олигопептидов, используемая в качестве пенообразователя для получения цементного пенобетона, может обладать еще и другими полезными свойствами.

В работе [5] приведены исследования получения пенокерамики и керамики пластического формования с использованием КРОП в качестве наномодификатора. Установлено, что с введением КРОП увеличивается прочность и уменьшается плотность, полученная этим способом.

В статье излагаются результаты исследований по изучению влияния КРОП на дисперсную систему, практически не содержащую глины, методом сухого (полусухого) прессования.

В качестве такой системы использовали терриконики Кизеловского угольного бассейна, представленные двумя разновидностями отвальных пород:

- «черными» — углистыми глинистыми сланцами и аргиллитами;
- «красными» — так называемыми горелыми породами, подвергшимися обжигу в результате самовозгорания сланцев и аргиллитов.

Химический состав террикоников приведен в таблице.

Для экспериментов терриконики размалывали в шаровой лабораторной мельнице до полного прохождения через сито 0,63.

Сыревая смесь имела состав (мас. %): красный терриконик — 45, черный терриконик — 45, КРОП — 6, вода — 4. Влажность смеси со-

Химический состав террикоников

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S
1А	50,85	1,277	17,16	5,31	0,009	0,11	0,38	0,33	2,35	0,092	1,06
2А	51,04	1,449	21,75	14,16	0,019	0,00	1,60	0,45	2,25	0,114	1,96
3А	30,05	1,152	15,18	4,56	0,007	0,00	0,19	0,21	2,55	0,056	1,46
4А	45,22	1,295	17,11	9,65	0,007	0,11	0,16	0,23	2,43	0,076	1,10
1В	47,48	1,032	14,78	5,99	0,007	0,02	0,16	0,28	1,88	0,093	1,22
2В	52,99	1,383	19,88	14,31	0,020	0,00	1,92	0,31	2,07	0,105	1,87
3В	45,15	1,130	15,29	4,61	0,007	0,09	0,14	0,21	2,20	0,096	0,99
4В	58,67	1,192	16,57	8,34	0,013	0,24	0,13	0,22	2,29	0,095	0,82

Примечание. 1А–4А — черные терриконики; 1В–4В — красные терриконики.

ставляла 8 %. Из массы прессовали образцы-цилиндры высотой и диаметром 5 см при давлении 50 МПа. Образцы не сушили, а после формования обжигали в муфельной печи.

Интервал спекания, установленный экспериментально по величине водопоглощения, 950–1100 °С. Оптимальная температура спекания 1050 °С. Время спекания в лабораторной муфельной печи 8 ч. После обжига определяли свойства полученных образцов: прочность, плотность, коэффициент размягчения, водопоглощение и морозостойкость.

Получены следующие результаты. Если прочность при сжатии 15,6 МПа, образцы имеют плотность 1100 кг/м³, водопоглощение 10,1 %, коэффициент размягчения 0,97. При испытании на морозостойкость образцы выдержали без потери массы 100 циклов.

Таким образом установлено, что добавка расщепленных олигопептидов в виде коллоидного раствора повышает прочность керамического черепка, полученного методом шликерного литья, пластического формования и полусухого прессования в отсутствии глины.

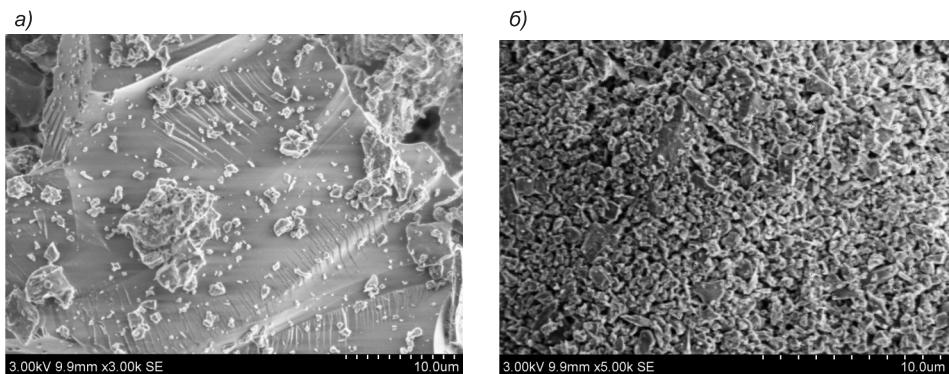
Была высказана гипотеза о причине повышения прочности черепка при использовании такой добавки [5]. Она предполагает, что в ходе обжига керамической массы, включающей олигопептиды, происходит синтез наноструктурных элементов, которые затем служат центрами кристаллизации расплава, образующегося при спекании.

Определенную роль при этом, вероятно, играют оксиды переходных 3d элементов (от скандия до цинка) и оксиды редкоземельных элементов, которые присутствуют в составе террикоников и их насчитывается более 20. По принятой классификации [1], такой материал можно считать нанокомпозитом.

Строительная керамика такого состава может иметь структуру нанокомпозита, обладать при нормативной прочности пониженной плотностью, повышенной морозостойкостью и трещиностойкостью.

На полученных электронно-микроскопических снимках видно, как изменяется структура материала после введения в него КРОП (см. рисунок). Отчетливо видны наноструктурные элементы.

О реализации наномодификации можно судить по совокупности характеристик керамического черепка, а именно: пониженная плотность при сохранении нормативной прочности; уникально высокая морозостойкость. Можно предположить, что олигопептиды выступают здесь в роли органического темплата, способствующего образованию мезопор и одновременно повышающего степень кристаллизации силикатного расплава, возникающего при спекании.



Электронно-микроскопические снимки черепка из террикоников

а — стекловидная фаза в черепке без добавки КРОП; *б* — полностью закристаллизованный черепок с добавкой КРОП

Выводы. 1. Разработаны рецептуры и технологические режимы производства облегченного керамического кирпича методом сухого прессования с использованием механизма механоактивации для улучшения эксплуатационных характеристик керамических материалов.

2. Экспериментально показано, что:

— применение коллоидного раствора олигопептидов способствует улучшению технических характеристик керамических материалов, изготовленных из террикоников угольных шахт методом сухого прессования;

— из смеси черных и красных пород террикоников может быть получена нанокомпозиционная красножгущаяся керамика строительного назначения с улучшенными физико-механическими свойствами.

Результаты работы могут быть использованы с целью утилизации многотоннажных отходов угольных шахт, представляющих высокую экологическую опасность в местах их расположения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Birkholz, M. Nanocomposite Layers of Ceramic Oxides and Metals Prepared by Reactive Gas-flow Sputtering, 179. — Р. 279–285 (2004).
2. Сычев, М.М. Некоторые аспекты химической активации цементов и бетонов [Текст] / М.М. Сычев. — Цемент. — 1979. — № 4. — С. 47–50.
3. Баталин, Б.С. Нанотехнология и строительные материалы [Текст] / Б.С. Баталин // Технологии бетонов. — 2009. — № 7–8. — С. 78–79.
4. Баталин, Б.С. Исследование влияния белкового пенообразователя на агрегативную устойчивость портландцемента [Текст] / Б.С. Баталин, Д.Р. Газетдинов // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 6. — С. 38–40.
5. Баталин, Б.С. Влияние коллоидного раствора олигопептидов на свойства керамических материалов [Текст] / Б.С. Баталин, Т.А. Белозерова, С.А. Сеньков // <http://zhurnal.ape.relarn.ru//articles/2011/045.pdf> (805879 bytes) — 045/110505. — С. 579–588.

БАТАЛИН Б.С., д-р техн. наук, проф.

Пермский государственный технический университет
БЕЛОЗЕРОВА Т.А., ст. препод.

Пермский государственный технический университет
СЕНЬКОВ С.А., канд. техн. наук; E-mail: energots@rambler.ru
Пермский государственный технический университет

Batalin B.S., doctor of technical sciences, professor, Perm State Technical University, Russia

Belozerova T.A., senior lecturer, Perm State Technical University, Russia

Senkov S.A., candidate of technical sciences; E-mail: energots@rambler.ru, Perm State Technical University, Russia

NANOMODIFIKATSII CERAMICS FROM THE MINES TERRIKONIKOV KIZELOVSKAYA INTRODUCTION SUPPLEMENTS COLLOIDAL SOLUTION OLIGOPEPTIDES

The influence of the colloidal solution oligopeptide (CROP) on the properties of ceramic materials. We present a hypothesis about the possibility of nanomodifikatsii ceramics with additives CROP. Found that the use of a colloidal solution of oligopeptides improves performance ceramic materials, fabricated by dry pressing of terrikonikov mines.

Key words: mine tailings, ceramics, nanomodification, oligopeptides, micelle, templat.

REFERENCES

1. Birkholz, M. Nanocomposite Layers of Ceramic Oxides and Metals Prepared by Reactive Gas-flow Sputtering. 179. — P. 279–285 (2004).
2. Sychev, M.M. Some Aspects of Chemical Activation of Cement and Concrete [Text] / M.M. Sychev. — Cement. — 1979. — N 4. — P. 47–50.
3. Batalin, B.S. Nanotechnology and Construction Materials [Text] / B.S. Batalin // Concrete Technology. — 2009. — N 7-8. — P. 78–79.
4. Batalin, B.S. Investigation of the Effect of the Protein Foam to Aggregative Stability of Portland Cement [Text] / B.S. Batalin, D.R. Gazetdinov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 6. — P. 38–40.
5. Batalin, B.S. The Influence of the Colloidal Solution Oligopeptide on the Properties of Ceramic Materials [Text] / B.S. Batalin, T.A. Belozerova, S.A. Senkov // <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2011/045.pdf> (805879 bytes) — 045/110505. — P. 579–588.

УДК 691.42 : 666.31

Э.А. КУЧЕРОВА, Д.Х. САТ, Б.К. КАРА-САЛ

ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩАЯ ПОРОДА — ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Показана возможность использования цеолитсодержащей породы в производство керамических стеновых материалов в качестве полифункциональной добавки для регулирования технологических свойств массы и эксплуатационных характеристик получаемых изделий.

Ключевые слова: цеолитсодержащая порода, масса, пластичность, обжиг, свойства.

При производстве керамических стеновых материалов для регулирования технологических свойств массы и обеспечения требуемых свойств используют различные добавки природного и техногенного происхождения.

В силу отсутствия необходимых природных добавок и попутных продуктов промышленности в конкретных регионах обеспечение производства качественными сырьевыми материалами для выпуска конкурентоспособных керамических стеновых материалов становится актуальной проблемой.

Для ее решения в последнее время в производстве изделий строительной керамики все чаще стали использоваться нетрадиционные местные минеральные ресурсы, которые ранее не применялись в этой отрасли [1]. Использование новых видов сырья требует исследования материалов, разработки состава масс, выявления технологических параметров производства и максимального эффективного использования новых компонентов и добавок.

В лаборатории строительных материалов Тывинского государственного университета проведена исследовательская работа, направленная на повышение качества кирпича с применением цеолитсодержащей породы (ЦСП), которая является отходом производства дорожной засыпки.

На кирпичном заводе ООО «Жилье» (г. Кызыл) из-за низкого содержания глинистых частиц в используемом суглинке (16–18 %) при формировании изделий пластическим способом наблюдается разрыв граней и трещины в глиняном брусе. Дефекты при формировании составляют 8–10 %, брак при сушке 3–5 %. Максимальная марка обожженного при 1100 °C кирпича М125, водопоглощение 13–15 %.

Для улучшения технологических свойств (формуемости, отношения к сушке и обжигу) в состав шихты на основе малопластичного суглинка была добавлена цеолитсодержащая порода.

Целесообразность применения указанной породы связана с особенностями структуры цеолитов — каркасных алюмосиликатов, которые отличаются ионообменными, сорбционными и каталитическими способностями [2], что позволяет предположить о многофункциональном их действии на кирпичные шихты.

Местная цеолитсодержащая порода месторождения Каменное представлена песчаником красно-коричневого цвета, структура мелкокристаллическая, средняя насыпная масса песчаной фракции (до 3 мм) составляет

1540–1560 кг / м³, механическая прочность при сжатии 28–32 МПа. Анализ химического состава породы (табл. 1) показывает, что наряду с высоким содержанием железистых соединений, щелочно-земельных элементов (CaO и MgO более 6 %) в значительном количестве присутствуют щелочные оксиды (K₂O и Na₂O), что очень важно для спекания массы.

Таблица 1
Химический состав сырьевых материалов

Материал	Массовое содержание оксидов, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	П.п.п.
Цеолитсодержащая порода	60,43	11,64	0,40	6,12	5,45	1,92	2,49	1,99	10,47
Бий-хемский суглинок	61,08	14,08	0,24	6,71	2,94	2,73	1,03	0,75	9,56

Минеральный состав цеолитсодержащей породы, по данным рентгенофазового анализа, представлен клиноптиолитом, монтмориллонитом, кварцем, ортоклазом. При этом содержание основных минералов породы следующее: цеолита — 16–20 %, монтмориллонита — 8–10 %, кварца — 22–26 %, ортоклаза — 32–37 %, гидрооксидов железа — 6–7 %.

Цеолитсодержащая порода в виде отсева размером частиц 0,14–3 мм измельчалась в шаровой мельнице мокрым или сухим способами до осстатка на сите 0063 не более 3 %. Полученный шликер имел влажность 40 %. Подготовленная порода вводилась в состав массы в количестве 10, 20 и 30 %. Из пластичной массы формовались опытные образцы — цилиндрики диаметром и высотой 35 мм, которые сначала сушились на воздухе, затем в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С. Обжиг проводился в лабораторной электропечи в интервале 800–1100 °С с изотермической выдержкой 1 ч.

Определение технологических свойств массы и физико-механических характеристик обожженных изделий выполнялось согласно ГОСТ 21216.1–93, 1960.20–89 и 21216.9–93.

Установлено, что введение тонкомолотой цеолитсодержащей породы (ЦСП) в состав массы из малопластичного суглинка влияет на формовочную способность и пластичность массы. Чем больше содержание добавки, тем выше пластичность массы. Как показано в табл. 2, при добавке

Таблица 2
Состав и технологические свойства масс и сырца

Номер со-ставов	Состав масс	Формовоч-ная влаж-ность, %	Число пласти-чности	Воздушная усадка, %	Предел прочно-сти при сжатии, МПа
1	Суглинок — 100 % (бий-хемский)	17,5	7,8	2,8	1,7
2	Суглинок — 90 % ЦСП (сухая) — 10 %	18,8	9,2	2,2	2,2
3	Суглинок — 80 % ЦСП (сухая) — 20 %	20,6	11,6	1,0	3,1
4	Суглинок — 70 % ЦСП (сухая) — 30 %	21,4	12,7	0,5	3,4
5	Суглинок — 90 % ЦСП (шликер) — 10 %	19,6	10,4	1,8	2,4
6	Суглинок — 80 % ЦСП (шликер) — 20 %	21,0	12,1	1,2	3,3
7	Суглинок — 70 % ЦСП (шликер) — 30 %	21,8	13,2	0,6	3,7

10 % тонкомолотой сухой цеолитсодержащей породы в массу число пластичности повышается с 7,8 до 9,2 и до 12,7 при увеличении доли добавки до 30 %. Формовочная влажность массы с повышением количества добавок увеличивается с 17,5 до 21,4 %. При этом значительно улучшается формируемость массы, не наблюдается разрыв граней и трещины, что свидетельствует о повышении пластичности массы за счет цеолитовых и глинистых минералов, содержащихся в измельченной породе. Эффект повышения формируемости массы объясняется разбуханием минерала клиноптилолита при механическом разрушении первичной структуры и последующем увлажнении. Определенную роль в улучшении пластичности массы играют разрушенные и увлажненные глинистые минералы (монтмориллонит), присутствующие в цеолитсодержащей породе.

Отмечается большее повышение пластичности массы при введении ЦСП, измельченной в жидкой среде по сравнению с сухим помолом. Выявлено, что при добавке 20 и 30 % ЦСП пластичность массы повышается до 12,1 и 13,2 соответственно, что следует связывать с частичной аморфизацией кристаллов клиноптилолита и полным разбуханием монтмориллонитовых минералов при механической активации в водной среде. Следует отметить, что цеолитовые породы характеризуются определенными пластическими свойствами. Их псевдопластические свойства обеспечиваются микрокристалличностью цеолитовых кристаллов и аморфизацией при механической обработке [3].

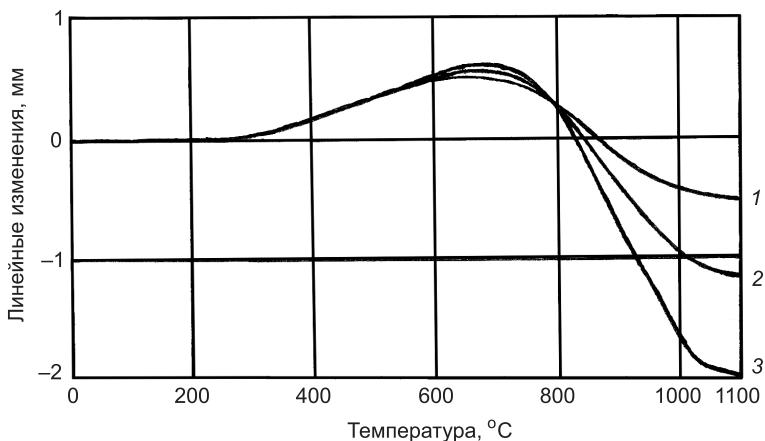
Введение ЦСП в состав шихты на основе суглинка не только повышает пластичность массы, но и регулирует сушильные свойства. Установлено, что за счет пространственно-каркасной структуры цеолитов при сушке образцов, изготовленных с добавками, наблюдается уменьшение воздушной усадки (см. табл. 2). Благодаря отщающей функции ЦСП, регулируется чувствительность массы к сушке, что положительно сказывается на трещиностойкости сырца при сушке и обеспечивает возможность бездефектной садки для последующих технологических процессов.

Улучшение сушильных свойств керамических масс, содержащих цеолиты, происходит за счет перевода части свободной воды в связанное состояние путем переноса ее в каркасное пространство цеолита [4].

Наряду с влиянием цеолитсодержащей породы на формируемость массы исследовано ее воздействие на спекание при последующей термической обработке. Поведение масс при обжиге изучалось дилатометрическим исследованием и изменением фазового состава и физико-механических характеристик обожженных изделий.

Выявлено, что введение цеолитсодержащей породы в сухом состоянии и в виде шликера в состав массы на основе бий-хемского суглинка способствует ее спеканию. Как показано на рисунке, первоначально до 740 °C наблюдается удлинение и объемное расширение образцов. При этом образцы с добавкой цеолитсодержащей породы имеют больше объемных изменений, чем изделия на основе чистого бий-хемского суглинка. Это связано со значительным содержанием песчаных частиц в исходном сырье и изменением каркасной структуры и объема элементарной ячейки клиноптилолита при переходе в морденит [4].

Характер дилатометрических кривых свидетельствует о раннем образовании жидкой фазы в массах с добавкой цеолитсодержащей породы. Установлено, что при добавке 20 % цеолитсодержащей породы образцы при 1100 °C имеют усадку в 4 раза больше, чем образцы на основе чистого суглинка, что свидетельствует о раннем образовании и существенном накоплении жидкой фазы. Увеличение доли жидкого расплава в фазовом составе обжигаемых материалов следует связать с химическим составом



Изменение линейных размеров образцов при обжиге

1 — чистый бий-хемский суглинок; 2 — суглинок + 10 % ЦСП; 3 — суглинок + 20 % ЦСП

цеолитсодержащей породы, где содержание щелочных оксидов, активно участвующих в образовании легкоплавких эвтектик, более 4 %.

Как следствие интенсификации спекания масс в связи с введением цеолитсодержащей породы выявлено улучшение физико-механических свойств обожженных изделий. Результаты испытаний, представленные в табл. 3, свидетельствуют о том, что добавка цеолитсодержащей породы

Таблица 3
Свойства образцов после обжига

Состав	Температура обжига, °С	Средняя плотность, г / см ³	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
1	800	1,76	0,1	24,8	15,4
	900	1,79	0,2	23,7	18,1
	1000	1,83	0,4	20,0	22,2
	1100	1,89	3,7	15,4	27,2
2	800	1,77	0,2	22,1	16,7
	900	1,80	0,5	19,8	20,1
	1000	1,85	0,9	16,3	24,8
	1100	1,91	4,6	12,5	31,2
3	800	1,79	0,4	21,4	20,4
	900	1,82	1,2	18,5	26,5
	1000	1,87	2,1	14,7	33,7
	1100	1,93	5,7	9,2	46,4
4	800	1,80	0,5	20,9	21,2
	900	1,83	1,4	17,8	27,9
	1000	1,87	2,6	15,1	35,8
	1100	1,93	6,2	8,6	48,1
5	800	1,80	0,5	21,2	20,9
	900	1,83	1,2	18,3	27,1
	1000	1,87	2,4	14,6	34,2
	1100	1,94	6,0	9,0	47,3
6	800	1,81	0,6	20,0	21,7
	900	1,84	1,3	18,1	27,3
	1000	1,88	2,5	14,2	34,0
	1100	1,95	6,1	9,9	47,1
7	800	1,80	0,6	22,6	20,2
	900	1,83	1,4	18,7	27,9
	1000	1,88	2,7	14,8	33,7
	1100	1,93	6,4	10,2	42,7

в составе массы на основе трудноспекаемого суглинка способствует интенсивному протеканию термических реакций с участием твердых фаз и образованию жидкого расплава за счет изменения химико-минералогических основ исходной шихты.

Введение ЦСП в состав шихты до 30 % вызывает увеличение средней плотности и огневой усадки обожженных изделий при 800 и 1100 °С, что свидетельствует об уплотнении черепка. С увеличением доли ЦСП в составе шихты, при температурах выше 900 °С, в результате аморфизации и разложения глинистых и цеолитовых минералов образуется в значительном количестве жидкий расплав, который заполняет межзерновые пустоты и склеивает твердые песчаные частицы. При этом снижается водопоглощение изделий, обожженных при 1000 °С, с 20,0 до 15,1 %, а прочность при сжатии увеличивается с 22,2 до 35,8 МПа.

Следует отметить, что образцы с добавками, обожженные при 1100 °С, имеют низкое водопоглощение (8,6 %) и высокую прочность (48,1 МПа).

Это связано с полной аморфизацией и разложением цеолитовых минералов с последующим формированием новых соединений при указанной температуре. В результате прочность образцов, содержащих 20 % ЦСП, после обжига при 1100 °С достигает 46,4 МПа.

Результаты предварительного исследования чистой цеолитсодержащей породы показали, что интенсивное спекание данного материала наступает после 1000 °С, так как образцы на его основе имели водопоглощение 1–2 % после 1050 °С. Соответственно, введение цеолитсодержащей породы в состав шихты на основе трудноспекаемого бий-хемского суглинка интенсифицирует спекание массы после 1000 °С. Выявлено, что оптимальным количеством ЦСП при введении в состав шихты на основе бий-хемского суглинка является 20 %. Увеличение доли ЦСП более 20 % (состав 4) не вызывает существенного уплотнения материала и увеличения прочности изделий. Кроме того, установлено, что измельчение цеолитсодержащей породы в водной среде и введение ЦСП в виде шликеира в состав шихты имеет более эффективное влияние как на пластичность, так и на конечные характеристики обожженных изделий, о чем свидетельствуют данные табл. 2 и 3 (составы 2 и 5).

Вероятно, это связано с более эффективной механической активацией в водной среде. Изучение фазового состава образцов, содержащих 20 и 30 % ЦСП и обожженных при 1000 °С рентгеновским методом, показало, что основные компоненты представлены разложившимися остатками монтмориллонита, кварцем, ортоклазом и вновь образующимися фазами — гематитом (d/n 0,264; 0,251; 0,184 нм) и кристобалитом (d/n 0,404; 0,247; 0,202 нм).

По данным микроскопического исследования образцов с добавками установлено, что между твердыми частицами присутствует незначительное количество круглых и сквозных пор, а кристаллические составляющие черепка достаточно прочно связаны стеклофазой, что и обеспечивает повышенную прочность и низкое водопоглощение. Как отмечено в работе [4], введение в состав шихты цеолитсодержащих пород с повышенным содержанием щелочных оксидов (R_2O) позволяет получить легкоплавкий расплав пониженной вязкости и в результате формируется более прочный и плотный керамический материал.

Таким образом, механическая активация цеолитсодержащей породы при мокром и сухом помоле в шаровой мельнице позволила выявить полифункциональность нетрадиционного сырья. Механическая активация разрушила первичную каркасную структуру цеолитсодержащей породы, что обеспечило повышение пластичности сырья на основе низкосортного

суглинка и улучшение спекания массы с получением изделий повышенной прочности.

Предполагается использовать результаты исследований, приведенных в статье, для проведения заводских испытаний и при разработке технологического регламента производства керамических стеновых материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н и с т р а т о в, Ю.А. Расширение сырьевой базы производства строительных материалов [Текст] / Ю.А. Нистратов // Строительные материалы. — 1996. — № 1. — С. 5–7.
2. О в ч а р е н к о, Г.И. Цеолиты в строительных материалах [Текст] / Г.И. Овчаренко, В.Л. Свиридов, Л.К. Казанцева. — Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2000. — 320 с.
3. П о г р е б е н к о в, В.М. Керамические облицовочные материалы на основе природных цеолитов [Текст] / В.М. Погребенков, Т.В. Вакалова // Тез. докл. науч.-техн. конф. ТПУ. — 1996. — С. 26.
4. А ш м а р и н, А.Г. Цеолитсодержащие глинистые породы как сырье для производства керамических стеновых материалов [Текст] / А.Г. Ашмарин, А.С. Власов // Строительные материалы. — 2005. — № 2. — С. 52–53.

КУЧЕРОВА Э.А., канд. техн. наук, проф.; E-mail: mashkin@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КАРА-САЛ Б.К., д-р техн. наук, проф.

Тывинский государственный университет

CAT Д.Х., ст. препод.; E-mail: tgu@tuva.ru

Тывинский государственный университет, асп. Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин)

Получено после доработки 10.08.11

Kucherova E.A., candidate of technical sciences, professor; E-mail: mashkin@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Cara-sal B.K., doctor of technical sciences, professor, Tuva State University, Russia

Sat D.H., senior lecturer; E-mail: tgu@tuva.ru, Tuva State University, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CEOLITCONTAINING SORT — HAVE EATEN FUNCTIONAL ADDITIVE FOR PRODUCTION CERAMIC WALL MATERIAL

Possibility of the use ceolitcontaining sorts is shown in production ceramic wall material as have eaten functional additive for regulation technological characteristic masses and field-performance got product.

Key words: ceolitcontaining sort, mass, lamellarity, baking, characteristic.

REFERENCES

1. Nistratov, Yu.A. The Expansion of the Raw Materials Base Production Building Materials [Text] / Yu.A. Nistratov // Building Materialy. — 1996. — N 1. — P. 5–7.
2. Ovcharenko, G.I. Ceolit in the Building Materials [Text] / G.I. Ovcharenko, V.L. Sviridov, L.K. Kazanceva. — Barnaul : AltGTU, 2000. — 320 p.
3. Pogrebennikov, V.M. The Ceramic Decorative Material on Base Natural Ceolit [Text] / V.M. Pogrebennikov, T.V. Vakalova // Tez. dokl. nauchno-techn. konf. TPU. — 1996. — P. 26.
4. Ashmarin, A.G. Ceolitsoderzhaschie Clay Sorts as Raw Material for Production Ceramic Wells Material [Text] / A.G. Ashmarin, A.S. Vlasov // Building Materialy. — 2005. — N 2. — P. 52–53.

УДК 691.42:536.485

А.А. НАУМОВ, А.Н. ЮНДИН

УВЕЛИЧЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ КИРПИЧА ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ

Изложены результаты исследований по влиянию способа введения минеральной модифицирующей добавки на морозостойкость обожженного черепка. Установлено, что для получения керамического кирпича полусухого прессования повышенной морозостойкости минеральную добавку следует вводить с предварительной гомогенизацией массы и последующей грануляцией для получения пресс-порошка.

Ключевые слова: минеральная добавка, резервная пористость, морозостойкость, керамический кирпич.

Известно, что выпускаемый многими заводами керамический кирпич полусухого прессования зачастую не соответствует требованиям ГОСТ по морозостойкости. Одной из причин пониженной морозостойкости, помимо технологических факторов, является недостаточное содержание резервных пор в обожженном черепке готовых изделий [1, 2].

Таким образом, повысить морозостойкость керамических материалов возможно путем введения в состав шихты минеральных модифицирующих добавок, способных изменить структуру черепка.

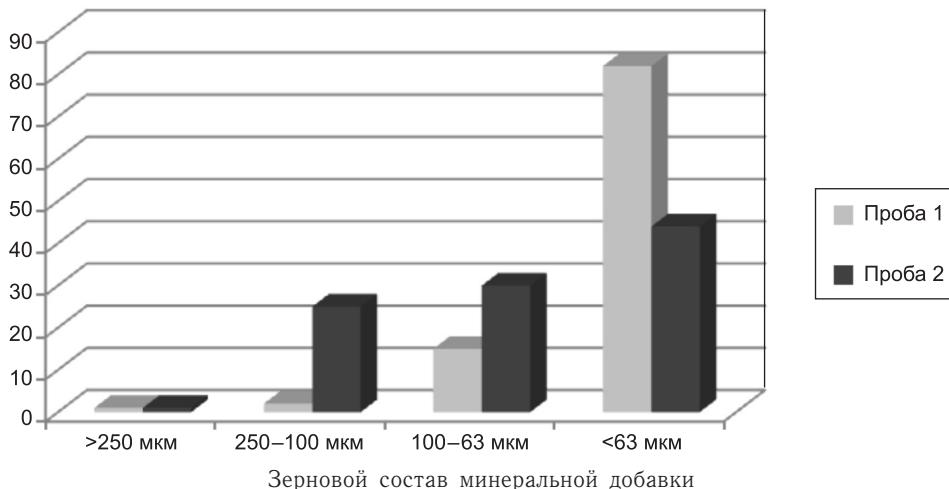
В качестве такой добавки исследовали карбонатсодержащие отходы, образующиеся в процессе производства минеральных удобрений на ОАО «Минудобрения» (г. Россось, Воронежская обл.). Было подтверждено, что указанная добавка позволяет повысить морозостойкость керамических изделий как пластического, так и полусухого прессования [3].

Данный материал представляет собой тонкодисперсный порошок белого цвета с содержанием CaCO_3 более 90 % (проба № 1). Для более широкого ее использования производители применили способ капельной грануляции, позволяющий уменьшить содержание самых тонких фракций и тем самым полностью исключить пыление при пересыпках (проба № 2). Зерновой состав используемой добавки при неизменном ее качестве по минералогическому и химическому составам представлен на рисунке.

В ходе дальнейших экспериментальных работ было определено влияние на морозостойкость обожженного черепка и прочность изделий зернового состава и способа введения минеральной добавки, что и раскрывается в настоящей статье.

В работе использовали широко распространенные в керамическом производстве сырьевые материалы — легкоплавкое монтмориллонито-гидрослюдистое глинистое сырье Россошанского и Султан-Салынского месторождений. Указанные суглинки по химическому составу относятся к группе кислого сырья с высоким содержанием красящих оксидов, по керамическим свойствам — к низкодисперсному умеренно-пластичному высокочувствительному к сушке глинистому сырью.

Минеральную добавку в количестве 5 мас. % вводили двумя способами: с предварительной пластической подготовкой глиномассы, последую-



щей грануляцией и подсушкой гранул, а также в подготовленный пресс-порошок из чистого глинистого сырья.

В первом случае глинистое сырье высушивали, измельчали до полного прохождения через сите 1,25 мм и смешивали с минеральной добавкой. Из полученной шихты готовилась пластичная масса формовочной влажности 20–22 %, затем на шнековом лабораторном прессе формовались гранулы диаметром 5 мм. Гранулы высушивались до рекомендуемой для полусухого прессования влажности 9–10 % и измельчались до максимальной крупности 3 мм.

При втором способе добавку вводили в уже подготовленный пресс-порошок из чистого глинистого сырья.

Из полученного пресс-порошка формовали образцы диаметром 50 мм и высотой 45–50 мм при давлении прессования 20 МПа (для образцов из султан-салынского глинистого сырья) и 25 МПа (из россошанского). Обжигали образцы при температуре 1000 °C.

После обжига были получены бездефектные образцы однородного цвета независимо от вида используемого сырья.

Основные физико-механические показатели обожженных образцов и характеристика их пористости представлены в табл. 1 и 2.

При введении минеральной добавки в подготовленный пресс-порошок из чистой глины незначительно увеличивается прочность обожженных образцов как при сжатии, так и при изгибе в сравнении с образцами из чистого глинистого сырья. Морозостойкость увеличивается с 4 до 13–18 циклов для образцов из россошанского глинистого сырья и с 9 до 17–19 из султан-салынского. Содержание резервной пористости увеличивается с 2,1–2,2 до 3,9–4,1 %.

При введении добавки с предварительной пластической подготовкой массы прочность обожженных образцов несколько увеличивается в сравнении с образцами из чистого глинистого сырья. Содержание резервной пористости возрастает с 2,1–2,2 до 4,6–4,7 %. Данный способ введения добавки позволяет повысить морозостойкость обожженных образцов до 100 циклов.

У образцов, изготовленных из россошанского глинистого сырья, добавка несколько снижает водопоглощение с 13,7 до 12,5–13,4 %, а для образцов из султан-салынского — повышает с 14,4 до 14,6–14,9 %.

Несмотря на то, что введение минеральной добавки как первым, так и вторым способом увеличивает содержание резервной пористости черепка обожженных образцов в 2 раза, отмечается существенное разли-

Таблица 1
Физико-механические показатели обожженных образцов

Наименование глинистого сырья	Вид добавки и способ подготовки глиномассы	Прочность, МПа		Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы
		при сжатии	при изгибе		
Россошанское	Чистое глинистое сырье	36,7	6,3	13,7	4
	Дисперсная добавка, предварительная пластическая подготовка	46,2	7,2	12,5	100
	Дисперсная добавка, без пластической подготовки	37,5	6,3	13,4	13
	Укрупненная добавка, предварительная пластическая подготовка	46,2	7,1	12,6	100
	Укрупненная добавка, без пластической подготовки	38,7	6,4	13,2	18
Султан-салынское	Чистое глинистое сырье	33,6	9,4	14,4	9
	Дисперсная добавка, предварительная пластическая подготовка	38,7	11,0	14,6	100
	Дисперсная добавка, без пластической подготовки	34,8	9,8	14,9	17
	Укрупненная добавка, предварительная пластическая подготовка	38,5	10,8	14,6	100
	Укрупненная добавка, без пластической подготовки	35,4	10,0	14,8	19

Таблица 2
Характеристика пористости обожженных образцов

Наименование глинистого сырья	Вид добавки и способ подготовки глиномассы	Пористости, %				
		Общая	Открытая	Капиллярная	Резервная	Закрытая
Россошанское	Чистое глинистое сырье	29,6	28,6	26,4	2,2	1,0
	Дисперсная добавка, предварительная пластическая подготовка	29,4	28,3	23,6	4,7	1,1
	Дисперсная добавка, без пластической подготовки	30,4	29,3	25,4	3,9	1,1
	Укрупненная добавка, предварительная пластическая подготовка	29,6	28,5	23,8	4,7	1,1
	Укрупненная добавка, без пластической подготовки	30,2	29,1	25,0	4,1	1,1
Султан-салынское	Чистое глинистое сырье	30,7	29,1	27,0	2,1	1,6
	Дисперсная добавка, предварительная пластическая подготовка	33,4	31,9	27,3	4,6	1,5
	Дисперсная добавка, без пластической подготовки	33,8	32,3	28,4	3,9	1,5
	Укрупненная добавка, предварительная пластическая подготовка	33,5	32,0	27,4	4,6	1,5
	Укрупненная добавка, без пластической подготовки	33,5	32,0	28,1	3,9	1,5

чие в показателях морозостойкости образцов, т.е. при пластической переработке массы морозостойкость достигает 100 циклов, а по упрощенной технологии — 13–19 циклов. Вероятно, без предварительной пластической подготовки глиномассы наблюдается только опудривание глиняных зерен тонкодисперсной добавкой без проникновения внутрь зерен, что приводит к ухудшению спекания и снижению морозостойкости керамического черепка.

Следовательно, большее влияние оказывает гомогенность массы, так как при пластической подготовке минеральная добавка содержится не только в тонкой фракции пресс-порошка, но и в самих зернах, что обеспечивает равномерную пористость во всем объеме изделия.

Таким образом, сравнительный анализ двух способов введения добавки в глиномассу показал, что для получения керамического кирпича полусухого прессования повышенной морозостойкости минеральную добавку приведенных зерновых составов следует вводить с предварительной пластической подготовкой и последующей грануляцией.

Поскольку влияние добавки примерно одинаково и для обожженных образцов из россошанского глинистого сырья, и из султан-салынского, то в дальнейшей работе с целью нахождения оптимального количества минеральной добавки определяли ее действие на физико-механические характеристики обожженных образцов, изготовленных на основе глинистого сырья Султан-Салынского месторождения, изменяя содержание добавки в шихте от 2,5 до 10 %. Подготовка пресс-порошка с предварительной пластической переработкой, его зерновой состав и влажность, удельное давление прессования, параметры сушки и обжига были неизменными при всех экспериментах. Обжигали образцы при температуре 1000 °C.

Основные физико-механические показатели обожженных образцов и содержание в них резервных пор представлены в табл. 3.

Таблица 3
Физико-механические показатели обожженных образцов

Состав шихты, мас. %		Усадка, %		Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы	Содержание резервной пористости, %
глинистое сырье	минеральная добавка укрупненная	воздушная	огневая		при сжатии	при изгибе			
100	—	1,73	1,54	1902	33,6	9,4	14,4	9	2,1
97,5	2,5	1,43	1,36	1868	40,2	11,6	14,5	38	3,4
95,0	5,0	1,43	1,14	1827	38,5	10,8	14,6	100	4,6
92,5	7,5	1,43	1,07	1820	36,2	10,1	14,9	100	4,9
90,0	10,0	1,43	1,02	1816	34,1	9,6	15,4	100	5,2

По данным, приведенным в табл. 3, можно увидеть, что:

— введение добавки снижает огневую усадку обожженных изделий почти в 1,5 раза (с 1,54 до 1,02 %);

— позволяет снизить среднюю плотность образцов (с 1902 до 1816 кг/м³), способствуя повышению прочности как при сжатии, так и при изгибе, причем наибольшие значения для данного глинистого сырья получены при содержании добавки в количестве 2,5 %;

— с увеличением содержания добавки в шихте повышается водопоглощение черепка с 14,4 % у образцов без добавки до 15,4 % у образцов, содержащих 10 % добавки;

— введение добавки способствует повышению морозостойкости образцов от 38 циклов при ее содержании 2,5 % до 100 циклов при введении 5–10 %;

— добавка увеличивает содержание резервных пор в обожженном черепке до 2,5 раз: с 2,1 % у образцов из чистого глинистого сырья до 5,2 % у образцов, содержащих 10 % добавки;

— содержание добавки до 5 % практически не влияет на цвет черепка, при ее увеличении цвет образцов несколько осветляется.

Выходы. Повышение морозостойкости кирпича полусухого прессования возможно путем введения карбонатсодержащей минеральной добавки в глинистое сырье при гомогенизации массы, ее грануляции и подсушки гранул. При этом дальнейшая технология получения кирпича полусухого прессования не изменяется, что позволяет внедрить предлагаемую технологию на кирпичных заводах полусухого прессования, выпускающих в настоящее время неморозостойкую продукцию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беркман, А.С. Влияние структуры пор на морозостойкость кирпича [Текст] / А.С. Беркман, И.Г. Мельникова // Строительные материалы. — 1960. — № 4. — С. 34–37.
2. Гальперина, М.К. К вопросу о структуре пористости керамических изделий [Текст] / М.К. Гальперина, Л.В. Ерохин // Исследования по технологии производства и расширению ассортимента керамических изделий : Тр. ин-та НИИстройкерамика. — М., 1981. — С. 58–67.
3. Наумов, А.А. Повышение морозостойкости керамических изделий [Текст] / А.А. Наумов, Л.В. Котлярова, А.Н. Юндин // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Строительство-2011». — РГСУ. — С. 102–103.

НАУМОВ А.А., асп.

Ростовский государственный строительный университет

ЮНДИН А.Н., канд. техн. наук, проф.

Ростовский государственный строительный университет

Получено 18.08.11

Наумов А.А., post-graduate student, Rostov State Building University, Russia

Юндин А.Н., candidate of technical sciences, professor, Rostov State Building University, Russia

INCREASE OF FROST RESISTANCE OF A BRICK OF SEMIDRY PRESSING BY A MINERAL MODIFYING ADDITIVE

Results of researches on influence of a way of introduction of a mineral modifying additive on frost resistance of the burned crock is shown. It is established that for production of a ceramic brick of semidry pressing of the raised frost resistance the mineral additive should be entered with preliminary homogenization of mass and the subsequent granulation for press powder production.

