

**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ**



СТРОИТЕЛЬСТВО

**4
2007**

ББК 38
И 33
УДК 69

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Научное издание

Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 4 (580) 2007

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *Н. Г. Павлова, С. М. Погудина*
Технический редактор *Н. М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р. Г. Усова*
Корректор *В. В. Борисова*

Подписано в печать с оригинал-макета 03.04.07. Формат 70×108 1/16. Бумага типографская № 2.
Гарнитура Антиква. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,8+0,175+0,35. Уч.-изд. л. 10,9. Тираж 400 экз.
Заказ № 3229. Цена 80 р.

Адрес редакции: 630008, г. Новосибирск, 8, Ленинградская, 113,
тел./факс (8-383) 266-28-59; e-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

ОАО «Новосибирский полиграфкомбинат», 630007, г. Новосибирск, 7, Красный проспект, 22,
телефон 223-64-47.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

АССОЦИАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (580)

Март 2007 г.

Издается с марта 1958 г.

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Пятница А. И., Мурашкин Г. В. К вопросу о повышении качества диагностики состояния строительных объектов	4
Беккер В. А., Нарушевич А. Н. Теоретическая оценка влияния некоторых дефектов платформенных стыков на несущую систему панельного здания	9
Пуртов В. В., Павлик А. В. Деревянные конструкции с соединениями на металлических пластинах и дюбелях	13
Инжутов И. С., Дериглазов О. Ю. Ребристо-кольцевой купол со сборно-разборными узлами. Сообщение 1	20
Иванов В. В., Бутенко А. Н., Карасева Л. В. Тепловые режимы неоднородных ограждающих конструкций	24

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Потапов А. Н., Артемьева Л. М. Вынужденные колебания конечномерной системы с упруговязким сопротивлением при импульсном воздействии	27
Гуреева Н. А. Восьмиузловой объемный конечный элемент оболочки вращения с неизвестными напряжениями и перемещениями в узлах	33

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Павленко В. И., Воронов Д. В., Ястребинский Р. Н. Радиационно-защитный тяжелый бетон на основе железорудного минерального сырья	40
Селяев В. П., Низина Т. А., Ланкина Ю. А. Фрактальный анализ структуры наполненных полимерных композитов	43
Зырянова В. Н., Бердов Г. И., Верещагин В. И., Эрдман С. В. Композиционные магнезиально-диопсидовые вяжущие материалы из механически активированных диопсидов	48
Баталин Б. С., Газетдинов Д. Р. Неорганическое связующее для изделий на основе базальтового волокна	52
Абдрахимов А. В., Абдрахимова Е. С., Вдовина Е. В., Абдрахимов В. З. К вопросу о термической стойкости глазурованного керамического материала и исследование ИК-спектроскопическим методом механизма формирования легкоплавкой глазури	55

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Романова А. И., Каримов М. А. Расчет управляемой эластичности предприятия	59
---	----

Издатель НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (Сибстрин), 2007

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Полушкин В. И., Гримитлина М. А. Системы местной приточно-вытяжной вентиляции	66
Шацкий В. П., Гулевский В. А., Гулевский А. А. К вопросу о холодопроизводительности водоохладителей	72
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Сапрыкина Н. С. Эволюция архитектуры клубных зданий Ярославля (середина 1950-х — 1960-е гг.)	75
Попова З. В. Строительство современных православных храмов в городах Северного Казахстана	82
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Волков В. Д., Полуказаков А. В. Энергетические характеристики трехфазного выпрямителя при питании от автономного инвертора напряжения	86
Каргаполов В. Д. Влияние нагрева медного термометра сопротивления на точность измерения температуры	91
Немчин Н. П., Кондраков С. В. Определение области изменения значений управляемых параметров при контролируемом отступлении от первоначального проекта материала	95
Слабожанин Г. Д. Золотая пропорция — геометрическая константа истечения жидкостей	99
Салов А. Н., Клишин И. В., Обращев И. А. Планирование выхода негабарита при буровзрывном разрушении прочных грунтов	105
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Михайлова Н. С. Экспериментальные исследования железобетонных балок без трещин и с заранее намеченной трещиной	110

CONTENTS

BUILDING STRUCTURES

Pyatnitsa A. I., Murashkin C. V. Towards the Problem of Diagnostics Quality Improvement for Building Object Condition	4
Bekker V. A., Narushevich A. N. Theoretical Estimation of the Influence of Some Platform Joints Defect on the Carrying System of a Panel Building	9
Purtov V. V., Pavlik A. V. Wood Construction with Joints on Metal Plates and Expansion Bolts	13
Inzhutov I. S., Deriglazov O. Yu. Ribbed-Ring Dome with Collapsible Joints	20
Ivanov V. V., Butenko A. N., Karaseva L. V. Heat Conditions of Heterogeneous Enclosing Structure	24

THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

Potapov A. N., Artemiyeva L. M. Forced Vibrations of Finite-Dimension System with Elastic-Viscous Resistance under Impuls Action	27
Gureyeva N. A. The Eightnode Volume Finite Element of Rotating Shell with Unknown Stress and Displacement in the Nodes	33

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Pavlenko V. I., Voronov D. V., Yastrebinsky R. N. Radiation Protective Heavy Concrete on the Basis of Iron-Ore Mineral Raw Materials	40
Selyayev V. P., Nizina T. A., Lankina Yu. A. Fractal Analysis of Filled Polymer Composites Structure	43
Zyryanova V. N., Berdov G. I., Vereshchagin V. I., Erdman S. V. Composite Magnesial-Diopside Binding Materials out of Mechanically Activated Diopsides	48
Batalin B. S., Gazetdinov D. P. Nonorganic Binders for Products Based on Basalt Fibre	52
Abdrakhimov A. V., Abdrakhimova E. S., Vdovina E. V., Abdrakhimov V. Z. Towards the Problem of Thermal Durability of Glazed Ceramic Material and Investigation by the IR-Spectroscopical Method of the Mechanism to form Low-Melting Glaze	55

ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY	
Romanova A. I., Karimov M. A. Account of Enterprise's Management Elasticity	59
SANITARY ENGINEERING	
Polushkin V. I., Grimitina M. A. The Systems of Local Plenum-Exhaust Ventilation	66
Shatsky V. P., Gulevsky V. A., Gulevsky A. A. Towards the Problem of Cold Making of Water Evaporating Coolers	72
SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY	
Saprykina N. S. Yaroslavl Clubs Architecture Evolution	75
Popova Z. V. Construction of Modern Orthodox Temples in the North Kazakhstan Cities	82
SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION	
Volkov V. D., Polukazakov A. V. Power Characteristics of the Three-Phase Rectifier Feeding from an Independent Voltage Inverter	86
Kargapolov V. D. The Influence of a Cupreous Resistance Thermometer on the Accuracy of Thermometry	91
Nemchin N. P., Kondrakov S. V. Controlled Parameters Change Determination during Limited Deviation from First Material's Project	95
Slabozhanin G. D. Golden Proportion — a Geometric Constant of Liquids Outflow	99
Salov A. N., Klishin I. V., Obrashchev I. A. Planning of nongabarite Outlet under Boring-Explosive Destruction of Leaking Soil	105
IN HIGH SCHOOL LABS	
Mikhailova N. S. Experimental Investigation of Reinforced Concrete Beams without Cracks and with Previously Intended Crack	110

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

Журнал «Известия вузов. Строительство» включен в новый «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», утвержденный Президиумом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации и введенный в действие с 01 января 2007 г. (см. Бюллетень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, № 1, 2007 г.).

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 69.05 : 658.562

А. И. ПЯТНИЦА, инж., Г. В. МУРАШКИН, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
(Самарский государственный архитектурно-строительный университет)

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Материалы, представленные в статье, являются результатом анализа работы по организации диагностических работ сооружений эксплуатируемых и вновь построенных. Исследования направлены на повышение качества диагностики состояния строительных объектов путем большего использования профессионального потенциала вузовских ученых и возможностей вузов. Предлагается методика прогнозирования свойств конструкции, учитывающая первоначальный набор прочности бетоном и деградационное влияние окружающей среды.

С началом перестройки произошло разукрупнение строительного комплекса. Единая, хотя громоздкая и неповоротливая технологическая цепочка, объединяющая проектные институты, домостроительные комбинаты, строительные тресты, была нарушена. Рыночные отношения привели к появлению обособленных мелких застройщиков. Относительно крупные строительные организации (150–250 тыс. м² жилья в год) при поддержке правительства и местной администрации смогли остаться только в Москве, Санкт-Петербурге и некоторых крупных городах. Процесс увеличения доли ввода жилья организациями частной формы собственности по сравнению с долей государственного строительства продолжается и в настоящее время. При этом резко возросли объемы применения монолитного железобетона и сократилось применение сборного, качество которого гарантировалось заводским производством с обязательным заводским контролем. Строительство, осуществляемое мелкими частными фирмами, особенно с использованием монолитного железобетона вместо сборного, привело к увеличению объемов работ по диагностике состояния строящихся сооружений. Способствовала резкому увеличению объемов диагностических работ и необходимость реконструирования жилых, общественных зданий и производственных предприятий в связи с конверсией.

Одной из задач строительной науки в настоящее время является достижение условия максимальной замены «нового строительства» реконструкцией зданий и сооружений [1]. Выполнение этой задачи не представляется возможным без диагностики состояния эксплуатируемого сооружения. Диагностика строительного объекта предполагает целый комплекс исследований по выявлению фактического состояния сооружения, прочностных и деформативных свойств материалов конструкций и грунта в основании. Причем эксперты должны дать ответ не только на вопрос о состоянии объекта на данный момент времени, но и сделать прогноз его работоспособности на краткосрочную и долгосрочную перспективу, а также при необходимости дать направление восстановления конструкций или разработать способы их усиления.

Вопрос усложняется тем, что, в отличие от проектирования нового сооружения, в данном случае приходится работать с материалом, в большинстве случаев нестандартным, имеющим те или иные дефекты.