Key words: mineral additive, reserve porosity, frost resistance, ceramic brick.

REFERENCES

1. Berkman, A.S. Influence of Structure of Pores on Frost Resistance of a Brick [Text] / A.S. Berkman, I.G. Melnikova // Building Materials. — 1960. — N 4. — P. 34–37.
2. Galperina, M.K. To a Question on Structure of Porosity of Ceramic Products [Text] / M.K. Galperina, L.V. Yerokhin // Researches under the Production Technology and Expansion of Assortment of Ceramic Products : Institute NIIstroyceramica Works. — M., 1981. — P. 58–67.
3. Naumov, A.A. Increase of Frost Resistance of Ceramic Products [Text] / A.A. Naumov, L.V. Kotlyarova, A.N. Yundin // Materials of the International Scientifically-practical Conference «Building-2011». — Rostov State Building University. — P. 102–103.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.84.001.24

Л.Н. ГАХОВА, Ю.А. КУЗНЕЦОВА

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТУРБИННЫХ ВОДОВОДОВ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Приводится решение пространственной задачи о напряженно-деформированном состоянии турбинных водоводов с использованием метода граничных интегральных уравнений. Результаты расчетов напряжений имеют качественное подобие результатам натурных наблюдений.

Ключевые слова: сталежелезобетонные турбинные водоводы, напряженно-деформированное состояние, метод граничных интегральных уравнений.

Сталежелезобетонные турбинные водоводы относятся к наиболее ответственным зонам высоконапорных гидротехнических сооружений (ГТС) и должны отвечать требованиям эксплуатационной надежности и безопасности. Железобетонные оболочки водоводов подвержены в строительный и эксплуатационный периоды интенсивному трещинообразованию. Для определения эксплуатационной надежности турбинных водоводов необходим анализ их напряженно-деформированного состояния (НДС). Для решения вопросов оценки пространственного НДС элементов сталежелезобетонного трубопровода выполнены расчеты его напряженного состояния в трехмерной постановке (на примере водовода Саяно-Шушенской ГЭС).

В конечноэлементных моделях, широко используемых в настоящее время для исследований НДС гидротехнических сооружений, не учитываются конструктивные особенности турбинных водоводов, представляемых в моделях как бетонный элемент низовой грани. Если для анализа тангенциальных напряжений используется математический аппарат, разработанный для решения задач теории упругости и позволяющий в плоской постановке выполнить их оценку [2], то для прогнозной оценки величин продольных напряжений в элементах сталежелезобетонного трубопровода используются, как правило, эмпирические формулы [4].

Одним из перспективных методов расчета НДС турбинных водоводов в составе конструкций ГТС является метод граничных интегральных уравнений. На его основе в ИГД СО РАН разработан математический аппарат для решения задач теории упругости в трехмерной постановке.

Задача теории упругости для кусочно-однородных тел основывается на рассмотрении тела многосвязной замкнутой области G , состоящего из N однородных блоков $G^{[n]}$, для которых выполняется $G = \bigcup_n G^{[n]}$ [3]. По-

верхность раздела блоков $G^{[n]}$ и $G^{[m]}$ — $S_{n,m} = G^{[m]} \cap G^{[n]}$, при этом для одного и того же элемента $S_{n,m}$:

$S_{n,m}^+$ — граничные элементы, расположенные на стороне, обращенной к блоку $G^{[n]}$,

$S_{n,m}^-$ — на стороне, обращенной к смежному блоку $G^{[m]}$.

$\Gamma^{[n]}$ — свободная граница блока $G^{[n]}$, $n, m = 1, \dots, N$, которая может быть ограниченной $\Gamma_+^{[n]}$ или неограниченной $\Gamma_-^{[n]}$ (дополнение G до полного пространства).

Для однородной изотропной упругой среды блока уравнение статического равновесия с учетом закона Гука принимает вид

$$\mu^{[n]} u^{[n]} + (\lambda^{[n]} + \mu^{[n]}) \operatorname{gradiv} u^{[n]} = F^{[n]}(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

где $\lambda^{[n]}, \mu^{[n]}$ — константы Ламе среды блока n ;

$u^{[n]}$ — вектор смещений точек среды блока n в неподвижной системе координат;

$F^{[n]}(x_1, x_2, x_3)$ — вектор усилий в точке (x_1, x_2, x_3) границы блока $G^{[n]}$.

Вектор смещений точек среды в неподвижной системе координат $V^{[n]}(x_1, x_2, x_3) = (U_1, U_2, U_3)$, удовлетворяющий уравнению (1), может быть представлен в виде потенциала простого слоя [3]:

$$V^{[n]} = \int_{S_{n,m}^+} \Gamma(X^{[n]} - Y^{[n]}) \psi(Y^{[n]}) d_y S_{n,m}^+, \quad (2)$$

где $X^{[n]}(x_1, x_2, x_3), Y^{[n]}(y_1, y_2, y_3)$ — точки поверхности блока $G^{[n]}$;

$\Gamma(X^{[n]} - Y^{[n]})$ — матрица Кельвина, удовлетворяющая уравнению (1) для всех $X^{[n]}$, кроме $X^{[n]} = Y^{[n]}$.

Если на границе области деформирования (блока $G^{[n]}$) задан вектор усилий $F^{[n]}(x_1, x_2, x_3)$, тогда определяется плотность потенциала простого слоя (ψ):

$$-\psi(\bar{X}^{[n]}) + \int_{S_{n,m}^+} T(\partial_x, n(\bar{X}^{[n]})) \Gamma(\bar{X}^{[n]} - Y^{[n]}) \psi(Y^{[n]}) d_y S_{n,m}^+ = F^{[n]}(\bar{X}^{[n]}), \quad (3)$$

где $\bar{X}^{[n]}$ — внутренняя точка блока $G^{[n]}$;

$T(\partial_x, n(\bar{X}^{[n]}))$ — однородный линейный дифференциальный оператор, позволяющий вычислить вектор усилий, действующий в упругой среде на площадку с нормалью $n(\bar{X})$.

По известной плотности ψ напряжения внутри блока $G^{[n]}$ вычисляются по формуле [3]:

$$\sigma_{i,j}^{[n]} = \int_{S_{n,m}^+} T(\partial_x, n(\bar{X}^{[n]})) \Gamma(\bar{X}^{[n]} - Y^{[n]}) \psi(Y^{[n]}) d_y S_{n,m}^+. \quad (4)$$

Напряжения на границе блока $G^{[n]}$ вычисляются с помощью сингулярных интегралов, для которых предельные значения на поверхности определяются:

$$P(X^{[n]}) = \int_{S_{n,m}^+} T(\partial_x, q_1(X^{[n]})) \Gamma(X^{[n]} - Y^{[n]}) \psi(Y^{[n]}) d_y S_{n,m}^+, \quad (5)$$

$$Q(X^{[n]}) = \int_{S_{n,m}^+} T(\partial_x, q_2(X^{[n]})) \Gamma(X^{[n]} - Y^{[n]}) \psi(Y^{[n]}) d_y S_{n,m}^+,$$

где $q_1(X^{[n]})$ и $q_2(X^{[n]})$ — два вектора, касательных к поверхности в точке $(X^{[n]})$.

Находим напряжения в точке $X^{[n]}$ поверхности:

$$\sigma_{i,j}^{[n]} = F_i(X^{[n]})n_j(X^{[n]}) + P_i(X^{[n]})q_{1j}(X^{[n]}) + Q_i(X^{[n]})q_{2j}. \quad (6)$$

На внешней поверхности $\Gamma^{[n]}$ блоков $G^{[n]}$ и на поверхностях раздела $S_{n,m}$ граничные условия формулируются в предположении, что смежные блоки работают совместно. Если $(\bar{e}_x, \bar{e}_y, \bar{e}_z)$ — базис в декартовой системе координат, а $\bar{n} = (n_x, n_y, n_z)$ — нормаль в точке поверхности $S_{n,m}$, тогда векторы напряжений и перемещений на соответствующих участках поверхности раздела $S_{n,m}$ изменяются непрерывно и имеют вид:

$$\bar{u}^{[n]} = \bar{u}^{[m]}, \quad \bar{t}^{[n]} = -\bar{t}^{[m]}, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{u} &= u_x \bar{e}_x + u_y \bar{e}_y + u_z \bar{e}_z, \\ \bar{t} &= (\sigma_{xx} n_x + \sigma_{xy} n_y + \sigma_{xz} n_z) \bar{e}_x + (\sigma_{yy} n_y + \sigma_{xy} n_x + \sigma_{yz} n_z) \bar{e}_y + \\ &\quad + (\sigma_{zz} n_z + \sigma_{xz} n_x + \sigma_{yz} n_y) \bar{e}_z. \end{aligned} \quad (8)$$

При численном решении уравнения (3) применен метод регуляризации А.Н. Тихонова [2].

Численная реализация расчетной модели бетонной плотины СШ ГЭС позволяет оценить: изменение ее НДС под воздействием нагрузок; влияние вмещающей геологической среды (скального массива и береговых примыканий) на НДС плотины с целью обнаружения деструктивных процессов, вызванных работой сооружения; наличие турбинных водоводов и вертикальных граней водобойного колодца, являющихся дополнительным элементом жесткости плотины [1].

В приводимых ниже расчетах учитывается наличие жестко соединенного с низовой гранью водовода, вынесенного на ее поверхность. Предполагается, что сталежелезобетонный трубопровод — многослойное кольцо, состоящее из стальной оболочки, арматурного кольца и двух слоев бетона (рис. 1). При численном решении граничная поверхность блоков (колец) покрывается криволинейными листами, которые аппроксимиру-

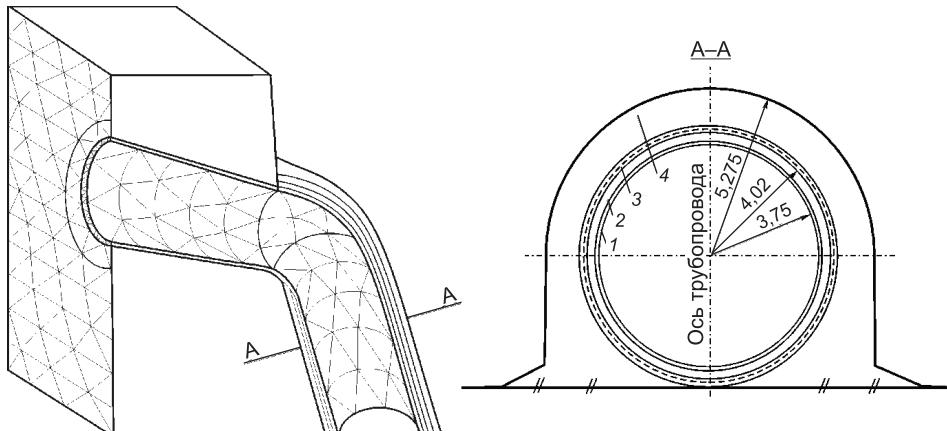


Рис. 1. Аппроксимация поверхности элементов конструкций водовода криволинейными листами

1 — металлическая оболочка; 2, 4 — бетон; 3 — арматурное кольцо

ются плоскими элементами — треугольниками. Ограничения по числу колец в трубопроводе связаны с трудностями реализации модели (числом аппроксимирующих плоских элементов). В частности, для учета геометрии металлической оболочки трубопровода потребовалось около 260 тыс. элементов. Задача решалась на базе вычислительного кластера НКС-30Т на платформе Intel Xeon 5450.

В расчетах не учитывалась этапность возведения плотины. Предполагалось, что плотина состоит из двух монолитных блоков: первый включает 1–3 столбы, второй — 4-й столб. Предполагалось, что плотина возведена и нагружена мгновенно. Решалась изотермическая задача, т.е. влияние температурных воздействий не учитывалось.

На рис. 2 приведены эпюры главных напряжений σ_1 , σ_3 ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) стальной оболочки и кольцевой арматуры в плоскости, перпендикулярной направляющей водовода (A-A, см. рис. 1) при НПУ = 539 м. В таблице представлена информация о приращении главных напряжений в элементах четырехслойного водовода при изменении уровня верхнего бьефа (УВБ) от УМО = 500 м до НПУ = 539 м.

Наибольшие растягивающие напряжения σ_1 в металлической оболочке наблюдаются в верхней (до 45,5 МПа) и нижней (до 36,5 МПа) ее час-

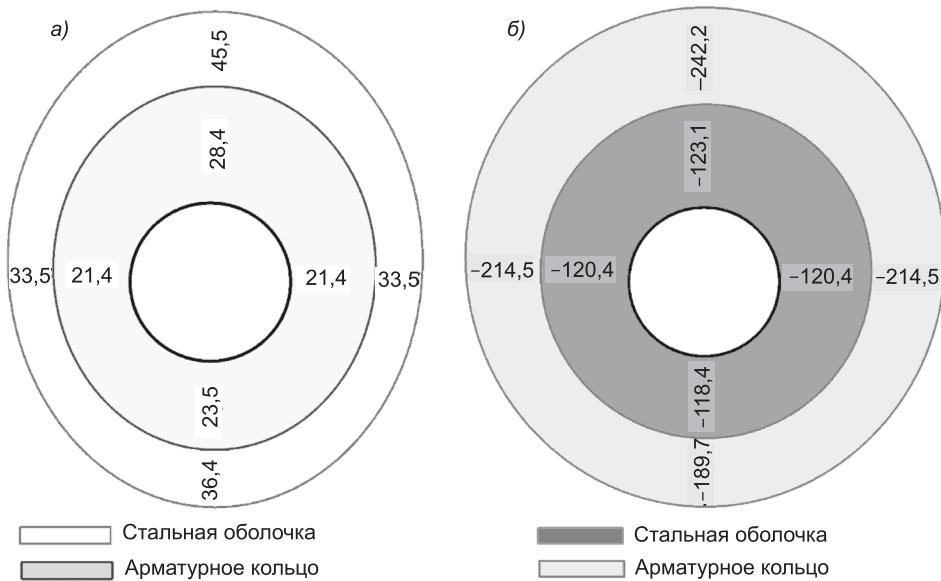


Рис. 2. Эпюры главных напряжений (МПа) σ_1 (а) и σ_3 (б) в стальной оболочке и арматурном кольце водовода

Приращения главных напряжений σ_1 и σ_3 в элементах водовода при наполнении водохранилища от УМО = 500 м до НПУ = 539 м

Конструктивный элемент	Главные напряжения, МПа	
	σ_1	σ_3
Металлическая оболочка:		
нижняя точка	+9,8*	-25,1*
верхняя точка	+12,2	-20,9
Арматурное кольцо:		
нижняя точка	+7,4	-82,3
верхняя точка	+10,7	-105,5

* Значения цифр: со знаком «+» — растяжение увеличивается; «-» — сжатие возрастает.

тях. В боковых частях оболочки растягивающие напряжения не превосходят 72 % от максимальных значений.

Аналогичный характер распределения σ_1 наблюдается в арматуре: в боковых ее частях растягивающие напряжения не превосходят 76 % от максимальных значений (в верхней части арматуры σ_1 достигает 28,4 МПа).

Такой характер распределения σ_1 свидетельствует о возможных растягивающих деформациях контура металлической оболочки и арматуры в направлении, параллельном низовой грани.

Для сжимающих напряжений σ_3 (продольных напряжений), направленных параллельно низовой грани плотины (перпендикулярно сечению А-А), характерна их концентрация в районе верхней части стальной оболочки, где при НПУ = 539 м $\sigma_3 = -123,1$ МПа и арматурного кольца (при НПУ = 539 м $\sigma_3 = -242,2$ МПа). В отличие от распределения растягивающих напряжений, сжимающие в арматуре и стальной оболочке от верхней точки конструктивного элемента к точке сопряжения с низовой гранью изменяются монотонно (см. рис. 2).

Анализ результатов позволил установить следующее:

— характер распределения растягивающего напряжения σ_1 аналогичен распределению тангенциальных напряжений водовода 8 СШ ГЭС, приращение σ_1 с изменением гидростатической нагрузки соответствует аналогичным приращениям тангенциальных напряжений;

— сжимающие σ_3 (продольные напряжения) в элементах водовода изменяются в соответствии с изменением гидростатической нагрузки (минимальное при УМО = 500 м; максимальное при НПУ = 539 м);

— в нижних точках конструктивных элементов (вблизи низовой грани плотины) сжимающие продольные напряжения меньше, чем в верхних, что не противоречит характеру изменения напряженного состояния низовой грани плотины по данным натурных наблюдений [4];

— арматурное кольцо водовода — наиболее нагруженный его элемент: во внешних точках при НПУ = 539 м продольные сжимающие напряжения достигают -242,2 МПа.

В целом изменение σ_3 (продольных напряжений) и растягивающего главного напряжения σ_1 в конструктивных элементах водовода имеет качественное подобие результатам натурных измеренных напряжений [4] (скатие σ_3 возрастает, растяжение σ_1 увеличивается при росте УВБ). Количественные сравнения не корректны, так как в расчетной схеме отсутствует еще одно арматурное кольцо и слой бетона (см. рис. 1).

Выводы. МГИУ позволяет учесть конструктивные особенности железобетонных водоводов, гидростатические нагрузки, носящие циклический характер. Результаты апробации метода свидетельствуют о возможности его использования в качестве расчетного аппарата для исследования пространственного напряженного состояния железобетонных турбинных водоводов высоконапорных плотин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гахова, Л.Н. К вопросу об альтернативных расчетах напряженно-деформированного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / Л.Н. Гахова // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 1. — С. 56–59.
2. Гахова, Л.Н. Расчет напряжений в сталежелезобетонных турбинных водоводах методом граничных интегральных уравнений [Текст] / Л.Н. Гахова, Ю.А. Кузнецова // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 8. — С. 59–65.

3. Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости [Текст] / Под ред. В.Д. Купрадзе. — М. : Наука, 1976. — С. 633.
4. П е р м я к о в а, Л.С. Напряженно-деформированное состояние элементов напорного тракта турбин Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / Л.С. Пермякова, В.А. Рассказчиков, В.А. Уляшинский, А.П. Елифанов, Ю.А. Кузнецова // Гидротехническое строительство. — № 11. — С. 11–18.

*ГАХОВА Л.Н., канд. физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. ИГД СО РАН
КУЗНЕЦОВА Ю.А., ст. препод.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 18.08.11

Gakhova L.N., candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher, Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
Kuznetsova Yu.A., senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

EVALUATION OF THE STRESS STATE OF POWER CONDUITS BY USING THE BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS METHOD

The solution to a space problem of the stress-strain state of power conduits by using the boundary integral equations method is presented. The calculated stress values are in the qualitative conformity with the data of natural observations.

Key words: steel and concrete power conduits, the stress-strain state, boundary integral equations method.

REFERENCES

1. Gakhova, L.N. Alternative Calculations of the Stress-Strain State of Sayano-Shushenskaya Power Dam [Text] / L.N. Gakhova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2004. — N 1. — P. 56–59.
2. Gakhova, L.N. Boundary Integral Approach to Stress Calculation in Steel and Concrete Power Conduits [Text] / L.N. Gakhova, Yu.A. Kuznetsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 8. — P. 59–65.
3. Three-dimensional Elastic and Thermoelastic Problems [Text] / Ed. V.D. Kupradze. — M. : Nauka, 1976. — P. 633.
4. Permyakova, L.S. Stress-strain State of Power Conduit Elements in Turbines of the Sayano-Shushenskaya Hydroelectric Power Station [Text] / L.S. Permyakova, V.A. Rasskazchikov, V.A. Ulyashinsky, A.P. Epifanov, Yu.A. Kuznetsova // Hydraulic Engineering, 2008. — N 11. — P. 11–18.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.92:620.9.001.24

В.М. УЛЯШЕВА

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ

Разработана лабораторная установка для изучения процессов поперечного и продольного обтекания нагретой поверхности. Приведены результаты численного моделирования процессов тепло- и воздухообмена при организации поперечного и продольного обтекания реальных источников тепловыделений. Выполнен анализ результатов лабораторных исследований и численного моделирования тепловоздушных процессов.

Ключевые слова: источники тепловыделений, лабораторные исследования, обтекание нагретых поверхностей, численное моделирование, тепловоздушные процессы.

Исследованиям тепловоздушных процессов в машинных залах компрессорных станций магистральных газопроводов с различными газопрекачивающими агрегатами посвящено значительное количество работ, в том числе и автора [1–4]. Наличие крупногабаритных и высокотемпературных источников теплоты в машинных залах компрессорных цехов создает мощные конвективные потоки, которые способствуют образованию в верхней зоне помещения практически замкнутого циркуляционного течения и определяют температурный режим в этих помещениях. Расположение основных источников теплоты (турбины и газоходов) выше уровня пола вызывает существенные температурные расслоения по высоте помещений. По данным натурных экспериментов, в том числе и автора, перепад температуры между нижней и верхней зонами машинного зала составляет порядка 70 °С. В нижней части помещения в холодный период года имеет место существенно более низкая температура воздуха, а в отдельных точках наблюдаются отрицательные температуры.

С учетом особенностей формирования теплового и воздушного режима в машинных залах предложены следующие общие принципы организации воздухообмена [1]:

- многоуровневая подача приточного воздуха (в рабочую зону площадки обслуживания и верхнюю зону);
- подача рециркуляционного воздуха в нижнюю зону;
- удаление воздуха из верхней зоны.

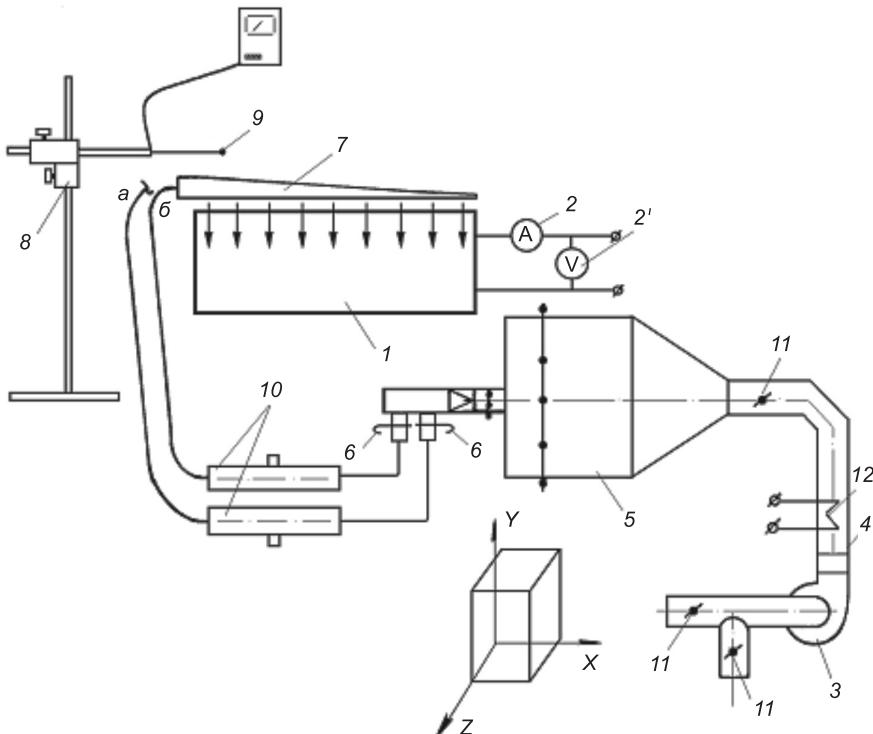
Подача приточного воздуха в рабочую зону площадки обслуживания используется для обеспечения нормируемых параметров микроклимата. Это может быть достигнуто либо подачей непосредственно в рабочую зону с малыми скоростями, либо наклонной подачей в направлении рабочей зоны.

Подача воздуха в верхнюю зону предназначена для смещения циркуляционного течения в верхнюю зону и, соответственно, снижения его влияния на параметры микроклимата в рабочей зоне.

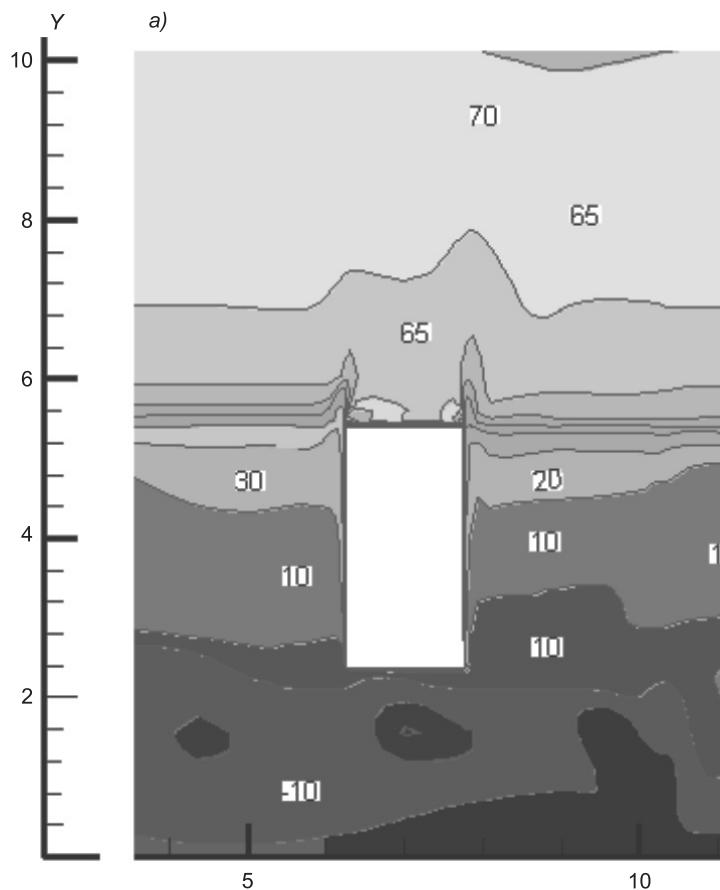
Уменьшение размеров зоны циркуляционного течения способствует повышению температуры воздуха в этой зоне. Увеличение теплового потенциала верхней зоны определяет целесообразность его утилизации, например, для обогрева нижней зоны. Подача рециркуляционного воздуха в нижнюю зону решает задачу создания подпора для уменьшения теплопотерь на нагрев инфильтрационного воздуха.

Для изучения процессов теплообмена разработана лабораторная установка с источником теплоты в виде цилиндра и параллелепипеда (рис. 1). Лабораторные исследования теплообмена при поперечном обтекании объемного источника теплоты в виде параллелепипеда позволили определить оптимальные характеристики воздухораспределительного устройства как с точки зрения конструктивного оформления, так и удельного расхода воздуха. В частности, выявлено, что оптимальной конструкцией является воздухораспределитель равномерной раздачи с углом наклона направляющих 60° .

Однако в реальных условиях затруднительно оборудовать крупногабаритные вытянутые источники теплоты (газоходы) воздухораспределителями равномерной раздачи. Для обеспечения стабильного поперечного обдува источника теплоты с целью отопления нижней части помещения была поставлена задача оптимизации конструкции воздухо-



Rис. 1. Схема лабораторной установки для поперечного обдува параллелепипеда
 1 — источник теплоты; 2 — амперметр; 2' — вольтметр; 3 — вентилятор; 4 — система воздуховодов;
 5 — камера статического давления; 6 — шиберы; 7 — воздуховод равномерной раздачи; 8 — координатное устройство; 9 — термоанемометр с датчиком; 10 — мерный участок; 11 — регуляторы расхода; 12 — электронагреватель



распределителя сосредоточенной подачи методами численного моделирования.

Результаты численного моделирования теплообмена до использования системы обдува газохода приведены на рис. 2, а. Необходимо отметить удовлетворительное соответствие результатов этого расчета с экспериментальными данными, представленными ранее в работе [3]. Поле скорости, полученное в результате численного расчета для существующей схемы организации воздухообмена (рис. 3, а), дает полную информацию о размерах зон повышенной скорости, связанной исключительно с процессом инфильтрации. Какого-либо существенного влияния приточных струй на поле скорости в сечении над газоходом ($X = 2,500$ м) в данном случае не наблюдается. Повышенная скорость (порядка 2 м/с) имеет место только вблизи инфильтрационных отверстий.

В процессе следующих этапов численного моделирования оптимизирована схема подачи приточного воздуха для обдува газохода.

На рис. 2, б приведены результаты расчета при минимальной из выбранных температур приточного воздуха ($t_p = 8$ °C). В непосредственной близости от верхней горизонтальной поверхности газохода приточная струя после интенсивного перемешивания с окружающим воздухом уже имеет температуру порядка 20 °C. После соударения с твердой нагретой поверхностью газохода струя растекается, образуя два пристеночных течения с температурой порядка 20...30 °C. При достижении ра-

б)

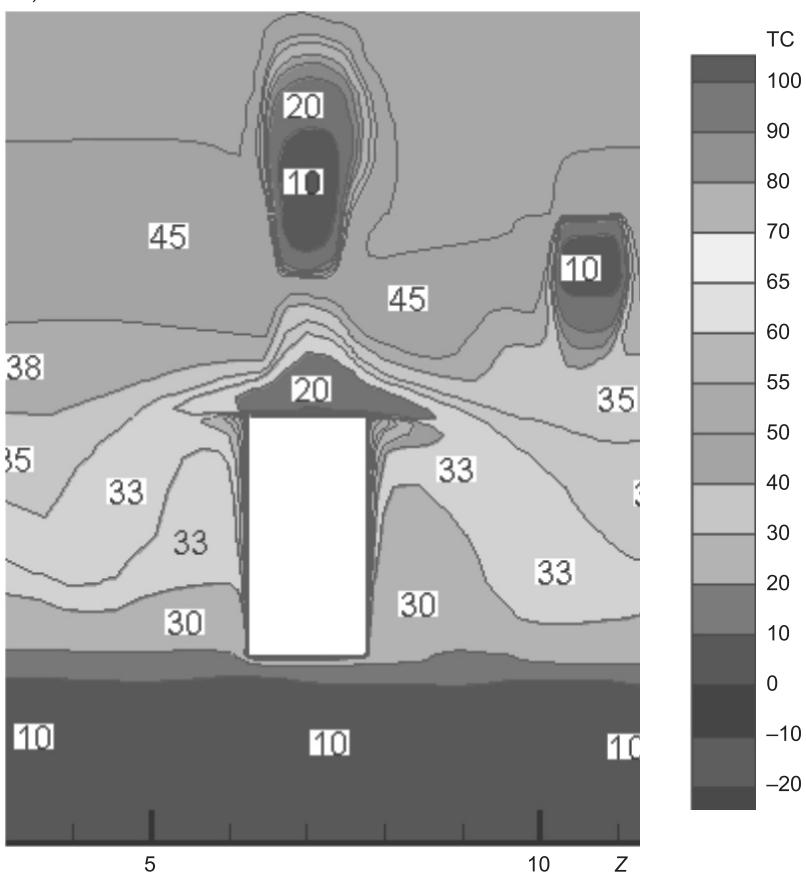
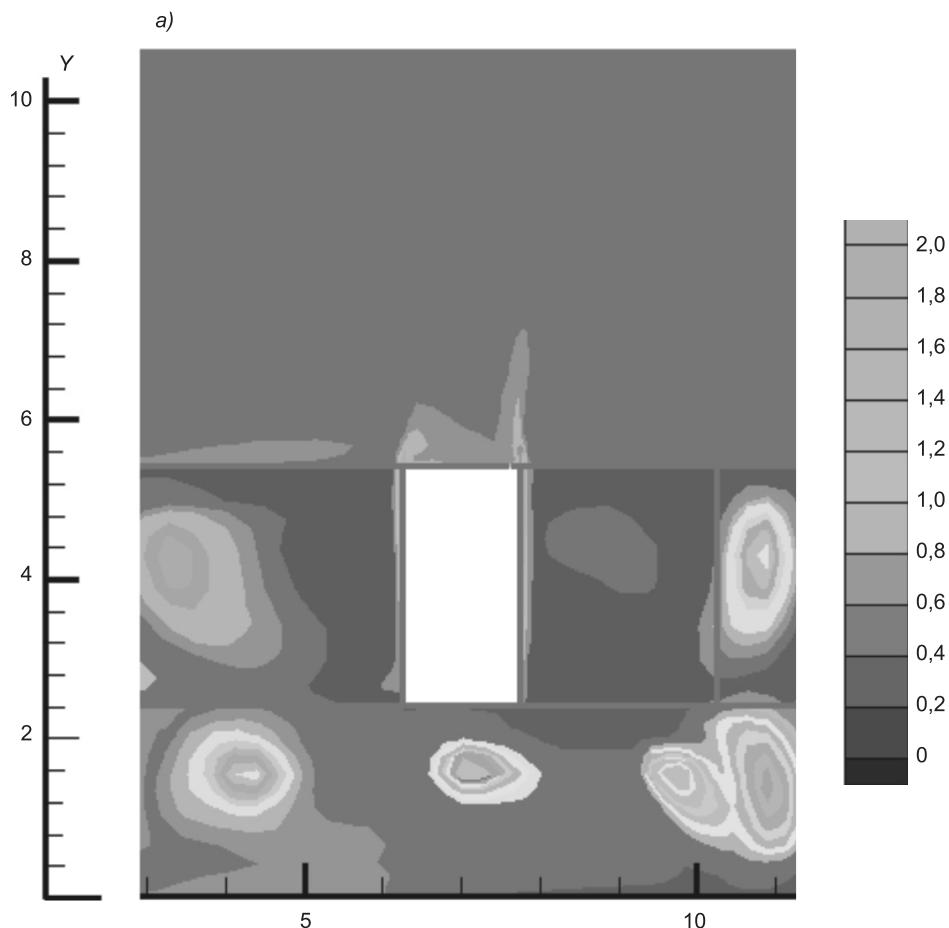


Рис. 2. Температурное поле при $t_h = -21 \dots -23^{\circ}\text{C}$ в сечении $X = 2,500$ м, полученное в результате численного моделирования, для существующей (а) и предлагаемой (б) схем организаций воздухообмена

бочей зоны нижней части помещения температура выравнивается до уровня нормируемой (15°C). Сравнение с результатами расчета для существующей схемы организации воздухообмена показывает, что за счет использования обдува нагретых поверхностей обеспечивается повышение температуры воздуха в рабочей зоне нижней части помещения на $10 \dots 15^{\circ}\text{C}$.

На рис. 3, б показано распределение скорости движения воздуха после использования системы обдува. Обращают на себя внимание интенсивные вихревые течения по обе стороны от газохода, которые и определяют распределение температуры, представленное на рис. 2, б. Необходимо также отметить практически симметричное поле скорости в отопительной струе вблизи твердых нагретых поверхностей (газохода). Некоторое отклонение связано с несимметричным размещением газохода относительно, в первую очередь, газотурбинной установки, а также другого технологического оборудования.

Анализ результатов лабораторных исследований и численного моделирования теплообмена при поперечном обтекании нагретой поверхности, представленный на рис. 4, показывает, что ширина правой части в среднем на 6 % больше ширины левой. Данные лабораторных исследований ширины отопительной струи отличаются на 8–12 % от значений по-



добных параметров, полученных в результате численного моделирования с учетом несимметричности условий обтекания.

На распределение температуры воздуха в рабочей зоне нижней части помещения также влияет угол наклона приточных струй. Так, благодаря особенностям размещения воздухораспределительных устройств в процессе теплообмена участвует не только струя, направленная непосредственно на газоход, но и приточная струя, направленная в верхнюю часть помещения. Как показывают результаты численного моделирования в сечении, проходящем через ось газохода (рис. 5), угол наклона струи позволяет ассимилировать теплоту верхней части помещения за счет колебательного процесса и направить ее также для отопительных целей.

Таким образом, обеспечивается равномерность процесса обтекания с точки зрения формирования необходимого температурного режима в рассматриваемой зоне помещения. Двухструйный воздухораспределитель при определенном угле наклона выполняет функцию воздухораспределителя равномерной раздачи. Поскольку, как и при лабораторных испытаниях, в результате численных расчетов имеет место практически горизонтальное положение изотерм в пристеночных струях вблизи нагретых поверхностей, более показательной будет оценка изменения температуры в направлении обтекания. Результаты анализа изменения температуры в направлении оси Y (рис. 6) показывают, что для лабораторных условий и численных расчетов это изменение имеет идентичный характер.

б)

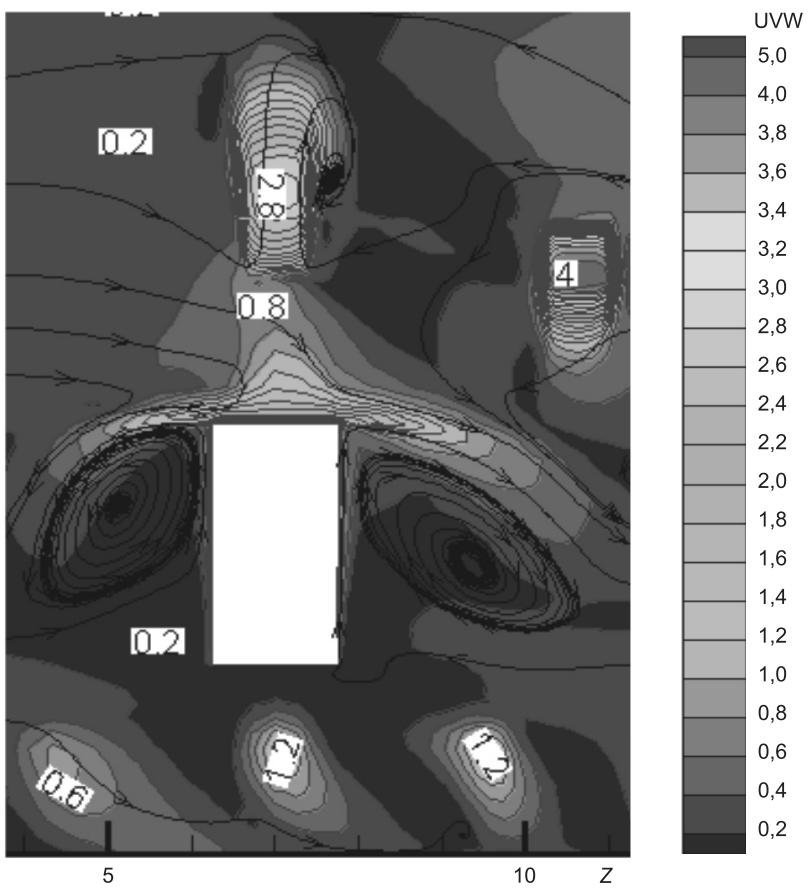


Рис. 3. Поле скорости при $t_h = -21 \dots -23$ °С в сечении $X = 2,500$ м, полученное в результате численного моделирования для существующей (а) и предлагаемой (б) схем организации воздухообмена

Отклонения значений параметров при численном моделировании связаны с невозможностью учета влияния всех особенностей функционирования технологического оборудования, его размещения, габаритов и конфигурации, теплотехнических и других характеристики.

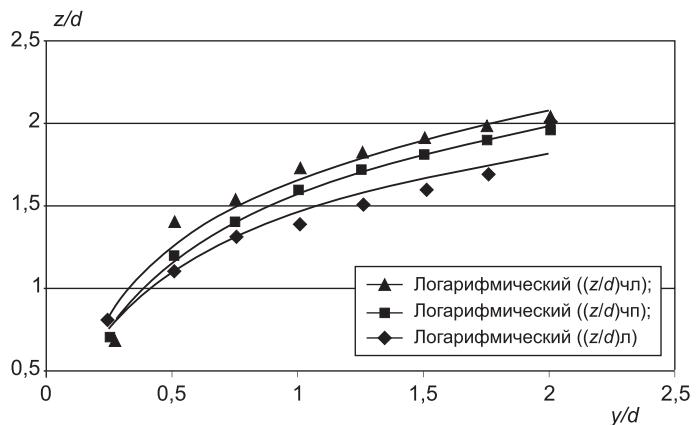


Рис. 4. Изменение поперечной координаты отопительной струи индекс «л» — лабораторные данные, «чп, чл» — результаты численного моделирования для правой и левой частей отопительной струи

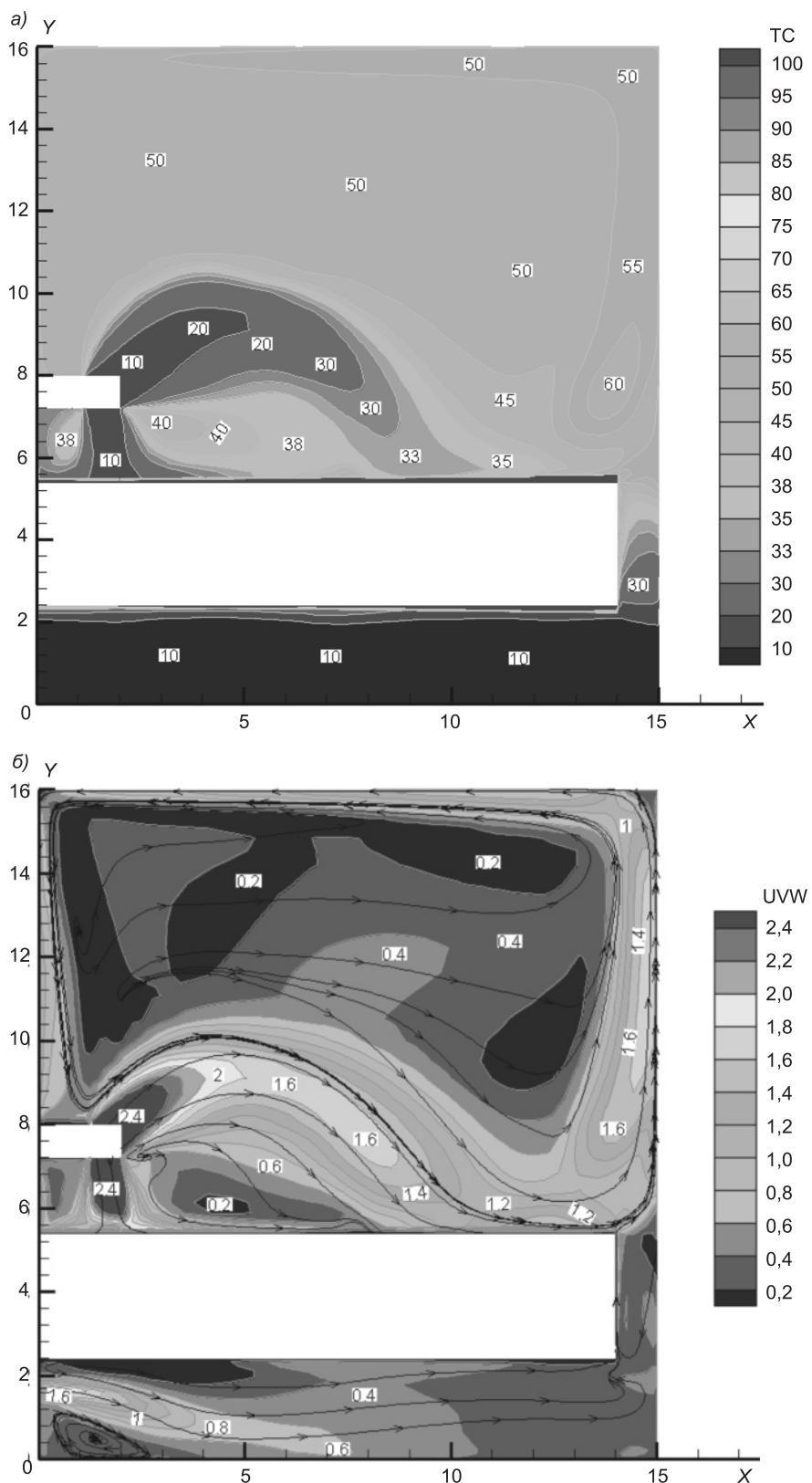


Рис. 5. Распределение температуры (а) и скорости движения воздуха (б) при $t_h = -40^{\circ}\text{C}$ в сечении $Z = 7,000$ м, полученное в результате численного моделирования для предлагаемой схемы организации воздухообмена

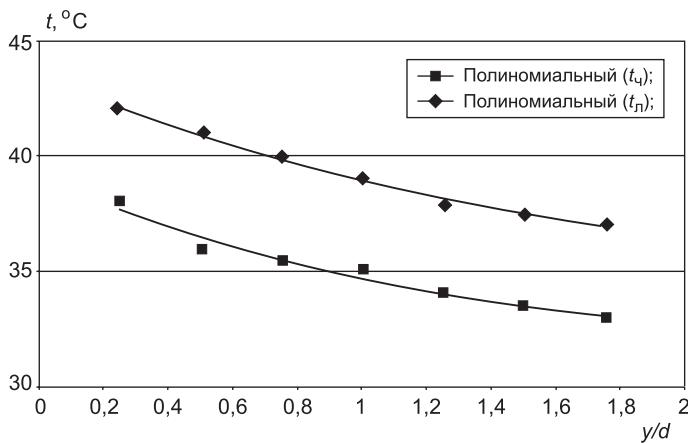


Рис. 6. Изменение температуры воздуха в направлении обтекания для лабораторных условий и численных расчетов

Выводы. 1. Лабораторные испытания обтекания нагретых поверхностей послужили основой для разработки рациональной схемы организации воздухообмена и снижения энергопотребления в помещении с источником теплоты, расположенным выше уровня пола.

2. Результаты численного моделирования тепловоздушных процессов вблизи нагретых поверхностей, полученные в виде пространственных полей температур и скоростей движения воздуха, позволили выбрать оптимальную конструкцию и параметры воздухораспределительных устройств.

3. Проведенный анализ показывает удовлетворительную сходимость результатов исследований вышеуказанными методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Позин, Г.М. К вопросу математического моделирования тепловоздушных процессов в помещениях с источниками теплоты [Текст] / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 9. — С. 52–57.
- Позин, Г.М. Численное моделирование тепловоздушных процессов в помещениях с источниками теплоты [Текст] / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Вестн. гражданских инженеров. — 2010. — № 1(22). — С. 147–151.
- Уляшева, В.М. Совершенствование организации воздухообмена на объектах транспортировки газа [Текст] / В.М. Уляшева. — СПб. : СПбГАСУ, 2011. — 153 с.
- Уляшева, В.М. Приближенное и численное моделирование тепловоздушных процессов в помещениях с источниками тепловыделений [Текст] / В.М. Уляшева // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 3. — С. 76–81.

УЛЯШЕВА В.М., канд. техн. наук, доц.; E-mail: ulyashevavm@mail.ru
Ухтинский государственный технический университет

Получено 05.08.11

Ulyasheva V.M., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: ulyashevavm@mail.ru, Ukhta State Technical University, Russia

ON THE ISSUE OF AN AIR EXCHANGE IN PUTTINGS WITH HEATS DEVELOPMENT SOURCES

The laboratory installation for analysis a heated surface cross-cut and longitudinal flow processes is designed. The results of warmly and air exchange processes numerical modeling

are reduced at entities of a heats development substantial sources cross-cut and longitudinal flow. The analysis of laboratory studies and thermal-air processes' numerical modelings results is executed.

Key words: heats development sources, laboratory studies, heated surfaces flow, numerical modeling, thermal-air processes.

REFERENCES

1. Pozin, G.M. On the Issue of Mathematical Modeling of Thermal-Air Processes' with Respect to Heat Source Premises [Text] / G.M. Pozin, V.M. Ulyasheva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 9. — P. 52–57.
 2. Pozin, G.M. Numeral Modulation in the Case of Premises Containing Heat Sources [Text] / G.M. Pozin, V.M. Ulyasheva // Bulletin. of Civil Engineers. — 2010. — N 1 (22). — P. 147–151.
 3. Ulyasheva, V.M. Perfecting Entitiless of an Air Exchange on Gas Haul Plants [Text] / V.M. Ulyasheva. — SPb. : SPSUACE, 2011. — 153 p.
 4. Ulyasheva, V.M. Approximated and Numerical Modeling Thermal-Air Processes' in Putting with Heats Development Sources [Text] / V.M. Ulyasheva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 3. — P. 76–81.
-

УДК 627.16

Е.Л. ВОЙТОВ, Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ
ИЗ ИСТОЧНИКОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Разработаны технологии подготовки питьевой воды из поверхностных и подземных источников с высоким содержанием органических соединений. Приведены технологические схемы и описание основных процессов водоподготовки, очистки и утилизации промывных вод и водопроводных осадков.

Ключевые слова: технология, водоподготовка, источники, питьевая вода, органические соединения, антропогенные факторы, осветление, фильтрование.

Ухудшение качества природных поверхностных и подземных вод в России за последние годы под воздействием антропогенных факторов обусловило необходимость повышения барьерной функции водоочистных сооружений хозяйственно-питьевого назначения.

На основе комплексных исследований, анализа экспериментальных данных, теоретических расчетов и производственных испытаний оборудования и процессов в НГАСУ (Сибстрин) разработаны эффективные технологии подготовки питьевой воды из поверхностных и подземных источников маломутных вод с высоким содержанием органических соединений¹.

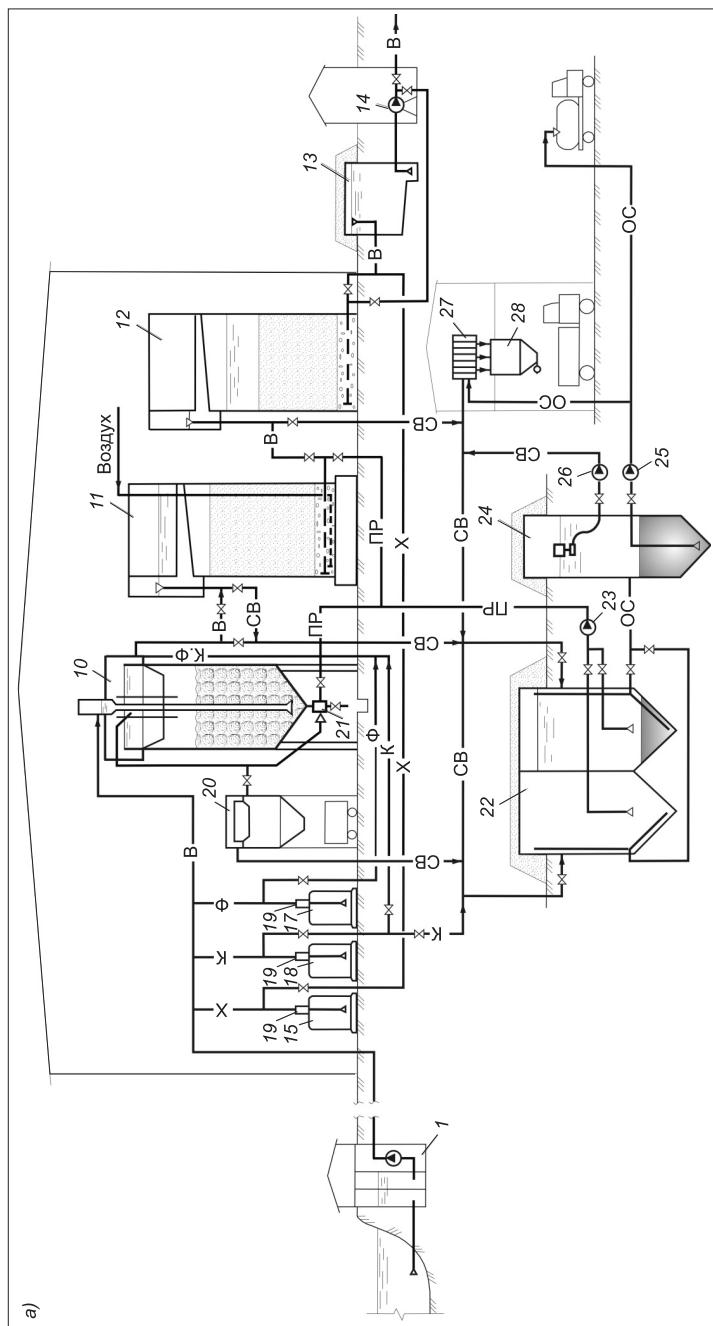
Для очистки поверхностных вод (рис. 1, а) технология предусматривает первичное хлорирование, обработку воды коагулянтами и флокулянтами, осветление в слое взвешенной контактной массы реактора-осветителя, фильтрование на скором фильтре с загрузкой из горелых пород, адсорбцию в слое загрузки гранулированного активного угля сорбционного фильтра и обеззараживание.

Предварительное хлорирование окисляет гидрофильные органические соединения, присутствующие в исходном воде, и повышает эффективность последующего коагулирования воды, снижая дозы коагулянта. В качестве хлорреагента рекомендуется гипохлорит натрия. При температурах обрабатываемой воды ниже 10 °C в качестве коагулянта наиболее эффективно применение оксихлорида алюминия, а при температурах обрабатываемой воды более 10 °C — сульфата алюминия. В качестве флокулянта применяют Праестол 650 ТР. Дозы реагентов зависят от качества обрабатываемой воды, в том числе от ее температуры и определяются путем пробного коагулирования. Рабочие растворы гипохлорита натрия, коагулянта и флокулянта приготавливаются в соответствующих баках 15, 17, 18 реагентного хозяйства и вводятся дозировочными насосами 19 в трубопровод подачи обрабатываемой воды.

Реактор-осветитель (РО) служит для предварительной коагуляционной очистки воды². В контактной массе РО по сравнению с отстойниками

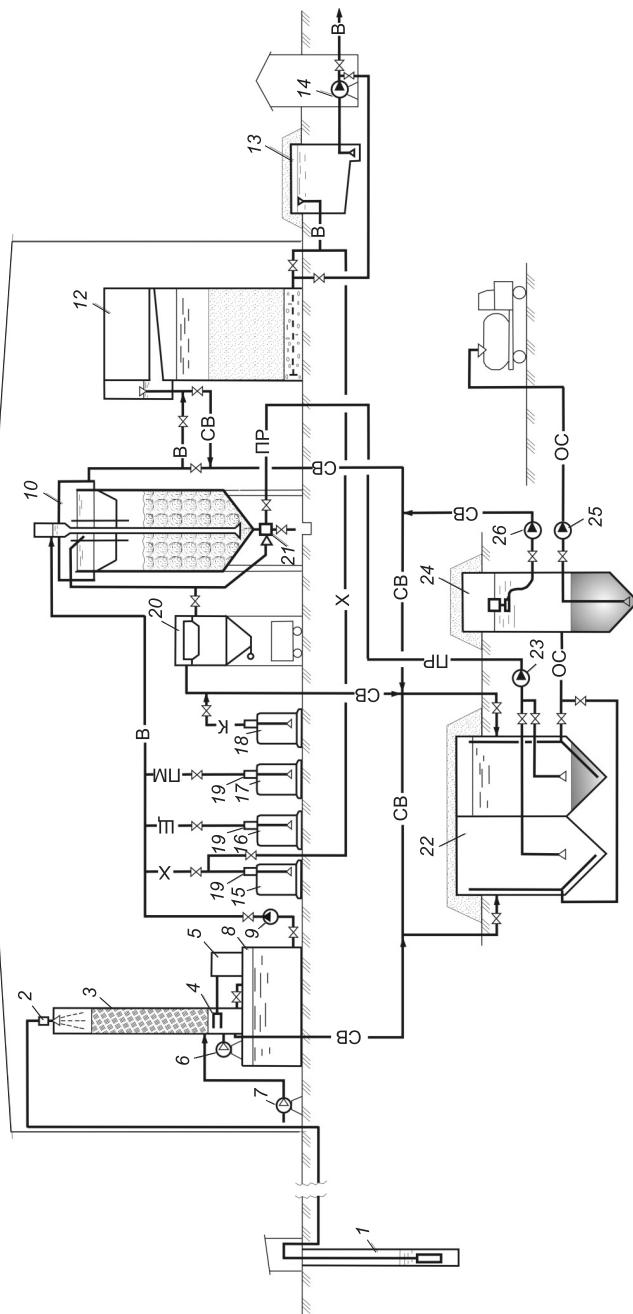
¹ Пат. 2328454, РФ, МПК C02F 9/04. Станция водоподготовки / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. Опубл. 10.07.2008; Бюл. № 19.

² Пат. 2307075, РФ, МКИ C02F 1/52. Устройство для очистки воды / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. Опубл. 20.09.2007; Бюл. № 27.



или осветлителями со взвешенным осадком увеличивается степень гидролиза соли алюминия, ускоряется процесс коагуляции гидроксидов, повышается эффективность извлечения примесей воды при меньших дозах коагулянта. При этом имеет место гетерогенный катализ, в котором важную роль играет адсорбция. Благодаря адсорбции на поверхности зерен контактной загрузки, являющихся катализатором, повышается концентрация реагирующих веществ, что ведет к ускорению реакций. Гораздо более важным фактором является повышение химической активности адсорбированных молекул по сравнению с их обычным состоянием, обусловленное действием силового поля катализатора. После заполнения всей поверхности зерен контактной массы осадком гидроксида алюминия

6)



Технологические схемы очистки маломутных поверхностных (а) и подземных (б) вод с высоким содержанием органических соединений

1 — водозаборы поверхностных и подземных вод; 2 — эжектор-распылитель; 3 — контактная камера; 4 — дегазатор-осветлитель; 5 — блок питания; 6 — вентилятор; 7 — воздуховка; 8 — контактная камера; 9 — подкачивающий насос; 10 — реактор-осветлитель; 11 — скорый фильтр; 12 — сорбционный фильтр; 13 — РЧВ; 14 — насос полачи чистой воды потребителю и на промывку; 15—18 — баки гипохлорита натрия, щелочи, флокуланта (или перманганата калия), коагулянта соответственно; 19 — отстойник промывной воды; 20 — насос наработанной контактной массы; 21 — гидроэлеватор; 22 — отстойник промывной воды; 23 — насос надиевой воды; 24 — фильтр-пресс; 25 — насос осадка; 26 — насос надиевой воды; 27 — фильтр-пресс; 28 — бункер осадка

В — очищаемая вода; ПР — вода на промывку; СВ — вода на промывку; ОС — отработанная промывная и надиевая вода; ОС — осадок

в результате адсорбции сверху наращиваются последующие слои осадка и происходит так называемая полимолекулярная адсорбция. В свою очередь, образующийся в межзерновом пространстве контактной загрузки осадок гидроксида алюминия адсорбирует коллоидные и мелкодисперсные примеси воды природного и антропогенного происхождения.

В летний период максимальной цветности воды рационально дробное коагулирование воды с введением 75 % коагулянта в трубопровод перед реактором-осветлителем и 25 % перед скрым фильтром, что обеспечивает более эффективное обесцвечивание и снижение концентрации остаточного алюминия. В контактной загрузке реактора-осветлителя задерживается значительная часть образовавшегося гидроксидного осадка, со-

ответственно снижаются нагрузки по взвеси на скорые фильтры и до 3 раз увеличивается продолжительность фильтроцикла.

Для повышения эффективности работы скорых фильтров в качестве фильтрующего материала для них рекомендуется использование дробленых горелых пород, повышающих производительность фильтров до 35 %. С целью удаления остаточных растворенных органических и неорганических соединений рекомендуемая технологическая схема дополнена сорбционным фильтром 12, загруженным гранулированным активированным углем марки АГ-3, имеющим высокую сорбционную емкость и механическую прочность.

В случае высокого сезонного содержания в речной воде трудновыводимых органоминеральных соединений марганца рекомендуется применение окислительно-адсорбционного метода на заключительной ступени очистки.

Марганец может быть удален на фильтрах с модифицированным фильтрующим материалом АРП³, устанавливаемых после скорых фильтров. При этом предусматривается постоянное дозированное введение перманганата калия или периодическая регенерация загрузки АРП после водяной промывки.

Вторичное обеззараживание воды осуществляется введением раствора гипохлорита натрия в трубопровод перед резервуаром чистой воды 13.

Промывка загрязненной контактной загрузки РО производится с помощью эжектора 21 по истечении времени ее защитного действия и ухудшения качества осветляемой воды. Очищенная промывная вода подается в эжектор промывным насосом 23 из наполненной секции отстойника промывной воды 22. Сброс отработанной промывной воды осуществляется в пустую секцию отстойника промывной воды. В сбрасываемую промывную воду вводится коагулянт СК-1. Контактная загрузка используется в процессе очистки многократно. При необходимости замены отработанной контактной загрузки ее пульпа подается эжектором из осветителя в бункер 20, обезвоживается, вывозится из здания водоочистной станции и утилизируется в качестве песка при производстве строительных изделий. Отстоянная вода из бункера сбрасывается в отстойник промывной воды.

Промывка угольной загрузки сорбционного фильтра 12 производится водой, подаваемой сетевым насосом 14 из резервуара чистой воды 13. Отработанная промывная вода с сорбционного фильтра сбрасывается в отстойник промывной воды и служит для восполнения потерь промывной воды при удалении из него осадка.

Две секции отстойника промывной воды используются для приемки, очистки и хранения промывной воды поочередно. Повторное использование промывной воды для промывки осветителя и скорого фильтра обеспечивает увеличение полезной производительности водоочистных сооружений и способствует охране водоема от загрязнения сточными водами станции.

Отстойник промывной воды соединен трубопроводом со сгустителем 24. Осадок гидроксида алюминия, выделившийся в отстойнике в результате коагуляции отработанной промывной воды, перепускается в сгуститель, где уплотняется в течение нескольких часов. Насос надиловой воды 26 после сгущения осадка перекачивает воду из сгустителя в отстойник промывной воды. Насос 25 подает сгущенный осадок для обезвоживания на

³ Пат. 2363536, РФ, МПК B 01 J 20/06, B 01 D 39/06 . Способ получения каталитически активного зернистого фильтрующего материала / Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Бредихин М.Н., Сколубович А.Ю. Опубл. 2009; Бюл. изобр. № 22.

фильтр-пресс 27 или в автоцистерну. Обезвоженный фильтр-прессованием осадок сбрасывается в бункер осадка 28, накапливается и вывозится автосамосвалом для утилизации в производстве строительных изделий, дорожном строительстве или планировке территорий. Сгущенный осадок может также вывозиться на канализационные очистные станции и утилизироваться в качестве реагента при обезвоживании осадка хозяйствственно-бытовых сточных вод.

Для очистки подземных вод с высоким содержанием органических соединений (рис. 1, б) технология предусматривает дегазацию, аэрацию, электроразрядную обработку воды в дегазаторе-окислителе⁴, подщелачивание и марганцевание воды, предварительную коагуляционную очистку воды на реакторе-осветлителе 10, адсорбцию в слое загрузки гранулированного активного угля сорбционного фильтра 12 и обеззараживание. Эжектор-распылитель 2 обеспечивает диспергирование подземной воды, подаваемой из источника 1, с образованием водовоздушного факела над насадкой дегазатора-окислителя 3. За счет большой удельной поверхности воды в факеле и разности парциальных давлений в воде и в воздухе происходит интенсивная диффузия растворенных в воде газов диоксида углерода, метана, сероводорода. Электроразрядный блок 4 формирует в исходящем водовоздушном потоке квазиобъемный разряд — источник атомарного кислорода, озона и других активных частиц. Образующаяся газовая смесь непрерывно вытесняется вводимым с помощью вентилятора 6 воздухом вверх, омывая противоточно стекающую вниз по насадке дегазатора-окислителя в виде пленки воду. При этом происходит дальнейшее удаление из воды газов диоксида углерода и др. и насыщение воды кислородом с последующим окислением содержащихся в ней природных и антропогенных примесей. В дегазаторе-окислителе происходит десорбция из воды до 60 % свободного оксида углерода, который является наиболее важным фактором, удерживающим в воде в растворенном состоянии железо и марганец. Десорбция сопровождается некоторым повышением pH среды и сокращает расходование щелочного реагента при последующей реагентной очистке воды.

В случае непредвиденного ухудшения микробиологических или физико-химических показателей качества воды возможно ее периодическое хлорирование гипохлоритом натрия после дегазатора-окислителя.

Трудноокисляемые металлоорганические соединения железа, марганца выделяются из воды увеличением окислительно-восстановительно-го потенциала Eh при использовании сильных оксидантов или повышением pH. Возможно также совместное применение сильных окислителей и щелочей. В результате окисления происходит связывание металлов в нерастворимые соединения, их коагуляция и образование хлопьевидного осадка. Одновременно окисляются фенолы, нефтепродукты и другие органические вещества.

Окисленные соединения тяжелых металлов, а также фенола, нефтепродуктов и других органических соединений в основном извлекаются из воды осветлением в слое взвешенной контактной загрузки реактора-осветлителя и сорбцией на загрузке активированного угля марки АГ-ОВ-1 сорбционного фильтра 12.

В качестве щелочи для корректировки pH воды推薦ован едкий натр, в качестве окислителя и катализатора процесса окисления металлов в воде кислородом воздуха применяется перманганат калия. При от-

⁴ Пат. 2238248, РФ, МКИ С 02 F 9/14. Аэратор-окислитель / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. Опубл. 20.10.2004; БИ № 29.

существии трудноокисляемых металлоорганических форм и органических примесей в подземной воде может быть достаточным применение одного перманганата калия без подщелачивания воды или реагенты могут быть вообще исключены.

Для удаления трудноокисляемых соединений марганца из поверхностных и подземных вод в состав технологической схемы могут быть включены фильтры с модифицированным фильтрующим материалом АРП, устанавливаемые после реактора-осветителя. Перед фильтрами с модифицированной загрузкой во время их работы постоянно вводится раствор перманганата калия с дозой, зависящей от содержания железа и марганца в воде, или производится периодическая регенерация загрузки перманганатом после водяной промывки. Фильтрующий материал АРП эффективен также в снижении мутности, цветности, окисляемости, содержания фенола и нефтепродуктов.

Вторичное обеззараживание воды осуществляется введением раствора гипохлорита натрия в трубопровод перед резервуаром чистой воды 13.

Экспериментальные исследования разработанной технологии очистки поверхностных вод проводились на водопроводных станциях Кемеровской и Новосибирской областей [1, 2]. Результаты исследований показали высокую степень очистки природных вод при минимальных затратах (таблица).

Результаты экспериментальных исследований

Показатель	Насосно-фильтровальная станция подземных вод (п. Промышленная Кемеровской области, апрель-май 1998 г.)		Насосно-фильтровальная станция речных вод (г. Куйбышев Новосибирской области, май 2005 г.)	
	исходная вода	очищенная вода	исходная вода	очищенная вода
Мутность, мг/л	4,5–8,0	0,1–0,7	13–15	0,3–0,5
Цветность, град	9–62	1–6	250–270	15–18
Железо общее, мг/л	1,5–2,4	0,02–0,3	0,6–0,7	0,2–0,3
Марганец, мг/л	0,5–1,4	0,04–0,1	0,1–0,2	0,07–0,1
Жесткость общая, ммоль/л	11,6–14,5	4,5–7,5	7,6–8,1	7,2–7,5
Фенолы, мг/л	0,003–0,006	< 0,001	< 0,001	—
Нефтепродукты, мг/л	0,03–0,05	0,02–0,03	0,02–0,04	0,01–0,02

Примечание. Состав основных сооружений опытной установки: аэратор-окислитель (для подземных вод), реактор-осветитель, скорый фильтр, сорбционный фильтр.

Технология или отдельные ее элементы внедрены на 15 водоподготовительных станциях в 12 городах и крупных населенных пунктах СФО. Опыт эксплуатации сооружений показал, что предложенные технологии подготовки питьевой воды из поверхностных и подземных источников маломутных вод с высоким содержанием органических соединений повышают эффективность работы водопроводных станций и позволяют снизить капитальные и эксплуатационные расходы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Войтов, Е.Л. Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. — 216 с.
2. Войтов, Е.Л. Подготовка питьевой воды из подземных источников в экологически неблагоприятных регионах [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. — 220 с.

ВОЙТОВ Е.Л., канд. техн. наук, доц.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

СКОЛУБОВИЧ Ю.Л., д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 21.08.11

Voytov E.L., candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Skolubovich Yu.L., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

THE TECHNOLOGY OF PREPARATION OF DRINKING WATER FROM SOURCES WITH A HIGH CONTENT OF THE ORGANIC COMPOUNDS

Designed technology of preparation of drinking water from surface and underground sources with high contents of the organic compounds. We present a general technological schemes and description of the main processes of preparation, peelings, salvaging of washing water and water precipitation.

Key words: technology, water preparation, the sources, drinking water, organic compounds, anthropogenic factors, clarification, filtration.

REFERENCES

1. Voytov, E.L. Drinking Water from Surface Sources With the Increased Natural and Anthropogenic Pollution [Text] / E.L. Voytov, Yu.L. Skolubovich. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2010. — 216 p.
 2. Voytov, E.L. Drinking Water from Underground Sources in Ecologically Unfavorable Regions [Text] / E.L. Voytov, Yu.L. Skolubovich. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2010. — 220 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.87.004.67

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

РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

Препараторы (РВС — ремонтно-восстановительные составы), воздействующие на трущиеся детали и узлы двигателя строительных машин (СМ), известны и разрабатываются различными изготовителями. Приводятся трибологические испытания РВС, позволяющие их классифицировать по механизму действия, что упрощает их выбор для СМ.

Ключевые слова: строительные машины, ремонтно-восстановительные составы, двигатель внутреннего сгорания, дорожно-строительные машины, испытания.

На сегодняшний день решение проблем снижения трения и защиты от износа в большей степени связывают с применением разнообразных специальных, отдельно производимых и поставляемых присадок (препараторов), которые вводятся в смазочное моторное масло, используя его как носитель для доставки к трущимся частям и узлам механизмов СМ [1, 2].

Опыт применения РВС в технике, в том числе и для двигателей внутреннего сгорания, показывает, что применение РВС дает положительный эффект, связанный с увеличением безремонтного пробега, снижением эксплуатационных затрат предприятия, в связи с существенной отсрочкой капитального ремонта, например, по данным Челябинского сектора № 18 Безразборного восстановления ресурса сопряжений ГОСНИТИ.

Задача данного исследования сводится к следующему:

- оценить основные антифрикционные характеристики РВС применительно к парам трения;
- провести металлографический анализ трущихся поверхностей;
- изучить изменение шероховатости трущихся поверхностей с целью получить возможность условной классификации ремонтно-восстановительных препаратов.

Испытания различных составов для восстановления и защиты двигателей внутреннего сгорания (ДВС), проведенные в лаборатории «ВМП-АВТО», показали, что традиционные методы не всегда корректны при проведении таких исследований. Например, ГОСТ Р 51176-98, по которому сегодня проводят испытания в лабораториях (по этому документу пару трения составляет чугунная колодка и стальной диск), таким методом можно смоделировать лишь работу кривошипно-шатунного механизма, да и то с очень маленьким процентом достоверности (10–15 %) [2].

Настоящие испытания проводились впервые по единой методике исследований ремонтно-восстановительных составов с применением специально разработанных экспериментальных установок, на которые получены патенты: Пат. 81332 Российская Федерация, МПК RU 81332 U1, Пат.

88450 Российская Федерация, МПК RU 88450 U1. Описание экспериментальных установок, методик эксперимента опубликованы в работе [3].

Исследования проводились по типичным представителям различных препаратов, которые были предварительно разделены на группы, а количественное содержание препарата вводилось в масло в соответствии с рекомендациями изготовителя.

1. Препараты, содержащие в своем составе твердые, износостойкие материалы [1, 3].

Исследования проводились с использованием препарата «Трибо» (типичного представителя данной группы).

На основании анализа микрорельефа поверхности, возникшего в процессе трения, можно представить процесс изнашивания. На начальном этапе работы вращающийся ролик оставляет риски на поверхности вкладыша. В результате повторяющихся циклов микродеформации в основании смятых гребешков возникают микротрешины, развитие которых приводит к разрушению и отрыву продуктов износа с рабочей поверхности. Такие процессы микродеформации и разрушения происходят как на поверхности вкладыша, так и ролика, о чем свидетельствуют данные по концентрации продуктов износа — железа в масле (рис. 1).

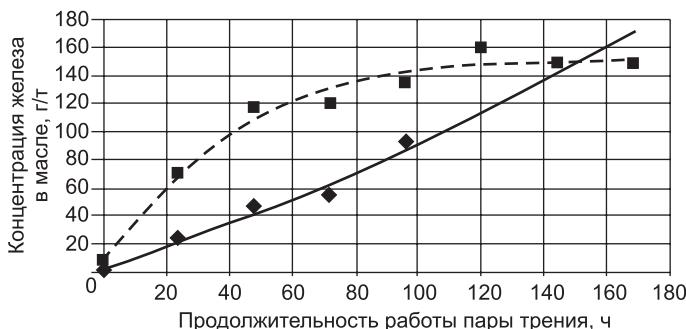


Рис. 1. Зависимость концентрации железа в масле от продолжительности работы трущейся пары «чугун – чугун» на машине МТ-1

◆ — базовое масло M10Г2ЦС; ■ — масло M10Г2ЦС с 2 % «Трибо»

В процессе приработки изменяется механизм изнашивания. Происходит сглаживание микрорельефа. На рабочей поверхности вкладыша появляется микрорельеф, характерный для сплавов, структура которых соответствует принципу Шарпи, т.е. содержит пластичную матрицу, смазывающий компонент и твердые включения, несущие нагрузку. Мягкие структурные составляющие истираются, образуя лунки, более твердые создают выступы. Шероховатость поверхности ролика после 100 часов работы соответствует R_a 0,125 по ГОСТ 2789–73 [3].

2. Составы, которые не содержат порошковых и коллоидных частиц, — кондиционеры металла [1, 2, 4].

При введении «Фенома» (препаратор кондиционер металла) в моторное масло коэффициент трения монотонно снижается (см. рис. 2), вероятно, ионы железа, содержащиеся в кондиционере, начинают взаимодействовать с материалом контроллеров, насыщая их железом, заполняя микротрешины и впадины микронеровностей. В результате этого шероховатость труящихся поверхностей уменьшается, что и приводит к уменьшению коэффициента трения [3].

Микроструктурный анализ не выявил никаких кислотоустойчивых пленок (покрытий) на поверхностях трения.

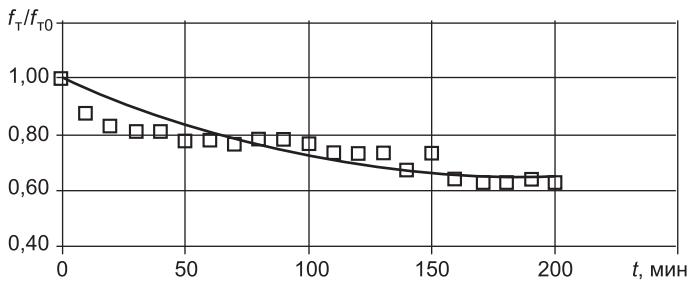


Рис. 2. Относительное изменение коэффициента трения пары «Сталь 45–БрС 30» с течением времени при введении «Феномена» в моторное масло

3. Препараты, имеющие в своем составе порошки различных металлов или их смеси, — РВС [1].

В первые часы работы пары трения «чугун – чугун» в среде РиМЕТ (представитель РВС) при возвратно-поступательном движении наблюдается возрастание концентрации железа (CFe) в смазочном масле (рис. 3). Через 60–80 часов работы она достигает максимального значения и начинает уменьшаться. Этот факт говорит о том, что частички РиМЕТа способствуют разрушению (выкрашиванию) гребешков микронеровностей. Температура в зоне трения при этом повышается. Как утверждает разработчик препарата, это способствует возникновению химической реакции между препаратом, контактирующими поверхностями и продуктами износа, в результате которой на поверхностях контролей образуется защитная пленка, предотвращающая дальнейший износ. Результаты испытаний пары трения «чугун – чугун» в среде РиМЕТ подтверждают утверждение разработчика о возникновении эффекта безызносности и о вовлечении в химическое взаимодействие продуктов износа. Введение препарата РиМЕТ в масло почти в 2 раза увеличивает скорость изнашивания [1]. Постепенно скорость изнашивания уменьшается и через 60–70 часов работы переходит в область отрицательных значений — начинается самовосстановление поверхностей трения. Примерно через 100 часов она достигает своего минимума [2].

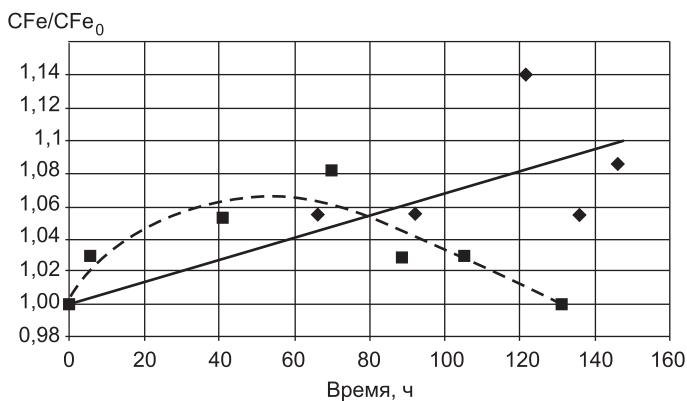


Рис. 3. Относительное изменение концентрации железа в масле при работе пары трения «чугун – чугун» в среде РиМЕТ
 ◆ — базовое масло М10В2; ■ — масло М10В2 + РиМЕТ

В данном случае пробы масла на спектральный анализ отбирались в начале испытаний и в конце, через определенный интервал времени. Определялась скорость изнашивания (I):

$$I = \frac{C_1 - C_0}{\tau}, \quad (1)$$

где C_0 — концентрация элемента-индикатора в сма佐чном масле в начале испытаний, г/т;

C_1 — концентрация элемента-индикатора в сма佐очном масле в конце испытаний, г/т;

τ — время работы пары трения между замерами концентраций, ч.

Результаты расчетов по формуле (1) для различных металлов представлены на рис. 4.

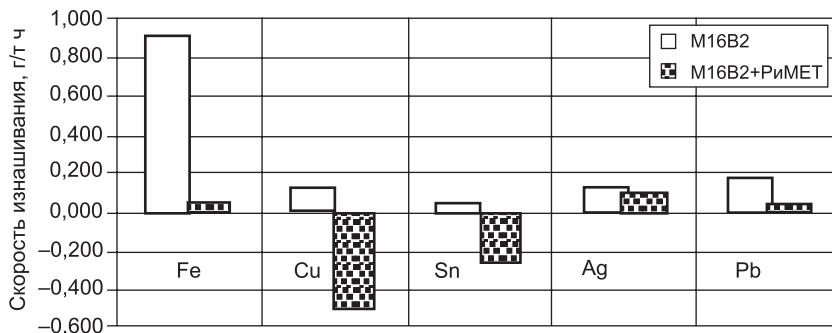


Рис. 4. Изменение скорости изнашивания пары трения «сталь – бронза» по элементам-индикаторам

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что при вращательном движении пары «вал – вкладыш» происходит насыщение поверхности трения частичками реметаллизанта, в результате чего скорость изнашивания уменьшается.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что исследованные препараты в той или иной мере реализуют эффект безызносности. Каждый из них имеет свой механизм действия, свои достоинства и недостатки, свою область применения.

Классификация препаратов по механизму действия представлена в таблице.

Использование данной классификации позволит:

- спрогнозировать действие препаратов в деталях двигателя при режиме штатной эксплуатации;
- разработать алгоритм выбора препарата для конкретного текущего, технического состояния ДВС или узла СМ;
- разработать рекомендации по применению и использованию различных препаратов для персонала, эксплуатирующего СМ.

Классификация препаратов по механизму действия

Наименование	Механизм действия	Типичные представители
Группа 1	Кондиционеры металла, вступающие в реакцию с металлом контроллеров, внедряющиеся в металл на межмолекулярном уровне и заполняющие собой микротрешины, предотвращая их развитие	«ER», «Micro-X2», «Феном»
Группа 11	Препараты, выполняющие суперфинишную обработку трещущихся пар, в результате чего уменьшается шероховатость поверхностей контроллеров	«Трибо», «AG», «Хадо»
Группа 111	Препараты, восстанавливающие изношенные поверхности образованием различного рода пленок и покрытий на трещущихся поверхностях — медных, тефлоновых, органо-металлокерамических и др.	РиМЕТ, «Аспект-модификатор», «Форум», «Лубрифильм»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ломухин, В.Б. Основы современной эксплуатации двигателей [Текст] / В.Б. Ломухин. — Новосибирск : Наука, 2004. — 188 с.
2. Ломухин, В.Б. Influence of the Conditioner of Metall «FENOM» on Tribotechnical Performances Pairs of Friction [Text] / A.V. Kozhevnikov, V.B. Lomuhin // Третий кор.-рос. междунар. науч.-техн. симпоз. KORUS'2002. — (6; 2002; Новосибирск) : Тез. науч. сообщ. — Новосибирск, 2002. — С. 32–33.
3. Ломухин, В.Б. О возможной условной классификации ремонтно-восстановительных составов [Текст] / В.Б. Ломухин, И.В. Лаптева // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2010. — № 2. — С. 21–28А.
4. Ломухин, В.Б. Результаты триботехнических испытаний модификатора трения «ФОРУМ» [Текст] / А.О. Токарев, В.Б. Ломухин, Е.В. Ломухина, Л.О. Соловьева // Трение, износ, смазка (электр. ресурс). — 2002. — Вып. 13.