При диагностике железобетонных конструкций возникает целый ряд проблемных вопросов, решение которых зависит от опыта и профессионализма состава экспертной бригады.

Первая проблема заключается в определении степени коррозии арматуры, так как приборного оснащения для определения изменения площади сечения стали без вскрытия защитного слоя практически не существует. Невозможность наблюдать при эксплуатации сооружения за этим явлением приводит к наиболее частой причине аварий или аварийного состояния сооружения. Только профессионализм эксперта позволяет определить наиболее уязвимые и опасные участки и отказаться от сплошного вскрытия защитного слоя.

Вторая проблема состоит в необходимости выявления фактических деградационных процессов, происходящих в бетоне с конструкциями в период эксплуатации. Установление скорости снижения прочности бетона в результате длительной эксплуатации объекта связано с необходимостью определения как начальной прочности бетона, так и возможным набором прочности бетона в течение 2–3 лет, когда деградационные процессы еще не стали определяющими.

Например, по данным [2] бетон в конструкции имел прочность на 28-й день, удовлетворяющую проектному требованию, — $R_{28} \approx 30$ МПа. Через 35 лет эксперты установили, что прочность бетона в эксплуатирующей конструкции, соприкасающейся с агрессивным компонентом внешней среды, оказалась не меньше 30 МПа. Могло сложиться впечатление, что конструкция и далее может работать без каких-либо ограничений. Такое заключение представляется ошибочным, так как не учитывает известную возможность набора бетоном прочности при нормальных условиях эксплуатации в течение нескольких лет со дня изготовления. Исследуя конструкции, изготовленные из того же бетона, но не соприкасающиеся с агрессивной средой, эксперты установили, что их прочность повысилась на 30% по сравнению с 28-дневной — R_{28} . В этом случае уместно использовать уравнение упрочнения бетона для данных условий в следующем виде:

$$K(t) = c + b \cdot \frac{e^t - e^{-t}}{e^t + e^{-t}}, \quad (1)$$

где $K(t)$ — коэффициент упрочнения бетона;

c, b — константы для данного бетона;

t — время в годах;

e — основание натурального логарифма.

Очевидно, что $K(0,077) = 1$, т.е. на 28-е сутки твердения. В то же время через 35 лет эксплуатации $K(35) = 1,3$.

Используя эти условия, получаем два уравнения, решая которые находим $c = 0,975$ и $b = 0,325$.

Выражение (1) удобно тем, что отражает набор прочности лишь за 2–3 года. В дальнейшем кривая асимптотически приближается к горизонтальной линии более активно, чем существующие предложения для нормальных условий работы железобетонных конструкций. В данном примере рост прочностных свойств бетона прекратился в результате воздействия агрессивной среды.

С учетом (1) прочность бетона за t лет получит значение

$$R_1(t) = R_{28} \cdot K(t). \quad (2)$$

В графической форме процесс изменения прочности бетона, исследуемого в [2] без учета агрессивной среды, будет иметь вид, изображенный на рис. 1.

Деградационные функции, как правило, носят вогнутый характер. Поэтому в запас прогнозирования на краткосрочный период можно при-

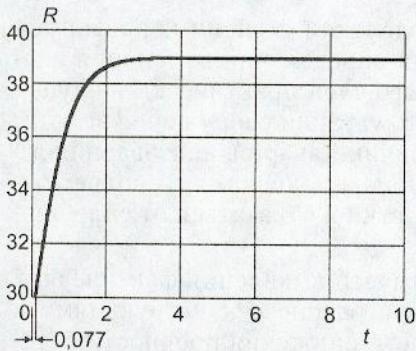


Рис. 1. Изменение прочности бетона $R1(t)$ во времени — t при условиях эксплуатации с ограничением роста прочности условиями эксплуатации

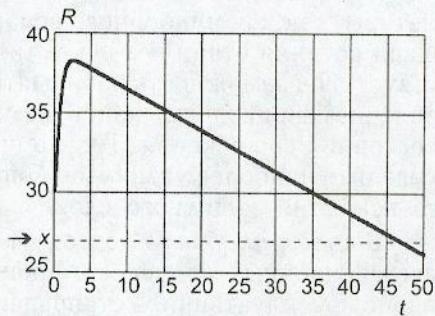


Рис. 2. Изменение прочности бетона $R3(t)$ во времени — t при воздействии агрессивной среды

нять, что снижение прочности бетона в течение 35 лет происходило по линейному закону

$$R2(t) = R1(t) \cdot D1(t), \quad (3)$$

где $R2(t)$ — прочность бетона с учетом деградации в агрессивной среде; $D1(t)$ — коэффициент снижения прочности бетона.

При линейном законе деградации

$$D1(t) = 1,0005 - 0,066 \cdot t. \quad (4)$$

Константы в уравнении (4) определены из условия, что в начальный период $D1(0,077) = 1$ (на 28-й день), а к 35-летнему сроку $D1(35) = 0,77$ ($39/30$). Учитывая это, выражение (3) будет иметь вид, изображенный на рис. 2.

Так как нормальная эксплуатация сооружения, как установили эксперты, возможна до достижения бетоном прочности 27 МПа, то она может продолжаться, судя по графику рис. 2, не более 12 лет.

Подобные сооружения проходят полное освидетельствование каждые 5 лет. Это дает возможность оценить принятую линейную схему деградационного процесса и уточнить принятый прогноз. Предложенная методика позволяет частично решить проблему прогнозирования работоспособности сооружений.

Совершенно очевидно, что только организации, обладающие широким спектром необходимого оборудования и высокопрофессиональных экспертов, способны дать верную оценку состояния сооружения и сделать рекомендации по его безопасной дальнейшей эксплуатации. Таким уровнем специалистов обладали и обладают специально созданные в СССР научные центры: Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК, г. Москва), Всесоюзный научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ, г. Москва) и большинство ведущих строительных вузов. В этих государственных организациях осуществлялись не только сами диагностические работы, постоянно проводились исследования по совершенствованию диагностических работ, но и велась подготовка высококвалифицированных специалистов [3].

Однако, учитывая большой спрос данного вида работы, к диагностике состояния сооружений подключились многочисленные частные предприятия, не обладающие профессиональным потенциалом и необходимым оборудованием. Этому способствовало то, что ни в нормативных источниках, ни в научной литературе не приводятся достаточно жесткие требования к составу экспертных бригад, к минимальному оснащению лабо-

раторий приборной техникой, а тем более к оценке труда экспертных бригад. Пример тому то, что до 1991 г. в Самаре вопросами диагностики сооружений занимались не более десятка специализированных государственных предприятий, имеющих широкий спектр научных работников и оборудования (СГАСУ, Оргтехстрой, Промстройпроект и др.), а к 2000 г. число фирм, занимающихся вопросами диагностики сооружений, превысило 600. «Государство ушло от контроля строительного комплекса, расчитывая, что рынок все проконтролирует сам. Но нет у нас пока рыночных механизмов контроля». Это было сказано министром строительства и архитектуры Республики Татарстан М. Хуснулиным на совещании в Госстрое РФ и отражает практически положение дел не только в Татарстане, но и во всей РФ.

Следует заметить, что сохранившаяся служба архстройнадзора, рассчитанная на типовое строительство с отлаженным механизмом производства и заводского контроля, малочисленна для современных условий и не в состоянии проконтролировать множество индивидуальных новостроек, а тем более, вопросы диагностики реконструируемых объектов. Очевидно, что такое состояние контроля качества строительства и диагностических работ привело к увеличению аварий сооружений. В материалах Российской академии наук отмечается, что рост числа аварий и катастроф в стране происходит потому, что имеет место «....критический уровень износа оборудования, нарушения производственной и технологической дисциплины, ослабление роли государственных органов контроля и управления, а также недостаточный уровень правовой и экологической культуры» [4]. Очевидно, что вновь созданная правительенная структура Госстройнадзор будет способствовать исправлению создавшегося в строительном комплексе положения.

Для многих вузов диагностика состояния сооружений стала одним из источников внебюджетных средств и поддержания научного потенциала. В то же время многие вузы, всегда рассчитывающие на поддержку государства, не успели перестроиться и их предложения заказчику оказались недостаточно конкурентоспособными.

Причина этому заключается:

- в отсутствии соответствующих нормативов и стандартов диагностической деятельности;
- в недостаточной организованности работы в вузах в данном направлении;
- в некомпетентности заказчиков диагностических работ и непрофессионализме частных исполнителей, выполняющих работы по сниженным ценам;
- в недостаточном контакте вузовской науки со строительным комплексом региона, особенно с частным строительным сектором и замедленном освоении достижений вузовской науки;
- в невыработанной справедливой политике в отношении частных фирм, работающих с использованием потенциала вуза без соответствующей компенсации за использование имиджа, научного потенциала сотрудников, площадей и оборудования.

Вопрос о выработке единых нормативных документов по диагностике эксплуатируемых сооружений рассматривается в настоящее время в Академии архитектуры и строительных наук (РААСН), а также в Федеральном агентстве по строительству РФ (Госстрой РФ). «Сложившаяся система документов имеет серьезные недостатки» [5]. Для выработки единых нормативов РААСН приступила к разработке справочного пособия «Реконструкция зданий и сооружений больших городов». Пособие предназначено восполнить недостаток специальной учебной, методической и спра-

вочной литературы в указанной сфере. Ряд вузов РФ привлекается к названной работе.

Конкурентоспособность вузов может быть повышена в результате устранения бюрократических и протекционистских действий при заключении договоров, оставшихся в наследие от прошлых лет. Фундаментального снижения косвенных расходов можно добиться, если объединить ресурсы кафедр для научных работ, создав при вузе специальную научно-исследовательскую организацию, выполняющую работы без посредников, и снизить себестоимость договорных диагностических работ [6].

Другим аспектом повышения конкурентоспособности вузов является необходимость увеличения средств на переоснащение и модернизацию вузовских научно-исследовательских центров и лабораторий. Для этого необходима целевая финансовая поддержка как со стороны федеральных, так и региональных властей.