*ЛОМУХИН В.Б., канд. техн. наук, доц.; E-mail:dl191@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*
*ВИНОГРАДОВ А.Б., д-р техн. наук, проф.; E-mail:smae@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*
*ЛАПТЕВА И.В., асп.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*
*СУРГИН В.В., асп.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 07.08.11

Lomuhin V.B., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail:dl191@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Vinogradov A.B., doctor of technical sciences, professor; E-mail: smae@sibstrin.ru, 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
Surgin V.V., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

REPAIR-REGENERATIVE STRUCTURES AND POSSIBILITY OF THEIR CLASSIFICATION

Preparations (RRS — repair-regenerative structures) influencing rubbing details and knots of the engine of building cars (BC) are known and are developed by various manufacturers. In the present work are resulted tribological tests RRS, allowing them to classify on the action mechanism, what simplifies their choice for engines BC.

Key words: building cars, repair-regenerative structures, internal combustion engine, road building machines, tests.

REFERENCES

1. Lomuhin, V.B. Bases of Modern Operation of Engines [Text] / V.B. Lomuhin. — Novosibirsk : Science, 2004. — 188 p.
2. Lomuhin, V.B. Influence of the Conditioner of Metall «FENOM» on Tribotechnical Performances Pairs of Friction [Text] / A.V. Kozhevnikov, V.B. Lomuhin // The Third Korean-Russian International Scientific and Technical Symposium KORUS'2002. (6; 2002; Novosibirsk) : Theses of Scientific Messages. — Novosibirsk, 2002. — P. 32–33.
3. Lomuhin, V.B. About Possible Conditional Classification of Repair-regenerative Structures [Text] / V.B. Lomuhin, I.V. Lapteva // Repair, Restoration, Modernization. — 2010. — N 2. — P. 21–28A.
4. Lomuhin, V.B. Results Tribotechnical Tests of the Modifier of a Friction «FORUM» [Text] / A.O. Tokarev, V.B. Lomuhin, E.V. Lomuhina, L.O. Soloveva // Friction, Deterioration, Greasing. — 2002. — Fasc. 13.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 72.01

Н.В. БАГРОВА

ХРОНОТОПИЧЕСКИЕ ФРЕЙМЫ АРХИТЕКТУРНО-КРИТИЧЕСКОЙ МЫСЛИ

Ставится проблема структурирования массива архитектурно-критических текстов в целях поиска единицы критического суждения для разработки инструмента анализа архитектурно-критического дискурса. Выдвигается тезис о его первичной структуризации по фреймам и мифологемам. В заключение делается вывод об объяснительных возможностях и потенциале типологии архитектурно-критического дискурса в процессе анализа об разной структуры архитектурно-критического текста.

Ключевые слова: архитектурная критика, хронотопические фреймы.

Анализ структуры архитектурно-критической мысли имеет относительно недавнюю историю. В сборнике трудов ВНИИТАГ, изданном в 1991 г., находим: «еще недавно трудно было бы говорить не то, что о состоянии, но о самом существовании такой области отечественного архитектуроведения, как теория, история и методология архитектурной критики»¹. Можно предположить, что причиной такому медленному развитию является прагматический настрой архитектурного дискурса «лет выживания», спровоцировавший выхолащивание эстетического и научного аспектов из архитектурной критики. Однако же есть основания полагать, что новая архитектурная практика с выходом за рамки ограничивающей утилитарности повлечет за собой рост значимости оценки.

Если допустить, что цель критики как метода — сравнение актуального объекта с его идеальным (в платоновском смысле) состоянием, то в структуре ее необходимо присутствие обозначенного критиком представления о должном и метода оценки на соответствие объекта заявленному должностному. Очевидно, что разработанные в прошлом критерии оценки не востребуются в эпоху утилитаризма. Как проблему этот разрыв в архитектурно-критическом дискурсе описывает А.Г. Раппапорт, указывая, что «в современной теории архитектуры акцент делается ...на нормативную сторону — на принципы и методы, которые якобы способны обеспечить продуктивное развитие архитектурного проектирования, а критический анализ этих принципов, соотношение мифологических, логических, нормативных и эмпирических моментов в их построении остается не выявленным» [1]. Таким образом, акцент в анализе архитектурной критики делается не на конкретных методах или даже принципах, но на глубинной основе, функциональном базисе критики. Какие же установки личности критика формируют доминанты его суждений?

¹ Социальная эффективность архитектурной деятельности / Под ред. Ю.Е. Евреинова. Киев: Киев ВНИИТАГ, 1991. С. 78.

Существующие методики структурирования архитектурно-критического дискурса по-прежнему представляют собой версии противопоставления полюсов «прагматика — эстетика». Также распространено определение стилей критики по эталонным образцам. Например, В. Никитин в диссертации «Эволюция художественной формы в архитектуре»² анализирует периоды архитектурной критики через градиент от канонической (ориентированной на эпохальные стили) к типизирующей (предполагающей одновременное, но разнопроявленное «бытие всех явлений») форме оценки.

Представляется, тем не менее, что может иметь эвристическую значимость анализ действующих в пространстве архитектурно-критического дискурса доминант хронотопического ряда.

Под хронотопическими доминантами здесь понимается личностный выбор актуального времени, совершаемый субъектом, хоть и под воздействием ряда внешних факторов, но абсолютно самостоятельно. Конечно, актуальное время субъекта вполне может не совпадать со временем календарным. С регулярностью такое несовпадение приводит к коллизиям, про которые Г. Ревзин замечает: «с хронологией человек тоже находится в отношениях диалога, постоянно желая выбрать себе не то время, в которое его поместила история, а какое-нибудь другое, более ему подходящее (откуда все Ренессансы и футуризмы)»³. Однако актуальное время субъекта далеко не обязательно оторвано от его реального времени. Другой вопрос, насколько и в какую сторону смешен его фокус и какое отражение это находит в критических суждениях.

В антропологических исследованиях Маргарет Мид⁴ описаны три культурные хронотопические доминанты, обозначенные как типы культур: «постфигуративная» (ориентированная на опыт прошлых поколений), «кофигуративная» (основанная на взаимовлиянии современников) и «префигуративная» (в которой потомки обучаются предков). Разумеется, современная культура ни к одному из этих хронотопов не относится, настолько мозаичны и многослойны контексты современности. Однако представляется значимым описание хронотопических фреймов восприятия в конструировании семантики критического высказывания.

Под фреймом предлагается понимать «единицу представления знаний, запомненную в прошлом, детали которой могут быть изменены согласно текущей ситуации» Марка Мински [2]. Ч. Филлмор [3] пишет, что фрейм активируется, когда интерпретатор помещает содержание фрагмента в модель, которая известна независимо от текста.

Наиболее адекватной архитектурведению представляется модель, вводящая образы трех хронотопических фреймов, ориентированных по направлению взгляда высказывающегося в прошлое, настоящее или будущее. Хронотопический фрейм задает классы изучаемых объектов, тезаурус и сюжеты. Время высказывания несущественно. С этой точки зрения фрейм будущего был вполне доступен, например, Екатерине Великой, предполагавшей, что приобретаемая ею римская мозаика была бы высоко оценена «каким-нибудь китайским императором» две тысячи лет спустя.

Можно предположить, что взаимной борьбой трех хронотопических фреймов обусловлены такие, согласно классификации О. Шипицыной⁵, концепционные типы критических суждений, как «ретроспективизм»,

² Никитин В.А. Эволюция художественной формы в архитектуре (на материале современной архитектуры Запада): автореф. дис. ... канд. архитектуры. М.: МАрхИ, 1986.

³ Ревзин Г. Очерки по философии архитектурной формы. М.: ОГИ, 2002. С. 16.

⁴ Мид М. Культура и мир детства: избр. произв. М.: Мысль, 1988.

⁵ Шипицына О.А. Архитектурведение и архитектурная критика. Екатеринбург: Изд-во УралГАХА, 2001. С. 46.

«контекстуализм» и «футуризм». Действие фрейма именно таково, что объекты, не входящие в его рамки, зачастую отнюдь не осуждаются, они всего лишь делаются невидимы по причине отсутствия к ним интереса. Их ценность обнуляется. Они не хороши и не плохи, их просто нет. В качестве примера такого воздействия фрейма на восприятие критиков и на архитектурный дискурс в целом можно привести упоминаемую Г. Ревзиной коллизию первого десятилетия XX в., когда архитектурная критика, увлеченно обсуждавшая ретроспективистские постройки и проекты, игнорировала впоследствии знаменитые здания, выпадавшие из исторически ориентированного дискурса. Александр Бенуа еще на заре нового века был обеспокоен по поводу того, что его брат Юлий «варварски ввинтил в самое сердце имперского Петербурга «шуруп» из стекла и стали — дом страхового общества «Зингер». Следующее поколение в лице Николая Заболоцкого уже искренне восхищалось им» [4].

При учете несовпадения фреймов наблюдателей эта довольно распространенная история объясняется не отсутствием чувствительности современников, как чаще всего принято считать, а тем, что в межфреймовом конфликте может игнорироваться не само произведение, но семантика, в пространстве которой совершается архитектурное высказывание. В результате деятельность одного и того же архитектора (Татлина) описывается либо как «пример оторванных от жизни формальных исканий», либо как «яркий пример революционной романтики»⁶. Причем оба эти высказывания разнесены во времени не более чем на два десятилетия. Легко видеть, что само употребление критериев оценки указывает в первом случае на контекстуальный, а во втором — на футуристический фрейм.

Есть основания полагать, что причины, ведущие к смене или, напротив, укоренению господствующего в определенном дискурсе хронотопического фрейма, следует искать в области социально-психологических аспектов исторических событий. Подтверждением такого предположения выступает видимая связь в изменениях влиятельности фреймов в различных областях культуры: очевидно, что футуризм в архитектурном дискурсе резонирует с тенденциями в живописи, музыке и литературе и, напротив, обострение интереса к прошлому и даже давно прошедшему захватывает области культуры от театральных костюмов до градостроительных проектов.

Каждый хронотопический фрейм, помимо общей обращенности относительно временной шкалы от реального хронотопа высказывающегося, обладает рядом присущих ему мифологем, под которыми понимается, по определению В.К. Хазова, «устойчивый воспроизведимый коллективным сознанием в различных текстах культуры комплекс знаков, играющий роль универсального... воспроизведенного во всех культурах паттерна и определяющий как содержание, так и оформление соответствующих феноменов культуры»⁷. Представляется, что структура фрейма весьма существенно определяется набором мифологем, в него включенных.

Роль мифологической составляющей вполне признана архитектуро-ведеским дискурсом: «Пытаться понять архитектуру как особый вид творчества и роль личности в нем без реабилитации мифологических пластов современного сознания — безнадежное предприятие» [1]. Отметим тем не менее, что полагаться в построении представлений о любой области человеческой деятельности исключительно на мифологическую составляющую мышления в ее неотрефлексированной форме было бы не-

⁶ Социальная эффективность архитектурной деятельности / Под ред. Ю.Е. Евреинова. Киев: Киев ВНИИТАГ, 1991. С. 94.

⁷ Хазов В.К. Мифологемы российской культуры постсоветского периода (1990-е годы): автореф. дис. ...канд. филос. наук. Астрахань, 2009. С. 9.

корректно. Напротив, в представлении о хронотопических фреймах мифологемы являются не базой теоретического конструкта, но всего лишь свойством семантического поля создавать внутри фрейма сгущения смыслов, способствующие структуризации мышления наблюдателя, являются внутренними тропиками фрейма, указывающими направление взгляду. И если оценивать мифологемы как предсказуемые аберрации восприятия высказывающегося, использование их в исследовании тенденций архитектурной критики может быть весьма значимым.

Ретроспективистский фрейм мифологичен в традиционном понимании этого слова, поскольку эйдетические образцы, с которыми сопоставляется критикуемый объект, имеют двойственную природу — в первом слое это шедевры архитектуры прошлого, но более глубоко — это те образы, на которые ориентировались при строительстве авторы шедевров. В итоге образом узлового центра для ретроспективистского мышления оказывается не только «Кремль Московский» или «Псковский», но «Кремль Небесный».

Футуристический фрейм изоморфен ретроспективистскому своим выходом из пространства наличного актуального в некое конструируемое представление: «Особенность социалистического зодчества — устремленность его в будущее, формирование идеала по меркам грядущего»⁸. Но если мифологемы ретроспективизма в основном апеллируют к Космосу и вписывают архитектурное высказывание во Вселенную (или, в более традиционных координатах, «Творение»), то для футуристического фрейма более характерны антропные идеи. Например, ведущая футуристическая мифологема «Smart Home» как образ «Здания-Собеседника». Футуристический фрейм выводит в эйдетические знаки самые разные образы человечности. Один из наиболее «говорящих» современных примеров — знаменитый Шанхайский проект Peoples Building, здание, изображающее иероглиф «жэнь», обозначающий в китайском языке группу антропных понятий — от простого понятия «человек» до высокого конфуцианского принципа гуманности.

Контекстуальный фрейм отличается тем, что формирует эйдетические модели не на основе умозрений («как это было» или «как это будет»), но опираясь на реальность. Это наиболее прагматически ориентированный фрейм. В нем нет направленности ни к утраченной целостности Космоса, ни к взыскиемой целостности Человека. Критическое высказывание в пространстве контекстуалистского фрейма не сополагает критикуемый объект с чем-то вовне момента, а напротив, ищет образец в нем самом: «современное художественное произведение становится классическим именно в своей новизне, соответствующей духу времени»⁹. Основными мифологемами контекстуализма являются образы актуальной «среды» и «соответствия». Например, семантическая платформа конструктивизма, ориентированная на соответствие «фрона художественного труда» «общесоциальному строительству»¹⁰, может быть с высокой степенью уверенности отнесена к пространству контекстуалистского фрейма.

Поскольку построение эталонов, общих представлений об архитектурном эйдосе внутри каждого фрейма связано с заданными им мифологемами, понимание функционирования фрейма как предсказуемого пути рассуждений критикующего субъекта формируется через понимание ло-

⁸ Заварихин С.П. Методологические проблемы советской архитектурной критики // Архитектура народов СССР. Вопр. ист. и теории / Межвуз. тематич. сб. Л.: ЛИСИ, 1981. С. 76–80.

⁹ Духан И.Н. Философия классического в искусстве и проектной культуре модернизма // Вопр. философии. 2009. № 6. С. 47–59.

¹⁰ Эстетическая ценность и художественное конструирование // Тр. ВНИИТЭ. Техн. эстетика. Вып. 6. М., 1973. С. 165.

гики его образов. Однако необходимо добавить, что не исключено в конструировании семантики архитектурного высказывания использование внутри одного из хронотопических фреймов единичных элементов «чужих» мифологем. Представляется, что в дискурсах разных хронотопических фреймов такие взаимозамещения обладают эффектом парадоксальности, одновременности разноадресного высказывания.

В заключение отметим, что приведенная в статье последовательность анализа архитектурно-критического дискурса, как представляется, до настоящего времени не использовалась. Приведенные размышления являются лишь общим обрисом возможного развития представлений о структуре архитектурно-критической мысли. Тем не менее даже краткая первичная структуризация архитектурно-критического дискурса по фреймам и присущим им мифологемным рядам обладает достаточно детальными объяснительными возможностями и потенциалом в поиске аналитических единиц архитектурно-критического суждения для решения проблемы структурирования массива архитектурно-критических текстов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Раппапорт, А.Г. История архитектурной мысли и ее будущее [Текст] / А.Г. Раппапорт // Докл. на Междунар. науч. конф. по вопросам всеобщей истории архитектуры «Личность, эпоха, стиль» 6-7 октября 2008 г. — М. : НИИТАГ РААСН, 2008.
2. Minsky, M. Framework for Representing Knowledge in the Psychology of Computer Vision [Текст] / M. Minsky. — N.-L., 1975. — P. 29.
3. Филлмор, Ч. Фреймы и семантика понимания [Текст] / Ч. Филлмор // Новое в зарубежной лингвистике. Вып. XXIII. — М., 1988.
4. Левченко, Я. Город пышный, город бедный [Текст] / Я. Левченко // Неприкосновенный запас. — М., 2010. — № 2.

*БАГРОВА Н.В., канд. культурологии
Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия*

Получено 23.08.11

Bagrova N.V., candidate of culturology, Novosibirsk State Academy of Architecture and Arts, Russia

CHRONOTYPICAL FRAMES IN ARCHITECTURAL-CRITICAL THOUGHT

There is in article a problem of architectural-critical texts massive's structuring and searching for the unit of critical proposition in aims of elaboration the analysing instrument for architectural-critical discourse is posed. A thesis about primary structuring the discourses on frames and mythologems is raised. The article concludes explanatory potential of architectural-critical discourse's typology in algorithm of analysis of architectural-critical texts's figurative structure.

Key words: architectural criticism, architectural discourses, structure of architectural-critical thought.

REFERENCES

1. Rappaport, A.G. History of Architectural Thought and Its Future [Text] / A.G. Rappaport // Report on the International Conference on World History of Architecture «Personality, Age, Style» October 6-7, 2008. — M.: NIITAG RAASN, 2008.
2. Minsky, M. Framework for Representing Knowledge in the Psychology of Computer Vision [Text] / M. Minsky. — N.-L., 1975. — P. 29.
3. Fillmore, C. Frames and the Semantics of Understanding [Text] / C. Fillmore // New Foreign Linguistics. Fasc. XXIII. — M., 1988.
4. Levchenko, Ya. City Pompous, City Poor [Text] / Ya. Levchenko // «NZ». — M., 2010. — N 2.

УДК 711.4(571.53)

Е.В. ПУЛЯЕВСКАЯ

АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ НАСЛЕДИЕ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ И ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ

Система сельского расселения, сложившаяся в регионе унаследовала традиционные формы природопользования, основанные на культурных традициях русской крестьянской общины. Метод комплексной оценки территории и выявленные принципы организации исторических ландшафтов отражают основные этапы в формировании архитектурно-планировочной организации сельских поселений и структуре регионального расселения.

Ключевые слова: культурные ландшафты, сельское расселение, планировочная структура сельских населенных мест, архитектура, ландшафт, комплексная оценка территории.

Современная деградация и упадок сельских поселений, вызванный проблемами социально-экономического характера, требует комплексной оценки и создания условий для устойчивого развития территорий. Поэтому актуальным и своевременным становится выявление историко-культурного потенциала территории, анализ сложившейся структуры расселения, традиционной формы землепользования, основанной на культурных традициях и региональных особенностях.

Формирование исторических ландшафтов Предбайкалья в современных границах Иркутской области, связанных с хозяйственной деятельностью русской крестьянской общины, обусловлено тремя основными фактами: административно-хозяйственными этапами освоения, историко-культурными традициями и природно-географическими особенностями территории [1–4].

В развитии структуры расселения выделяется три основных этапа.

1. 1630–1700 гг. — заселение Севера с формированием административного центра — (Илимский острог) и управлениями воеводства в острогах (Усть-Кутский, Киренский, Чечуйский, Илгинский, Яндинский, Братский) и слободах (Нижне-Илимская, Верхне-Илимская, Криволукская, Оренская, Тутурская, Ново-Удинская, Пежемская).

2. 1760–1890 гг. — освоение южных районов региона. Построение сухопутного Московского тракта (организация гоньбы и освоение притрактовой зоны), государственные реформы (реконструкция административного аппарата). Выделение торгово-административного центра (г. Иркутск) и узлов в структуре сельского расселения (остроги, ряд сел, занимающих удобное транспортно и торгово-ориентированное положение на пересечении основных рек с трактом), а также поселений, организованных по инициативе промышленников, — казенные винокуренные, соляные, железоделательные, суконные, фаянсовые, стеклянные заводы (Тельминское, Александровское, Тальцинское, Никольское и др.). Якутский тракт до Качуга, а затем сплав по р. Лене связывает регион с северо-востоком.

3. 1896–1914 гг. — период переселения. Завершение строительства Транссибирской магистрали (1898 г.); «Закон о землеустройстве кресть-

янства» (от 25 марта — 23 мая 1896 г.); проведение Столыпинской аграрной реформы (1906–1916 гг.). К концу XIX в. складывается административное и епархиальное обустройство Иркутской губернии (5 уездов включают 38 волостей и окружные благочиния, состоящие из 176 приходов и 16 миссионерских станов). Выделяются пять категорий землепользования, из которых земли трех категорий (крестьянских обществ, инородцев и казаков) составляют 90 %.

Природно-географические особенности связаны с морфологией регионального ландшафта, включающим Лено-Ангарское плато и Иркутско-Черемховскую предгорную равнину. К природному каркасу на уровне расселения отнесены долины главных рек (Илим, Лена, Уда, Ока — Ангарский бассейн), оси малых рек и их притоков (Илга, Тутура, Чикан, Манзурка, Киренга и другие — Ленский бассейн), оси горных массивов и возвышенностей.

Современное историко-культурное зонирование территории Иркутской области выделяет русскую зону заселения, состоящую из горной таежной Ангаро-Илимской и Ленской зон — местоположение Лено-Ангарское плато, равнинной лесостепной, т.е. Трактово-подгородной зоны — местоположение Иркутско-Черемховская предгорная равнина. Административное устройство и морфологические особенности ландшафта обусловливают основные типы расселения и характерные структуры сельского расселения. Горно-таежный долинный тип расселения отличается вытянутой в пространстве дисперсной структурой с децентрализованной системой, привязанной к речной сети. Сельская община состояла из жителей нескольких поселений. По Ангаре, Оке, Ие располагались средние поселения (до 100 хозяйств) на расстоянии от 8 до 44 км; мелкие поселения (до 5 хозяйств) на расстоянии 1–3 км. Выселки, реже — заимки, образованные в более поздний период, тяготели к поселениям, имеющим сельское или волостное правление. По Ангаре (среднее течение) поселения располагались на крупных островах с шагом не более 11–12 км. По р. Илим — в радиусе 11 км друг от друга, ближе к административным центрам радиус сокращался до 4 км. По р. Илге и Лене — расстояние от 3 до 7,5 км поселения, расстояние между которыми не превышало 1 км, постепенно объединялись. Шаг между поселениями и их размер отражает зависимость расстояния между притоками небольших рек и наличие пригодных под пашню территорий.

Равнинный предгорный тип расселения (59 % усадебных хозяйств региона) сформировал две модели.

1. Компактная, радиально-лучевая модель подгородной зоны (ПЗ), включающей волости близ Иркутска. Сельская община ПЗ, как правило, состояла из жителей одного поселения. Расстояния между поселениями не более 7,5 км. Практически отсутствуют заимки.

2. Вытянутая линейно-лучевая модель трактовой зоны. Осью расселения становится Московский тракт, позднее Транссибирская железная дорога. Расстояние между узлами модели трактовой зоны сформировалось в конце XVIII в., составляли примерно 30 верст (32 км), что соответствовало суточному пробегу лошадей. Мелкие поселения группируются и носят характер заимочного хозяйства. Большее количество крупных поселений (100–700 дворов) — 12 % в отличие от предыдущей зоны объясняется экономически выгодным положением и развитыми торговыми связями; средние поселения (от 25 до 100 дворов) — 19 %, мелкие (от 5 до 25) — 69 %.

Итак, на уровне расселения к основным элементам сельского расселения относим:

1. Продуктивные ландшафты: пашни — склоны юго-восточной, изредка юго-западной ориентации с уклоном до 7° в Ангаро-Илимской и Ленской зонах и не менее 2° — трактово-подгородной зоне; выгон — пойменные территории, близлежащие острова; покосы — острова, участки вдоль ручьев и временных водотоков, межи между пашнями, лесные поляны.

2. Сакральные ландшафты включают монастыри, кладбища, селения, в которых расположен храм. Это основополагающие места в системе поселений, т.е. они являются центром пространственной структуры сельского расселения.

3. Селитебные ландшафты — непосредственно поселение, включающее усадебные владения, вблизи крупных рек и транспортных артерий, на подсклоновых территориях или первых надпойменных террасах, юго-восточной ориентации или на крупных островах, являясь пространственным центром продуктивных ландшафтов.

4. Охотничье-промышленные угодья: лесохозяйственные — вершинные и склоновые местоположения северо-западной ориентации.

5. Производственно-инженерные компоненты в сельском ландшафте (водяные мельницы, кузницы и др.) расположены у ручьев и на небольших речках, недалеко от пашенных угодий за пределами поселений.

6. Структурно-связующие ландшафты выявляются на уровне расселения: тракт, волок, речное русло, дороги между поселениями и т.п., которые обеспечивают связь между всеми элементами крестьянского ландшафта, играют роль границы продуктивных ландшафтов.

Прослеживается зависимость продуктивных ландшафтов от планировочной структуры поселений или так называемых селитебных ландшафтов. Например, линейным планировочным структурам, вытянутым вдоль основного речного русла или тракта, соответствуют полостно-участковые структуры землепользования, а компактно-концентрированным структурам, сложившимся на пересечении основного речного пути и тракта, — трапециевидно-прямоугольные, очаговые.

7. Лесохозяйственные территории являются неотъемлемой частью землепользования. Носят замкнутый характер при горно-таежном типе расселения (деревня-малодворка, выселок), а также заимочном хозяйстве трактово-подгородной зоны, где 80 % от всего землепользования общинны составляют лесные угодья, образующие своеобразное кольцо вокруг других элементов сельского поселения. Равнинной зоне свойственен открытый, т.е. «разомкнутый» характер, когда лесные угодья составляют 27 % от всего землепользования общинны и имеют характер полосно-очаговый.

Культурные традиции формирования сельских ландшафтов складывались на основе общероссийской социально-экономической модели, именуемой «Русской моделью хозяйственной деятельности», сущность которой в определенном национальном стереотипе хозяйственного поведения с характерным общинным типом хозяйствования («артели» взаимопомощи, самоуправление). По социально-экономическим исследованиям принципы ее функционирования заключаются в том, что весь хозяйственный уклад общинны и отдельных хозяйств рассматривается как духовно-нравственная категория, обладая при этом автаркией, общинным характером и собственностью. В основе этой модели лежат основные принципы «домуустройства», заложенные еще в «Домострое» и основанные на принципах выделения: «мирского и сакрального», т.е. регламентацией, связанной с религиозно-нравственным поведением всех членов общинны;

выделением и обособлением «личного и общинного», а именно разделением и сосуществованием хозяйственной деятельности семьи и общины; а также поляризацией пространства на «мужское и женское», обусловленное распределением обязанностей между мужчиной и женщиной.

Проявление этих принципов по материалам исследования этнографов нашло отражение в упорядочивании внутреннего пространства восточнославянского жилища и подтверждается нами при рассмотрении планировочной организации усадьбы, поселения и отчасти системы расселения.

В результате анализа исторических ландшафтов сельских поселений конца XIX — начала XX в. выявлено следующее.

Территория крестьянского землепользования состояла из дач (крестьянских участков), находящихся в личном владении (займки, пашни, мельницы). Лесные угодья, выгоны, покосы, сакральные ландшафты находились в совместном пользовании общины, возглавляемой выборным сельским правлением (личное — общинное).

Сельские общества объединялись в приход (православную общину), обеспечивающий духовно-нравственную организацию. Приходы в окружные благочиния, приписываемые административно, как и волости к окружам губернии. В структуре расселения выделяются села, имеющие приходской храм и соответствующий ему сакральный ландшафт, который формируется с учетом визуальных связей со всеми элементами планировочной структуры, а также доминирует в архитектурно-пространственной организации поселения. Эти поселения становились не только культурным и административным, но и планировочным центром в структуре расселения и землепользования крестьянской общины, с развернутым составом планировочных элементов (волостные правления, церковно-приходские школы, дома-лавки, питейные заведения, больницы, ледники и т.п.). Сельские поселения, не имеющие храма, т.е. деревни, займки и выселки, относились к поселениям с сугубо хозяйственной направленностью (мирское — сакральное).

Этапы и характер освоения территории формируют разные типы поселений, обуславливающие мужское и женское начало землеустройства. В основе «мужского поселения» (острог) лежит стратегия завоевания нового пространства «быстрым продвижением вперед», большим расстоянием между узлами-поселениями, которое соотносится лошадиным пробегом, либо суточным сплавом по реке, и наряду с этим «компактным» характером землепользования. «Женское поселение» (село, деревня, займка) характеризуется обустройством земледельческого хозяйства, закреплением устойчивого характера землепользования и охраной общественного ландшафта консервативной традицией. Территория землепользования имеет большой радиус освоения пространства с расстоянием между поселениями в пределах пешеходной доступности.

Существует иерархия пространства, выраженная административно-хозяйственной подчиненностью сложившихся типов поселений и обусловленная назначением, ландшафтным местоположением элементов крестьянского ландшафта.

Автономность обеспечивалась замкнутостью и самодостаточностью каждой хозяйственной единицы, включающей полный производственный цикл. Выявленные элементы крестьянского ландшафта на уровне расселения необходимо рассматривать одновременно и на уровне поселения, так как они являлись неотъемлемой частью хозяйственной деятельности общины.

Во второй половине XIX в. русское население, осваивавшее Предбайкалье с начала XVII в., представляет из себя единый этнический массив, а разделение его на три историко-культурные зоны связано с некоторыми хозяйствственно-экономическими и бытовыми различиями. Крестьяне, в свою очередь, состояли из крестьян-старожилов, переселенцев, казаков и инородцев, которые отличались только по образу жизни. Различные пути и этапы колонизации обусловили разные условия для формирования земледельческих поселений, а в связи с этим и различный характер, и планировочную структуру самих поселений.

Выделяются основные виды крестьянских поселений: село, деревня, заимка, выселок. В зависимости от количества дворов все поселения делятся на крупные (более 100 дворов), средние (свыше 25 и до 100 дворов) и мелкие (от 5 и до 25 включительно). Большинство поселений в своем развитии проходят основные стадии: выселок, деревня, село. Промежуточный тип поселения — заимка, которая редко превращается в иное поселение, так как имеет чисто экономический характер и связана с расширением основного хозяйства. Места, выбранные под заимку, редко имеют достаточно удобную землю для развития поселения, а также удалены от основных осей расселения, нередко носят временный характер, жители заимки (в основном одна или несколько семей) принадлежат к сельскому обществу того поселения, из которого они вышли. Деревни-малодворки распространены в основном в таежных зонах региона. В трактово-подгородной зоне более развитое заимочное хозяйство.

Из проведенного анализа пространственных моделей расселения и организации сельских ландшафтов видим, что структура территории выступает как историко-культурная целостность, представляет новый объект изучения, сохранения как памятника природы, культуры, истории:

— модели расселения отражают пространственную структуру, которая при всей своей многогранности имеет очень четкую упорядоченность;

— модель сформировалась под влиянием политики, проводимой государством, одновременно генетически обусловлена традиционным укладом в жизни русской общины и геоморфологическими особенностями территории;

— основные принципы модели расселения основаны на формировании иерархии ландшафтно-планировочной организации и соподчиненности элементов планировочной структуры и одновременно их автономности и самодостаточности. Выбор территорий под различные угодья оценивается с точки зрения рельефа и геоморфологии местности, плодородия почв и ориентации склонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байбурин, А.К. Жилище в обрядах и представлениях восточных славян [Текст] / А.К. Байбурин. — Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1983. — 190 с.
2. Каuffman, A.A. Крестьянская община в Сибири : по местным исследованиям 1886–1892 г. [Текст] / A.A. Каuffman. — СПб., кн.маг. А.Ф. Цинзерлинга, 1897. — 278 с.
3. Материалы по исследованию землепользования и хозяйственного быта сельского населения Иркутской и Енисейской губерний [Текст] / Иркутск : Тип. Штаба и газ. Восточного обозрения, 1889. — Т. 1 (Иркутская губерния). — 766 с.
4. Святая Русь. Энциклопедический словарь русской цивилизации / Сост. О.А. Платонов. — М. : Правосл. изд-во «Энциклопедия русской цивилизации», 2000. — 1040 с., 709 ил.

ПУЛЯЕВСКАЯ Е.В., канд. архитектуры; E-mail: pulya.arch@bk.ru
Иркутский государственный технический университет

Получено 18.08.11

Pulyaevskaya E.V., candidate of architecture; E-mail: pulya.arch@bk.ru, Irkutsk State Technical University, Russia

ARCHITECTURAL HERITAGE PLANNING OF RURAL SETTLEMENT AND PRINCIPLES OF THE FORMATION OF HISTORIC LANDSCAPES CISBAIKALIA

The system of rural settlement, established in the region has inherited the traditional forms of nature, based on the cultural traditions of the Russian peasant commune. The method of integrated assessment of the identified areas and principles of historical landscapes reflect the main stages in the formation of the architectural and planning organization of rural settlements and the structure of regional settlement.

Key words: cultural landscapes, rural resettlement, planning structure of rural places, architecture, landscape, integrated assessment area.

REFERENCES

1. Baiburin, A.K. Residence in the Rites and Beliefs of Eastern Slavs [Text] / A.K. Baiburin. — L : Science, Leningr. otd-tion, 1983. — 190 p.
 2. Kaufman, A.A. Farming Community in Siberia for Local Research 1886–1892 [Text] / A.A. Kaufman. — St. Petersburg, Vol. Mag. AF Tsinzerling, 1897. — 278 p.
 3. Materials Research and Land use Economic Life of the Rural Population of the Irkutsk and Yenisei Province [Text] / Irkutsk : the typ. of gas. and the Staff of the Eastern obozrnaya, 1889. — Vol. 1 (Irkutsk Province). — 766 p.
 4. Holy Russia. Encyclopedic Dictionary of Russian civilization / Comp. O.A. Platonov. — M. : Orthodox publishing house «Encyclopedia of Russian civilization», 2000. — 1040 p., 709 ill.
-

УДК 726.03(571.53)

О.И. ЧЕРНЫХ

**«ИСТОРИЗМ» КАК ОСНОВА ВЫБОРА
АРХИТЕКТУРНОГО РЕШЕНИЯ В КУЛЬТОВОЙ АРХИТЕКТУРЕ
ИРКУТСКА ПОСЛЕДНЕЙ ЧЕТВЕРТИ XIX в.**

На примере культовой архитектуры Иркутска конца XIX столетия рассматриваются следующие направления архитектуры эклектики: неоготический, неорусский, неовизантийский и русско-византийский стили.

Ключевые слова: эклектика, историзм, неостили — направления эклектики; сибирское культовое зодчество конца XIX в.

Научному и художественному творчеству XIX столетия было присущее такое понятие как «историзм». Историзм объединял неостили искусства — неоренессанс, необарокко, неорококо и т.д. Историзм был характерен и для архитектуры. Современные исследователи весь период архитектуры с 1830-х до 1890-х гг. в России обозначают термином «эклектика». Но некоторые исследователи (например, московский историк архитектуры Е.И. Кириченко) предпочитают другое название «историзм». Термин был введен в обиход западноевропейским искусствоведами — специалисты в области интерьера XIX в., например, И.А. Бартенев и В.Н. Батажкова. Определение «историзм» встречается также в работах по изучению декоративно-прикладного искусства и литературы. Известные петербургские историки архитектуры А.Л. Пунин и Т.А. Славина также применяют этот термин. Только Пунин использует «историзм» не в качестве определения архитектурного стиля, а как категорию мировоззренческую, характеризующую мышление XIX в. [1]. Славина считает «историзм» основой при выборе архитектурного решения, оставляя при этом в обиходе слово «эклектика» для обозначения архитектуры этого периода времени [2].

Трактовка терминов, относящихся к российской архитектуре XIX в., является и по сей день дискуссионной. Множественность стилевых течений и направлений архитектуры того времени и терминологические разнотечения, их характеризующие, отражают всю сложность социальной и духовной жизни тех лет. Автор данной статьи считает, что применение различных определений вполне приемлемо. Слово «эклектика» означает выбор прототипов прошлых эпох; слово «историзм» объединяет творчество зодчих, ориентировавшихся на формы исторических стилей. По сути, оба термина равнозначны. Историзм доминировал в профессиональном сознании архитекторов, и основу их творческой концепции составлял выбор. Принцип оптимального («умного») выбора архитектурного прототипа в ранней эклектике сменился принципом свободы выбора в поздней.

Эклектизм сегодня рассматривается современными исследователями как творческий метод, включающий сознательный отбор исходных структур, их свободное сочетание, сохранение признаков архитектурных образцов и преобразование некоторых признаков этих образцов. Архитектор-эк-

лектик использовал не столько прямой «образец», сколько обобщенный «образ» исторической структуры, выразительные и пространственные свойства которой были проверены многовековым опытом. Историзм, стилизаторство, ретроспективизм, эклектизм, неостили — все это ключевые слова эпохи эклектики.

Архитектура историзма получила широкое распространение в столице и во многих регионах России. Стилизаторско-эклектические постройки появились в Сибири и на Дальнем Востоке несколько позднее, чем в Санкт-Петербурге и Москве.

В Восточной Сибири, в частности в Иркутске, самый расцвет эклектики (воплощенной в камне) пришелся на два последних десятилетия рассматриваемого столетия. Этот период в принятой периодизации характеризуется как этап поздней эклектики. Именно в это время культовая архитектура подарила городу свои самые яркие и значительные образцы. В Иркутске в рассматриваемый период исключительно важную роль сыграли такие линии развития эклектики, как: неовизантийский стиль, русско-византийский, национальный (русский) и готический стиль.

В эпоху эклектики русско-византийский стиль был господствующим в архитектуре церквей Санкт-Петербурга и Москвы. В представлении современников этот стиль отвечал идеи православного храма, его функциональной специфике и культовым традициям русской православной церкви. В провинции это направление не было доминирующим, так как предпочтение отдавали все же национальному стилю. А образцы культовой архитектуры, стилизованной в духе готики, для Восточной Сибири были явлением достаточно редким. Остановимся на рассмотрении конкретных построек Иркутска, а именно: трех православных храмов и одного католического костела, построенных в последней четверти XIX в. Необходимо пояснить, что в городе были возведены и мусульманская мечеть, и еврейская синагога (наличие которых объясняет разнообразный этнический состав населения), но их анализ в данной статье не предусмотрен.

Упомянутые выше направления эклектики в Иркутске представлены следующими объектами: 1) ориентированный на средневековую готику Иркутский римско-католический костел во имя Успения Пресвятой Девы Марии, 1881–1883 гг. (неоготическое направление); 2) ориентированный на византийскую архитектуру Иркутский кафедральный собор во имя иконы Казанской Божией Матери, 1875–1894 гг. (неовизантийское направление); 3) ориентированная на русско-византийские источники Церковь во имя иконы Казанской Божией Матери, 1885–1892 гг. (русско-византийское направление); 4) ориентированная на российское культовое зодчество XVI–XVII вв. Церковь святого равноапостольного князя Владимира, 1888–1895 гг. (неорусское направление).

Несмотря на серьезные потери, нанесенные духовному наследию в советский период, г. Иркутск остается одним из самых интересных центров церковной архитектуры Сибири. Здесь православие и католицизм вызвали к жизни своеобразный пласт культовой архитектуры. «Высокое культурное значение храмов в общей композиции города подчеркивалось характерными для Иркутска “размерным” и “художественным” контрастами доминант и фона» [3]. Храмы, выполненные в неорусском и русско-византийском стилях, отличаются крупномасштабностью построения, богатым декоративным убранством с применением излюбленных приемов в виде килевидных кокошников, шатров, луковичных глав.

Церкви всех периодов строительства имели более богатую пластику деталей, более мощный декор по сравнению с гражданскими и другими зданиями.

Необходимо заметить, что обильное применение декора и яркой палитры красок объясняется еще и региональными особенностями — влиянием архитектуры зарубежной Азии (стран Монголии, Китая, Тибета).

Речь идет о применении выступающих и заглубленных элементов, которые создают в солнечную погоду игру света и тени. Большая продолжительность солнечного освещения в течение года — черта, характеризующая климат Прибайкалья и Забайкалья. Этот прием умело использует местные климатические особенности.

Роль храмов в градостроительной структуре и жизни города выражалась «масштабным» доминированием. Подчеркнуто выделялось размерами наиболее значимое сооружение — Иркутский кафедральный Казанский собор (разрушен в 1932 г.). Его высота была 60 м. Напомним, что храм Христа Спасителя в Москве выше главного Иркутского собора всего лишь на 13 м. Для сравнения заметим, что Исаакиевский собор в Санкт-Петербурге (главный кафедральный собор столицы Российской империи) имеет высоту чуть более 100 м. Таким образом, как свидетельствовали тогда современники, Казанский кафедральный собор в Иркутске был третьим по величине и красоте [4, с. 44].

В создании общего впечатления «значительности» масштаба культовых сооружений особую роль играет цветовое решение, контрастное подчеркивание строения. Например, церковь Казанской иконы Божией Матери в народе зовется «Красная» из-за преобладания красной гаммы в окраске стен. А Князе-Владимирскую церковь называют «Белая» за преобладание белого цвета в оформлении поверхности стен. В то же время цветовая палитра кровель, куполов, архитектурных деталей этой церкви весьма разнообразна. Католический костел своим цветом и фактурой «открытой» кирпичной кладки и пластикой деталей заметно выделяется на фоне белых оштукатуренных церквей «сибирского барокко». Он располагается вблизи главного ритуального пространства города, которое было сформировано еще в XVIII столетии на берегу р. Ангары. Своими «готизированными» формами и силуэтом костел контрастирует с окружением.

Культовые постройки XIX в. рассредоточены в городском пространстве, они обозреваемы со всех сторон, так как поставлены на «островных» участках, обогащая и дополняя исторически сложившуюся иерархию застройки. Характерной особенностью культовой архитектуры Иркутска является прием объемного моделирования как общей композиции, так и всех завершающих элементов церквей. Это и отличает постройки религиозного культа Восточной Сибири от церквей русского северо-запада, где преобладает не объемное, а силуэтное восприятие объекта.

Иркутский римско-католический костел во имя Успения Пресвятой Девы Марии (1881–1883 гг.) — редкий для Сибири образец неоготического стиля в культовой архитектуре. Мы вправе называть его Успенским, хотя звучит это не совсем привычно. В обиходе иркутяне называют костел «Польским», а не «Римско-католическим», отождествляя сибирских католиков и сибирских поляков, что не совсем верно¹. Комитет по постройке этой Иркутской католической церкви возглавлял ксендз Христофор Швермицкий. Строительство нового костела велось с 1881 г. по проекту гражданского инженера Юзефа Тамулевича (по одним документам Ивана, по другим — Яна). Проект был утвержден Строй-

¹ Галеткина Н. Иркутский костел // Земля Иркутская. 1995. № 4. С. 47.

тельным отделением Главного Управления Восточной Сибири (ГУВС) и Иркутским губернатором Анучиным в августе 1881 г.²

Здание костела имеет высокую художественную и историко-архитектурную ценность, оно является едва ли не самым интересным, оригинальным зданием Тихвинской площади (ныне сквер имени Кирова). Основу объемно-пространственной композиции составляет 2-этажный объем храма под двускатной крышей. С востока примыкает трансепт (поперечный неф), в средней части перерезанный высоким объемом центральной апсиды. С западной стороны — трехчастный фасад со вздымающимся над ним настройной башне восьмигранным шатром, окруженным фиалами. Храм делится на три нефа двумя рядами колонн. Здание построено из камня. Декоративное убранство выполнено в кирпиче. Верх храма и алтарной части обведен архитектурным фризом, более мощный фриз завершает стены трансепта. Пилоны контрфорсов украшены нишами, филенками и завершены двускатными кровельками. Оформлены уступами щипцы торцевых стен. По верху кровли храма проходит ажурная литая чугунная решетка. Особенно богато украшен западный фасад. Его углы и контрфорсы завершены фиалами. Стрельчатые окна обрамлены перспективными наличниками, заполнены цветными витражами. В центре щипца круглое окно с готической «розой». Вход оформлен перспективным порталом стрельчатой формы. На шпиле колокольни — корона с латинским крестом. В этом здании костела выражена возвышенность и вдохновенность мотивов готики. Строение по своей грациозной пропорциональности частей, по выдержанности и благоустройству стиля — одно из лучших произведений эклектики.

Кафедральный собор во имя иконы Казанской Божией Матери (1875–1894 гг.) — этот памятник архитектуры является выдающимся образцом неовизантийского стиля эпохи эклектики.

Процесс создания Иркутского Богородице-Казанского собора был длительным и трудным. Обсуждение места под строительство длилось с 1850 по 1872 г. Затемстройка растянулась еще на 20 лет, да и в процессе проектирования участвовали поочередно три разных архитектора. На некоторое время строительство приостанавливалось из-за пожара; оно активизировалось в 1891 г. к приезду в Иркутск цесаревича Николая — наследника русского престола. К этому времени храм был завершен. Еще в 1849 г. иркутский миллионер-золотопромышленник Е.А. Кузнецов сделал первое пожертвование на сооружение этого кафедрального собора. И только 17 апреля 1875 г. он был торжественно заложен епископом Вениамином в присутствии генерал-губернатора Восточной Сибири барона Фредерикса и других чинов и жителей Иркутска [4, с. 8].

В основу строительства был положен проект, составленный Иркутским архитектором В.А. Кудельским. Продолжать работы по возведению собора был приглашен инженер М.Н. Огонь-Догоновский, который существенно изменил проект, предложив соединить храм с колокольней. В таком виде чертеж был отправлен в Синод, где утверждение затянулось на 6 лет. Между тем, несмотря на это, строительство собора уже велось полным ходом. К июню 1879 г. стены храма были возведены на высоту окон второго яруса. Однако страшный пожар, уничтоживший половину города, приостановил все работы опять на шесть лет [4, с. 8].

Строительство возобновилось в 1885 г. Руководить работами был приглашен инженер-архитектор барон Г.В. Розен, который представил свой проект восстановления храма. Изменения, внесенные Г.В. Розеном в перво-

² ГАИО, ф. 504, оп. 5, д. 365.

начальный проект по нижней, уже возведенной части, касались в основном фасадного декора. Верхняя же часть получила совершенно иные архитектурные формы. Изменены были не только очертания куполов (шатровые завершения сменились на полусферические), но и вся стилистика сооружения [4, с. 14]. Проект Г.В. Розена был выдержан в неовизантийском стиле и отличался более пышным декоративным убранством. Новый Богородице-Казанский кафедральный собор представлял собой пятиглавый крестово-купольный храм. Средние повышенные прясла завершались полукруглыми закомарами, боковые — килевидными. Над нижним двусветным ярусом размещался еще и аттиковый ярус, вместивший своды боковых приделов. Четыре малые главы, венчающие приделы, располагались по диагоналям планировочного креста. Главный полусферический купол был установлен на двенадцатигранном световом барабане. Внутри храм открывался на всю высоту здания и освещался в основном верхним светом, через проемы барабана. Декоративная пластика фасадов была очень насыщена. Ритм ее нарастал кверху — плоскости стен венчающей части были покрыты сплошным орнаментом со сложной профилировкой деталей: полуколонки, филенки, пояски, кокошники, сухарики, бегунец, кронштейны. Убранство фасадов разномасштабное: в нижней части укрупненное, с подчеркнутой средней осью (унаследованное от классицизма), а в верхней части — мелкое, дробное, порожденное эклектикой. В стороне от храма стояла колокольня, соединенная с главным объемом низкой длинной галереей.

25 января 1894 г. состоялось освящение главного придела в кафедральном соборе. В 1930-е гг. собор был закрыт. Попытка разобрать его на строительные материалы не увенчалась успехом. В 1932 г. собор был взорван [4, с. 47].

Русские архитекторы XIX столетия внесли большой вклад в исследование памятников византийской архитектуры, которая считалась первоисточником христианского храмостроения. Именно в этой области главным образом и развивалось неовизантийское направление. При этом постройки русских зодчих выгодно отличались от сооружений этого направления в Западной Европе более серьезным отношением к первоисточнику. Наряду с внешними формами русские архитекторы стремились применять и композиционные приемы используемых прототипов.

Главным центром «византийских идей» в храмостроении стал самый европейский город России — Петербург. Наиболее характерные примеры неовизантизма там появились в последней трети XIX в.³

Церковь Казанской иконы Божией Матери (1885–1892 гг.) — в ее стилевом решении отражается яркая интерпретация русско-византийской линии эклектики.

Это одна из немногих построек данного направления конца XIX столетия на территории Восточной Сибири. Церковь имеет живописный и одновременно монументальный объем, она активно формирует силуэт, панораму ремесленно-слободского предместья. Расположена в узловой точке на пересечении улиц Декабристов и Баррикад на средства, собранные потомственным почетным гражданином Иркутска А.М. Сибиряковым.

Храм заложен иркутским архиепископом Вениамином в 1885 г., строительство окончено в 1892 г. В настоящее время здание находится в ведении Иркутской епархии.

Планировочная структура здания церкви центрическая, симметричная по двум осям, крестообразная. Симметрию центрической структуры плана

³ Пунин А.Л. Архитектура Петербурга середины XIX века. СПб.: Лениздат, 1990. С. 44–52, 410.

нарушает только пристрой колокольни с западной стороны. Колокольня с папертью-беседкой тесно примыкает к храму, имеет завершение в виде беседки, перекрытой восьмигранным куполом, и венчается луковичной главкой. Ядро храма — 12-гранный барабан на четверике. Барабан перекрыт граненым куполом, венчающимся главкой луковичной формы.

В Казанской церкви в привычную схему культового сооружения привнесены новые мотивы, усложняющие прочтение функционального назначения частей. Вокруг центрального столпа сгруппированы второстепенные объемы. Более низкие приделы, апсида и колокольня завершены одинаковыми по форме восьмигранными барабанами в виде беседок, которые перекрыты восьмигранными куполами, увенчанные луковичными главами. Еще больше усложняют объемную композицию расположенные по диагоналям ядра храма дополнительные башенки, украшенные шатрами с луковичными главками. Башенки эти акцентируют места прымкания приделов к основному объему.

Подобное композиционное решение, когда различные по функциональному назначению части получают совершенно одинаковую трактовку объемов и планов, было новым для иркутских церквей. До этого всегда четко прослеживалось функциональное деление храма и алтаря, а также приделов. Стены выполнены из кирпича со вставками из песчаных блоков, богато декорированы, оштукатурены и окрашены красной краской на клеевой основе. Обильный декор фасадов, характерный для конца XIX в., использует не только древнерусские, но и византийские формы. Модульоны, сдвоенные колонки, кокошники, филенки различных очертаний образуют насыщенную ткань декора «Красной» церкви. Сохранившиеся железные кресты на главках первоначально были позолочены, купола и шатры покрыты кровельным железом и покрашены «в шашечку».

Подчеркнутый вертикализм, цельный силуэт, яркая индивидуальность объемно-пространственного решения характеризует облик Казанской церкви. Ее композиция значительно отличается от всех предшествующих ей культовых зданий города.

Церковь святого равноапостольного князя Владимира (1888–1895 гг.) — пример развития национально-романтической линии эклектики — русского стиля. Была возведена на средства иркутского купца 1-й гильдии В.А. Литвинцева и поэтому получила в народной молве свое второе название как «Литвинцевская». Начало ее строительства было приурочено к 900-летию крещения Руси князем Владимиром, что определило выбор ее архитектурного стиля³. Храм был заложен 15 июля 1888 г. в день торжественного празднования этого события и ровно через семь лет построен. Иконы для этой церкви писали в Киеве, копируя иконы Киевского Владимирского собора.

Проект здания церкви составлен иркутским архитектором В.А. Кудельским согласно пожеланиям заказчика в русском стиле. Храмовый объем построен в формах, заимствованных из древнерусской архитектуры. Луковичные главки в завершении церкви, шатер колокольни, характер декора свидетельствуют о стремлении автора возвратить национальное зодчество. При этом архитектор свободно скомпоновал традиционные мотивы в объемную композицию, не имевшую прямых аналогов в культовом строительстве Восточной Сибири.

Князе-Владимирская церковь — единственная в Иркутске нефная православная постройка. В плане компактный прямоугольник расчленен столбами на 15 ячеек (девять одинаковых центральных и по три более узких с восточной и западной сторон). Объемное решение храма еще более необычно. Венчающие главки расположены не над храмовой частью, а с

востока над алтарями и с запада над служебными помещениями притвора; а центр композиции — ярусная шатровая колокольня. Ядро самого храма низкий объем между алтарем и колокольней.

Князе-Владимирская церковь изначально планировалась как Иркутский Князе-Владимирский мужской монастырь, но этот ансамбль не был полностью завершен. На территории комплекса в 1903 г. были основаны церковно-учительская семинария, 2-классная образцовая школа, построенна часовня⁴. «Семиглавый храм имеет форму плана в виде базилики. Это подтверждает намерение проектировщика и заказчика построить именно монастырь, поскольку тип базилики чаще всего является основой архитектурного выражения монастырских сооружений. Это связано не только с символикой и канонами построения монастыря, но и с проведением ритуалов посвящения и принятия монашества»⁴.

Композиция сооружения подчинена главной доминанте здания — высокой колокольне. Западный фасад воспринимается как силуэтная вертикальная фронтальная композиция, а восточный выглядит как пластичный, ступенчатый, объемный.

Форма Князе-Владимирской церкви характеризуется едиными структурными принципами построения. Соразмерность ее частей основывается на системе пропорционирования, в основе которой лежало отношение сторон квадрата к диагонали с использованием свойств вписанных квадратов⁴. Если проанализировать отдельно колокольню, то она имеет трехчастное членение: четверик, восьмерик и шатер. Если эту иерархию довести до масштаба деталей, то и в них обнаружится трехчастность — что было характерно для древнерусской архитектуры. Но в отличие от памятников древнего зодчества постройки возводились по математически выверенным чертежам, а детали — по однотипным шаблонам. Красочное внешнее убранство церкви стилизовано под кирпичное узорочье XVII в., где широко применялись кокошники, луковичные главы в сочетании с модульонами, зубцами и нишами.

Значительность Князе-Владимирского монастыря подчеркнута его месторасположением в рабочем предместье, на пересечении улиц Каширской и Потанинской.

Создание объектов культового зодчества как объектов специфического типа имеет свои особенности. Речь идет об информативной стороне архитектуры, о ее эмоциональном воздействии на зрителя. Поскольку морфология и синтаксис здания, возведенного в историческом стиле, насыщены информацией, выбор стилевого прототипа продиктован исторически сложившимися архитектурными предпочтениями в соответствии с церковным каноном.

И потому русские церкви проектировали в русско-византийском стиле, лютеранские — в романском, а католические — в готическом. Такое следование традиции каждой религии в выборе стиля совершенно оправдано и другого быть не могло. Все вышеизложенное и объясняет название данной статьи.

Архитектурную деятельность на рубеже XIX–XX столетий характеризует высокий уровень профессионализма, в основе которого научный подход к проектированию и художественное мастерство.

В последние годы историческая и эстетическая ценность архитектурного наследия второй половины и особенно конца XIX в. осознается бо-

⁴ Аржецкая Т. Иркутский Князе-Владимирский монастырь // Земля Иркутская. 2000. № 12. С. 35–38.

лее отчетливо. Это обширный и своеобразный слой в архитектурном контексте многих российских городов, в том числе сибирских.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пунин, А.Л. Архитектура Петербурга середины XIX века [Текст] / А.Л. Пунин. — СПб. : Лениздат, 1990. — С. 6.
2. Пилявский, В.И. История русской архитектуры : учеб. для вузов [Текст] / В.И. Пилявский, Т.А. Славина, А.А. Тиц, Ю.С. Ушаков и др. — СПб. : Стройиздат, 1994.
3. Калинина, И.В. Культовое православное зодчество [Текст] / И.В. Калинина // Памятки истории и культуры Иркутска. — Иркутск : Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1993. — С. 372.
4. Калинина, И.В. Кафедральный Казанский собор [Текст] / И.В. Калинина. — Иркутск : НПФ «АДЕЛИЗ», 1994.

*ЧЕРНЫХ О.И., канд. архитектуры, доц.; E-mail: chernykhchio@yandex.ru
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет*

Получено 18.08.11

Chernykh O.I., candidate of architecture, assistant professor; E-mail: chernykhchio@yandex.ru, National Research Irkutsk State Technical University, Russia

«HISTORICISM» AS THE BASIS FOR SELECTION OF ARCHITECTURAL DECISIONS IN RELIGIOUS ARCHITECTURE OF IRKUTSK LAST QUARTER OF THE XIX CENTURY

On the example of religious architecture of the late 19th century Irkutsk covers the following areas of architectural eclecticism, the neo-Gothic style, neo-Russian style, neo-Byzantine style and Russian-Byzantine style.

Key words: eclecticism, historicism, neostili — the direction of the eclectic, siberian religious architecture of the late 19th century.

REFERENCES

1. Punin, A.L. The architecture of St. Petersburg middle of the XIX century [Text] / A.L. Punin. — St. Petersburg : Lenizdat, 1990. — P. 6.
2. Pilyavsky, V.I. History of Russian Architecture : Training. for university [Text] / V.I. Pilyavsky, T.A. Slavina, A.A. Tietz, Yu.S. Ushakov etc. — SPb. : Stroyizdat, 1994.
3. Kalinina, I.V. Cult Orthodox architecture [Text] / I.V. Kalinina // Historical and Cultural Monuments of Irkutsk. — Irkutsk : East Sib. vol. publ., 1993. — P. 372.
4. Kalinina, I.V. Cathedral Kazan Cathedral [Text] / I.V. Kalinina. — Irkutsk : SPF «ADELIZ», 1994.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 699.86:697.133

М.С. КОНОНОВА

ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЙ ПРИ ПОВЫШЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Приводятся результаты расчета относительной годовой экономии теплоты на отопление зданий при утеплении различных наружных ограждающих конструкций. Показаны зависимости снижения тепlopотребления для зданий с различной этажностью, геометрическими характеристиками и коэффициентом остекленности.

Ключевые слова: энергосбережение, экономия теплоты, повышение сопротивления теплопередаче.

Современные тенденции в сфере эксплуатации существующего жилищного фонда направлены на внедрение различных энергосберегающих мероприятий. Одно из них — утепление наружных ограждений зданий постройки до 1995 г. с целью повышения их сопротивления теплопередаче и уменьшения тепlopотребления на отопление. При этом целесообразность утепления должна быть обоснована величиной предполагаемого снижения расхода теплоты.

На практике из-за финансовых проблем, технических особенностей зданий или в силу других причин часто нет возможности произвести утепление всех наружных ограждающих конструкций. В связи с этим может возникнуть проблема выбора первоочередного энергосберегающего мероприятия. При этом величина капитальных затрат не должна являться основным определяющим фактором, так как эффект от утепления различных ограждений будет отличаться в зависимости от их теплотехнических и геометрических параметров и соответственно неодинаковым будет срок окупаемости. Таким образом, в качестве существенного фактора при решении указанной проблемы целесообразно использовать величину предполагаемой экономии теплоты при утеплении той или иной наружной ограждающей конструкции.

В работе [1] изложена методика оценки энергосберегающего потенциала зданий на основе анализа их теплоэнергетических паспортов, а также приведены значения относительной годовой экономии при утеплении различных наружных ограждений на примере нескольких 5- и 9-этажных зданий. Используя приведенную в [1] методику, были проведены аналогичные расчеты для более широкого диапазона геометрических характеристик зданий. При этом варьировалась этажность здания N (от 5 до 16 этажей), размеры в плане, а также коэффициент остекленности p

(величина, равная отношению площади остекленных поверхностей к площади всех вертикальных ограждений).

Методика формирования исходных вариантов расчетных схем зданий приведена в работе [2]. Расчетные климатические условия приняты для г. Воронежа. Всего в расчетах участвовало 120 вариантов схем зданий, для каждого из которых был составлен теплоэнергетический паспорт в соответствии с [3]. Для каждого здания рассчитывалось шесть вариантов теплоэнергетических паспортов с различными теплотехническими характеристиками (табл. 1). При этом значения сопротивления теплопередаче для зданий в исходном состоянии (вариант I) принимались как для панельного здания постройки 70-х гг. XX в., окна — однокамерные стеклопакеты в деревянном переплете.

Таблица 1

Значения сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий, используемые при составлении теплоэнергетических паспортов

Расчетный вариант	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$				
	наружных стен $R_{ст}$	окон $R_{ок}$	перекрытий верхнего этажа $R_{пп}$	перекрытий подвала $R_{пд}$	входных дверей $R_{зд}$
I. Здания в исходном состоянии	1,38	0,35	1,72	1,68	0,89
II. Здания при утеплении только наружных стен	3,0*	0,35	1,72	1,68	0,89
III. Здания при замене оконных конструкций	1,38	0,49*	1,72	1,68	0,89
IV. Здания при утеплении перекрытий верхнего этажа	1,38	0,35	4,45*	1,68	0,89
V. Здания при утеплении перекрытий подвала	1,38	0,35	4,45	3,93*	0,89
VI. Здания при утеплении всех наружных ограждений	3,0*	0,49*	4,45*	3,93*	1,8*

* Значения приняты равными нормируемым по [3] при количестве градусосуток для климатических условий г. Воронежа.

На основе показателей теплоэнергетических паспортов проведены вычисления предполагаемого снижения теплопотребления на отопление зданий.

Определим годовую экономию теплоты ΔQ_{yt} , ГДж/год:

$$\Delta Q_{yt} = 0,0864 \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \cdot A \cdot \text{ГСОП}, \quad (1)$$

где R_1, R_2 — соответственно сопротивление теплопередаче наружного ограждения до и после утепления, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

A — площадь ограждения, м^2 ;

ГСОП — градусосутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$.

Рассчитаем снижение теплопотребления (относительная годовая экономия теплоты) ΔQ , %:

$$\Delta Q = \frac{\Delta Q_{yt}}{Q_{оп}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $Q_{\text{оп}}$ — потребность в тепловой энергии на отопление за отопительный период, ГДж (берется по данным теплоэнергетического паспорта).

В качестве иллюстрации результатов расчетов, проведенных по формулам (1), (2), в табл. 2 даны значения относительной экономии теплоты для зданий с различной этажностью и строительным объемом, но с одинаковым коэффициентом остекленности ($p = 0,2$). С увеличением этаж-

Таблица 2
Относительная годовая экономия теплоты для зданий с коэффициентом остекленности $p = 0,2$

Этажность здания	Отапливаемый объем здания $V_{\text{от}}$, м ³	Годовой расход теплоты на отопление $Q_{\text{оп}}$, ГДж	Относительная годовая экономия теплоты ΔQ , %, при повышении сопротивления теплопередаче				
			стен	окон	перекрытий верхнего этажа	перекрытий подвала	всех наружных ограждений
3	2 016	677	12,5	6,5	3,7	5,9	28,6
3	4 032	1 238	11,1	5,8	4,0	6,5	27,4
3	6 048	1 799	10,6	5,5	4,1	6,7	26,9
3	8 064	2 360	10,3	5,4	4,2	6,8	26,7
3	10 080	2 921	10,1	5,3	4,2	6,9	26,6
3	12 096	3 482	10,0	5,2	4,3	6,9	26,5
5	3 360	1 056	13,4	7,0	2,3	3,8	26,5
5	6 720	1 918	11,9	6,2	2,6	4,2	24,9
5	10 080	2 779	11,4	6,0	2,7	4,3	24,4
5	13 440	3 641	11,1	5,8	2,7	4,4	24,1
5	16 800	4 503	11,0	5,7	2,7	4,5	23,9
5	20 180	5 367	10,8	5,7	2,8	4,5	23,8
9	6 048	1 813	14,0	7,3	1,4	2,2	24,9
9	12 096	3 277	12,6	6,6	1,5	2,5	23,1
9	18 144	4 740	12,0	6,3	1,6	2,6	22,5
9	24 192	6 203	11,8	6,1	1,6	2,6	22,1
9	30 240	7 667	11,0	6,0	1,6	2,6	21,9
9	36 288	9 130	11,5	6,0	1,6	2,7	21,7
12	8 064	2 381	14,2	7,4	1,0	1,7	24,4
12	16 128	4 296	12,8	6,7	1,1	1,9	22,5
12	24 192	6 210	12,3	6,4	1,2	1,9	21,8
12	32 256	8 125	12,0	6,3	1,2	2,0	21,4
12	40 320	10 040	11,8	6,2	1,2	2,0	21,2
12	48 384	11 954	11,7	6,1	1,2	2,0	21,0
16	10 752	3 139	14,4	7,5	0,8	1,3	24,0
16	21 504	5 655	13,0	6,8	0,9	1,4	22,0
16	32 256	8 171	12,4	6,5	0,9	1,5	21,3
16	43 008	10 687	12,1	6,3	0,9	1,5	20,9
16	53 760	13 203	12,0	6,3	0,9	1,5	20,7
16	64 512	15 720	11,9	6,2	0,9	1,5	20,5

ности относительная годовая экономия при утеплении вертикальных ограждений (стен и окон) незначительно повышается, а при утеплении горизонтальных ограждений (перекрытий верхнего этажа и подвала) — уменьшается. В целом эффект от утепления всех наружных ограждений тем больше, чем меньше этажность здания.

Для наглядного представления влияния коэффициента остекленности на снижение теплопотребления на рис. 1 приведены соответствующие графики для 5-этажных зданий. Анализ графиков показывает, что увеличение коэффициента остекленности p приводит к уменьшению снижения теплопотребления при утеплении всех наружных ограждений, кроме окон. Следует также отметить, что снижение теплопотребления при утеплении вертикальных ограждений имеет большую величину для зданий с небольшим объемом, а для горизонтальных поверхностей — наоборот.

Для наглядного представления суммарного снижения теплопотребления при повышении сопротивления теплопередаче всех наружных ограждений построены графики для зданий различной этажности (рис. 2), из которых видно, что с увеличением объема зданий влияние коэффициента остекленности на исследуемую величину снижается.

Полученные результаты имеют практическое значение и могут служить для ориентировочной оценки ожидаемого снижения теплопотребления при утеплении наружных ограждений зданий, находящихся в сходных климатологических условиях.

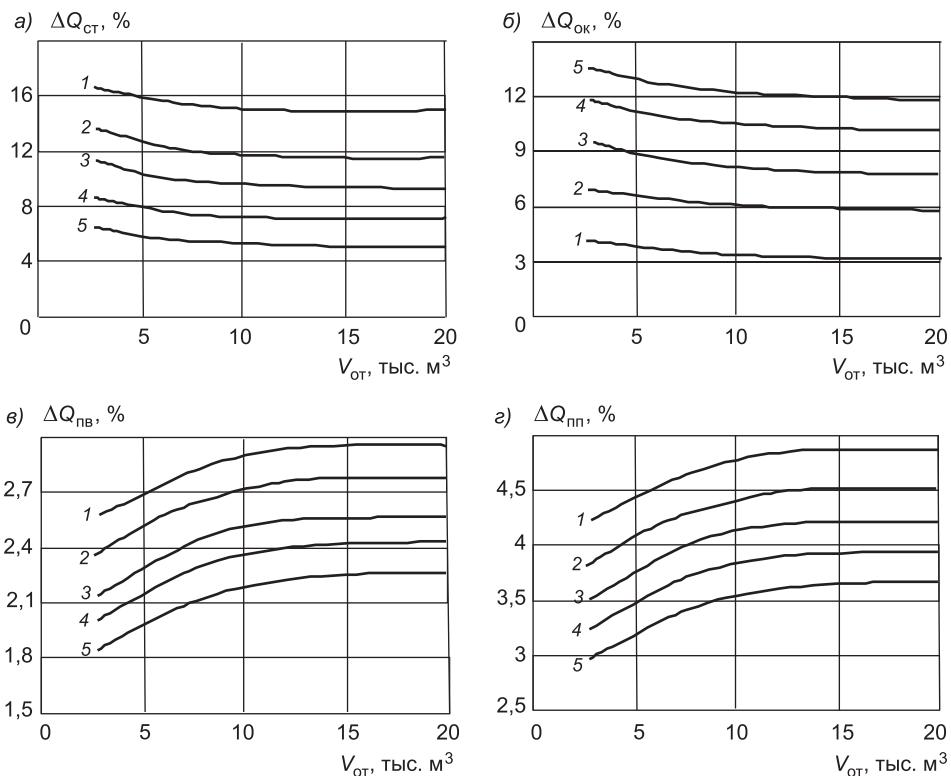


Рис. 1. Снижение теплопотребления на отопление 5-этажных зданий в зависимости от их отапливаемого объема $V_{\text{от}}$ при повышении сопротивления теплопередаче
 а — стены, 1 — $p = 0,1$; 2 — $p = 0,2$; 3 — $p = 0,3$; 4 — $p = 0,4$; 5 — $p = 0,5$; б — окна, 1 — $p = 0,5$; 2 — $p = 0,4$; 3 — $p = 0,3$; 4 — $p = 0,2$; 5 — $p = 0,1$; в — перекрытий верхнего этажа, 1 — $p = 0,1$; 2 — $p = 0,2$; 3 — $p = 0,3$; 4 — $p = 0,4$; 5 — $p = 0,5$; г — перекрытий подвала, 1 — $p = 0,1$; 2 — $p = 0,2$; 3 — $p = 0,3$; 4 — $p = 0,4$; 5 — $p = 0,5$

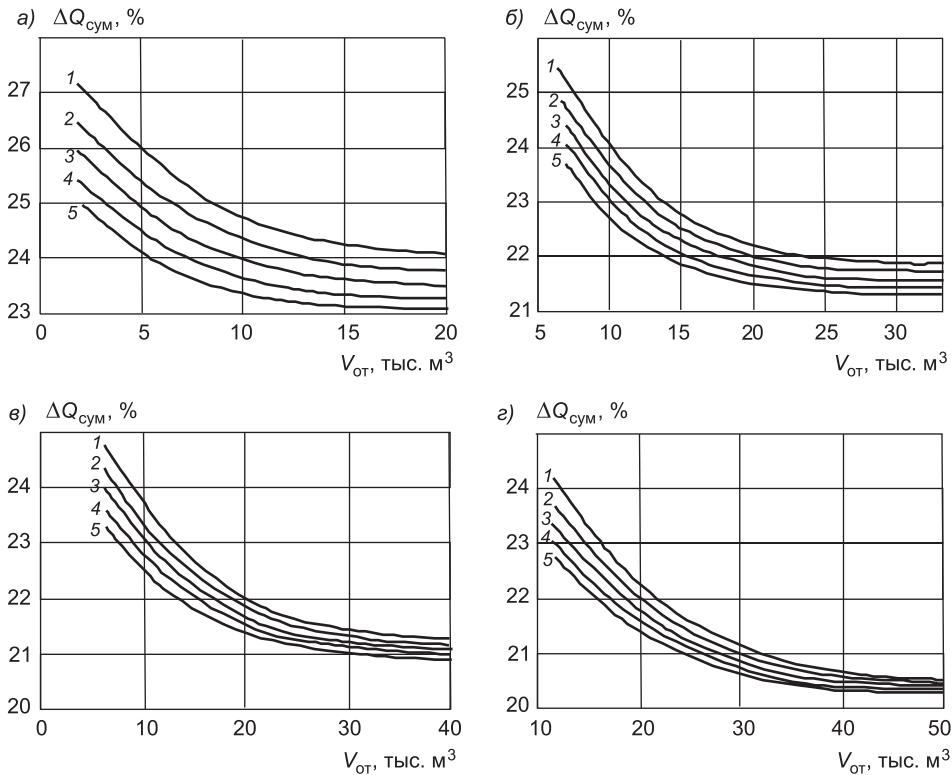


Рис. 2. Снижение теплопотребления при повышении сопротивления теплопередаче всех наружных ограждений $\Delta Q_{\text{сум}}$ для зданий с различным отапливаемым объемом $V_{\text{от}}$
 а — для 5-этажных зданий; б — для 9-этажных; в — для 12-этажных; г — для 16-этажных зданий;
 1 — $p = 0,1$; 2 — $p = 0,2$; 3 — $p = 0,3$; 4 — $p = 0,4$; 5 — $p = 0,5$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кононова, М.С. Оценка энергосберегающего потенциала жилой застройки на основе анализа теплоэнергетических паспортов зданий [Текст] / М.С. Кононова // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 10. — С. 105–109.
2. Кононова, М.С. Исследование влияния некоторых геометрических параметров зданий на их теплоэнергетические показатели [Текст] / М.С. Кононова // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 9. — С. 60–64.
3. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Текст]. — М. : Госстрой России, 2003. — 28 с.

КОНОНОВА М.С., канд. техн. наук, доц.; E-mail: kniga16@mail.ru
 Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 02.08.11

Kononova M.S., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kniga16@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

ESTIMATION OF LOWERING OF CONSUMPTION OF HEAT ON HEATING OF BUILDINGS AT A HEIGHTENING OF RESISTANCE TO HEAT TRANSFER OF OUTSIDE PROTECTIONS

The results of calculation of relative annual saving of heat on heating of buildings are given at making of different outside shielding constructions. The dependences of lowering of

consumption of heat for buildings with different number of stories, geometrical performances and coefficient of a glazing are rotined.

Key words: the savings of energy, saving of heat, heightening of resistance of heat transfers.

REFERENCES

1. Kononova, M.S. Estimation Saving Means of Potential of Habitation Building on the Basis of the Analysis of the Heat Power Passports of Buildings [Text] / M.S. Kononova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 10. — P. 105–109.
 2. Kononova, M.S. Examination of influence of Some Geometrical Parameters of Buildings on Their Heat Power Indexes [Text] / M.S. Kononova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 9. — P. 60–64.
 3. CN&R 23-02-2003. Thermal Performance of the Buildings [Text]. — M. : State Committee of Russian Federation on Building and Housing-municipal Complex, 2003. — 28 p.
-

УДК 621.882.082.1

Е.А. МОЙСЕЙЧИК

ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ РАСТЯНУТЫХ БОЛТОВ И ИХ УЧЕТ В СОЕДИНЕНИЯХ

Приведены данные по экспериментальному определению прочности растянутых болтов двух серий. В предельном состоянии материал болтов 1-й серии проявил значительную пластичность, а разрушение происходило сколом с очагом в резьбовой части. Болты 2-й серии разрушались отрывом после зарождения и развития до критической величины начальной трещины. Развитие разрушения болтов 1-й серии сопровождалось разогревом зоны излома. Разогрев зоны излома болтов 2-й серии был незначительным. Показано, что пригодность болтов для соединений строительных конструкций следует определять по данным их испытаний по программе «В» ГОСТ 1759.4.

Ключевые слова: предельные состояния, растяжение болтов.

Болтовые соединения элементов конструкций, воспринимающие продольные растягивающие усилия, рассчитываются в предположении их центрального растяжения [1]. Опыт эксплуатации показывает, что опорные участки болтов таких соединений часто работают на растяжение с изгибом. При этом к возникновению деформаций изгиба приводят как неточности изготовления головки болта, гайки и корпусной детали (стержня) относительно оси резьбы, так и небольшие взаимные перемещения соединяемых элементов. В работе [2] показано, что вследствие технологических факторов (односторонняя неполная формовка опорной поверхности головки в процессе горячей высадки, перекос смежной опорной поверхности, несоосность элементов соединения и т.д.) угол перекоса поверхности опирания головки растянутых болтов строительных конструкций изменяется от 0 до 5°. Смещения элементов фланцевого соединения строительных конструкций приводят к появлению дополнительных изгибающих напряжений в опорных участках болта и могут вызвать обрыв болта [3]. Различные исследователи показали, что реальные условия работы резьбовых соединений наиболее близко к действительности отображает их расчетно-экспериментальная модель как растянуто-изогнутого элемента [3–4]. Было установлено, что предельное состояние болтов необходимо определять с учетом их формы, особенностей работы материала, условий нагружения, чувствительности к надрезу и других технологических и эксплуатационных факторов. Испытания болтов на растяжение с перекосом (внеконтрольное растяжение) впервые были предложены в 1938 г. [3]. Последующие испытания болтов из различных материалов выявили особенности возникновения предельного состояния внецентренно растянутых болтов [2]. Установлено также, что надежно работают при растяжении болты, особенно при низких температурах или динамических воздействиях, имеющие достаточный запас пластичности^{1,2}. Существующая практика определения

¹ Якушев А.И., Мустаев Р.Х., Мавлютов Р.Р. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. М.: Машиностроение, 1979. 215 с.

² Потапов В.Н., Мицк Б.С. Оценка работоспособности болтов, работающих на растяжение в стальных конструкциях // Пром. стр-во. 1982. № 5. С. 23–25.

механических свойств болтов и их испытаний регламентируется ГОСТ 1759.4, согласно которому пластичность болта можно оценивать по данным определения относительного удлинения стали δ_5 на растягиваемых цилиндрических пятикратных образцах, выточенных из исследуемых болтов. Такой способ оценки пластичности болта не дает удовлетворительных результатов, так как при токарном изготовлении образца из болта устраняется влияние конструктивных и технологических факторов, существенно сказывающихся на пластичности болта.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование предельного состояния растянутых болтов и выработка рекомендаций по повышению их работоспособности.

1. Болты, оборудование и методика исследования. Для экспериментальных исследований принимались болты, характеристики которых приведены в табл. 1. Часть исследуемых болтов (серия 1) испытывалась в состоянии поставки (болты изготавливались по технологии фирмы «Peiner»), другие (серия 2) изготавливались в процессе токарной обработки заготовок. Испытания обеих серий болтов проводились на машине EU-100 с использованием специально разработанных захватов. Болты испытывались с обеспечением трех типов оправления гаек на плоскость нагружения: 0; 6; 10 град. и с различными скоростями нагружения. Нагружение при 6 и 10 град. осуществлялось через косые шайбы. Измерения геометрических параметров образцов до и после испытания проводились штангенциркулем. Для измерения температурного поля поверхности болтов использовался термограф «Иртис-200И».

Таблица 1
Характеристики материала экспериментальных образцов

№ п/п	Диаметр стержня (резьбы) болта, мм	Способ изготовления	Химический состав, %*					Механические свойства**		
			C	Si	Mn	Cr	Ni	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %
2	20,1(17,5)	«Peiner»	32	9	89	135	До 20	866,1	1048,6	6
8	19,7(18,0)	Резание	43	30	66	10	До 20	497,5	604,4	7
13	19,8(17,3)	Резание	49	35	60	13	До 20	571,4	682,6	6

* Элементный состав исследовался на атомно-эмиссионном спектрометре «ЭМАС-200Д» (увел. $\times 100$);

** Испытание на растяжение проводилось по ГОСТ 1497–84 на универсальной испытательной машине «Instron 1195» (Англия).

2. Данные испытаний и исследований. Данные механических испытаний болтов сведены в табл. 2, изломы образцов показаны на рис. 1. Видно, что временное сопротивление болтов существенно зависит от угла между плоскостью опорной поверхности гайки и плоскостью нагружения и от скоростей нагружения. Применение косых шайб со скосом в $6\ldots10^\circ$ при статическом нагружении приводит к уменьшению временного сопротивления на 9–12,5 % (здесь и далее сравнение ведется с данными испытаний при статическом нагружении и угле, равном нулю). Увеличение скорости нагружения до 10 кН/с приводит к снижению временного сопротивления на 3,6–9 %. При росте скорости нагружения до 50 кН/с временное сопротивление при угле, равном нулю, возрастает на 2 %, а при угле, равном 10° , — на 15 % уменьшается. Испытания со скоростью нагружения 100 кН/с приводят к уменьшению прочности: при угле, равном нулю, на 6 %, при 10° — на 31 %.

Таблица 2

Характеристики испытанных болтов

№ серии болта	Диаметр, мм		Скорость нагружения болта, кН/с	Разрушаю- щая нагрузка, кН	Временное сопротивле- ние σ_b , МПа	Относительное удлинение стерж- ня болта/суже- ние резьбы, %	Примечания (угол, град., очаг зарожде- ния трещины)
	стержня	резьбы					
1-1	19,4	17,2	100	281	1210,0	0,7/2,6	0, резьба
1-2	18,9	17,0	—	274*	1207,8	—/—	0, резьба
1-3	19,0	17,5	—	212**	881,8	—/—	10, резьба
1-4	19,3	17,0	300	279	1229,8	0,4/11,8	0, резьба
1-5	20,0	17,0	—	274	1207,8	0,4/10,6	0, резьба
2-6	19,8	17,4	0,2	172	757,5	3,0/9,2	0, резьба
2-7	20,1	17,5	0,2	154	670,5	—/9,4	6, резьба
2-8	19,5	17,4	0,2	154	678,2	—/7,5	10, резьба
2-9	20,0	17,5	0,2	144	626,9	—/7,7	10, резьба
2-10	19,9	17,0	10	156	719,7	—/4,1	0, резьба
2-11	19,8	17,5	100	164	714,0	—/0,9	0, резьба
2-12	19,8	17,3	50	175	779,6	—/4,0	0, резьба
2-13	19,7	18,0	10	170	699,6	—/—	0, резьба
2-14	19,7	17,5	8,5	162	705,3	—/3,7	6, резьба
2-15	19,4	17,0	0,1	164	756,6	0,7/3,8	0, резьба
2-16	19,6	17,2	1	156	703,1	2,5/4,7	10, резьба
2-17	19,8	17,5	1	151	657,4	1,5/7,7	6, резьба
2-18	19,8	17,3	50	145	646,0	1,4/5,5	10, резьба
2-19	19,7	17,5	10	151	657,4	3,8/5,3	10, резьба
2-20	19,9	17,8	30	171	719,6	2,9/8,7	6, резьба
2-21	19,7	17,7	90	124	527,7	—/—	10, резьба
2-22	19,7	17,5	9	176	766,3	—/—	6, резьба
2-23	19,5	17,3	0,2	174	775,2	—/5,2	0, резьба
2-24	19,8	17,7	20	172	732,0	—/8,2	10, резьба
2-25	19,0	16,4	0,2	157	778,3	—/0,6	10, резьба

* Срез резьбы.

** Срыв резьбы.

Остаточное удлинение стержня болта (от головки до начала резьбовой части) небольшое. В стадии предразрушения и разрыва все удлинение стержня обеспечивалось участком резьбы между гайкой и началом нарезки резьбы. Наибольшее удлинение резьбовой части наблюдалось у образцов 1-й серии. Образцы 2-й серии разрушались хрупко с незначительным удлинением резьбовой части. Более чувствительно к действию скорости нагружения и перекосу относительное сужение в месте излома.