В строительных вузах РФ сохранился еще достаточный научный потенциал для профессионального выполнения диагностических работ. Строительные вузы, как правило, являются инициаторами новейших технологий и развития приоритетных направлений в области диагностики. Однако замедленность внедрения в практику научных разработок не способствует повышению качества работ. Подавляющая часть изобретений сотрудников вузов не внедряется, несмотря на то, что часть из них представляет существенный интерес для повышения качества диагностических работ. Так, например, предложенная в СГАСУ впервые в мировой практике методика определения послойной прочности бетона, необходимая для анализа сооружений после пожара или длительного воздействия агрессивной среды [7], до настоящего времени применяется лишь экспертами СГАСУ и до нормативного материала недостаточно отработана из-за отсутствия необходимых средств.

Поддержка вузовских работ с помощью правительственные грантов помогает внедрению необходимых новейших исключительных достижений. Однако более масштабная поддержка вузовской науки должна проходить на местах, но региональными органами она осуществляется недостаточно. Это, безусловно, снижает качество диагностических работ и не способствует повышению уровня диагностики сооружений, рекомендуемых к реконструкции.

Представляется, что при выполнении рассмотренных условий вузовская наука может стать более конкурентоспособной и даст возможность развиваться на материальной основе проведения диагностических работ на более высоком качественном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В. М. Элементы теории реконструкции железобетона / В. М. Бондаренко, А. В. Боровских, С. В. Марков, В. И. Римшин. — М.; Н. Новгород: ННГАСУ, 2002. — 190 с.
2. Мурашкин Г. В. Техническое состояние железобетонных резервуаров для нефти / Г. В. Мурашкин, В. В. Власов, К. И. Гимадетдинов, Д. А. Семашкин // Трубопроводный транспорт нефти. — 2000. — № 9.
3. Теличенко В. И. Техническое регулирование безопасности и качества в строительстве / В. И. Теличенко, М. Ю. Слесарев, В. И. Колчунов и др. — М.: АСВ, 2003. — 499 с.
4. Клюев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др.; Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 2003. — 656 с.
5. Евдокименко А. С. Проблемное поле формирования дополнительных затрат на качество строительной продукции / А. С. Евдокименко, Л. В. Заруева // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 9. — С. 44-48.
6. Мурашкин Г. В. К вопросу о проблеме нормирования затрат при диагностике строительных объектов / Г. В. Мурашкин, О. В. Дицковская, А. И. Пятница // Р-

- сурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе: Тр. годичного собрания РААСН.— М.; Казань, 2003.
7. Пат. РФ № 2179722. Способ анализа структуры и прочности бетона в процессе взятия проб из бетонных конструкций методом бурения/В. О. Кричке, Г. В. Мурашкин, Ю. Б. Волков, Д. В. Горяинов.— Опубл. 20.02.2002 в БИ № 5.

© Пятница А. И., Мурашкин Г. В., 2007

Получено после доработки 26.12.06

УДК 624.012.41

В. А. БЕККЕР, канд. техн. наук, доц., А. Н. НАРУШЕВИЧ, асп. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ДЕФЕКТОВ ПЛАТФОРМЕННЫХ СТЫКОВ НА НЕСУЩУЮ СИСТЕМУ ПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ

Проведена расчетная оценка возможного перераспределения усилий с дефектных стыков в пространственной системе панельного здания.

При решении задач реконструкции панельных жилых зданий, а также оценки их остаточной несущей способности необходим учет совместной работы всех несущих конструкций с различными дефектами и повреждениями в пространственной системе здания.

Анализ результатов обследования панельных зданий показал, что самые проблемные участки здания — платформенные стыки наружных и внутренних стен, значительная часть которых выполнена некачественно: имеются большие участки, не заполненные раствором, неравномерная укладка раствора, утолщенные швы, низкая прочность раствора. Дефекты платформенных стыков неизбежно приводят к перераспределению усилий как по его длине, так и на соседние несущие системы здания с изменением их напряженного состояния. При этом существующие расчетные методы не позволяют оценить влияние на прочность и жесткость здания дефектов стыков в связи с их отклонениями от проектных параметров, превышающими расчетный диапазон. Необходимо разработать специальные методы расчета, учитывающие дефекты и повреждения, а также совместную пространственную работу несущих конструкций панельных зданий, в том числе основанных и на экспериментальных методах. Без разработки таких методов решение практических задач по реконструкции панельных зданий, связанных, как правило, с увеличением напряжения в существующих платформенных стыках, затруднительно.

Для определения влияния на работу дефектных стыков пространственной работы панельного здания была проведена расчетная оценка возможного перераспределения усилий. В качестве исследуемого здания принята одна секция девятиэтажного панельного жилого дома, построенного по серии 97, разработанной СибЗНИЭП.

Конструктивная схема дома выполнена с продольными и поперечными наружными и внутренними несущими стенами. Внутренние продольные и поперечные (диафрагменные) стены из тяжелого бетона класса В15 толщиной 160 мм. Шаг поперечных стен 3 и 4,5 м по осям. По вертикали в пределах каждого перекрытия организуется платформенный стык. Толщина плит перекрытий различных типов 160 мм из тяжелого бетона класса В20.

Расчетная схема построена в виде конечноэлементной пространственной модели в привязке к ее реализации в программном комплексе «Structure CAD» (SCAD). Общий вид расчетной модели приведен на рис. 1.

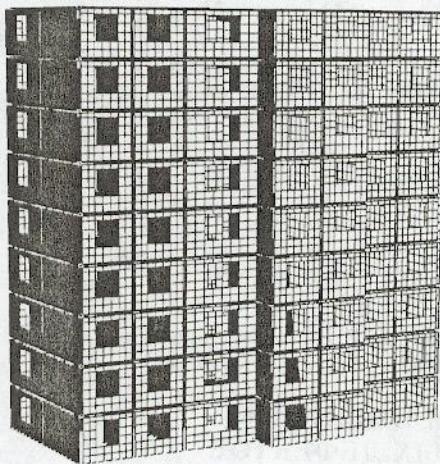


Рис. 1. Общий вид расчетной модели панельного здания

Конструкции стеновых панелей и панелей перекрытий смоделированы с применением четырехугольных пластинчатых конечных элементов (КЭ № 44 — «плоские оболочки», № 50 — высокоточные элементы

«плоские оболочки до 8 узлов» в библиотеке SCAD-a). Элементы позволяют получать оценки как компонентов плоского напряженно-деформированного состояния (сжатие-растяжение в плоскости) вместе с ортогональными к плоскости составляющими, так и компонентов изгибных напряжений-деформаций по двум осям с учетом толщин элементов (т.е. по внутренней, срединной (мембранный) и наружной плоскостям элемента). Разбивка расчетной схемы на конечные элементы 50×50 см. В качестве нагрузки, прикладываемой к расчетной схеме, принят собственный вес конструкций и времененная полезная нагрузка на междуэтажные перекрытия.

Отличительной особенностью моделирования панельных зданий является наличие стыков. Нами предложена расчетная модель платформенного стыка, представленная на рис. 2.

В такой расчетной модели стеновые панели и панели перекрытий соединяются между собой посредством упругих связей. Так, связи 1, 2 моделируют верхний горизонтальный растворный шов стыка; 3, 4 — соответственно нижний; 5 — упругая связь, моделирующая наличие качественно устроенного вертикального растворного шва. Значение жесткости каждой упругой связи будет эквивалентно жесткости соответствующего участка стыка. Согласно [1] для платформенного горизонтального стыка, в котором сжимающая нагрузка передается через опорные участки плит перекрытий и два растворных шва, уложенные между плитами перекрытий и соединяемыми элементами, коэффициент податливости при сжатии $\lambda_{c,pl}$ определяется по формуле

$$\lambda_{c,pl} = (\lambda'_m + \lambda''_m + h_{pl} / E_{pl}) \cdot A / A_{pl}, \quad (1)$$

где λ'_m , λ''_m — коэффициенты податливости при сжатии соответственно верхнего и нижнего растворных швов;

h_{pl} — высота (толщина) опорной части плиты перекрытия;

E_{pl} — начальный модуль упругости бетона опорной части плит перекрытий;

A_{pl} — площадь платформенных участков стыка, через которые передается сжимающее усилие.

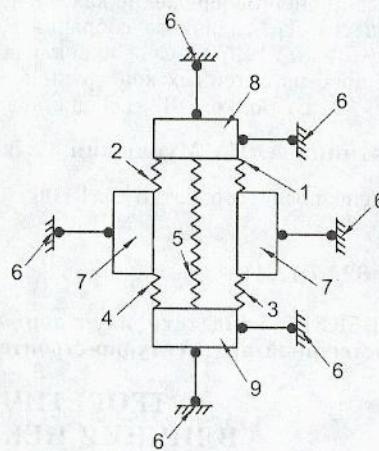


Рис. 2. Расчетная модель платформенного стыка

1—4 — упругие связи, моделирующие верхний и нижний горизонтальные швы стыка; 5 — упругая связь, моделирующая вертикальный растворный шов; 6 — связи, препятствующие перемещению элементов стыка; 7 — панели перекрытия; 8 — стендовая панель вышележащего этажа; 9 — стендовая панель нижележащего этажа

В принятой расчетной моделистыка верхний и нижний горизонтальные растворные швы разделены, следовательно, податливость каждой связи будем определять по формуле

$$\lambda_i = (\lambda'_m + h_{pl} / 2 \cdot E_{pl}) \cdot A / A_{pl}. \quad (2)$$

Анализ вопроса по опубликованной научно-технической литературе показывает: податливость растворного стыка зависит от прочности раствора, подвижности и состава смеси, толщины растворного шва, вида материалов стыкуемых элементов, метода монтажа (на маяках-прокладках или без них), уровня напряжений в стыке. Значения коэффициентов податливости горизонтальных растворных швов по данным различных авторов [2, 3] и др. отличаются значительно. Было принято решение воспользоваться коэффициентами податливости, приведенными в [4].

Жесткость упругой связи определялась следующим образом:

$$Z_i = A_{pl_i} \cdot (h_m + h_{pl} / 2) / \lambda_i. \quad (3)$$

Сдвиговую жесткость по длине горизонтального стыка в направлении осей X, Y примем равной сдвиговой жесткости раствора. Для каждой связи она будет определяться по формуле

$$X_i = Y_i = G \cdot A_{pl_i}, \quad (4)$$

где G — модуль сдвига раствора, определяемый по формуле

$$G = 0,4 \cdot E, \quad (5)$$

где E — модуль упругости раствора соответствующей марки, принятый по результатам исследований [5].

Согласно [6], деформации растворных швов в стыках наружных стекловых панелей значительно превышают деформации швов по внутренним стеновым панелям. Это объясняется тем, что качество заполнения этих швов, как правило, значительно хуже, чем швов по внутренним стеновым панелям. Анализ результатов натурных испытаний по определению абсолютных деформаций растворных швов в процессе монтажа и в процессе эксплуатации крупнопанельных зданий выявил: деформации швов наружных стекловых панелей в 1,5–2 раза превышают деформации швов внутренних стекловых панелей. В соответствии с этими исследованиями в расчетной схеме жесткость упругих связей, моделирующих растворный шов наружных стекловых панелей, в направлении Z снижена в 2 раза.

Связи между плитами перекрытий считаем абсолютно жесткими в горизонтальном направлении, поэтому в расчетной схеме объединяем перемещения соответствующих узлов вдоль этого направления.

Представленная модель платформенного стыка позволяет заложить в расчетную схему различные деформативные характеристики для нижнего, верхнего швов противоположных сторон стыка, а также учесть наличие качественно выполненного вертикального растворного шва между плитами перекрытий.

В данном исследовании изменение деформативных характеристик растворного шва не привязывалось к конкретному дефекту, а уменьшалось относительно исходного значения. Для оценки возможности перераспределения усилий с дефектного стыка на соседние несущие столбы было смоделировано (рис. 3):

- уменьшение жесткости растворного шва стены первого этажа в осях 2с/Вс-Дс на 50, 30, 10%;
- уменьшение жесткости всех швов по высоте несущего столба в осях 2с/Вс-Дс на 50, 30, 10%;

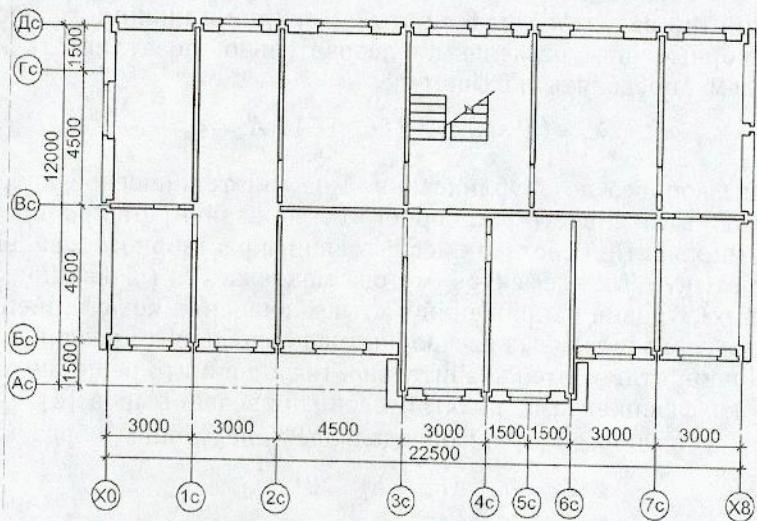


Рис. 3. План рассчитываемой блок-секции

— уменьшение жесткости растворного шва стены первого, третьего, пятого этажей в осях 2с/Вс-Дс на 50, 30, 10%.

Результаты проведенного анализа представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1
Величины перераспределения усилий с дефектного стыка

Положение дефектного стыка	Величина перераспределения усилий с дефектного стыка при снижении жесткости растворного шва, %		
	50	30	10
Стена 1-го этажа в осях 2с/Вс-Дс	18,3	8,8	2,5
Все швы по высоте несущего столба в осях 2с/Вс-Дс	32	17,3	5,3
Стены 1, 2, 3-го этажей в осях 2с/Вс-Дс	24	12	3,5

Таким образом, проведенная оценка показала, что при уменьшении жесткости растворного шва стены только первого этажа около 68% нагрузки, перераспределенной с дефектного стыка, воспринимается несущими стенами в зоне дефектного стыка, соответственно при уменьшении жесткости всех швов по высоте несущего столба — около 56%, а при уменьшении жесткости растворного шва стен первого, третьего, пятого этажей — около 60% нагрузки. Следовательно, при появлении дефектов в большинстве элементов несущей стены панельного здания вовлекается в пространственную

Таблица 2
Относительное увеличение нагрузки на стены в зоне дефектного стыка

Стена по оси	Рост нагрузки на стену относительно нагрузки, перераспределенной с дефектного стыка при снижении жесткости растворного шва, %		
	Стены 1-го этажа в осях 2с/Вс-Дс	Всех швов по высоте несущего столба в осях 2с/Вс-Дс	Стены 1, 2, 3-го этажей в осях 2с/Вс-Дс
Дс/2с-Зс	15,3	10	11,3
Дс/1с-2с	10,6	5	7
Зс/Вс-Дс	9,1	13	11,5
Вс/2с-Зс	23	15,5	18,3
1с/Вс-Дс	10	13,2	11,9

работу большее число элементов, что на практике приводит к распространению повреждений по всей блок-секции жилого дома. При нарушениях в отдельных зонах дефекты, как правило, концентрируются в зоне повреждения. Наиболее нагруженными после перераспределения усилий являются столбы, расположенные перпендикулярно стене с дефектным стыком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). — М.: Стройиздат, 1989. — 304 с.
2. Морозов Ю. Б. Исследования прочности и деформаций горизонтальных стыков стеновых панелей / Ю. Б. Морозов, Г. Ф. Седловец // Исследования прочности и расчет конструкций многоэтажных зданий. — М.: МНИИТЭП, 1970. — С. 157–170.
3. Шапиро Г. И. Влияние некоторых факторов на податливость горизонтальных растворных стыков стеновых панелей при кратковременном и длительном сжатии / Г. И. Шапиро, В. И. Ягуст // Исследование несущих бетонных и железобетонных конструкций сборных многоэтажных зданий. — М.: МНИИТЭП, 1980. — С. 43–56.
4. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий ВСН 32-77. — М.: Стройиздат, 1978. — 177 с.
5. Пангаев В. В. О деформативных характеристиках цементных кладочных растворов / В. В. Пангаев, В. М. Сердюк // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 9. — С. 111–113.
6. Шапиро Г. А. Оценка качества изделий и монтажа крупнопанельных зданий по результатам прочностных натурных испытаний / Г. А. Шапиро, Б. В. Сендеров, М. Я. Фрайнт. — М.: Стройиздат, 1976. — 96 с.

© Беккер В. А., Нарушевич А. Н., 2007

Получено 07.12.06

УДК 624.011.2

В. В. ПУРТОВ, канд. техн. наук, доц., А. В. ПАВЛИК, ст. препод. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ С СОЕДИНЕНИЯМИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ И ДЮБЕЛЯХ

Рассматриваются деревянные стропильные конструкции с соединениями на металлических пластинах и дюбелях. Приведены возможные конструктивные схемы таких ферм.

Наличие в России значительных запасов древесины и ее широкое применение в производстве строительных конструкций обусловило развитие методов соединения деревянных элементов.

Так, известны соединения деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах (МЗП), применяемые для изготовления конструкций индустриальными методами в заводских условиях. Однако недостатком таких соединений является малая изгибная жесткость зубьев пластины у основания и, как следствие, их сравнительно малая несущая способность.

Заслуживают внимания соединения деревянных элементов на гвоздевых нагельных пластинах, предложенные сотрудниками КирПИ (под руководством Ю. В. Пискунова) [1]. Гвоздевые пластины включают в себя основу из материалов различной жесткости (сталь, древесина, синтетические материалы и т.п.) и конструктивной формы, к которой прикрепляются заостренные цилиндрические нагели разного диаметра и длины. Наиболее удачной является накладка, включающая в себя металлическую пластину, к кромкам больших сторон которой привариваются односторонне заостренные цилиндрические нагели. Соединения на таких пластинах обладают более высокой несущей способностью и меньшей деформативностью по сравнению с соединениями на МЗП. В свою очередь, необходимость приварки цилиндрических нагелей к металлической основе, а также трудоемкость перестройки существующих технологических линий для изготовления конструкций на гвоздевых нагельных пластинах значительно снижает их индустриальность.

В этой связи для увеличения несущей способности и снижения затрат на изготовление такого типа соединений (с использованием металлических пластин) сотрудниками НГАСУ (Сибстрин) (П. А. Дмитриев, В. В. Пуртов) были разработаны соединения деревянных элементов на металлических накладках (пластинах) и дюбелях [2]. Такое соединение может быть собрано как в заводских условиях (пластины с плотно поставленными в отверстия зубьями запрессовывают одновременно с двух сторон стационарными или гидравлическими прессами), так и в построенных условиях (дюбели забивают в древесину через отверстия в пластинах ручным или механизированным инструментом).

Разработана методика расчета соединений на металлических пластинах и дюбелях по прочности и деформативности. Для более обоснованной оценки прочности и достоверного определения деформаций соединений на металлических пластинах и дюбелях были проведены экспериментальные исследования работы древесины на смятие в отверстиях малых диаметров жесткими цилиндрическими штампами, результаты которых освещены в [3]. Экспериментальные величины кратковременных разрушающих нагрузок для испытанных соединений на металлических пластинах и дюбелях удовлетворительно согласуются с теоретическими значениями, определенными по предлагаемой теории [4]. Проведены длительные (550 сут) статические испытания указанных соединений [5]. Установлено, что длительная несущая способность соединений P_{dl} находится в пределах $0,5P_{bp} \leq P_{dl} \leq 0,6P_{bp}$, а процессы их деформирования, обусловленные величиной и продолжительностью действия нагрузки, характеризуются общими закономерностями упруговязкого и пластического деформирования древесины.