Изломы болтов 1-й серии происходили сколом, а изломы болтов 2-й серии имеют все признаки хрупкого разрушения. Макроскопически изломы образцов 1-й серии характеризуются матовой, шероховатой поверхностью. На изломах образцов № 6–10 хорошо просматриваются две зоны: зародившиеся в начальной стадии нагружения серповидные трещины и зоны долома (см. рис. 1). Долом происходил по механизму хрупкого разрушения. Остальные болты разрушились хрупко с неразличимой невооруженным глазом серповидной трещиной. При больших скоростях нагружения начальная трещина имеет меньшую длину, чем при статическом

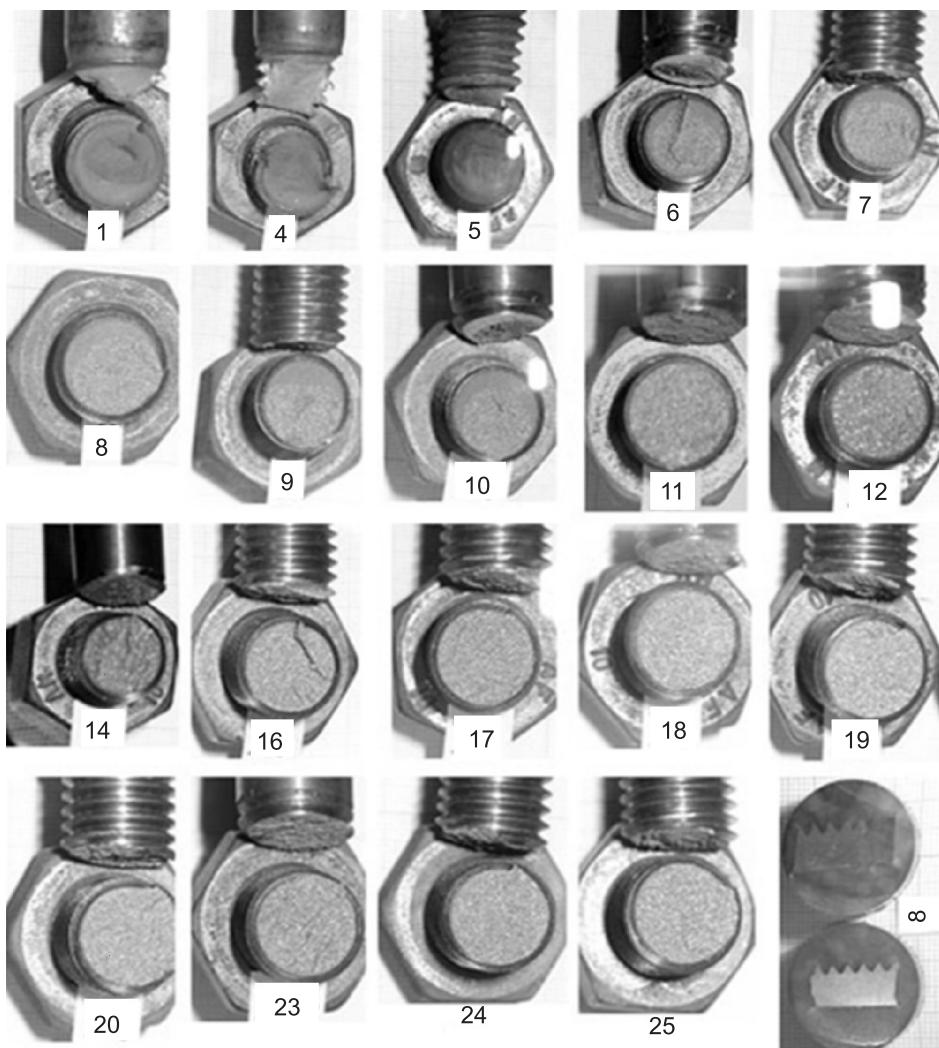


Рис. 1. Виды изломов и профиля резьбы после излома болтов (1–25)

нагружении (см. рис. 1). Серповидные начальные трещины образовывались в образцах, нагружаемых статически (образцы 6–10 и др.). При малых скоростях нагружения серповидные трещины охватывали значительную часть площади поперечного сечения, прежде чем их длина становилась критической. Под действием статической нагрузки они развивались с равномерной скоростью. Видимо, со снижением скорости приложения нагрузки время их роста будет увеличиваться, а процесс разрушения — становиться замедленным. Природа такого разрушения недостаточно изучена^{3–5}. В работе Я.Б. Фридмана отмечается, что возникновению замедленного разрушения способствуют факторы, вызывающие неоднородное развитие деформации и уменьшающие пластическую энергиюемкость (хрупкий слой на поверхности изделия, остаточные напряжения, риски

³ Петько В.В. Лабораторные методы оценки склонности стальных болтов к хрупкому разрушению со временем // Завод. лаборатория. 1956. № 2. С. 218–225.

⁴ Гордеева Т.А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. М.: Машиностроение, 1978. 200 с.

⁵ Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. В 2 ч. Ч. 2: Механические испытания. Конструкционная прочность. М.: Машиностроение, 1974. 472 с.

от механической обработки, дефекты поверхности, маленькие радиусы закруглений и др.). Вероятность замедленного разрушения болтов возрастает с увеличением диаметра болта при наличии перекоса.

При рассмотрении изломов под микроскопом видно, что очаги зарождения разрушения располагались во впадинах резьбы. Начальные серповидные трещины образовались при статическом нагружении болтов и, видимо, имеют термофлуктуационную природу. Микрофотографии резьбовых участков болтов 2, 8, 13 показаны на рис. 2 и 3. Из сопоставления изображений между собой следует, что в более пластичном металле болта 2 при растяжении образуются мелкие надрывы незначительной протя-

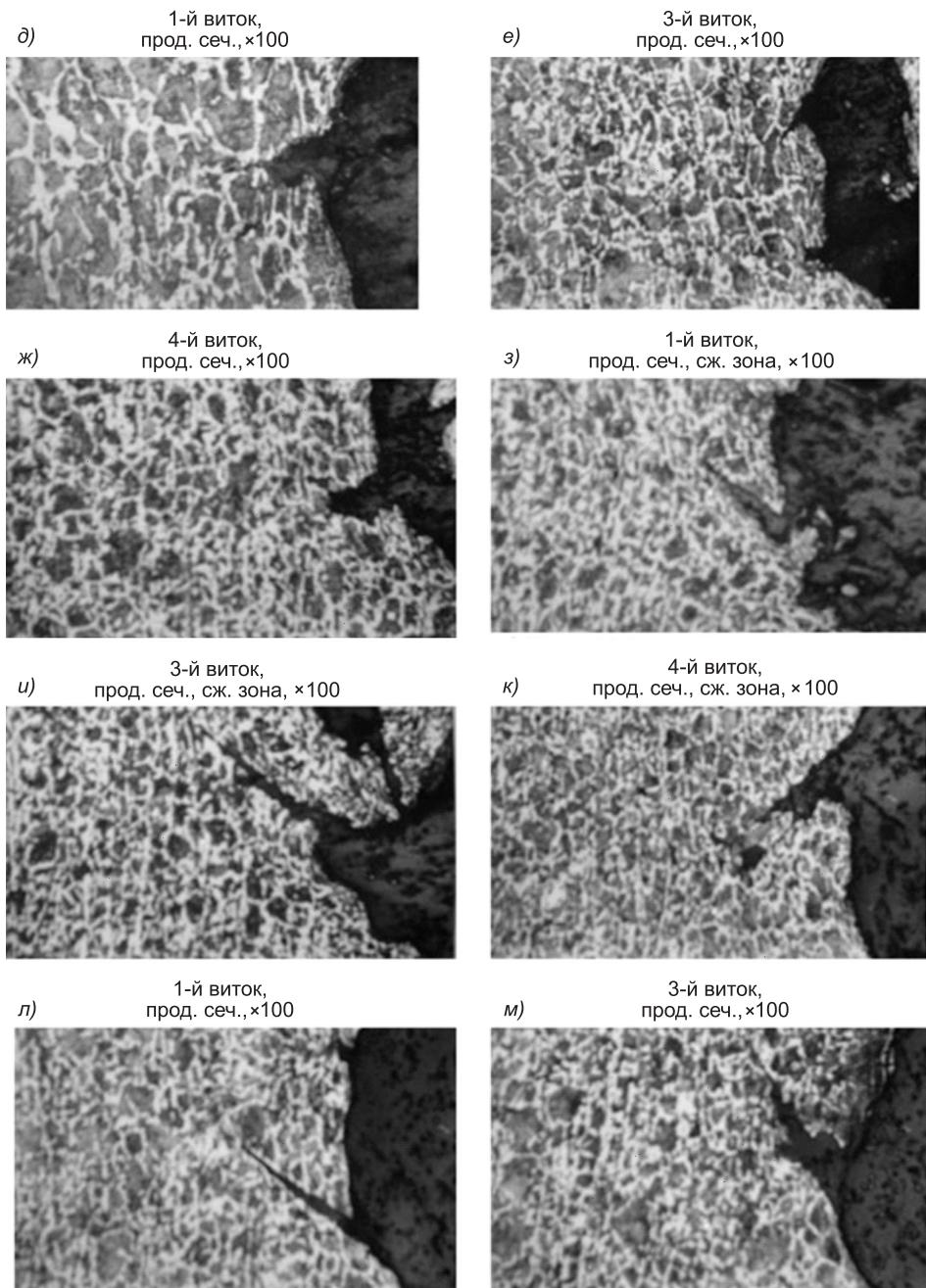


Рис. 2. Микрофотографии надрывов и трещин на резьбовом участке болта 8

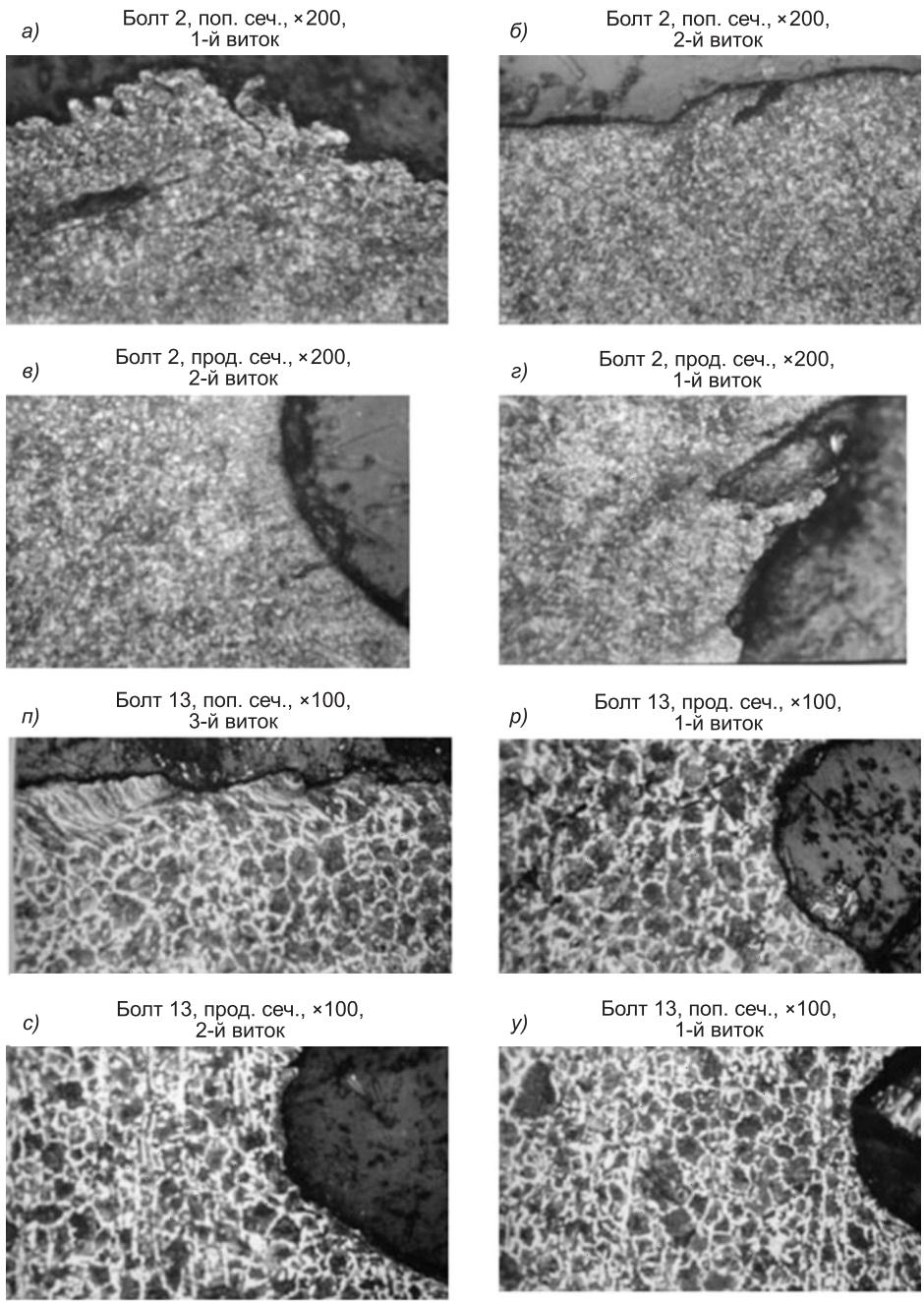


Рис. 3. Микрофотографии надрывов и трещин на резьбовом участке болтов 2 и 13

женности. Для менее пластичного материала болтов 8 и 13 во впадинах резьбы образуются единичные трещины, идущие в центральную часть стержня.

Весьма показательны данные замеров температуры поверхности образцов у изломов. Так, средняя температура в месте излома образцов 1-й серии достигала 40...50 °С. Причем такая температура фиксировалась не только по поверхности излома, но и по всей области пластического течения металла, где происходило заметное сужение поперечного сечения. Для образцов 2-й серии среднюю температуру у излома было

сложно фиксировать из-за ее быстрого уменьшения во времени. Всплеск температуры у этих образцов наблюдался только непосредственно в плоскости излома (до 10...15 °C), сталь смежных сечений практически не изменяла температуры. С повышением скорости нагружения температура поверхности излома образцов обеих серий заметно увеличивалась, что можно объяснить конечной скоростью рассеивания деформационного тепла в смежных недеформированных объемах материала.

Выводы. 1. В предельном состоянии материал болтов первой серии проявил значительную пластичность, а разрушение происходило сколом с очагом в резьбовой части. Болты второй серии разрушались отрывом после зарождения и развития до критической величины начальной трещины. Развитие разрушения болтов 1-й серии сопровождалось разогревом зоны излома. Разогрев зоны излома болтов 2-й серии был незначительным.

2. Пригодность болтов для работы на растяжение в ответственных соединениях следует определять по данным их испытаний по программе «В» ГОСТ 1759.4 в аккредитованном подразделении. При выборе материала болтов при одинаковых прочностных характеристиках предпочтение следует отдавать материалу с лучшей пластичностью. Изготовление резьбы необходимо производить методом накатки на специализированных производствах. Головку болта целесообразно выполнять горячей высадкой или штамповкой с обеспечением необходимой кривизны в закруглениях и проектной формы опорной поверхности. Целесообразно применять мероприятия по уменьшению концентрации напряжений и деформаций в переходной зоне между стержнем болта и началом резьбы.

3. Монтаж болтовых соединений следует производить в полном соответствии с требованиями проекта производства работ и не допускать не предусмотренных расчетом перекосов болта, динамических воздействий, неравномерного загружения отдельных болтов соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций / Госстрой России [Текст]. — М. : ЦНИИСК им. Кучеренко, 2004. — 131 с.
2. Сильвестров, А.В. Прочность болтов узловых сопряжений структурных конструкций типа «МарХИ» при низких температурах [Текст] / А.В. Сильвестров, Г.Г. Чибяков, Е.А. Мойсейчик // Надежность конструкций в экстремальных условиях : Сб. ст. — Якутск : Якут. гос. ун-т, 1984. — С. 77–82.
3. Беляев, С.Е. Исследование прочности болтов при растяжении с перекосом [Текст] / С.Е. Беляев // Завод. лаборатория. — 1945. — № 6. — С. 604–614.
4. Аугустин, Я. Аварии стальных конструкций : пер. с польск. [Текст] / Я. Аугустин, Е. Шледзевский; под ред. Е.Н. Селезневой. — М. : Стройиздат, 1978. — 183 с.

МОЙСЕЙЧИК Е.А., канд. техн. наук, доц.; E-mail: emoisseitchik@mail.ru
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Получено после доработки 13.08.11

Moyseychik E.A., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: emoisseitchik@mail.ru, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

LIMIT OF STRETCHED BOLTS AND THEIR INTEGRATION IN THE UNITED

Presents data on the experimental determination of the strength of the stretched bolt the two series. In the limit state material bolts first series showed considerable plasticity, and fracture occurs by cleavage with a fireplace in the threaded part. Bolts second series of fractured margin after the birth and development up to the critical value of the initial crack. Development of fracture of bolts 1-series was accompanied by the heating zone of the fracture. Warming zone fracture of bolts 2-series has been negligible. It is shown that the suitability of the bolts for joints of building structures should be defined according to their testing program «B» Standard 1759.4.

Key words: limit state, tensile bolts.

REFERENCES

1. SP 53-102-2004. General Rules for Design of Steel Structures / State Committee for Construction of Russia [Text]. — M. : CNIISK Kucherenko, 2004. — 131 p.
 2. Silvestrov, A.V. Strength Bolts Anchor Pairings Structural Designs Such as «Moscow Institute of Architecture» at Low Temperatures [Text] / A.V. Silvestrov, G.G. Chibryakov, E.A. Moyseychik // Reliability of Structures in Extreme Conditions : Sb. st. — Yakutsk : YAGU, 1984. — P. 77–82.
 3. Belyaev, S.E. Investigation of the Strength of Bolts in Tension With the Warp [Text] / S.E. Belyaev // Factory laboratory. — 1945. — N 6. — P. 604–614.
 4. Augustin, Ya. Accidents Steel Structures : Trans. from Polish [Text] / Ya. Augustin, E. Shledzevsky. — M. : Stroyizdat, 1978. — 183 p.
-

УДК 699.841

Н.Н. ПАНТЕЛЕЕВ

КОМПЕНСАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО
В КАРКАСАХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЯЗКОУПРУГОЙ МОДЕЛИ
В СТЫКАХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Проектирование зданий в условиях строительства на территориях, подверженных землетрясениям — сейсмическим воздействиям, в последнее время связано с предложениями, использующими принципы создания виброизоляции конструкций от сейсмического воздействия типа шаровых опор, подвесок, упругих амортизаторов и т.п. В настоящей статье предлагается компенсационное устройство в стыках каркасов зданий с применением вязкоупругой модели Максвелла твердого тела.

Ключевые слова: сейсмостойкость, колебания, масса, модель, период, перемещение, жесткость, пружинный компенсатор, динамичность, ригель, прогиб.

В материалах конференций, посвященных исследованию и расчету строительных конструкций зданий и сооружений, при строительстве в сейсмических районах Земли [1], в докладах ряда авторов освещались вопросы, связанные с применением упругопластических моделей в конструктивных элементах. В частности, упоминалась модель Максвелла, которая позволяет более обоснованно определить основной параметр сейсмостойкости — период собственных колебаний сооружения, а также снизить значение сейсмического воздействия. В данной статье предлагается применение модели Максвелла в каркасах зданий (рис. 1).

В результате удалось снизить величину возникающей сейсмической силы на каркас в поперечном направлении. Особенно это ощутимо при пролетах ригелей $L > 6-8$ м.

Реализация приведенного устройства возможна в каркасах многоэтажных зданий в сейсмических районах с расчетной балльностью 7–8. Например, для ранее исследованного каркаса типа ИИ-04 для этих целей можно получить несложные конструктивные решения узлов сопряжения ригеля с колонной для связевого варианта каркаса с диафрагмами жесткости (рис. 2).

В свое время были получены решения для различных моделей вязкоупругих тел, в том числе модели Максвелла. В случае зависимости между напряжениями и деформациями они выражаются простыми соотношениями [1]:

$$\frac{1}{E_0} \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} = \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad E_0 = E \frac{\rho}{\rho + \gamma}, \quad \gamma = \frac{E}{\eta},$$

и, как известно, для упругой модели $\sigma = E\varepsilon$, $E_0 = E$.

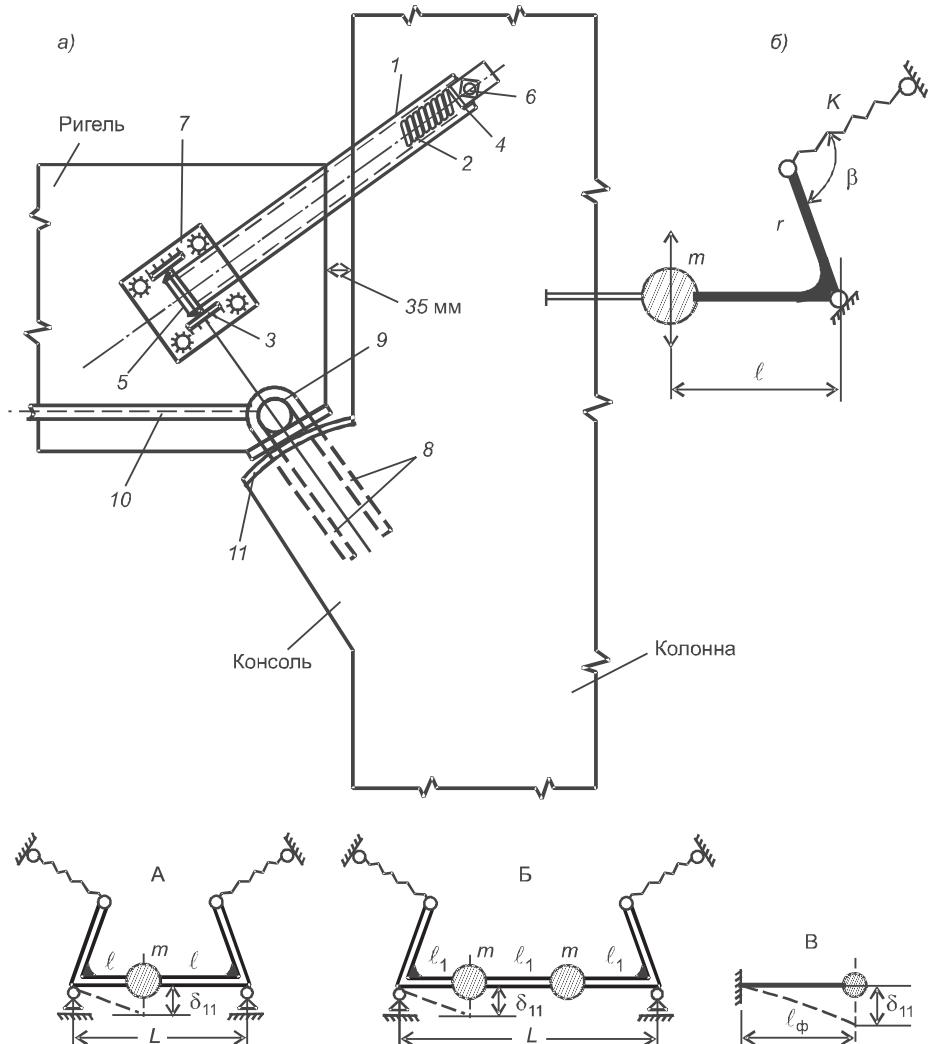


Рис. 1. Узел сопряжения с колонной каркаса компенсационного устройства при строительстве в сейсмических районах

а — общий вид узла; б — схема компенсационного механизма; 1 — гильза компенсатора; 2 — рабочая пружина жесткостью K ; 3 — опорная траверса ригеля; 4 — верхняя шайба пружины; 5 — нижняя шайба гильзы; 6 — болт для крепления траверсы к колонне; 7 — шайба для крепления траверсы; 8, 9 — анкер, шарнир; 10 — арматура ригеля; 11 — радиальный опорный лист консоли; m — приведенная масса сооружения; δ_{11} — амплитуда;

А — расчетная схема однопролетного ригеля на одну массу; Б — расчетная схема ригеля с двумя массами; В — расчетная схема консольной балки

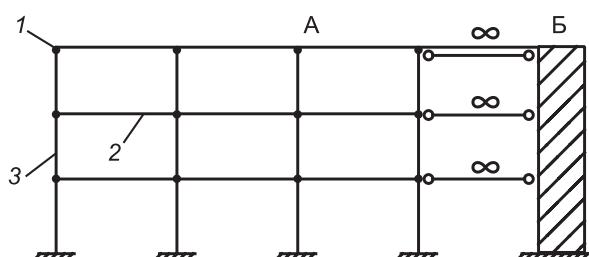


Рис. 2. Расчетная схема каркаса

А — вязкоупругая система; Б — упругая система (диафрагмы жесткости);
1 — вязкоупругий узел с компенсационным устройством модели Максвелла;
2 — ригель; 3 — колонны

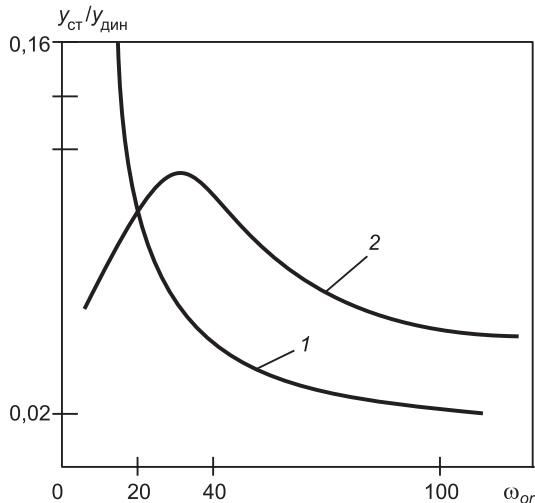


Рис. 3. График изменения прогиба для вязкоупругой (1) и упругой (2) моделей

$\omega_{ор}$ — резонансная частота; $y_{ст}$, $y_{дин}$ — прогибы системы (статический и динамический соответственно)

ниже. В итоге расчетная сейсмическая сила (приведенная к статической) на систему здания снижается, что позволяет получить рациональное армирование элементов железобетонного каркаса многоэтажного здания в условиях сейсмического воздействия.

Основные расчетные положения [2]

1. Частота собственных колебаний механизма

$$\lambda_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K r^2 \sin^2 \beta}{J_m} - \frac{g}{l} \left(1 - \frac{r}{C} \cos \beta\right) \operatorname{ctg} \beta}, \quad (1)$$

при $\beta = 90^\circ$

$$\lambda_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K r^2}{J_m}}, \quad J_m = m \cdot l^2,$$

где m — масса груза — $m = \frac{Q}{g}$ ($\text{т} \cdot \text{с}^2 / \text{м}$);

Q — нагрузка в точке приложения массы;

K — жесткость пружины ($\text{кг}/\text{см}$, $\text{т}/\text{м}$ и т.п.).

2. Период собственных колебаний

$$T_k = 2\pi \sqrt{m \cdot \delta_{11}^y}, \quad (2)$$

где δ_{11} — перемещения от $P = 1$ консоли «В» (см. рис. 1);

$T_m = \frac{1}{\lambda_m}$ — для вязкоупругой системы;

$$T_k = T_m, \quad \frac{1}{\lambda_m} = 2\pi \sqrt{m \cdot \delta_{11}^m},$$

$$\left(\frac{1}{\lambda_m}\right)^2 = 4\pi^2 \cdot m \cdot \delta_{11}^m, \quad \delta_{11}^m = \frac{\left(\frac{1}{\lambda_m}\right)^2}{4\pi^2 m}. \quad (3)$$

График изменения прогиба для вязкоупругой модели и упругой (отношение статического прогиба к динамическому в условиях резонанса, в зависимости от резонансной частоты) показан на рис. 3. Как видно из графика, для вязкоупругой модели можно ожидать, что наибольшая деформация всегда будет больше, чем в упругой системе.

Доказательство, что при применении вязкоупругой модели в стыках несущая система каркаса воспринимает значительно большую сейсмическую силу, нежели при обычных стыковых соединениях в каркасных системах, приводится

3. Расчет модели при $l = l_{\phi} = 238$ см, $\Theta = 41,7$ т, $K = 500$ кг/см, $h_p = 50$ см, $b_p = 30$ см, $E_0 = 2 \cdot 10^5$ кг/см², $L = 600$ см показал: $\delta_{11}^y = 0,01$ см, $\delta_{11}^m = 0,07$ см, $m = 4,25$ т·с²/м.

$$\text{Коэффициент динамичности } \beta_y = 10,38; \beta_m = 3,99; \beta = 1,5 \frac{0,9}{T}.$$

4. Значение поперечных сейсмических сил, приведенных к статической:

$$S = Q \cdot K_i \cdot \beta \cdot \eta [3, \text{ с. 19, формула (1)'}],$$

$$S_y = 41,7 \cdot 0,05 \cdot 10,38 \cdot 1 = 21,64 \text{ т. } S_m = 41,7 \cdot 0,05 \cdot 3,99 \cdot 1 = 8,31 \text{ т.} \quad (4)$$

В этом случае получим снижение расчетной сейсмической силы, приведенной статической:

$$\frac{21,64 - 8,31}{29,96} \cdot 100 \% = 44 \%.$$

Эффект зависит от жесткости пружины компенсатора «К».

5. Прогибы системы ригеля

$$\delta_y = 1,5 \text{ см, } \delta_m = 0,59 \text{ см,}$$

$$1,5 = \frac{l}{x}; \quad x_y = \frac{238}{1,5} = 158; \quad \frac{1}{158} > \frac{1}{200}.$$

$$0,59 = \frac{238}{x}; \quad x_m = \frac{238}{0,59} = 403; \quad \frac{1}{400} < \frac{1}{200}. \quad (5)$$

Вывод. Предлагаемое устройство с «пружинным» механизмом дает возможность уменьшить поперечную сейсмическую силу на 20–40 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Сейсмостойкие сооружения за рубежом [Текст] // Материалы III междунар. конф. по строительству / Под ред. акад. В.Н. Насонова. — М. : Изд-во лит. по строительству, 1968. — С. 116–120.
- Справочник проектировщика (расчетно-теоретический) [Текст]. — М. : Госиздат, 1960. — Раздел 22.2.10. Динамика сооружений. — С. 965.
- Инструкция по определению расчетной сейсмической нагрузки для здания и сооружения [Текст]. — М. : Госиздат лит. по строительству, 1962.

ПАНТЕЛЕЕВ Н.Н., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 22.08.11

Panteleev N.N., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

WEAR THE DEVICE IN BRACKETS MULTI-STORY BUILDINGS WITH THE USE OF A VISCOUS-ELASTIC MODEL IN THE JOINTS DURING CONSTRUCTION IN SEISMIC REGIONS

Designing of buildings in the conditions of building in areas subject to earthquakes – seismic influences, recently linked with the proposal-s, using the principles of creation of vibration isolation constructions by seismic impact type ball bearings, hangers, elastic shock

absorbers, etc. This article offers a design of compensatory devices in the joints skeletons of buildings with the use of a viscous-elastic model Maxwell solid body.

Key words: seismic stability, vibrations, mass, model, period, displacement, rigidity, spring compensator, dynamic factor, longitudinal girder, deflection.

REFERENCES

1. Antiseismic structures abroad [Text] // Materials of III International Conference on Construction / Edited by Academician V.N. Nasonov. — M. : Publishing house of the literature on the construction, 1968. — P. 116–120.
 2. Reference Book of the Designer (calculation-theoretical) [Text]. — M. : Gosizdat, 1960. — Section 22.2.10. Dynamics of structures. — P. 965.
 3. The Instruction on the Determination of the Calculation of the Seismic Loads for Buildings and Constructions [Text]. — M. : Gosizdat of the literature on the construction, 1962.
-

УДК 624.131

П.А. САВКОВ, А.В. ЛУБЯГИН, А.П. КРИВОРОТОВ

ОЦЕНКА СЖИМАЕМОСТИ ГЕОКОМПОЗИТНОЙ СРЕДЫ

Расчет интегральных модулей деформации гетерогенной среды в условиях компрессионного сжатия с использованием методов механики гетерогенных материалов и механики грунтов приводит к практически сопоставимым результатам. Компактная форма по-перечного сечения включений при создании геокомпозита целесообразнее, нежели протяженная.

Ключевые слова: геокомпозит, форма сечения включений, эквивалентный модуль деформации.

Методы расчета грунтовых оснований и массивов по первой и второй группам предельных состояний в настоящее время базируются на представлениях о сплошности (континуальности) грунтовой среды. Чаще всего в расчетах используется представление об однородности (гомогенности) сплошных сред. В действительности любой грунт представляет собою неоднородную (гетерогенную) среду, состоящую из твердых частиц различной формы и размеров. Пространство между частицами заполнено водой и воздухом, таким образом, в теории и на практике напряженно-деформированное состояние (н.д.с.) грунтовой среды оценивается осредненными значениями напряжений и деформаций, что справедливо лишь в случае, когда размеры твердых частиц грунта достаточно малы по сравнению с представительным объемом грунта (имеющим такие же свойства, как и грунтовый массив в целом).

При наличии в грунтовом массиве крупных инородных включений, размеры которых существенно больше размеров твердых частиц грунта (валунов, арматуры, свай, затвердевших линз закрепленного грунта, каверн и др.), гетерогенные свойства среды (ее деформируемость и прочность) проявляются более отчетливо. Однако и в этом случае разработаны теоретические методы, позволяющие такую среду рассматривать как гомогенную (квазигомогенную). При этом форма инородных включений схематизируется, инородные включения рассматриваются как сферические, или цилиндрические (с одинаковой или различной площадью сечения включений), эллипсоидные или пластинчатые; обязательным является условие отсутствия взаимного контактирования включений [1]. Из приравнивания энергий деформируемости такой среды и среды гомогенной (принцип эквивалентности энергий деформирования) определяются величины модуля деформации E и коэффициента Пуассона в квазигомогенной среде. Представительный элемент этой среды наделяется свойствами упругой (линейно-деформируемой) изотропной или трансверсально-изотропной среды.

Приведенные в монографии З.Г. Тер-Мартиросяна [1] расчетные формулы позволяют оценить влияние формы и однородности размеров включений на сжимаемость квазигомогенной среды. Результаты соответствующих расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Модули деформации (E , МПа) квазигомогенной среды

№ п/п	Расчетные формулы	n_1	Модули деформации (E_2 , МПа) грунтовой среды			
			2	6	10	14
1	2,122	$\frac{0,04}{0,10}$	$\frac{2,18}{2,50}$	$\frac{6,60}{7,55}$	$\frac{11,00}{12,50}$	$\frac{15,60}{17,70}$
2	2,114 2,111 2,119	$\frac{0,04}{0,10}$	$\frac{2,12}{2,34}$	$\frac{6,40}{7,00}$	$\frac{10,60}{11,60}$	$\frac{15,00}{16,20}$
3	2,116	$\frac{0,04}{0,10}$	$\frac{2,22}{2,64}$	$\frac{6,70}{8,00}$	$\frac{10,90}{13,00}$	$\frac{15,60}{18,80}$
4	1,1 [2] (поперек волокон)	$\frac{0,04}{0,10}$	$\frac{2,30}{2,94}$	$\frac{6,80}{7,60}$	$\frac{11,00}{12,30}$	$\frac{15,90}{17,40}$
5	1,1 [2] (вдоль волокон)	$\frac{0,04}{0,10}$	$\frac{17,90}{41,80}$	$\frac{21,70}{45,40}$	$\frac{25,60}{49,00}$	$\frac{29,40}{52,60}$
6	2,120 (чередующиеся слои)	$\frac{0,04}{0,10}$	$\frac{18,00}{41,9}$	$\frac{21,9}{45,60}$	$\frac{25,90}{49,40}$	$\frac{29,80}{53,30}$

Формулой 2.122 [1] учитывается влияние цилиндрических включений разного диаметра; формулой 2.114 — влияние сферических включений разного диаметра; формула 2.111 — для среды со сферическими включениями одного диаметра; формула 2.119 — для среды с пластинчатыми, различно ориентированными сплющенными эллипсоидами; формула 2.116 — для среды с абсолютно жесткими включениями различного размера; формула 2.120 — для включений в виде чередующихся бесконечно длинных слоев.

В табл. 1 приведены значения модулей деформации E квазигомогенных сред при относительной величине включений (по объему) $n_1 = 0,04$ (в числителе) и $0,10$ (в знаменателе). Модуль деформации материала включений ($E_1 = 400$ МПа) соответствует его значениям, установленным экспериментально для линз затвердевшего песчано-цементного раствора, использовавшегося для усиления одного из опытных участков в г. Новосибирске [3].

Модули деформации (NN 4,5) установлены по формуле 1.1 [2] для трансверсально-изотропной линейно-деформируемой среды.

Перечисленные в таблице формулы, заимствованные из [1], дают возможность вычислить модуль сдвига G или модуль объемной деформации K квазигомогенной среды. Модуль деформации E такой среды установлен по известным зависимостям

$$E = 2G(1 + \nu) \text{ или } E = K(1 - 2\nu),$$

где коэффициент Пуассона ν при малом объеме включений принят равным коэффициенту Пуассона среды заполнения или устанавливался по формулам, приведенным в цитируемых первоисточниках [1, 2].

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что значения модулей E , установленных для условий NN 1 ÷ 4 (см. табл. 1), мало отличаются от осредненных для всех случаев значений E_{cp} .

Таблица 2

**Максимальные отклонения значений модулей деформации E_i
от своих осредненных значений E_{cp}**

Характер включений (по табл. 1)	n_1	Модули деформации (E_2 , МПа) грунтовой среды							
		2		6		10		14	
		E_{cp}	E_{max}/E_{cp}	E_{cp}	E_{max}/E_{cp}	E_{cp}	E_{max}/E_{cp}	E_{cp}	E_{max}/E_{cp}
NN 1÷4	0,04	2,21	1,04	6,62	1,04	10,70	1,03	15,52	1,03
	0,10	2,61	1,11	7,54	1,06	12,35	1,06	17,52	1,07
NN 5,6	0,04	17,95	1,01	21,80	1,01	25,70	1,01	29,6	1,01
	0,10	41,85	1,01	45,50	1,01	49,20	1,01	52,9	1,01

В чисителях показаны значения E_{cp} , установленные для сред с относительным содержанием включений $n_1 = 0,04$, а в знаменателях — для $n_1 = 0,10$. Приведены также аналогичные значения E_{cp} для анизотропной среды и среды с включениями в виде чередующихся слоев (NN 5,6 из табл. 1).

Из табл. 2 следует, что основным параметром, влияющим на уменьшение сжимаемости геокомпозитной среды (E_{cp}), является доля включений (n_1), входящих в состав геокомпозита, и значительно меньшее влияние оказывает вид включений (сфера, стержень, призма) и соотношение площадей поперечных сечений включений.

Существенно анизотропной является сжимаемость гетерогенной среды, имеющей цилиндрические включения (NN 4,5, см. табл. 1). Модуль деформации E_{11} квазигомогенной среды с содержанием включений $n_1 = 0,04$ по направлению вдоль включений в 8 раз (при $E_2 = 2$ МПа) отличается от аналогичного показателя E_{22} для направления поперек включений. Это соотношение при $E_2 = 14$ МПа уменьшается до двух раз. Среда, содержащая включения с показателем $n_1 = 0,10$, имеет коэффициент анизотропии $K = E_{11}/E_{22}$ еще больший. Так, в случае с сильно сжимаемой грунтовой средой ($E_2 = 2$ МПа), коэффициент $K = 14$; для жестких сред коэффициент K_2 уменьшается и при $E_2 = 14$ МПа равен трем.

Увеличение объемного содержания включений (n_1) в анизотропной квазигомогенной среде более существенно влияет на увеличение жесткости среды в направлении вдоль цилиндрических включений. Так, увеличение показателя n_1 с 0,04 до 0,10 приводит к увеличению эквивалентного модуля E_{11} с 17,9 до 41,8 МПа (в 2,3 раза), тогда как в этом же случае значение E_{22} возрастает с 2,3 до 2,94 МПа, т.е. в 1,28 раза. В более жестких средах (например, при $E_2 = 14$ МПа) эта разница также сохраняется — величина E_{11} увеличивается в 1,8 раза, а E_{22} — только в 1,1 раза (см. табл. 2).

Результаты приведенных выше расчетов свидетельствуют о большем влиянии объемного содержания включений (в том числе и цилиндрических, направленных поперек продольной оси) и незначительном — влиянии их формы и соотношения размеров.