На основе исследованных соединений были запроектированы и разработаны до стадии рабочих чертежей цельнодеревянные фермы, возможные конструктивные схемы которых приведены в таблице. Отметим в этой связи, что при конструировании ферм для указанных в таблице пролетов использовались пиломатериалы недефицитных сечений (высотой не более 175 мм), в том числе и из древесины лиственницы, запасы которой велики.

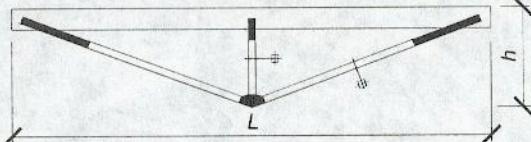
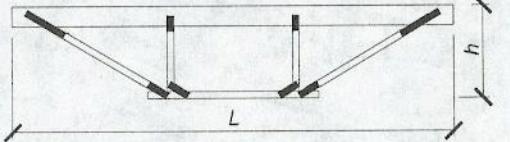
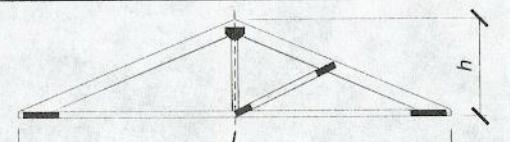
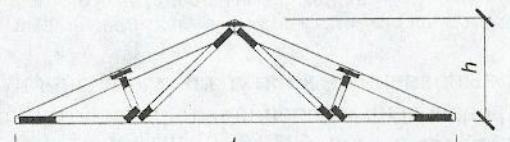
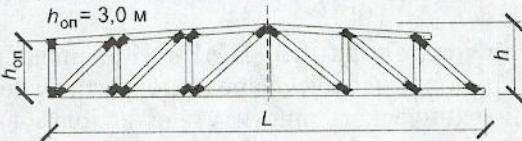
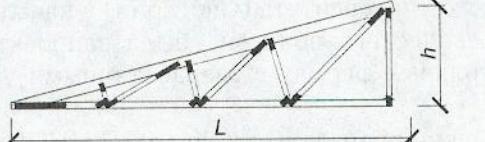
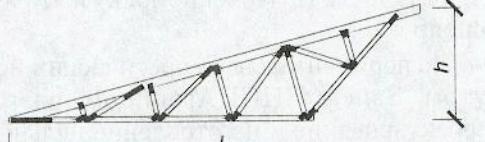
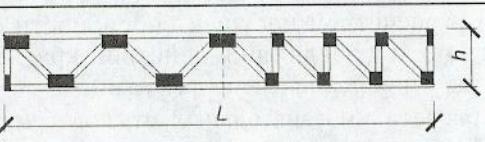
Кроме плоских ферм были разработаны объемные блоки покрытия на основе ферм, представленных на схемах б, г (см. табл.). Применение таких блоков позволяет:

- упростить конструктивную схему здания;
- снизить трудоемкость монтажа вследствие уменьшения количества монтажных элементов;
- повысить степень заводской готовности;
- сократить срок строительства.

Применение блоков покрытия обуславливает снижение сметной стоимости покрытий по сравнению со случаями использования в качестве несущих конструкций традиционных ферм, балок или арок. Пространственная работа конструкций блоков обеспечивалась путем включения ограждений (обшивок, вспомогательных ребер, обрамлений и т.п.) и связей в общую работу систем.

С целью подтверждения достоверности результатов теоретических исследований и проверки расчетных предпосылок, принятых при проектировании, а также для изучения действительной несущей способности и деформативности разработанных соединений и конструкций, выполненных с их применением, были проведены, в соответствии с действующими рекомендациями, статические испытания двух треугольных ферм (табл., г) из древесины лиственницы и ели пролетом 10,6 м (рис. 1), а также пространственного складывающегося блока (табл., б) из древесины сосны размером

**Возможные конструктивные схемы цельнодеревянных ферм
с использованием узловых соединений на металлических пластинах
с зубьями-дюбелями**

Схема фермы	Пролет, м	Высота в долях пролета
a) 	4-9	$\frac{1}{4}-\frac{1}{8}$
b) 	6-12	$\frac{1}{6}-\frac{1}{8}$
c) 	4-12	$\frac{1}{5}-\frac{1}{7}$
d) 	9-18	$\frac{1}{5}-\frac{1}{8}$
e) 	15-24	$\frac{1}{6}-\frac{1}{8}$
f) 	12-24	$\frac{1}{6}-\frac{1}{7}$
g) 	6-15	$\frac{1}{3}-\frac{1}{4}$
h) 	9-12	$\frac{1}{4}-\frac{1}{5}$
i) 	9-21	$\frac{1}{6}-\frac{1}{10}$

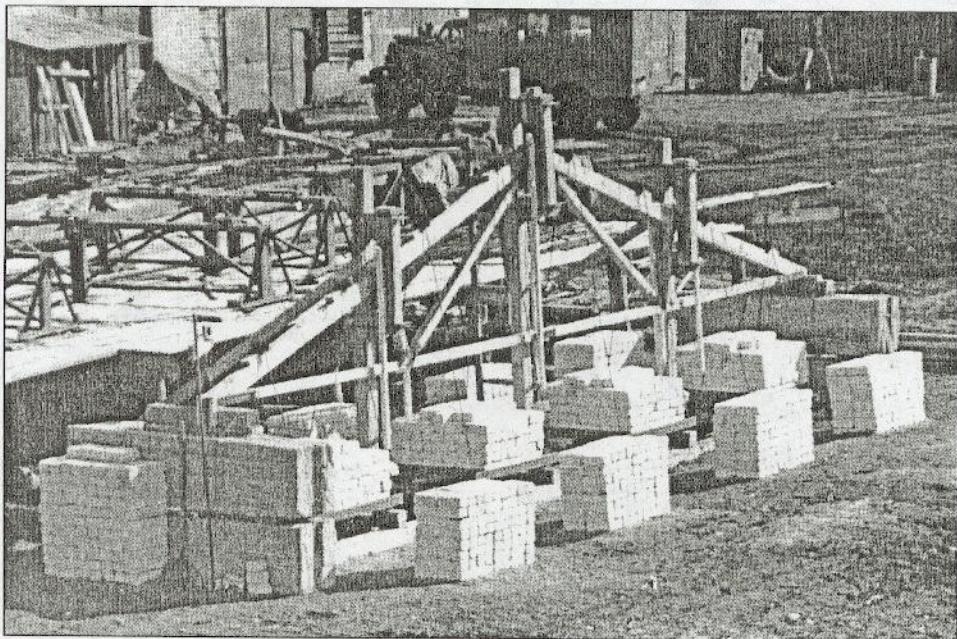


Рис. 1. Испытание цельнодеревянной треугольной фермы пролетом 10,6 м с узловыми соединениями на металлических пластинах с зубьями-дюбелями

в плане $6,45 \times 2,4$ м (рис. 2), выполненных в натуральную величину. Сборка треугольных ферм была произведена на специально разработанном и изготовленном универсальном стенде-копире СК-12 [6]. Деформации замеряли при помощи индикаторов часового типа ИЧ-10.

Полученная деформативность при действии кратковременных нагрузок как в случае испытания треугольных ферм, так и в случае испытания блока покрытия оказалась значительно меньше допустимых и свидетельствует о достаточной жесткости конструкций [2]. Экспериментально вычисленный коэффициент безопасности для треугольных ферм из древесины ели и лиственницы составил соответственно $K_h = 3,33$ (3,33) $> K_{tp} = 2,02$ (1,94), а для блока покрытия — $K_h = 2,02 > K_{pp} = 1,95$.

Внедрение результатов исследований. ПМК-И «КрасноярскГЭСстрой» осуществлена реконструкция первой очереди покрытия учебного корпуса Красноярского политехнического института с использованием разработанных конструкций. По заказу Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) в начале 2006 г. для учебного корпуса геодезического полигона была запроектирована двускатная кровля на треугольных фермах с разработанными узловыми соединениями.

Рабочие чертежи конструкций переданы по запросам ЦНИИпромзданий (г. Москва), ЗапсибНИПИАгропром (г. Новосибирск) и «Крайколхозстройобъединения» (г. Красноярск).

На основании результатов экспериментально-теоретических исследований совместно с институтом ЗапсибНИПИАгропром разработаны ТУ 10-РСФСР 260-88 [7] на проектирование и изготовление цельнодеревянных ферм с креплениями на металлических пластинах с зубьями-дюбелями.

Для расчета предельной и расчетной несущей способности соединений на металлических пластинах и дюбелях при действии кратковременной нагрузки были получены универсальные формулы.

Предлагаемая методика расчета многонагельных стыков с металлическими накладками на дюбелях по деформациям позволяет путем решения

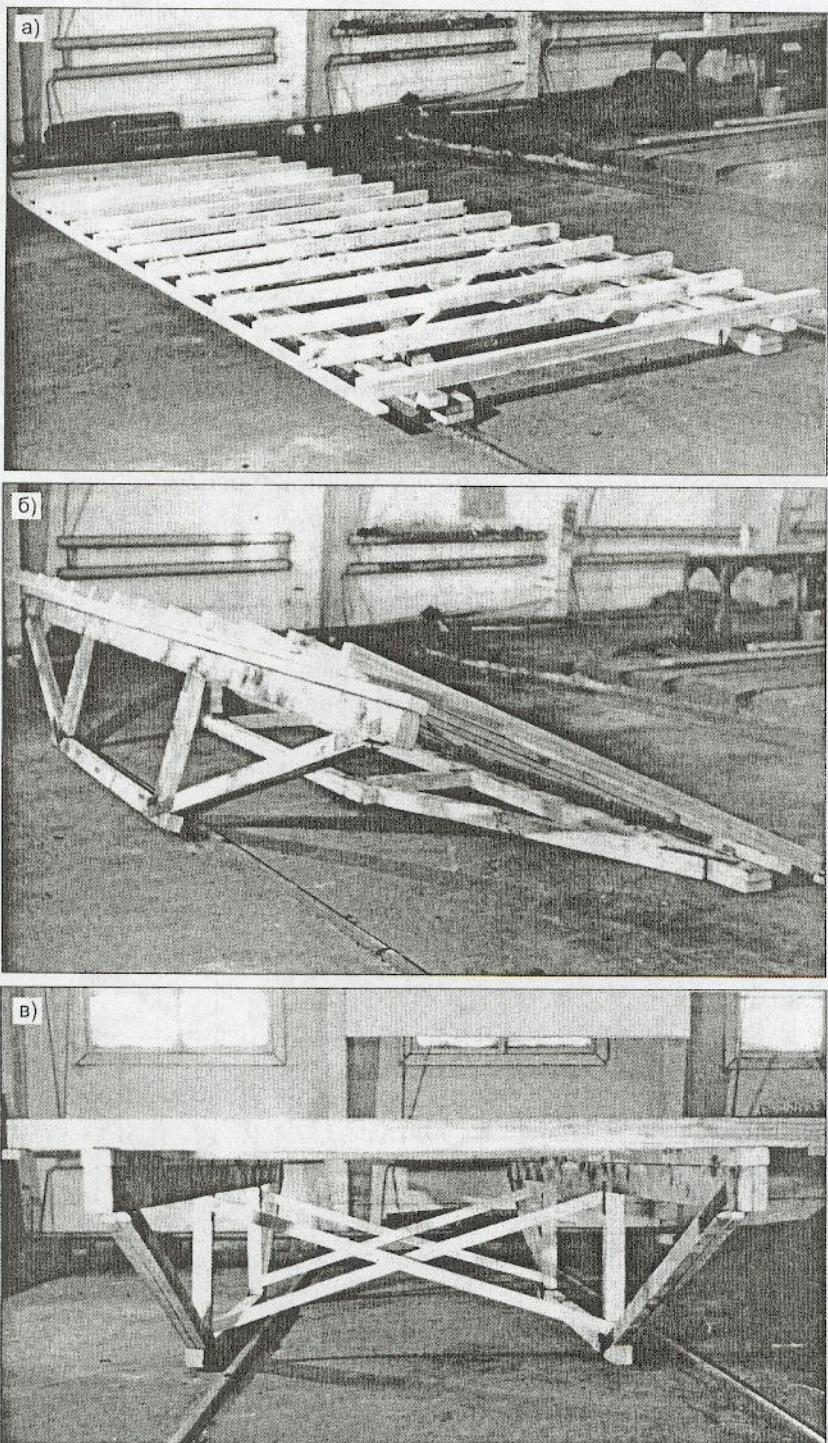


Рис. 2. Цельнодеревянный складывающийся блок покрытия для холодных покрытий зданий пролетом 12(2×6) м в транспортном (а), промежуточном (б) и рабочем (в) положениях

системы линейных алгебраических уравнений определять напряженно-деформированное состояние соединений в условиях кратковременного загружения [2].

Расчет соединения проводится в соответствии с рекомендациями, приведенными в [8], с введением в формулу уточняющего коэффициента

t_n , учитывающего неравномерность распределения усилий по длине соединения и определяемого по табл. 3.2 или графику рис. 3.8 [2].

Толщину металлической пластины δ назначают расчетом на разрыв по ослабленному отверстиями сечению, но не менее 3 мм.

Расстановку дюбелей в соединениях со стальными накладками следует осуществлять по правилам расстановки гвоздей [7]. При определении расчетной длины защемления конца дюбеля не следует учитывать заостренную часть дюбеля длиной $1,0d$.

Соединения деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях обладают большей несущей способностью, чем аналогичные соединения на МЗП, и менее трудоемки в изготовлении (по сравнению с гвоздевыми нагельными пластинами), однако существуют способы усовершенствования таких соединений, в частности, путем сочетания штампованных и цилиндрических зубьев.

В этой связи предложены и запатентованы соединения на металлических пластинах и дюбелях с усиленными зубчатыми шайбами (разработка соединений проводится при консультациях д-ра техн. наук, проф. П. А. Дмитриева) [9]. Как показали проведенные кратковременные статические испытания и испытания указанных соединений при помощи поляризационно-оптического метода, применение зубчатых шайб позволяет действующие в соединении усилия воспринимать большим числом зубьев и рассредоточивать их на большую рабочую поверхность деревянных элементов, что увеличивает несущую способность соединения в среднем на 30–45% и снижает его деформативность более чем в два раза по сравнению с аналогичными соединениями без зубчатых шайб (рис. 3).

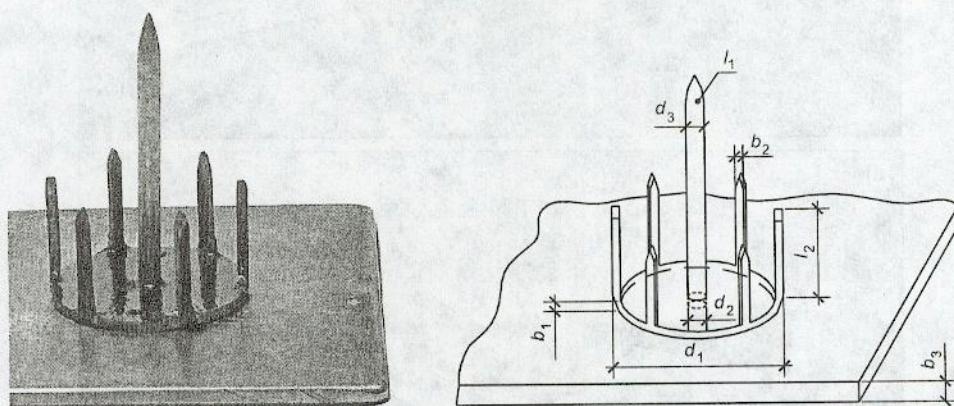


Рис. 3. Фрагмент металлической зубчатой пластины с дюбелем и зубчатой шайбой (фото и схема)

b_1 — толщина шайбы; b_2 — ширина зуба; b_3 — толщина металлической пластины; d_1 — диаметр шайбы; d_2 — диаметр отверстия под дюбель; d_3 — диаметр дюбеля; l_1 — длина дюбеля; l_2 — высота шайбы с учетом заостренной части

В разработанную выше методику расчета соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях по предельным состояниям первой и второй группы при действии кратковременных нагрузок внесены корректизы, учитывающие особенности совместной работы дюбеля и штампованной зубчатой шайбы. Определена расчетная несущая способность исследуемых соединений и на их основе запроектированы сборно-разборные kleедощатые и цельнодеревянные фермы, на один из узлов которых получен патент (рис. 4) [10]. При этом была изучена действительная работа опорных узлов (выполненных в натуральную величину) kleедощатой сегментной фермы пролетом 24 м на

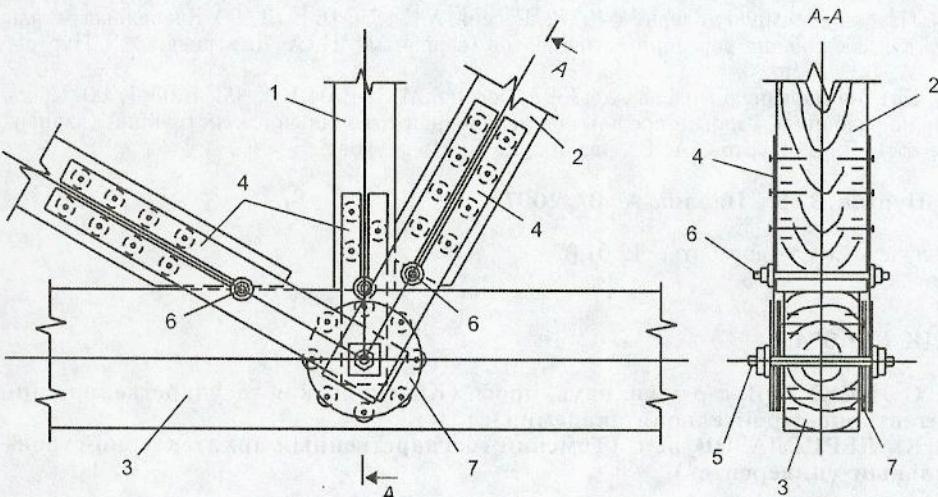


Рис. 4. Сборно-разборное узловое соединение деревянной стропильной конструкции
 1 — стойка; 2 — раскосы; 3 — нижний пояс; 4 — металлическая накладка с зубьями-дюбелями и зубчатыми шайбами; 5 — узловая болт; 6 — стяжной болт; 7 — круглая металлическая накладка с зубьями-дюбелями и зубчатыми шайбами

предлагаемых соединениях при кратковременном действии нагрузки. Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретическими расчетами.

В настоящее время с учетом особенностей соединений на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами уточняются рекомендации по конструированию, расчету и изготовлению таких соединений, а также цельнодеревянных и kleedoшатых конструкций на их основе.