Для оценки степени влияния включений на сжимаемость геокомпозитных сред использована также и другая методика. Она заключалась в расчетах интегрального модуля деформации представленного объема геокомпозита с применением к геокомпозиту модели упругоидеально-пластич-

ческой среды, оцениваемой функцией текучести Кулона–Мора [4]. В расчетах приняты модули деформации среды и включений $E_2 = 10$ (и 15 МПа), $E_1 = 400$ МПа соответственно; коэффициенты Пуассона $\nu_2 = 0,3$ и $\nu_1 = 0,2$; углы внутреннего трения $\phi_2 = 20^\circ$ и $\phi_1 = 45^\circ$; сцепление $c_2 = 20$ кПа и $c_1 = 100$ кПа. Представительный объем геокомпозита (фрагмент полуплоскости) в виде расчетной области имел вид прямоугольника размером 10×6 м. Боковое расширение фрагмента невозможно, но возможны вертикальные смещения боковых граней. Нижняя граница фрагмента неподвижна, верхняя граница — свободна.

Н.д.с. расчетной области (фрагмента массива или геокомпозитного «образца») создавалось равномерным вертикальным смещением ее верхней границы на 0,05; 0,15; 0,30 и 0,45 м, что соответствует вертикальной относительной деформации расчетной области $\varepsilon_z = 0,005; 0,015; 0,030$ и 0,045. Заметим, что при изменении геометрических размеров областей, находящихся в рассматриваемых условиях, при сохранении их геометрического подобия, процентного содержания включений и принятых средних относительных деформаций области ε_z , поля напряжений и деформаций остаются неизменными.

Форма включений принята близкой к форме сплющенного эллипсоида, рассмотренного в работе [1], и приближенной к форме инородных включений, образующихся в виде линз при высоконапорной инъекции песчано-цементного раствора. Рассмотрено влияние различной ориентации и раздробленности включения на более мелкие составляющие аналогичной формы при сохранении постоянного объема включений ($n_1 = 0,15$).

Полученные расчетные напряжения σ_z и σ_x (горизонтальные) осреднялись на верхней и боковой гранях расчетной области соответственно, далее они рассматривались как равномерные нагрузки на гранях фрагмента. Среда рассматривалась как невесомая. По условию плоской деформации фрагмента (ε_y) средние напряжения σ_y выражались из зависимости Гука, где $\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x) = 0$.

После преобразования обобщенного закона Гука для квазигомогенной изотропной среды эквивалентный модуль деформации этой среды выражается в виде

$$E = E_z = (0,91\sigma_z - 0,39\sigma_x)/\varepsilon_z.$$

Полученные таким образом при $n_1 = 0,15$ эквивалентные модули E приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что эквивалентный модуль деформации E квазигомогенной среды практически не зависит от ориентации линзообразного включения и замены одного включения группой более мелких включений. Некоторое увеличение сжимаемости среды при увеличении относительных деформаций ε_z (и внешних давлений) объясняется появлением и нарастанием зон пластических деформаций вокруг включений.

Инородные включения компактной формы (квадрат, круг, треугольник) при малых деформациях среды, не сопровождающихся сдвигами по контуру среды с включениями ($\varepsilon_z = 0,005$), приводят к увеличению жесткости геокомпозита на (34 ÷ 57) % по сравнению с жесткостью материала заполнителя (E_2). С увеличением деформаций геокомпозита его жесткость

Таблица 3

**Эквивалентные модули деформации (E , МПа) фрагмента среды,
находящейся в условиях плоской деформации**

№ п/п	Вид включений $n_1 = 0,15$	E_2 , МПа	Значения E при деформации расчетной области ε_z			
			0,005	0,015	0,030	0,045
1	Одиночные, горизонтальные линзы	10 15	11,70 16,80	10,9 16,30	10,80 15,50	10,50 15,40
2	Одиночные, вертикальные линзы	10	12,3	11,6	10,50	10,00
3	Горизонтальные, из трех линз	10	12,00	—	—	10,60
4	Вертикальные, из девяти линз	10	12,00	11,8	10,9	10,50
5	Одиночные, квадрат	10	13,40	12,70	11,6	11,00
6	Одиночные, круг	10	13,70	13,00	12,10	11,4
7	Одиночное, треугольник	10	13,60	13,3	12,0	11,3
8	Хаотическое, из треугольников	10	15,70	14,3	13,5	11,3

кость уменьшается в меньшей степени по сравнению с материалом, содержащим линзообразные включения.

Сопоставим данные табл. 3 с результатами расчета эквивалентных модулей, установленных расчетом [1] при $n_1 = 0,15$ и $E_2 = 10$ МПа и приведенных в табл. 4.

Таблица 4

Модули деформации (E) квазигомогенной среды

Расчетная формула [1]	2,122	2,123	2,114	2,111	2,116	1,1 [2]
E , МПа	11,40	11,80	12,60	12,30	15,60	13,50

В табл. 4 наибольшие значения модуля E получены для случая абсолютно жестких включений (ф. 2.116) и для случая анизотропной среды (ф. 1.1 [2]).

Если сопоставить первые четыре значения модулей E из табл. 3, 4 для случая отсутствия зон сдвигов в упруго-идеально-пластической среде ($\varepsilon_z = 0,005$), то правомерно сделать вывод о их близком соответствии ($E_{ср} = 12$ МПа). Таким образом, для оценки сжимаемости упругой (линейно-деформируемой) гетерогенной среды, находящейся в условиях плоской деформации при равномерно распределенной внешней нагрузке (или условиях компрессионного сжатия, что достаточно близко к упомянутому случаю), в практических целях вполне допустимо применение простых формул, приведенных в работе [1], вместо сложных расчетов моделей грунтовых массивов с применением ЭВМ. Рассмотренные здесь методы можно использовать в расчетах закрепленного различными способами слоя грунта ограниченной мощности, залегающего под подошвой сплошных плитных фундаментов зданий и сооружений, находящихся в условиях, близких к условиям компрессионного сжатия. Этот вывод не относится к случаю сложного напряженного состояния геокомпозитного основания или иного массива. В этом случае, очевидно, придется применять численное моделирование н.д.с. оснований и массивов.

Ранее получены расчетные (с применением модели Кулона–Мора) данные о влиянии различной формы компактных включений (круглых, квадратных, треугольных) на значения эквивалентного модуля E . Расчеты выполнены при условиях, аналогичных рассмотренным выше для случая с объемом призматических включений $n_1 = 0,15$. При этом оказалось, что сжимаемость расчетной зоны (с модулем деформации заполнителя $E_2 = 10$ МПа при малых давлениях, не вызывающих пластических деформаций, оценивается модулем $E = 13,6$ МПа (случай 5–7 из табл. 3), тогда как продолговатые эллипсовидные включения в этих же условиях увеличивают эквивалентный модуль деформации квазигомогенной среды лишь до (11,7–12,3) МПа (случаи 1, 2, см. табл. 3). В случае с модулем деформации среды $E_2 = 15$ МПа, эквивалентный модуль деформации $E = 19,3$ и 16,8 МПа соответственно. Таким образом, протяженная форма поперечного сечения включений по сравнению с компактной при фиксированном значении показателя $n_1 = 0,15$ оказывает меньшее влияние на увеличение жесткости геокомпозита. Вспомним, что увеличение жесткости геокомпозита по направлению вдоль армирующих стержней более существенно, чем поперек стержней. Эти два обстоятельства позволяют сделать вывод о предпочтительности уплотнения слабых грунтов цилиндрическими или призматическими включениями квадратного сечения (сваями, столбами, закрепленного грунта), выполняемыми по направлению действия внешних нагрузок.

Выводы. 1. Эквивалентные модули деформации гетерогенной среды, установленные методами механики геокомпозитных сред, несущественно изменяются при изменении формы сечения и соотношения геометрических размеров включений.

2. Эквивалентные модули деформации «образцов» гетерогенной среды, содержащей включения с удлиненной формой сечения, на начальном этапе нагружения имеют значения, сопоставимые с расчетом методами механики геокомпозитных сред.

3. Эквивалентные модули деформации, установленные методами нелинейной механики, на начальном этапе нагружения «образцов» с компактной формой сечения включений заметно превышают аналогичные характеристики, отмеченные выше (в п. 1).

4. При нагрузках, вызывающих появление пластических деформаций в «образце» вокруг включений с любой формой сечения, эквивалентные модули деформаций уменьшаются до значений, имеющих несущественные различия.

Для изучения сжимаемости образцов геокомпозитного материала в условиях сложного напряженного состояния необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования этого вопроса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тер-Мартиросян, З.Г. Механика грунтов [Текст] / З.Г. Тер-Мартиросян // Изв. Ассоциации строительных вузов. — М., 2005. — С. 89–105.
2. Ванин, Г.А. Моментная механика композитов [Текст] / Г.А. Ванин // Механика композитных материалов / Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова, Москва. — 2001. — Т. 37, № 5/6. — С. 621–654.
3. Ланис, А.Л. Геотехническое обоснование упрочнения грунтовых оснований методом высоконапорной инъекции [Текст] / А.Л. Ланис, М.Я. Крицкий. — Город и геологические опасности : Материалы Междунар. конф. — СПб., 2006. — С. 78–86.

4. Plaxis. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. Руководство пользователя. Версия 8. — Нидерланды : Дельфтский технологический университет, 2002.

САВКОВ П.А., инж.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ЛУБЯГИН А.В., инж.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

КРИВОРОТОВ А.П., д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 03.08.11

Savkov P.A., engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Lubyagin A.V., engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Krivorotov A.P., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

COMPRESSIBILITY ASSESSMENT OF GEOCOMPOSIT ENVIRONMENT

Calculation integral modules of deformation heterogeneous environment in compression pressing terms with use methods of heterogeneous material mechanics and soil mechanics methods shows practically comparable results. The compact form of inclusion cross-section in time of creation geocomposite is reasonability, than extended form.

Key words: geocomposite, the section shape of inclusion, the equivalent module of deformation.

REFERENCES

1. Ter-Martirosyan, Z.G. Soil Mechanics [Text] / Z.G. Ter-Martirosyan // The News of Higher Educational Institutions Association. — M., 2005. — P. 89–105.
2. Vanin, G.A. The Moment Mechanics Composite [Text] / G.A. Vanin // The Mechanics of Composite Materials / The institute of Engineering Science in name of A.A. Blagonravov, Moscow. — 2001. — Vol. 37, N 5/6. — P. 621–654.
3. Lanis, A.L. Geotechnical Substantiation of Soil Hardening by High-pressure Injection Metnod [Text] / A.L. Lanis, M.J. Kritskiy // City and Geological Danger : The Materials of International conference. — St. Petersburg, 2006. — P. 78–86.
4. Plaxis. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. Instruction manual ; Version 8. — The Netherlands : Delft Technological University, 2002.

УДК 532.5:696.122

В.В. ТАРАСЕВИЧ, А.А. МОРОЗ, А.К. ЛИ

КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ТЕЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ МЕСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ*

Рассматривается математическая модель работы местного сопротивления. Эта рабо-та моделируется в рамках подхода «математический испытательный стенд», предложен-ного одним из авторов. Приводятся расчетные формулы для случая без кавитации. Рас-сматриваются схемы возникновения кавитации в таком узле и приведен общий алгоритм расчёта в этом случае. Данный подход использовался при расчётах аварийных режимов канализационного коллектора.

Ключевые слова: местное сопротивление, кавитация, математическая модель, неста-ционарные процессы, расчёт.

При расчётах нестационарных режимов в трубопроводах часто при-меняется так называемая гипотеза квазистационарности, согласно кото-рой потери давления при нестационарном режиме рассчитываются по та-ким же зависимостям, что и в случае стационарного режима.

Однако при нестационарных режимах направление потока может из-меняться в течение процесса. Часто коэффициент местного сопротивле-ния зависит от направления потока. Примером может служить внезапное расширение трубопровода, которое при обратном токе жидкости превра-щается во внезапное сужение потока с совершенно другим сопротивле-нием. Еще более характерным примером может служить обратный кла-пан, сопротивление которого при изменении направления потока жидко-сти возрастает до бесконечности.

Этот фактор надо учитывать не только при расчётах динамических режимов, но и при расчётах гидравлических цепей, где могут быть участ-ки, направление течения на которых не известно заранее, а определяется из расчёта.

Следует отметить, что при малых числах Рейнольдса, например, при переходе скорости течения через ноль более точной будет двухчленная формула потерь [1, 2].

Математическая модель. Местное сопротивление схематично мож-но изобразить в виде, представленном на рис. 1.

Как отмечалось выше, потери давления на местном сопротивлении в доста-точно общем виде можно определять по двухчленной формуле по-терь [1, 2]. Это позволяет описывать потери давления как при разви-том турбулентном течении (в различной арматуре тепловых или водопровод-ных сетей), так и при переходных режимах или при ламинарном потоке, которые могут иметь место при движении сильно вязкой среды (масло, нефть), или при движении с малыми скоростями (например, в различных фильтрах).

* См. работу В.В. Тарасевич и А.К. Ли в № 10 за 2011 г. журнала «Известия вузов. Строительство».

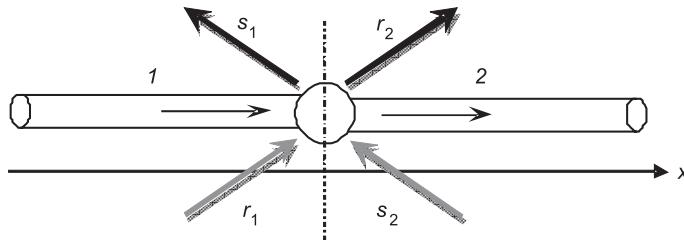


Рис. 1. Схема местного сопротивления

1 — входящая труба; 2 — выходящая труба; r_1 и s_2 — инварианты Римана (приходящие волны); r_2 и s_1 — инварианты Римана (отраженные волны)

Итак, определяем потери давления при положительном направлении потока

$$p_1 - p_2 = \xi_1 Q^2 + B_1 Q \text{ при } Q \geq 0 \quad (1)$$

и потери давления при отрицательном направлении потока

$$p_1 - p_2 = -\xi_2 Q^2 + B_2 Q \text{ при } Q < 0; \quad (2)$$

при этом баланс расходов в узле (утечками пренебрегаем)

$$Q_1 = Q_2 = Q, \quad (3)$$

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

B_1 , B_2 — размерные коэффициенты сопротивления в ламинарной зоне.

При описании обратного клапана инерционностью подвижных частей клапана будем пренебречь и закрытие или открытие его полагать мгновенным. Этому случаю формально соответствует ситуация

$$B_2 \rightarrow +\infty, \quad (4)$$

откуда следует, что для обратного клапана при положительном перепаде давлений используется соотношение (1), а при отрицательном — условие $Q = 0$ вместо (2).

Замыкающие соотношения. В общем случае, так как рассматриваемое местное сопротивление является частью определенной трубопроводной системы, то и систему уравнений (1)–(3) необходимо решать совместно с уравнениями, описывающими функционирование всей трубопроводной системы. То есть необходимо рассматривать полную математическую модель, включающую в себя описания всех элементов системы (труб и узлов), в составе которой находится рассматриваемое местное сопротивление^{1, 2}. Но это приведет к значительным затратам вычислительных ресурсов и в некотором смысле даже затруднит исследование функционирования местного сопротивления, так как динамика изменения его параметров будет представлять собой сумму его собственного поведения и возмущений, приходящих от других элементов системы.

¹ Атавин, А.А., Лаврентьев В.Л., Тарасевич В.В. Математическое моделирование сложных трубопроводных сетей // Гидравлические цепи. Развитие теории и приложения. Разд. 1.1. / Н.Н. Новицкий, Е.В. Сеннова, М.Г. Сухарев и др. — Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 2000. С. 16–30.

² Атавин А.А., Колеватов Ю.В., Мороз А.А., Тарасевич В.В., Сабельников В.И. Математическое моделирование переходных процессов в сложных трубопроводных системах (на примере гидропривода) // Трубопроводные системы энергетики: модели, приложения, информационные технологии. Разд. 1.2 / Под ред. М.Г. Сухарева. — М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. С. 31–46.

Однако, воспользовавшись тем, что мы имеем дело с волновым процессом, когда возмущения распространяются с конечной скоростью, все возмущения, приходящие от внешних частей системы к рассматриваемому местному сопротивлению, можно заменить некоторыми заданными волнами, которые будут представлять собой замыкающие соотношения для уравнений (1)–(3).

Такой подход, названный «математическим испытательным стендом», впервые предложен одним из авторов в работах [4, 5]. Суть его состоит в следующем.

Перейдем к новым переменным r и s , называемым инвариантами Римана [3], которые с физической точки зрения характеризуют, соответственно, прямые волны (перемещающиеся в направлении оси x) и обратные (перемещающиеся в направлении, противоположном направлению оси x) в жидкости. Эти инварианты можно определить следующим образом:

$$r = \frac{1}{2} \left(p + \frac{\rho c}{\omega} Q \right), \quad s = \frac{1}{2} \left(-p + \frac{\rho c}{\omega} Q \right), \quad (5)$$

где ω — площадь поперечного сечения трубопровода;

c — скорость волны гидравлического удара.

Тогда «старые», «натуральные» переменные p и Q выразим через инварианты r и s

$$p = r - s, \quad Q = \frac{\omega}{\rho c} (r + s). \quad (6)$$

Применимельно к рассматриваемому местному сопротивлению (см. рис. 1) инварианты r_1 и s_2 отвечают за приходящие в узел возмущения параметров потока, иными словами, являются входящими в узел сигналами, поступающими от внешней части трубопроводной системы. Поэтому значения этих параметров r_1 и s_2 можно считать независимыми, так как они не формируются в узле, а поступают к нему извне.

С другой стороны, инварианты s_1 и r_2 являются отраженными волнами, исходящими от узла, а сами граничные условия (1)–(3) можно рассматривать как законы отражения волн от узла.

Нахождение параметров потока в узле. Считая r_1 и s_2 известными, из соотношений (5) с учетом равенства расходов (3) можно выразить давления через значения входящих инвариантов (волн) и расход

$$p_1 = 2r_1 - \frac{\rho c_1}{\omega_1} Q, \quad p_2 = -2s_2 + \frac{\rho c_2}{\omega_2} Q. \quad (7)$$

Подставляя эти выражения в закон сопротивления (1), получаем уравнение относительно неизвестного расхода Q при условии $Q \geq 0$

$$\xi_1 Q^2 + \left[B_1 + \rho \left(\frac{c_1}{\omega_1} + \frac{c_2}{\omega_2} \right) \right] Q - 2(r_1 + s_2) = 0. \quad (8)$$

Подставляя (7) в (2), получаем уравнение для случая $Q < 0$

$$\xi_2 Q^2 - \left[B_2 + \rho \left(\frac{c_1}{\omega_1} + \frac{c_2}{\omega_2} \right) \right] Q + 2(r_1 + s_2) = 0. \quad (9)$$

Общее решение как уравнения (8), так и уравнения (9) можно записать в виде

$$Q = \frac{4(r_1 + s_2)}{B + \rho(c_1/\omega_1 + c_2/\omega_2) + \sqrt{[B + \rho(c_1/\omega_1 + c_2/\omega_2)]^2 + 8\xi|r_1 + s_2|}}, \quad (10)$$

где $B = B_1$, $\xi = \xi_1$ для случая $Q \geq 0$ (или, что эквивалентно, $p_1 - p_2 \geq 0$) и $B = B_2$, $\xi = \xi_2$ для случая $Q < 0$.

Далее, зная расход Q , по формулам (7) находим неизвестные давления.

Отметим, что из формул (1), (2) и (7) следует, что расход Q , перепад давлений $p_1 - p_2$ и величина $r_1 + s_2$ имеют одинаковый знак:

$$p_1 - p_2 \geq 0, \quad Q \geq 0, \quad r_1 + s_2 \geq 0 \quad \text{или} \quad p_1 - p_2 < 0, \quad Q < 0, \quad r_1 + s_2 < 0 \quad (11)$$

одновременно.

С учетом этого обстоятельства и условия (4) для обратного клапана расчетную формулу (10) целесообразнее переформулировать следующим образом:

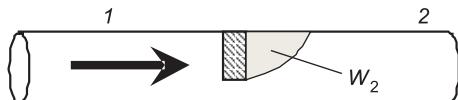
$$Q = \begin{cases} \frac{4(r_1 + s_2)}{B_1 + \rho(c_1/\omega_1 + c_2/\omega_2) + \sqrt{[B_1 + \rho(c_1/\omega_1 + c_2/\omega_2)]^2 + 8\xi_1|r_1 + s_2|}} & \text{при } r_1 + s_2 \geq 0 \\ 0 & \text{при } r_1 + s_2 < 0 \end{cases} \quad (12)$$

при $r_1 + s_2 \geq 0$; при $r_1 + s_2 < 0$.

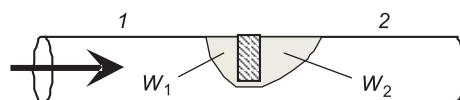
Разрыв сплошности потока в узле. При нестационарных процессах в отдельных участках трубопроводной системы при падении давления до некоторого критического значения p_{cav} , которое можно считать равным давлению насыщенных паров жидкости, будет возникать разрывы сплошности потока в виде образования в узле некоторой полости (каверны), заполненной парами жидкости.

Возникновение разрыва сплошности в местном сопротивлении значительно изменяет как его описание, так и нахождение параметров потока.

Пусть первоначальное направление течения положительно ($Q \geq 0$). Тогда физически возможны только три случая: 1) сплошное течение в узле (нет кавитации); 2) возникновение разрыва сплошности (каверны) в отводящем трубопроводе (труба 2 на рис. 2); 3) процесс кавитации охватывает весь узел целиком (как трубу 1, так и трубу 2, см. рис. 3). Случай возникновения кавитации только в трубе 1 физически нереален.



Rис. 2. Возникновение разрыва сплошности (каверны) в отводящем трубопроводе
 W_2 — объем каверны на выходе из узла;
 1 и 2 — трубы



Rис. 3. Возникновение разрыва сплошности (каверны), захватывающего весь узел
 1 — входящая труба; 2 — выходящая труба;
 W_1 — объем каверны при входе в узел; W_2 — объем каверны на выходе из узла

Аналогичные три случая возможны при обратном течении жидкости ($Q < 0$), при этом трубы 1 и 2 как бы меняются местами.

Рассмотрим сначала ситуацию $Q \geq 0$.

Для случая 1 (отсутствие разрыва сплошности потока) постановка и решение задачи приведены выше (формулы (1)–(12)).

Критерием сплошности потока (отсутствие кавитации), согласно высказанному, будут соотношения:

$$p_1 \geq p_{cav}, \quad p_2 \geq p_{cav}. \quad (13)$$

Рассмотрим случай 2 (см. рис. 2).

В этом случае на входе в трубу 2 устанавливается давление, равное давлению насыщенных паров жидкости:

$$p_2 = p_{cav}. \quad (14)$$

Используя (5), найдем значение расхода, поступающего в трубу 2:

$$Q_2 = \frac{\omega_2}{\rho c_2} (2s_2 + p_{cav}). \quad (15)$$

Так как давление на выходе известно, закон местного сопротивления (1) преобразуется в

$$p_1 - p_{cav} = \xi_1 Q_1^2 + B_1 Q_1. \quad (16)$$

Выражая давление p_1 через расход Q_1 и приходящий инвариант r_1 согласно формулам (7) и подставляя это выражение в (16), получаем уравнение относительно Q_1

$$\xi_1 Q_1^2 + \left(\frac{\rho c_1}{\omega_1} + B_1 \right) Q_1 + p_{cav} - 2r_1 = 0. \quad (17)$$

Заметим, что это уравнение получено в предположении, что $Q_1 \geq 0$. При нарушении этого условия, т.е. при $Q_1 < 0$, не будет выполняться условие отсутствия каверны на входе в узел $p_1 \geq p_{cav}$. Но уравнение (17) имеет неотрицательный корень только при выполнении условия

$$2r_1 \geq p_{cav}. \quad (18)$$

Тогда решением (17) будет

$$Q_1 = \frac{2(2r_1 - p_{cav})}{B_1 + \rho c_1 / \omega_1 + \sqrt{(B_1 + \rho c_1 / \omega_1)^2 + 4\xi_1 (2r_1 - p_{cav})}}. \quad (19)$$

Отметим, что в этом случае уже не будет выполняться баланс расходов (3). Разность расходов Q_2 и Q_1 будет служить индикатором роста или схлопывания каверны, согласно балансовому соотношению

$$\frac{dW_2}{dt} = Q_2 - Q_1, \quad W_1 = 0, \quad (20)$$

где W_1 — объем каверны при входе в узел (в данном случае отсутствует); W_2 — объем каверны на выходе из узла.

В момент возникновения разрыва сплошности $W_2 = 0$ дальнейший процесс роста и убывания объема полости W_2 описывается уравнением (20). Схлопывание каверны наступает, когда ее объем становится равным нулю, при этом восстанавливаются граничные условия (1)–(3), соответствующие случаю сплошного потока.

Рассмотрим теперь случай 3 (рис. 3), когда процесс кавернообразования захватывает весь узел.

В этом случае как на выходе из трубы 1, так и на входе в трубу 2 устанавливается давление, равное p_{cav} , т.е.

$$p_1 = p_{cav}, \quad p_2 = p_{cav}. \quad (21)$$

Используя соотношения (5), найдем значение расходов на выходе из трубы 1 и на входе в трубу 2

$$Q_1 = \frac{\omega_1}{\rho c_1} (2r_1 - p_{cav}), \quad Q_2 = \frac{\omega_2}{\rho c_2} (2s_2 + p_{cav}). \quad (22)$$

Таким образом, по формулам (21)–(22) определяются все неизвестные параметры в узле.

Отметим, что в данном случае (когда кавитация охватывает узел целиком) граничные условия (1)–(3) вообще перестают работать. Аналогично предыдущему случаю, разность расходов $Q_2 - Q_1$ определяет эволюцию каверн до и после местного сопротивления согласно уравнениям

$$\frac{dW_2}{dt} = Q_2, \quad \frac{dW_1}{dt} = -Q_1. \quad (23)$$

При этом предполагается, что перетока между трубами нет, так как по (21) давление в них одинаково.

При схлопывании одной из каверн восстанавливаются граничные условия (14), (16), (20) (или аналогичные для отрицательного расхода), т.е. переходим к ситуации, описываемой случаем 2; при схлопывании обеих каверн восстанавливаются исходные граничные условия (1)–(3).

Ситуация $Q < 0$ рассматривается аналогично.

Особенности алгоритмической реализации. Наличие нескольких условий, меняющих физику потока (условие возникновения кавитации, условие на схлопывание каверн), порождает достаточно сложную логическую схему при численной реализации.

В исходном состоянии предполагается, что кавитация отсутствует.

a). В этом случае рассчитываем расход по формуле (10), потом по формулам (7) определяем давления p_1 и p_2 . После этого проверяются условия бескавитационного течения (13). Если они выполняются, расчет продолжается дальше.

Если условия (13) нарушаются, то возможны три ситуации: $p_2 < p_{cav}$, $Q \geq 0$; $p_1 < p_{cav}$, $Q < 0$; $p_1 < p_{cav}$, $p_2 < p_{cav}$.

б). В первом случае (второй случай рассматривается аналогично) производится перерасчет давления p_2 и расхода Q_2 по формулам (14) и (15) соответственно. Далее проверяется условие (18). Если оно справедливо, происходит пересчет Q_1 по формуле (19) и давления p_1 по (7). Далее вычисляются размеры каверны по (20). Если же условие (18) нарушается, это говорит о возникновении еще одной каверны в конце первой трубы.

в). Тогда переходим к случаю 3 и вычисляем давления и расходы по формулам (21)–(22), а затем определяем размеры каверн W_1 и W_2 в соответствии с (23).

Если в рассматриваемый момент времени уже имеется кавитация в одной из труб, то сразу переходим к случаю (б); если же кавитация охватывает весь узел целиком, то переходим к случаю (в). При этом необходимо контролировать размер каверн. При схлопывании каверн параметры потока пересчитываются, как изложено в предыдущем разделе.

В случае, если местным сопротивлением является обратный клапан, логическая схема вычислений усложняется еще более, так как необходимо отслеживать состояние клапана.

Критерием того, что клапан открыт, является положительный перепад давлений на клапане $\Delta p = p_1 - p_2 > 0$. В этом случае клапан рассчитывается как обыкновенное местное сопротивление по изложенной выше методике.

Если перепад давлений на клапане отрицателен, то расход через клапан полагается равным нулю

$$Q_1 = Q_2 = 0 \quad \text{при} \quad \Delta p = p_1 - p_2 < 0. \quad (24)$$

Этой ситуации формально соответствует случай (4) в формулах (1)–(2). Поэтому для закрытого клапана также можно применять вышеизложенную методику расчета, модернизированную для этого случая.

Ситуация $\Delta p = p_1 - p_2 = 0$ является неопределенной и зависит от конструкции клапана.

Выводы. Рассмотренный подход представляет собой, по сути, обобщение гипотезы квазистационарности на случай, когда коэффициент местного сопротивления зависит от направления движения потока. Кроме того, учитывается влияние образования каверн при низких давлениях на величину местного сопротивления. Такой подход позволяет упрощенно учесть динамику потока при прохождении волн гидравлического удара через местное сопротивление. Указанная методика применительно к обратному клапану была использована при расчетах аварийных режимов канализационного коллектора и подтвердила свою практическую пригодность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления [Текст] / А.Д. Альтшуль. — М. : Недра, 1982. — 224 с.
2. Мороз, А.А. Модификация формулы расхода клапана для неквадратичной зоны сопротивлений [Текст] / А.А. Мороз, В.В. Тарапасевич // Промышленная гидравлика и пневматика, Всеукраинский науч.-техн. журн. — 2004. — № 1(3). — С. 42–44.
3. Рождественский, Б.Л. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике [Текст] / Б.Л. Рождественский, Н.Н. Яненко. — М. : Наука, 1988. — С. 637.
4. Тарасевич, В.В. Имитационное моделирование управляющих воздействий в сложных трубопроводных системах [Текст] / В.В. Тарасевич, Т.Ю. Шероносова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. междунар. конф. / Под ред. акад. В.П. Мясникова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. — Самара : Сам. науч. центр РАН, 1999. — С. 360–365.
5. Sheronomova, T.Yu. The Simulation of Transients in Hydro-Automatic Systems under Flow Control [Text] / T.Yu. Sheronomova, V.V. Tarasevich // Water Industry Systems: Modelling and Optimization Applications / Eds. D. Savic, G. Walters. — Vol. 1. — Research Studies Press ltd., Baldock, Hertfordshire, England, 1999. — P. 425–436.

ТАРАСЕВИЧ В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.; E-mail: tvv@academ.org
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МОРОЗ А.А., канд. техн. наук, ЗАО «Ломмета», г. Новосибирск;
E-mail: lommeta@rambler.ru

ЛИ А.К., ст. препод.; E-mail: anleegq@gmail.com
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 08.08.11

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

Moroz A.A., candidate of technical sciences, Chief Executive Officer, «Lommeta» Joint-Stock Company, E-mail: lommeta@rambler.ru, Novosibirsk, Russia

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

QUASI-STATIONARY APPROACH TO THE DESCRIPTION OF THE FLOW THROUGH THE FORM LOSS

Mathematical model of the form loss functioning is considered. On the basis of the original approach named «mathematical test bend» the mathematical model of the unsteady flow through the form loss is considered. The design formulas are given for the non-cavitation case. The schemes of cavitation initiation at the node are considered and the sketch of calculation algorithm for this case is stated. Considered approach was used for the calculation of the emergencies in the sewage collector.

Key words: form loss, cavitation, mathematical model, unsteady processes, calculation.

REFERENCES

1. Altshul, A.D. Hydraulic resistance [Text] / A.D. Altshul. — M. : Nedra, 1982. — 224 p.
2. Moroz, A.A. Modification of the valve discharge formula for nonquadratic resistance zone [Text] / A.A. Moroz, V.V. Tarasevich // Promyshlennaya gidraulika i pnevmatika, All-Ukraine scientific-technical magazine. — 2004. — N 1(3). — P. 42–44.
3. Rozhdestvensky, B.L. Systems of quasi-linear equations and its applications to gas dynamics [Text] / B.L. Rozhdestvensky, N.N. Yanenko. — M. : Nauka, 1988. — P. 637.
4. Tarasevich, V.V. Imitation of the control actions in the complex pipe systems [Text] / V.V. Tarasevich, T.Yu. Sheronosova // Problems of control and modeling in the complex systems, Proc. of Int. Conf. — Samara, Scientific Centre of RAS, 1999. — P. 360–365.
5. Sheronosova, T.Yu. The Simulation of Transients in Hydro-Automatic Systems under Flow Control [Text] / T.Yu. Sheronosova, V.V. Tarasevich // Water Industry Systems : Modelling and Optimization Applications / Eds. D.Savic, G.Walters. — Vol. 1. — Research Studies Press Ltd., Baldock, Hertfordshire, England, 1999. — P. 425–436.

УДК 691:539.215.4

А.Н. ХАРХАРДИН

СТРУКТУРНАЯ ТОПОЛОГИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ СУХОГО И МОКРОГО СПОСОБОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Часть 1. Размерный интервал критического размера наночастиц

Приводится топологический анализ структуры дисперсных материалов, получаемых сухим и мокрым способами измельчения, при котором установлена область изменения критического размера взаимодействующих микро- и наночастиц, проявляющих необычные свойства по сравнению с массивным телом.

Ключевые слова: дисперсные системы, микро- и наночастицы, взаимодействие, золь-гель конденсат, геополимеры.

Сухой и мокрый способы измельчения минерального сырья широко используются в производстве строительных материалов для получения минеральных вяжущих веществ, золей, гелей, в производстве минеральных пигментов, при подготовке шихт, суспензий, микро- и наночастиц дисперсных материалов и пр.

Сухой способ измельчения ограничен длительностью процесса, небольшим средним размером микрочастиц получаемого продукта и образованием сферических агрегаций. Размер агрегаций обратно пропорционален размеру содержащихся в них микрочастиц. В начале сухого механического измельчения неорганического минерального сырья рост размера агрегаций пропорционален длительности процесса, а затем происходит уменьшение их размера и содержащихся в них микрочастиц равновесного размера. Рост сферических агрегаций обусловлен возрастающей близкодействующей силой притяжения между микрочастицами в результате оголения зарядов на их поверхности и образуемых диполями на остроугольных участках. Наряду с дроблением крупных частиц в смеси с замедлением продолжается процесс измельчения микрочастиц. Полидисперсность смеси при сухом способе измельчения минерального сырья сужается к пределу узкодисперсной фракции определенного среднего размера микрочастиц и критической плотности их упаковки $\eta_{lc} = \eta_l^{(9...10)/3}$:

$$\eta_c = 0,6038^3 \dots 0,6403^{10/3} = 0,220 \dots 0,226,$$

где $\eta_l = 0,60 - 0,65$ — наибольшая плотность упаковки частиц в рыхлом и плотном состоянии зернистого сырья либо сфер их электростатического взаимодействия. При этом с уменьшением размера микрочастиц возрастают силы их притяжения, смесь обогащается устойчивыми к разрушению мелкими сферическими агрегациями определенного размера, зависящего от величины заряда поверхности и плотности упаковки в них микрочастиц. Суммарный электростатический заряд поверхности микрочастиц возрастает, избыточная его часть может стекать на металлическую поверхность измельчителя и другого оборудования, а потенциаль-

ное поле взаимодействия микрочастиц приобретает сферическую либо эллипсоидальную форму диполя. Электрическая сила отталкивания микрочастиц разрыхляет дисперсный слой материала до равновесия с силой их гравитационного осаждения. Плотность упаковки микрочастиц при измельчении твердого минерального сырья и отходов промышленности достигает критической величины. Сухой способ измельчения минерального сырья и искусственно получаемых минеральных вяжущих веществ низкой водопотребности в основном используется для получения сухих строительных смесей различного назначения. В состав измельчаемого сырья вводятся специальные добавки: активные минеральные, силикат глыбы, силикагель, пластификаторы, гидрофобизаторы, ПАВ и др.

Критический размер наночастиц и размер растущих сферических агрегаций, флоккул, кристаллических образований и других элементов дискретности топологических структур можно получить из закономерности дискретного их распределения при высокоплотной упаковке в дисперсных смесях различного класса гранулометрии [1]:

$$\frac{d_n}{d_1} = \left[\frac{1}{10\eta_1(\sqrt{3}-1)^p} \right]^{\frac{m-n}{3}}, \quad (1)$$

где m — класс разветвленных высокоплотных систем распределения частиц по размерам, $m = 0, 1, 2, 3\dots 12\dots \infty$, $n = 1, 2, 3\dots 12\dots \infty$.

Из отношения наибольшего размера пустот в случайной упаковке (при $p = 3$, $n = 1$ и $m = 3$) к размеру микрочастиц ($n = 4$), плотно их заполняющих при отсутствии влияния кривизны стенок этих пустот на плотность их упаковки, находим

$$\frac{D}{d} \leq \frac{2,549}{10\eta_1} d_1 : \left(\frac{2,549}{10\eta_1} \right)^4 d_1 \leq \left(\frac{10\eta_1}{2,549} \right)^3 \leq (3,923\eta_1)^n \quad (2)$$

либо $\frac{D}{d} \leq \frac{2,549}{10\eta_1} d_1 : \left(\frac{2,549}{10\eta_1} \right)^{mn/3} d_1 \leq \left(\frac{10\eta_1}{2,549} \right)^{m(n-1)/3} \leq (3,923\eta_1)^{m(n-1)/3}$,

где $n \geq (1; 2); -3 - 6 - 9 - 12 - 15\dots$ — натуральный ряд чисел;
 d — размер элемента структуры (атомов, молекул, микро- или наночастиц в агрегациях, в кристаллах и в других образованиях дискретных систем).

Из выражения (2) получим уравнения для размера наночастиц с большим $n = 1 - 4$, с незначительным преобладанием поверхностных атомов $n = 4 - 5$ и с преобладанием объемных атомов $n \geq 5 (16/3)$ [2]:

$$3) D \leq 60,38\eta_1^3 d, \quad 4) D \leq 237\eta_1^4 d,$$

$$5) D \leq 929\eta_1^5 d, \quad 16/3) D \leq 1465\eta_1^{16/3} d, \quad 6) D \leq 3645\eta_1^6 d.$$

Эти уравнения для средних критических размеров микро- и наночастиц и растущих топологических образований (флоккул, агрегаций, кристаллов и пр.) сферической формы соответственно можно записать в виде

$$D \leq 60,38^{n/3} \cdot \eta_1^n d \leq (60,38^{1/3} \eta_1)^n \leq (3,923\eta_1)^n, \quad (3)$$

где $n = 3\dots 4$.

Таким образом, формула (3) при $n = 3$ является частным выражением уравнения (2). Запишем выражение (3) при $n = 3$ для критического размера микро- и наночастиц в следующем надлежащем виде [3]:

$D \leq 60,377\eta_1^3$. Так как $\eta_1^3 = \eta_c$ — критическая плотность упаковки элементов структуры, то она зависит от величины предельной плотности случайной упаковки идентичных шаров в объеме, либо частиц в плотном монодисперсном материале или атомов в твердой кристаллической фазе в виде [3]: $\eta_c = \eta_1^{(9...16)/3}$. Следовательно, уравнение для области изменения критического размера микро- и наночастиц дисперсных материалов или атомов простых веществ (металлов и пр.) примет вид

$$D \leq 60,377\eta_1^{n/3}d, \quad n = 0 - 3 - 6 - \mathbf{9} - \mathbf{16}, \quad (4)$$

где $n = 9 - 12$ при $0,6038 \leq \eta_1 \leq 0,64976$ — для критических размеров частиц дисперсных и других материалов;

$n = 13 - 14$ при $0,6802 \leq \eta_1 \leq 0,6981$ — для кристаллитов в аморфных полимерах;

$n = 14 - 16$ при $0,6981 \leq \eta_1 \leq 0,7405$ — для кристаллических веществ.

Результаты расчета критического размера микро- и наночастиц по уравнению (4) приведены в таблице. Из уравнения (4) и таблицы следует, что наибольший размер наночастиц, при котором начинают проявляться их необычные свойства, соответствует значению $n \geq 0$, тогда $D \leq 60,4d$. Например, при $d \approx 0,3$ нм (для металлов) получим $D = 18$ нм, если $\eta_1 = 0,7405$ и $n = 9,15,16$, то $D = 7,3; 4; 3,65$ нм, что находится в пределах диаметров волос живых существ. Для дисперсных материалов при $d = 0,1$ мкм получим $D = 6,4 - 6,0$ мкм, а при $\eta_1 = 0,64 - 0,60$ и $n = 9$ средний критический размер микро- и наночастиц будет равен $D = 1,6 - 1,3$ мкм соответственно. Принимая по литературным данным размер мономера силикатного иона кремнезема $d = 0,324$ нм, размер наночастиц свежеприготовленного геля при $\eta_c = 0,7405^{3...16/3}$ будет равен 8 – 4 нм, что хорошо согласуется с экспериментом.

Следовательно, плотность упаковки полисиликатных ионов в наночастицах кремнезоля $\eta_1 \geq 0,7405$, а размер устойчивых его образований (агрегаций)

$$D_1 \leq 60,377\eta_1^{3...10/3}, \quad D = 60,377 \cdot 0,7405^{3...10/3} \cdot 6 \text{ нм} = 147 - 133 \text{ нм}.$$

Так как в знаменателе выражения (2) стоит средняя критическая плотность упаковки элементов структуры вещества, то его можно записать для образований со случайной упаковкой элементов структуры и кристаллов с атомно-шероховатой поверхностью в следующем виде:

$$D \leq (\eta_1 / \eta_c)^m \cdot d \leq \left(\frac{1}{\eta_1 / \eta_c} \right)^m \cdot d \leq \left(\frac{1}{\eta_1^{n/3-1}} \right)^m \cdot d \leq \frac{d}{\eta_1^{m(n/3-1)}}, \quad (5)$$

где m принимает значения такие же, как в выражении (1), а n — как в выражении (4) и в частности $n = 9 - 16$.

Выражения (2, 4) для различных типов упаковок с учетом плотности регулярной и случайной упаковки элементов структуры в плоскости центрального сечения сферических агрегаций, кристаллов и других структурных образований примут вид:

$$D \leq (3,923\eta_1)^n d / \eta_1^{1/3} \quad (6)$$

икосаэдрической — $\eta_1 \leq 0,74048$, $D \leq 2,905^m d / \eta_1^{1/3}$,

$$\text{где } m = 14/3...5...16/3; \quad (6a)$$

$$\text{плотнейших} — \eta_1 \leq 0,74048, D \leq 3^m d / \eta_1^{1/3},$$

$$\text{где } m = 14/3 \dots 5 \dots 16/3; \quad (6)$$

$$\text{случайных} \quad \eta_1 \leq 0,64976, D \leq 2,549^m d / \eta_1^{1/3}, \text{ где } m = 11/3 \dots 4; \quad (6\text{в})$$

$$\eta_1 \leq 0,64029, D \leq 2,512^m d / \eta_1^{1/3}, \text{ где } m = 3 \dots 16/3;$$

$$\eta_1 \leq 0,63716, D \leq 2,50^m d / \eta_1^{1/3}, \text{ где } m = 3 \dots 16/3;$$

$$\eta_1 \leq 0,63405, D \leq 2,49^m d / \eta_1^{1/3}, \text{ где } m = 3 \dots 16/3;$$

$$D \leq 60,377 \eta_1^{n/3} d / \eta_1^{1/3}. \quad (7)$$

Из выражения (6) при $\eta_1 = 0,7405$ и таблицы видно, что при $n = 1$ атомная агрегация состоит из одного поверхностного слоя атомов, а размер центрального элемента структуры равен $0,9d$, что соответствует размеру центральной пустоты в икосаэдрической упаковке атомов (шаров), контактирующих между собой при отсутствии центрального атома. Так закладываются дырочные дислокации в кристаллах. Из выражения (6а) следует выражение (6б) для гексагональной плотной упаковки (ГПУ) и гранецентрированной кубической (ГЦК) плотнейших упаковок. Равенство выражений (5) и (6б) при $m = 1$ дает $n/3 = 14/3$, где $\eta_c = 0,24607$.

Из выражения (5) для плотнейших упаковок атомов в кристаллической фазе ($\eta_1 = 0,7405$) наночастиц при $\eta_c = 0,2549$ приходим к результатам, получаемым из уравнений (3) и (4): $D = 24,5 \dots 71d$. Это говорит о тождественности выражений (3)–(4) при $\eta_c = 0,2549$ и процессов образования наночастиц металлов, протекающих через стадию случайной упаковки атомов в скоплениях (жидкая фаза) и сборки их в сферические микрокристаллы.

В таблице приведены результаты расчета по уравнениям (4; 7) изменения критического размера наночастиц в области проявления их необычных свойств по сравнению с массивным телом, а также размеры рас-

Изменение критического размера микро- и наночастиц в области проявления необычных свойств и размера растущих кристаллов сферической или ограниченной формы

Показатель степени, n	Размер микро- и наночастиц $D \times d$ с плотностью упаковки в них элементов структуры, η_1				
	0,7405 (4; 7)	при $d = 0,3 \text{ нм}$	0,7405 (2; 6)	0,6403 (4; 7)	0,63096 (4; 7)
0	60–67	18–20 нм	1,0–1,1	60,4–70,0	60,4–70,4
1	44,7–49,4	13,4–14,8 нм	2,9–3,21	38,6–44,8	38,1–44,4
2	33,1–36,6	9,9–11 нм	8,44–9,33	24,8–28,0	24,0–28,0
3	24,5–27,0	7,0–9,0 нм	24,5–27,0	15,8–18,3	15,2–17,7
4	18,2–20	5,5–6,0 нм	71,2–78,7	10,0–11,6	9,6–11,1
5	13,4–14,8	4,0–4,5 нм	206–228	6,5–8,9	6,0–7,0
6	10,0–11,0	3,0–3,3 нм	601–664	4,0–4,6	3,8–4,4
7	7,4–8,2	2,2–2,5 нм	1745–1929	2,7–3,1	2,4–2,8
8	5,5–6,0	1,7–1,8 нм	5071–5605	—	—
9	4,0–4,4	1,2–1,3 нм	14731–16282	—	—
10	3,0–3,3	0,9–1,0 нм	42792–47300	—	—

Примечание: в скобках приведена нумерация формул.

туших сферических образований по уравнениям (2; 6) в зависимости от плотности упаковки в них элементов кристаллической структуры (атомов металлов и других простых веществ) и со случайной их упаковкой в неупорядоченных системах, где $\eta_1 \leq 0,6403$.

Из таблицы следует, что средний критический размер кристаллических наночастиц 7–9 нм, а наибольший 18–20 нм, тогда как для ультрадисперсных микрочастиц он равен соответственно (15,8–18,3) d при $\eta_1 = 0,6403$ и (15,2–17,7) d при $\eta_1 = 0,63096$, а наибольшие размеры (60,4–70,0) d и (60,4–70,4) d соответственно.

Средний критический размер для перестройки структуры растущих сферических кристаллов в ограненную форму при подходящих термодинамических условиях равен (24,5–27) d , а наибольший (60–67) d .

Мокрый способ измельчения минерального сырья по сравнению с сухим способом имеет ряд преимуществ. Он позволяет снизить экологическую и пожарную опасность процесса, увеличить степень и скорость измельчения и получать продукт с высокой удельной поверхностью и концентрацией полидисперсной твердой фазы в дисперсной системе в результате многократной ее дозировки. Плотность упаковки сухих микро- и наночастиц монодисперсных фракций при мокром способе измельчения минерального сырья достигает своего предела

$$\eta_{2c} = \eta_1^{(13...16)/3} : \eta_{2c} = 0,6038^{(13...15)/3} = 0,112...0,095...0,08$$

$$\text{и } \eta_{2c} = 0,6403_1^{(14...16)/3} = 0,125...0,1076...0,093,$$

где η_1 — плотность упаковки сфер электростатического взаимодействия микро- и наночастиц в сухом дисперсном слое.

Теоретический результат этого предела из выражения (1) при $p = 0$, $m = 3$ и $n = 2$ равен $\eta_{2c} = 0,1$.

Из полидисперсного продукта помола минерального сырья мокрым способом (кроме широкого его применения — пористые и плотные геополимерные изделия) можно методом седиментации и центрифугирования выделить наиболее мелкую стабилизированную его часть, где $\eta_1 \approx 0,1$, для использования в качестве активной добавки в композиты различной природы и различного назначения.

Широко распространенное минеральное сырье для получения геополимерных строительных материалов — это кварцевый и глауконитовый песок, гранит, кварциты, кварцитопесчаники, перлиты, полевые шпаты, глины, отходы мокрой магнитной сепарации горнорудных предприятий и другие силикатные и алюмосиликатные горные породы.

Вывод. Интервал критического размера наночастиц изменяется от размера атома либо координационного многогранника (простых веществ) или элементарной кристаллической ячейки (сложных веществ) до наибольшего размера, ограниченного произведением топологической константы на размер элементарного элемента данной их структуры.

Средний критический размер микро- и наночастиц дисперсных и простых веществ определяется произведением размера, плотности упаковки (в степени $n = 3...5; 16/3$) в них элементов структуры и топологической константы, а наибольший размер, при котором начинают проявляться их необычные свойства по сравнению со свойствами массивного тела, определяется произведением размера d элемента данной структуры и топологической константы 60,38 – 60,38 d .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хархардин, А.Н. Гидродинамика зернистого слоя [Текст] / А.Н. Хархардин // Физико-химия строительных материалов : сб. науч. тр. МИСИ. БТИСМ. — М., 1983. — С. 47–81.
2. Губин, С.П. Химия кластеров [Текст] / С.П. Губин. — М. : Наука, 1987. — С. 18–46.
3. Хархардин, А.Н. Топологические свойства микро- и нанодисперсных материалов [Текст] / А.Н. Хархардин, В.В. Кашибадзе // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 5. — С. 109–113.

*ХАРХАРДИН А.Н., д-р техн. наук, проф.; E-mail: s-nsm@intbel.ru
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

Получено 19.08.11

Kharkhardin A.N., doctor of technical sciences, professor; E-mail: s-nsm@intbel.ru, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

STRUCTURAL TOPOLOGY OF DISPERSE MATERIALS DRY AND WET GRINDING METHOD

Part 1. The size of the critical size of nanoparticles

We derive the equations to determine the interval of the critical size of nanoparticles of simple and complex substances, which are manifested their unusual properties compared with the massive and growing body of spherical formations as well as the critical size may STI-tuning of their structure to form faceted crystals.

Key words: disperse systems, micro- and nanoparticles, interaction, sol-gel condensate, geopolymers.

REFERENCES

1. Kharkhardin, A.N. Hydrodynamics of Granular Layer [Text] / A.N. Kharkhardin // Physics and Chemistry of Building Materials : Collection of Scientific Works. MISI. BTISM. — M., 1983. — P. 47–81.
 2. Gubin, S.P. Chemistry of Clusters [Text] / S.P. Gubin. — M. : Science, 1987. — P. 18–96.
 3. Kharkhardin, A.N. Topological Properties of the Micro- and Nanosized Materials [Text] / A.N. Kharkhardin, V.V. Kashibadze // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 5. — P. 109–113.
-

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.012.45

В.В. АДИЩЕВ, Э.В. БЕРЕЗИНА, Н.В. ЕРШОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ТРАНСФОРМАЦИИ ЭТАЛОННЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПРИ ИЗГИБЕ

Рассмотрены различные способы построения диаграмм деформирования бетона при осевом растяжении на основе экспериментальных данных. Определен наиболее адекватный вид аппроксимирующей зависимости эталонной диаграммы деформирования бетона. Предложен способ определения коэффициента трансформации растянутой зоны на основе экспериментальных данных.

Ключевые слова: эталонная диаграмма, коэффициент трансформации, изгибаемые железобетонные элементы.

На сегодня имеет место тенденция совершенствования теории железобетона путем внедрения нелинейной теории деформирования модели расчета, предусматривающей использование диаграмм деформирования бетона и арматуры. В связи с этим актуальной является задача получения функциональных зависимостей $\sigma - \varepsilon$, которые наиболее полно и достоверно отражали бы реальную работу материалов. Кроме того, эти зависимости должны быть простыми по форме и универсальными, т.е. иметь несложную аналитическую запись при минимальном числе эмпирических параметров.

С целью получения функциональной зависимости $\sigma - \varepsilon$ при осевом растяжении (эталонная диаграмма) и зависимости $\sigma - \varepsilon$ для растянутой зоны при изгибе (трансформированная диаграмма) были проведены экспериментальные исследования бетонных образцов на растяжение и изгиб [1].

Для исследования напряженно-деформированного состояния железобетона при осевом растяжении были испытаны шесть образцов-«восьмерок». Очертания образцов [1] напоминают цифру 8. На образец наклеивались тензодатчики типа КФ5П1-20-200 по трем сторонам (рис. 1, а). Схема нагружения изображена на рис. 1, б.

Для исследования напряженно-деформированного состояния железобетона при изгибе испытывалось шесть балок размером $100 \times 100 \times 400$. Испытание балок на изгиб осуществлялось согласно схеме, изображенной на рис. 2, а. Тензодатчики наклеиваются по трем сторонам балки, как показано на рис. 2, б.

Испытания восьмерок и балок осуществлялись на универсальной разрывной машине УМ-5. Нагрузка прикладывалась ступенями. Каждая ступень составляла 0,1 от расчетной нагрузки. Время выдержки на каж-

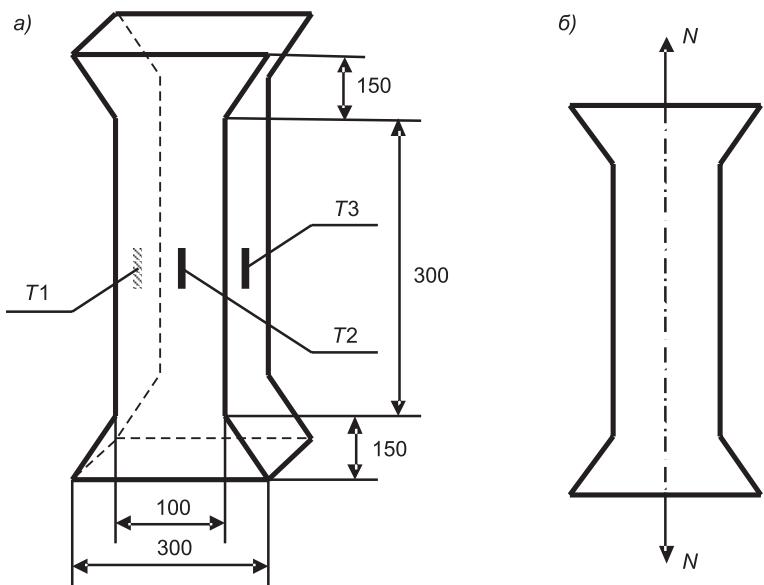


Рис. 1. Экспериментальное исследование бетонных образцов на растяжение

а — схема расстановки тензодатчиков; *б* — схема нагружения

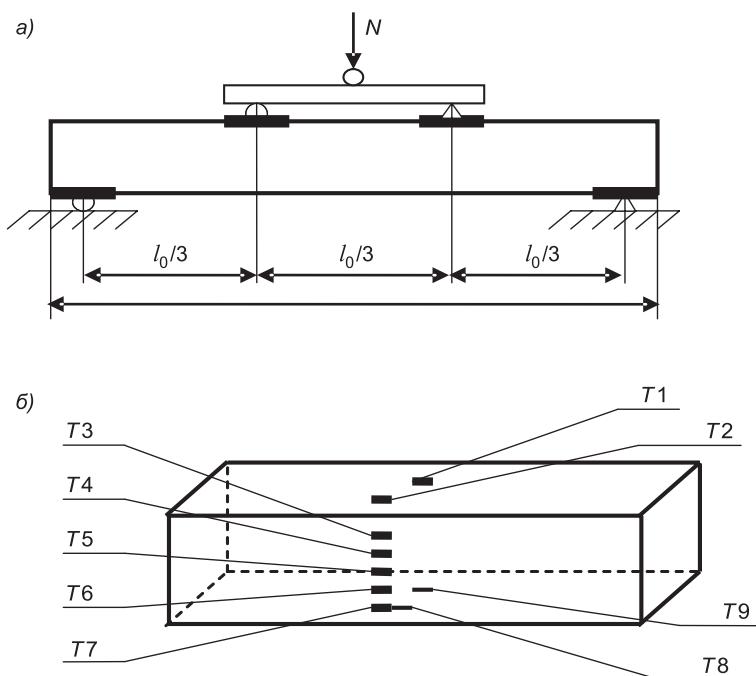


Рис. 2. Экспериментальное исследование бетонных образцов на изгиб

а — схема испытания балок; *б* — схема расстановки тензодатчиков

дом этапе нагружения равнялось времени снятия показаний приборов. Измерение относительных деформаций осуществлялось с помощью СИИТ-3.

Выборки данных по каждому образцу проверялись на нормальность по критерию согласия χ^2 Пирсона, затем данные, распределенные нормально, объединялись в общую совокупность, которая также проверя-

лась на нормальность. Для полученных данных был определен коэффициент линейной корреляции $r_{xy} = 0,3$. Так как его значение существенно отличается от единицы, то между деформациями и напряжениями нет линейной зависимости. Таким образом, полученные данные связаны нелинейно.

В связи с этим были выдвинуты следующие предположения о виде диаграмм деформирования бетона при осевом растяжении:

1) $\sigma = A\epsilon^2 + B\epsilon + C$ — квадратная парабола, удовлетворяющая условию $A < 0$ (рис. 3, а);

2) $\sigma = A\epsilon^2 + B\epsilon$ — квадратная парабола, проходящая через начало координат при условиях $C = 0, A < 0$ (рис. 3, б);

3) $\sigma = A\epsilon^2 + E_b\epsilon$ — квадратная парабола, проходящая через начало координат ($C = 0, A < 0$) и имеющая в начале координат касательную с угловым коэффициентом, равным начальному модулю упругости E_b , значение которого соответствует СП 52-101-2003 для данного класса бетона (рис. 3, в);

$$4) \sigma = \begin{cases} a\epsilon, & \epsilon < \epsilon_y, \\ A\epsilon^2 + B\epsilon + C, & \epsilon > \epsilon_y, \end{cases}$$

где ϵ_y — деформация, соответствующая переходу от линейного участка к нелинейному;

a — коэффициент, равный условному модулю упругости E_b ;

$A\epsilon^2 + B\epsilon + C$ — квадратная парабола ($A < 0$) (рис. 3, в).

В первых трех случаях неизвестные коэффициенты определялись по экспериментальным данным с помощью метода наименьших квадратов.

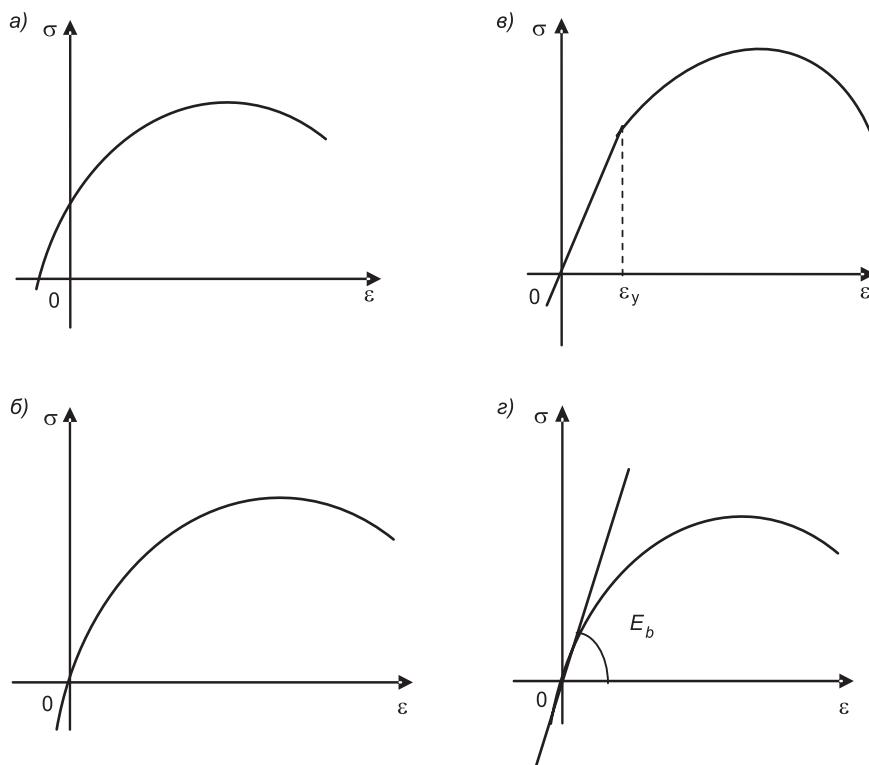


Рис. 3. Виды диаграмм

Для определения наиболее адекватной модели вычислялся множественный коэффициент детерминации

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\sigma}_i - \bar{\sigma})^2}{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}},$$

где $\hat{\sigma}_i$ — экспериментально полученные значения напряжений;
 σ_i — теоретические значения напряжений;
 $\bar{\sigma}$ — среднее значение напряжений;
 n — объем выборки.

Остановимся подробнее на способе построения функциональной зависимости $\sigma - \varepsilon$, соответствующей растяжению вида 4), и определении узловых точек: $(\varepsilon_y, \sigma_y)$ — точка, соответствующая переходу от линейного участка к нелинейному; $(\varepsilon_{rt}, \sigma_{rt})$ — точка, соответствующая предельному значению напряжения; $(\sigma_{mt}, \varepsilon_{mt})$ — точка, соответствующая предельному значению деформаций.

Построение зависимости $\sigma - \varepsilon$ и определение узловых точек диаграммы осуществлялось следующим образом:

- 1) фиксировалось начальное значение деформации $\varepsilon_{y1}^* = 0,1 \cdot 10^{-5}$;
- 2) вычислялся условный модуль упругости E_{b1}^* с помощью метода наименьших квадратов;
- 3) для остальных данных строилась линия регрессии в виде параболы, которая удовлетворяет условиям:

$$\begin{cases} a(\varepsilon_{y1}^*)^2 + b\varepsilon_{y1}^* + c = E_{y1}^* \cdot \varepsilon_{y1}^*, \\ 2a\varepsilon_{y1}^* + b = 0, \\ \sum(a\varepsilon_i^2 + b\varepsilon_i + c - \sigma_i)^2 \rightarrow \min. \end{cases}$$

Таким образом, находились коэффициенты a, b, c :

$$a = \frac{\sum(\sigma_i - E_{b1}^*\varepsilon_i) \cdot (\varepsilon_i - \varepsilon_{y1}^*)^2}{\sum(\varepsilon_i - \varepsilon_{y1}^*)^4}, \quad b = E_{b1}^* - 2a\varepsilon_{y1}^*, \quad c = a(\varepsilon_{y1}^*)^2;$$

- 4) определялся множественный коэффициент детерминации R_1 ;
- 5) вычислялось следующее значение деформации $\varepsilon_{yi}^* = \varepsilon_{y1}^* + i \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}$;
- 6) для каждого значения деформации ε_{yi}^* определялся начальный модуль упругости E_{bi}^* с помощью метода наименьших квадратов, для остальных данных строилась функциональная зависимость в виде параболы и вычислялся множественный коэффициент детерминации R_i ;
- 7) точка $(\varepsilon_y, \sigma_y)$ соответствует наиболее адекватной модели (т.е. значению R_i , наиболее близкому к единице);
- 8) точка $(\varepsilon_{rt}, \sigma_{rt})$ определялась как вершина параболы наиболее адекватной зависимости;
- 9) точка $(\varepsilon_{mt}, \sigma_{mt})$ соответствует деформации, при которой началось образование трещины. В табл. 1 приведены результаты построения диаграмм и соответствующие им коэффициенты детерминации.

Таким образом, диаграмма, наиболее адекватно описывающая напряженно-деформированное состояние образца, имеет вид 4), так как для него получен множественный коэффициент детерминации R , наиболее близкий к единице.

Таблица 1

Определение функциональной зависимости $\sigma - \varepsilon$ при осевом растяжении

Вид диаграммы	Уравнение	R
1	$-168035788\varepsilon^2 + 22220,877\varepsilon + 0,11$	0,75
2	$-244501127\varepsilon^2 + 28519,129\varepsilon$	0,78
3	$-225087676,1\varepsilon^2 + 27500\varepsilon$	0,77
4	$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} 29279,145\varepsilon, & \varepsilon < 2,3 \cdot 10^{-5}, \\ -705399767,1\varepsilon^2 + 61727,5344\varepsilon - 0,373, & \varepsilon \geq 2,3 \cdot 10^{-5} \end{cases}$	0,87

Трансформированная диаграмма для растянутой зоны при изгибе получена следующим образом: до узловой точки $(\varepsilon_{rt}, \sigma_{rt})$ берутся уравнения диаграммы, полученной при осевом растяжении, т.е. уравнения эталонной диаграммы. Уравнение нисходящей ветви определялось по данным испытаний балок на изгиб методом наименьших квадратов при выполнении следующих условий:

$$\begin{cases} a_{12}(\varepsilon_{rt})^2 + b_{12}\varepsilon_{rt} + c_{12} = \sigma_{rt}, \\ 2a_{12}\varepsilon_{rt} + b_{12} = 0. \end{cases}$$

Таким образом, коэффициенты a_{12} , b_{12} , c_{12} равны:

$$a_{12} = \frac{\sum (\sigma_i - \sigma_{rt}) \cdot (\varepsilon_i - \varepsilon_{rt})^2}{\sum (\varepsilon_i - \varepsilon_{rt})^4}, \quad b_{12} = -2a_{12}\varepsilon_{rt}, \quad c_{12} = \sigma_{rt} + a_{12}\varepsilon_{rt}^2,$$

а аппроксимация трансформированной диаграммы имеет вид:

$$\sigma = \begin{cases} E_b^* \varepsilon, & \varepsilon < \varepsilon_y, \\ a\varepsilon^2 + b\varepsilon + c, & \varepsilon_y \leq \varepsilon < \varepsilon_{rt}, \\ a_{12}\varepsilon^2 + b_{12}\varepsilon + c_{12}, & \varepsilon_{rt} \leq \varepsilon < \varepsilon_{mt}. \end{cases}$$

Зная диаграммы деформирования бетона при растяжении и изгибе, можно определить коэффициент трансформации, соответствующий растянутой зоне в изгибаемых железобетонных элементах.

Для нахождения коэффициента трансформации перенесем систему координат в точку $(\varepsilon_{rt}, \sigma_{rt})$ — начало трансформации эталонной диаграммы. В этом случае уравнения диаграмм имеют вид:

$\sigma(\varepsilon) = a\varepsilon^2$ — уравнение эталонной диаграммы;

$\sigma^u(\varepsilon) = a^u\varepsilon^2$ — уравнение трансформированной диаграммы.

Проведем прямую $y = kx$ через новое начало координат точку $(0; 0)$ и найдем координаты точек пересечения с графиками диаграмм (рис. 4): координаты пересечения с эталонной диаграммой $x = \frac{k}{a}$, координаты пе-

ресечения с трансформированной диаграммой $x^u = \frac{k}{a^u}$. Отсюда коэффициент трансформации растянутой зоны при изгибе равен $k_t = \frac{x^u}{x} = \frac{a}{a^u}$.

Как видно из этого выражения, коэффициент трансформации не зависит от углового коэффициента прямой.

Уравнение зависимости $\sigma - \varepsilon$ при изгибе с учетом эталонной диаграммы, полученной при осевом растяжении, имеет вид:

$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} 29279,145\varepsilon, & \varepsilon \leq 2,3 \cdot 10^{-5}, \\ -705399767,1\varepsilon^2 + 61727,53\varepsilon - 0,373, & 2,3 \cdot 10^{-5} < \varepsilon \leq 4,38 \cdot 10^{-5}, \\ -3,13 \cdot 10^8 \varepsilon^2 + 27400\varepsilon + 0,376, & \varepsilon > 4,38 \cdot 10^{-5}. \end{cases}$$

Множественный коэффициент детерминации R в этом случае равен $R = 0,95$.

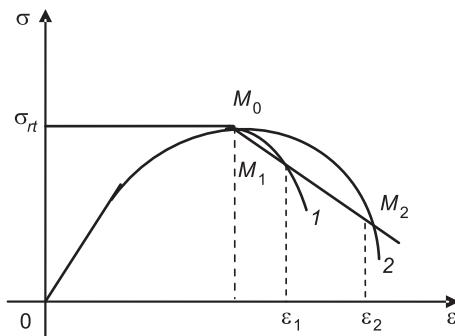


Рис. 4. Схема трансформирования диаграммы бетона

1 — осевое сжатие; 2 — изгиб

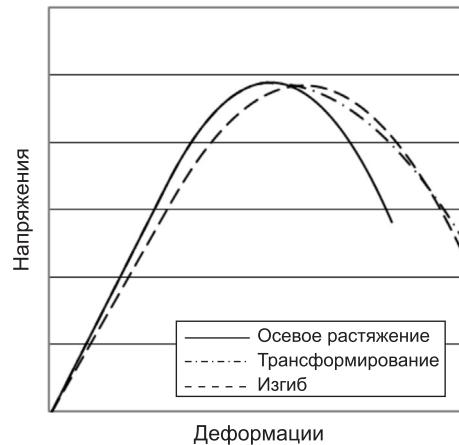


Рис. 5. Диаграммы деформирования бетона при осевом растяжении и изгибе

На рис. 5 изображены графики линий регрессии по данным испытаний восьмерок на растяжение, балок на изгиб и график для растянутой зоны бетонной балки с учетом диаграммы, полученной при осевом растяжении.

По полученной эталонной и трансформированной диаграммам был определен экспериментальный коэффициент трансформации, как описано выше. Значение коэффициента $k_t = 2,25$. Отношение предельных деформаций при растяжении и изгибе в эксперименте $\frac{\varepsilon_{mt}^u}{\varepsilon_{mt}} = 1,20$.

Сравнение экспериментальных результатов с теоретическими [2] показывает расхождение между теоретическим коэффициентом трансформации и экспериментальным 6 %, а расхождение теоретического отношения $\frac{\varepsilon_{mt}^u}{\varepsilon_{mt}}$ с экспериментальным 19 % (табл. 2).

Таблица 2
Сравнение экспериментальных и теоретических значений некоторых параметров

Параметр	Теоретическое значение параметра θ	Экспериментальное значение параметра θ^*	Расхождение, $\frac{\theta^*}{\theta}$
k_t	2,396	2,25	0,94
$\varepsilon_{mt} \cdot 10^5$	6,8	6,8	1
$\varepsilon_{mt}^u \cdot 10^5$	10,15	8,15	0,8
$\frac{\varepsilon_{mt}^u}{\varepsilon_{mt}}$	1,493	1,20	0,81

Выводы. 1. Коэффициент трансформации для бетона класса В20 может быть принят равным $k_t \approx 2,4$;

2. Предлагаемый способ трансформирования эталонных диаграмм достаточно хорошо описывает изменение характеристик бетона при изгибе и может быть использован при расчете изгибаемых бетонных и железобетонных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергуничева, Е.М. Экспериментальное исследование прочностных характеристик железобетонных элементов при растяжении и изгибе [Текст] / Е.М. Сергуничева, Н.В. Ершова, Э.В. Березина // Труды НГАСУ. — Новосибирск, 2006. — Т. 9, № 3 (37). — С. 10–15.
2. Адищев, В.В. Определение коэффициента трансформации эталонной диаграммы деформирования бетона растянутой зоны при изгибе в стадии предразрушения [Текст] / В.В. Адищев, В.М. Митасов, Э.В. Березина, Е.М. Сергуничева, Н.В. Ершова // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 1. — С. 85–91.

АДИЩЕВ В.В., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

БЕРЕЗИНА Э.В., доц.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

ЕРШОВА Н.В., ст. препод.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено после доработки 26.08.11

Adishchev V.V., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Berezina E.V., assistant professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Ershova N.V., senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

EXPERIMENTAL APPROBATION FOR THE METHOD OF THE TRANSFORMATION OF THE REFERENCE DIAGRAM OF CONCRETE DEFORMATION AT A BEND

The different ways of charting the deformation of concrete under axial tension based on experimental data has been investigated. The most adequate form of the approximating dependence of the reference diagrams of concrete was detected. A method for determining the transformation coefficient of the stretched areas based of experimental data has been suggested.

Key words: reference chart, transformation coefficient, bend reinforced concrete elements.

REFERENCES

1. Sergunicheva, E.M. Experimental investigation of bond performance of elements made of reinforced concrete at a bend and tension [Text] / E.M. Sergunicheva, N.V. Ershova, E.V. Berezhina // Works NSUACE. — Novosibirsk, 2006. — Vol. 9, N 3 (37). — P. 10–15.
2. Adishchev, V.V. Determination of the transformation of the reference strain diagram of concrete stretched area at a bend in the prefraction stage [Text] / V.V. Adishchev, V.M. Mitasov, E.V. Berezhina, E.M. Sergunicheva, N.V. Ershova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 1. — P. 85–91.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ, ИЗОБРЕТАТЕЛЬ, ПЕДАГОГ (К 75-летию Владимира Александровича Воробьева)

Владимир Александрович Воробьев родился 23 июля 1936 г. в пос. Шира Красноярского края. В 1954 г. поступил на физико-технический факультет Томского политехнического университета. После окончания вуза занимался научно-педагогической деятельностью в ТПУ, а затем в Самарском государственном архитектурно-строительном университете и Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете.

Основные направления его научной деятельности — автоматизация технологических процессов и производств и компьютерное материаловедение композитов в строительстве. Им разработана методология создания АСУ технологическими процессами строительства с соответствующим информационным обеспечением с использованием САПР, что реализовано во многих конкретных проектах, изложено в 28 книгах. Разработана теория и методология компьютерного моделирования, исследования и проектирования композитов различных структурных и структурно зависимых свойств, что изложено в 7 монографиях.

По итогам и результатам выполненных научных исследований и работ опубликовано 46 монографий, более 500 статей, получено 137 свидетельств на изобретения, подготовлено 19 докторов и 136 кандидатов технических наук. Владимир Александрович член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники, заслуженный изобретатель, почетный работник высшей школы РФ, почетный работник «Роснефтегазстроя», европейский доктор техники, награжден медалью РААСН, избран почетным профессором и почетным доктором трех технических университетов, отмечен почетным знаком «За заслуги» трех технических университетов, имеет государственные, ведомственные и юбилейные награды — медали, медали ВДНХ, является членом 6 различных общественных академий, многократно по приглашению участвовал в научно-педагогической деятельности технических университетов Европы и стран СНГ, председатель докторского диссертационного совета, член еще двух диссертационных советов, был 18 лет членом экспертного совета ВАК по строительству и архитектуре.



КОЛЛЕГИ, ДРУЗЬЯ, УЧЕНИКИ ПОЗДРАВЛЯЮТ ВЛАДИМИРА
АЛЕКСАНДРОВИЧА С ЮБИЛЕЕМ! ЖЕЛАЮТ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ
И ДАЛЬНЕЙШИХ ТВОРЧЕСКИХ УСПЕХОВ

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА, ЧЛЕНОМ РЕДКОЛЛЕГИИ КОТОРОГО
В.А. ВОРОБЬЕВ ЯВЛЯЕТСЯ, ПРИСОЕДИНЯЕТСЯ К ПОЗДРАВЛЕНИЯМ
И ЖЕЛАЕТ ЮБИЛЯРУ БЛАГОПОЛУЧИЯ И УСПЕХОВ



ТАЛАНТЛИВЫЙ УЧЕНЫЙ-МЕХАНИК, ИЗОБРЕТАТЕЛЬ, ПЕДАГОГ (К 75-летию Эдуарда Александровича Абраменкова)

Эдуард Александрович Абраменков — заслуженный изобретатель России, заслуженный работник высшей школы РФ, ветеран труда, доктор технических наук, действительный член (академик) Международной академии наук высшей школы, профессор кафедры «Строительные машины, автоматика и электротехника» Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). В 1963 г. после окончания Новосибирского инженерно-строительного института он оставлен на кафедре «Строительные машины», где работал ассистентом, старшим преподавателем, доцентом и затем с 1985 по 2005 г. заведующим кафедрой.

Научно-педагогическая деятельность Эдуарда Александровича с 1974 г. и по настоящее время сосредоточена на дальнейшем развитии теории дроссельных пневматических машин ударного действия. За этот период состоялось становление самостоятельного научно-технического и учебно-методического направления в развитии данного класса машин, которое было признано ведущими учебными и научными институтами, а также отечественными заводами-производителями пневматических ручных машин ударного действия. С 1993 г. Эдуард Александрович является руководителем научного направления «Современные проблемы технологии, организации, механизации и автоматизации строительства» и научно-педагогической школы «Пневматические механизмы и машины ударного действия» в НГАСУ (Сибстрин).

Основные научные работы Э.А. Абраменкова посвящены пневматическим механизмам и машинам ударного действия (классификация, поисковые исследования, динамика, термо- и бародинамика, устойчивость, надежность, рабочие циклы дроссельных пневматических механизмов, создание типоразмерного ряда ручных машин), им разработана баромеханическая теория дроссельных пневмоударных механизмов, а также методология и классификация признаков пневмоударных механизмов и машин на их основе.

Отдельные работы посвящены вибрационным и шумовым характеристикам, работоспособности и резервированию средств впуска в пневмо-

ударных механизмах; элементам теории подобия дроссельных пневмоударных механизмов, диагностике зависимостей энергетических и геометрических параметров механизма.

Представители возглавляемой юбиляром школы участвуют в различных республиканских и региональных программах по разработке и внедрению новых ресурсосберегающих технологий и средств механизации в строительном комплексе и других отраслях промышленности России и Казахстана.

Результаты научных исследований позволили впервые:

— разработать классификационные признаки, ввести их в классификацию и дать определения новым классам пневмоударных механизмов с дроссельным, струйным, беззолотниковым и бесклапанным воздухораспределением;

— разработать баро- и термодинамическую теорию дроссельной пневмоударной машины.

Э.А. Абраменковым лично и в соавторстве опубликовано 600 научных и учебно-методических работ, среди которых

— 8 научных изданий-монографий: «Пневматические механизмы машин ударного действия»; «Средства механизации для подготовки оснований и устройства фундаментов»; «Физико-математические модели и расчет пневматических механизмов машин ударного действия» (в 3-х т.); «Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия»; «Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов»; «Грунтовые среды в условиях статического и динамического нагружения» — общим объемом 163,7 печ. л.;

— опубликовано 370 статей в научных изданиях («Изв. вузов. Строительство», «Труды НГАСУ», «Актуальные проблемы современности» (Казахстан));

Э.А. Абраменковым получено более 230 авторских свидетельств и патентов РФ, из них 30 со студентами, магистрантами, аспирантами; 10 патентов: Великобритании (2), США, Германии, Франции (2), Японии, Италии, Канады и Швеции.

По результатам педагогической, учебно-методической работы в соавторстве опубликованы:

— 3 учебника: «Методология научного творчества», «Средства механизации строительства и реставрации сооружений и зданий»; «Строительные машины и оборудование в фундаментостроении»;

— более 10 учебных пособий и методических указаний к лабораторным работам, 3 электронных учебника.

Им подготовлено 3 доктора технических наук, 11 кандидатов наук, 8 магистров техники и технологии строительства.

За время трудовой деятельности Эдуард Александрович удостоен почетных званий «Заслуженный изобретатель РСФСР» и «Заслуженный работник высшей школы», награжден медалью «Ветеран труда», знаком «Высшая школа. За отличные успехи в работе», двумя серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР.

Э.А. Абраменков полон творческих планов учебного и научного направлений, продолжает работать на кафедре, читает лекции, руководит дипломным проектированием, разрабатывает новые курсы подготовки магистров, руководит аспирантами.

*КОЛЛЕГИ, УЧЕНИКИ, ДРУЗЬЯ ЖЕЛАЮТ ЮБИЛЯРУ
КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ, СЧАСТЬЯ, УСПЕХОВ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ*

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА ПРИСОЕДИНЯЕТСЯ К ПОЗДРАВЛЕНИЯМ И ЖЕЛАЕТ ЕМУ ТВОРЧЕСКОГО ДОЛГОЛЕТИЯ

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА

В НГАСУ (Сибстрин), на кафедре железобетонных конструкций, разработан и реализован на практике сталежелезобетонный сборно-монолитный безригельный каркас для строительства многоэтажных зданий с пониженным расходом стали.



ПРЕИМУЩЕСТВА ТАКОГО КАРКАСА

- стены любой конструкции в сочетании с утеплителями;
- стоимость коробки ниже традиционной на 34–35%;
- нагрузка на фундамент снижается на 17–18%;
- нормативный срок строительства коробки сопоставим с монтажом КПД;
- свободная планировка внутренних помещений в пределах этажа.

Предложен шаг колонн 6×7,5 м (может быть переменным, с «плавающей» стойкой).

Схема позволяет решить проблему неравномерных температурных деформаций, тормозящих развитие каркасного строительства, и может быть реализована в любых сейсмических регионах.

По данным разработки схемы возводится 12-этажный дом (г. Новосибирск, ул. Урицкого, см. фото).

Ведутся дальнейшие исследования по усовершенствованию сборно-монолитного безригельного каркаса с применением предварительного напряжения.

Разработчики: В.М. МИТАСОВ, д-р техн. наук, проф.

В.М. ДОБРАЧЕВ, 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: (3832) 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 организациии. 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") или диске 3,5". Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr 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 (вставлять 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 *l* (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 и их обозначения, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052–78 (СН 528–80).

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**

№ 8–9 (632–633) 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*