Деревянные конструкции с предлагаемыми узловыми соединениями на металлических пластинах, дюбелях и зубчатых шайбах могут найти применение в лесоизбыточных районах Сибири и Дальнего Востока, а также в районах, удаленных от баз стройиндустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по проектированию и изготовлению деревянных конструкций с соединениями на пластинах с цилиндрическими нагелями // ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко.— М.: Стройиздат, 1988.— 77 с.
2. Пуртов В. В. Легкие деревянные стропильные фермы с соединениями на стальных пластинах и дюбелях// В. В. Пуртов: Дис. ... канд. техн. наук.— Новосибирск: НГАСУ, 1988.— 265 с.
3. Пуртов В. В. Исследования работы древесины на смятие в отверстиях малого диаметра// В. В. Пуртов, А. В. Павлик // Изв. вузов. Строительство.— 2005.— № 5.— С. 106–110.
4. Дмитриев П. А. Исследование соединений деревянных элементов на дюбелях при действии кратковременных нагрузок// П. А. Дмитриев, Ю. Д. Стрижаков, В. В. Пуртов // Изв. вузов. Строительство.— 1988.— № 2.— С. 16–21.
5. Пуртов В. В. Исследование соединений деревянных элементов на металлических пластинах с зубьями-дюбелями на действие длительной нагрузки// В. В. Пуртов, Е. Л. Прижукова // Изв. вузов. Строительство.— 2004.— № 6.— С. 130–134.
6. Дмитриев П. А. Универсальный стенд для сборки деревянных ферм// П. А. Дмитриев, В. В. Пуртов, В. Г. Сипаренко // Инф. листок о науч.-техн. достижении № 86–17.— Новосибирск: ЦНТИ, 1986.— 4 с.
7. ТУ 10 РСФСР 260-88. Фермы цельнодеревянные с креплениями на металлических пластинах с зубьями-дюбелями.— Новосибирск: ЗапсибНИПИагропром, 1988.— 21 с.
8. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования// Госстрой России.— М.: ГУП ЦПП, 2003.— 30 с.

9. Пат. на полезную модель № 40772, Россия, МКИ 7 F 16 B 13 / 00. Крепежная деталь для соединения деревянных элементов (варианты) / П. А. Дмитриев, В. В. Пуртов, А. В. Павлик.
10. Пат. на полезную модель № 47397, Россия, МКИ Е 04 B 1 / 00, Е 05 3 / 00. Сборно-разборное узловое соединение деревянной стропильной конструкции (варианты) / В. В. Пуртов, А. В. Павлик, Е. Л. Прижукова.

© Пуртов В. В., Павлик А. В., 2007

Получено после доработки 12.01.07

УДК 624.074.2

И. С. ИНЖУТОВ, д-р техн. наук, проф. (Красноярская государственная архитектурно-строительная академия);
О. Ю. ДЕРИГЛАЗОВ, асп. (Томский государственный архитектурно-строительный университет)

РЕБРИСТО-КОЛЬЦЕВОЙ КУПОЛ СО СБОРНО-РАЗБОРНЫМИ УЗЛАМИ

Сообщение 1

Предлагается нетрадиционная конструкция ребристо-кольцевых куполов. Обсуждается техническое решение, позволяющее создавать сборно-разборную пространственную систему, в узлах которой сходится не более четырех элементов.

Использование купольных покрытий на основе древесины особенно целесообразно в строительстве в отдаленных, труднодоступных или вновь осваиваемых районах Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера, а также в сельской местности, где достоинства применения легких сборных (сборно-разборных) конструкций проявляются в полной мере.

Применение купольных покрытий, например, целесообразно в качестве мобильных жилых ячеек для вахтенных поселков строителей, жилья лесорубов, геологов, оленеводов, а также для спальных павильонов в детско-юношеских лагерях и туристских

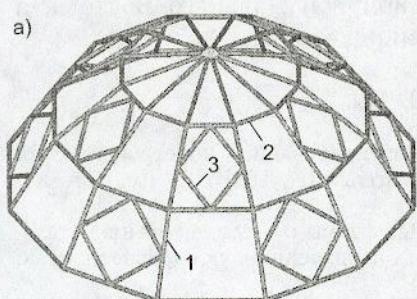
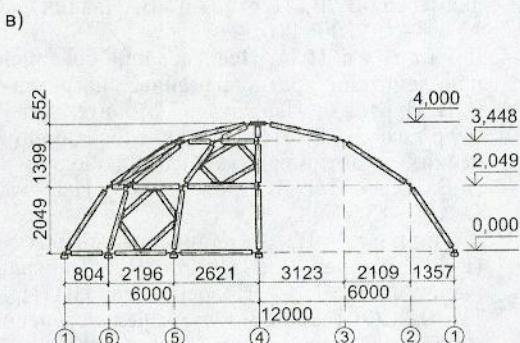
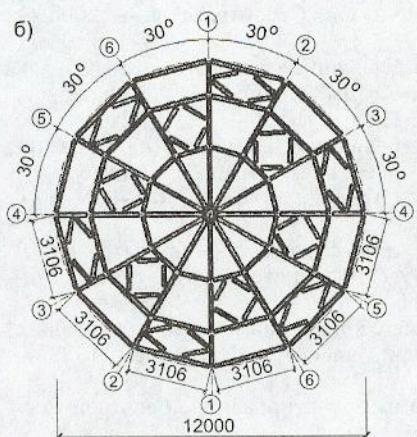


Рис. 1. Предлагаемая конструктивная схема ребристо-кольцевого купола
а — общий вид (1 — меридиональные ребра, 2 — кольцевые прогоны, 3 — раскосы); б — вид сверху;

в — фасадная проекция



базах, а также жилья, предназначенного для преодоления последствий аварий и временного размещения людей при стихийных бедствиях [1].

Обоснованию выбора геометрической схемы купола должно уделяться особое внимание, поскольку именно от этого зависят число типоразмеров элементов, конструкция узлов сопряжения, способы изготовления и монтажа элементов и в конечном итоге эффективность конструкции.

Предложенная нами (совместно с проф., д-ром техн. наук П. А. Дмитриевым) новая (рис. 1, а) конструктивная система купола базируется на синтезе лучших свойств двух систем разрезки (построений на сфере): меридионально-кольцевой (рис. 2) и звездчатой (рис. 3).

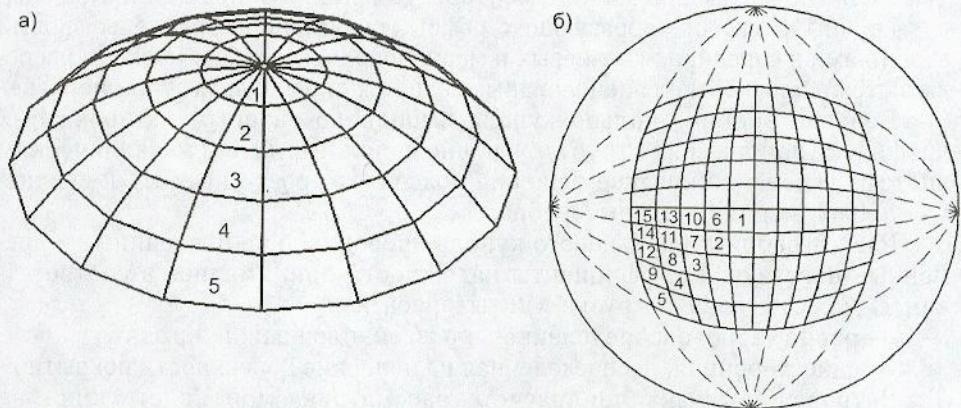


Рис. 2. Меридионально-кольцевая система (а) и разрезка сферы двумя пучками меридиональных плоскостей с взаимно перпендикулярными осями (б)

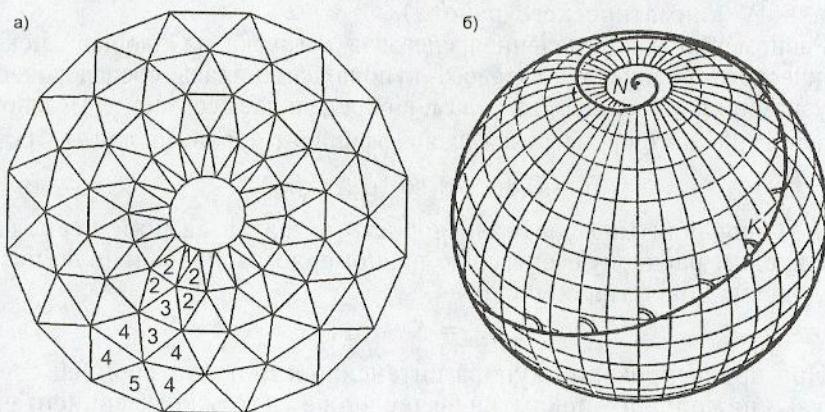


Рис. 3. Звездчатая система
а — на основе сети Чебышева; б — на основе сети локсодромий

К достоинствам меридионально-кольцевой системы, по мнению авторов, следует отнести простоту формы и исполнения узловых сопряжений элементов.

К очевидным недостаткам можно отнести неэффективность работы при воздействии несимметричных нагрузок, что может быть устранено в многосвязной системе, например, в системе звездчатого типа.

Однако и эта система не лишена недостатков — здесь имеется достаточно большое количество стержней, сходящихся в узле, что приводит к существенному усложнению конструкции узловых элементов.

При создании новой конструкции помимо анализа систем разрезки особое внимание авторы уделили куполу Шведлера [2], который и послужил прототипом.

С целью устранения основного недостатка звездчатой системы — сгущения сетки была сформулирована задача создания такой системы разрезки, в которой в узлах сходилось бы не более четырех стержней; в новой системе должны быть синтезированы положительные свойства меридионально-кольцевой системы, отмеченные выше.

Ребристо-кольцевой купол диаметром 12 м и высотой 4 м (см. рис. 1, б, в) образован двенадцатью меридиональными и тремя кольцевыми ребрами, а также двенадцатью группами раскосов (по четыре раскоса в группе). Все указанные элементы запроектированы из бревен диаметром 140 мм.

Меридиональные ребра состоят из трех шарнирно соединенных между собой взаимозаменяемых элементов с унифицированной длиной 2,5 м.

Группы раскосов, образующих ромбы, шарнирно закреплены своими вершинами в серединах кольцевых и меридиональных ребер. Раскосы располагаются в плоскости трапециевидных секций купола в шахматном порядке.

Верхнее опорное кольцо купола выполнено сварным из прокатных профилей (например, из труб) и усилено дополнительным металлическим листом. Такое техническое решение позволяет просто крепить к верхнему кольцу меридиональные ребра.

Расчет ребристо-кольцевого купола проводился на постоянные и временные нагрузки. Коэффициенты надежности принимались в соответствии с [3]. Снеговая нагрузка учитывалась как:

- равномерно распределенная по всей площади покрытия;
- односторонняя, распределенная на половине поверхности покрытия.

Ветровая нагрузка при расчете рассматриваемой конструкции не учитывалась [4].

Расчетное значение веса снегового покрова S_g на 1 м² горизонтальной поверхности земли принималось по [3] с $S_g = 2,4 \text{ кПа}$ (240 кгс/м², как для IV климатического района).

Равномерно распределенная снеговая нагрузка на площади покрытия сферического ребристо-кольцевого купола заменялась сосредоточенными нагрузками, приложенными к узлам, и определялась согласно [4] умножением расчетной снеговой нагрузки на коэффициент μ , равный для $D \leq 60 \text{ м}$:

$$\mu = 0,85 - 0,1v \quad (\mu \geq 0,35), \quad (1)$$

где v — средняя многолетняя скорость ветра за зимний период [3].

Находим расчетную снеговую равномерно распределенную нагрузку на площади покрытия купола

$$q_{\text{сн}} = S_g \cdot \mu. \quad (2)$$

При проектировании купола интенсивность односторонней снеговой нагрузки на половине покрытия вычисляли с учетом коэффициента [6]

$$\mu_i^* = \mu_0 (r_i/R)^m \sin \beta, \quad (3)$$

где коэффициент μ_0 принимали равным 2,5 [4, рис. 1].

Для сферических куполов — $m = 2$.

Расчетная односторонняя снеговая нагрузка

$$q_{1,\text{сн}} = S_g \cdot \mu_i^*. \quad (4)$$

Расчетные нагрузки на узлы купола в виде сосредоточенных сил определяли по приближенной формуле

$$P_i = P^*/[(n+1) \cdot R^n] \cdot [(R-x_k)^{n+1} - (R-x_i)^{n+1}], \quad (5)$$

где $P^* = q \cdot l$ — для постоянной нагрузки;

$P^* = q_{\text{сн}} \cdot l$ — для полной снеговой нагрузки;

$P^* = q_{0,\text{сн}} \cdot l$ — для односторонней снеговой нагрузки;

x_i, x_{i-1}, x_{i+1} — абсциссы по рис. 4.

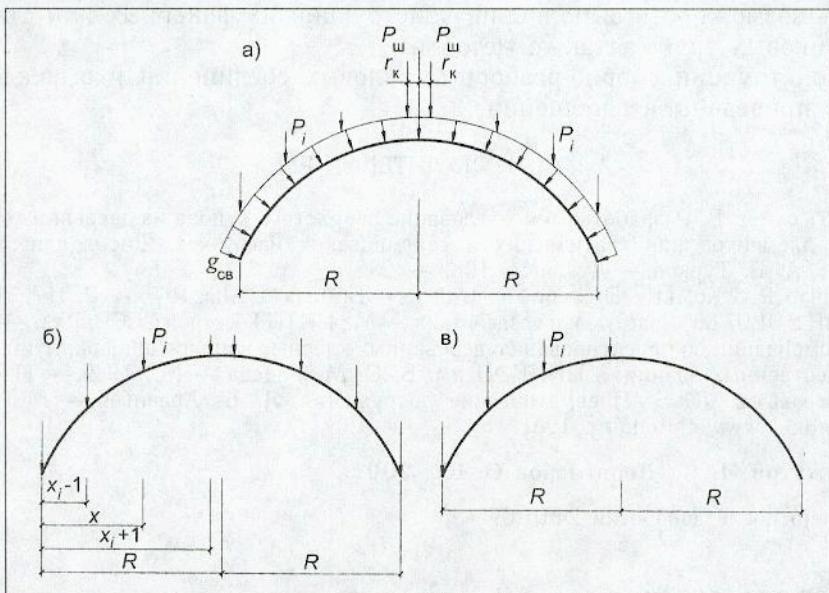


Рис. 4. Схема загружения меридиональных ребер купола

а — постоянная нагрузка; б — полная снеговая нагрузка; в — односторонняя снеговая нагрузка

Как и ожидалось, максимальные усилия сжатия в меридиональных ребрах $N_m = 23,8 \text{ кН}$ (2,38 т) оказались действующими в приопорных их участках, а усилия растяжения — во втором от опор кольце при несимметричном загружении $N_k = 2 \text{ кН}$ (0,2 т).

Наибольшие усилия в элементах ромбических связей, расположенных в нижнем ярусе, возникают при несимметричном загружении и равны $N_{cb,p} = +0,51 \text{ т}$ и $N_{cb,c} = -0,56 \text{ т}$.

Картина деформированного состояния конструкции при несимметричном загружении показана на рис. 5.

Ограждающая часть утепленного купола включает в себя съемные щиты, опирающиеся в его узлах, с прибитой к ним снизу фанерной или дошатой одинарной подшивкой «в елочку». По подшивке по слою пароизоляции из полиэтиленовой пленки предусмотрен эффективный утеплитель. Кровля принята из металлических профилированных листов, уложенных на прогоны.

Монтаж ребристого купола может быть произведен любыми из традиционных способов, однако рекомендуется монтаж купола осуществлять с помощью пневматической воздухоопорной оболочки [5].

К преимуществам разработанной конструкции авторы относят:

- сборность и разборность конструкции;
- отсутствие врубок, подтесок и т.п.; дополнительной обработки по месту сборки;
- повышенную ее надежность и однотипность соединения;
- простоту устройства проемов — ворот, дверей, окон;
- высокие эстетические качества;

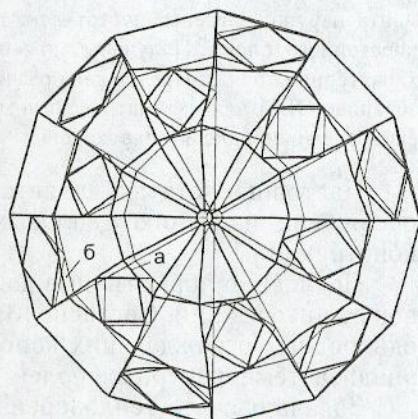


Рис. 5. Картина деформированного состояния конструкции при несимметричном загружении

а — исходная схема; б — деформированная схема

— возможность выполнения конструкции из фанерных или стеклопластиковых труб, а также металла.

Конструкции сборно-разборных узловых соединений и ограждений будут приведены в сообщении 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турков А. В. Разработка и исследование ребристого купола из деревянных kleевых элементов при статических и сейсмических нагрузках: Дис. ... канд. техн. наук / А. В. Турков.— Душанбе, 1988.— 237 с.
2. Dutko P. & Kolektiv. Drevene konstrukcie.— Bratislava: Alfa, 1976.— Р. 317, 318.
3. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия.— М.: ЦИПП Госстроя СССР, 1986.— 36 с.
4. Рекомендации по проектированию деревянных kleевых куполов для покрытий залов общественных зданий // ЦНИИЭП им. Б. С. Мезенцева.— М., 1989.— 115 с.
5. Арсеньев Л. Б. Пневматические сооружения / Л. Б. Арсеньев.— М.: НПП «Хитон», www.chiton.org. 1981.

© Инжутов И. С., Дериглазов О. Ю., 2007

Получено после доработки 24.01.07

УДК 69.022 : 536.21

В. В. ИВАНОВ, д-р техн. наук, проф., А. Н. БУТЕНКО, асп. (Ростовский государственный строительный университет);
Л. В. КАРАСЕВА, канд. физ.-мат. наук, доц. (Ростовская государственная академия архитектуры и искусства)

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ НЕОДНОРОДНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Проведено исследование стационарного теплопереноса в неоднородных ограждающих конструкциях в зимнее время. Экспериментально изучены тепловые режимы фрагмента наружной стены, пустотелого керамзитобетонного камня, пустотелого фибропенобетонного блока. Получены значения температур и плотности теплового потока в характерных точках. Предложена расчетная схема на основе метода релаксации с использованием ЭВМ для математического моделирования процессов теплообмена. Теоретические решения находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

Настоящая статья является естественным продолжением [1, 2] и посвящена изучению тепловых режимов неоднородных ограждающих конструкций.

Последние нормативные документы ужесточают требования к тепловой защите зданий. Согласно [3, 4], расчет процессов теплопереноса в неоднородных ограждающих конструкциях следует производить на основе анализа температурных полей.

Задача расчета теплопереноса решалась на основе метода численной

релаксации [5, 6]. Выбор данного метода был обусловлен его простотой и надежностью. Определению подлежали температуры стен и плотности тепловых потоков на наружной и внутренней поверхностях.

Опытное изучение процессов теплообмена в неоднородных ограждающих конструкциях проводилось на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1. Исследуемый фрагмент 1 помещался в

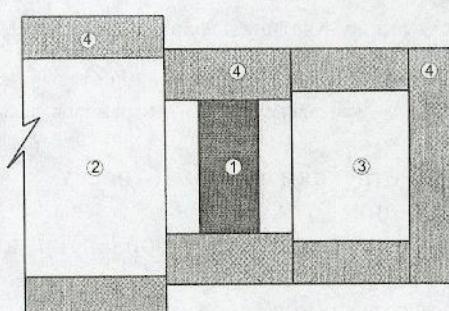


Рис. 1. Принципиальная схема опытной установки

установку таким образом, что разделял ее объем на «холодную» 2 и «теплую» 3 камеры. Для обеспечения равномерных температурных полей на рабочих поверхностях фрагмента по периметру последнего была создана охранная зона 4 из пенополистирольных плит. Морозильное устройство «Фейтрон» с двумя компрессорными установками и испарителями обеспечивало внутри «холодной» камеры автоматическое поддержание заданной температуры.

Температура в «холодной» камере измерялась термометром сопротивления и потенциометром-самописцем, а также ртутным термометром, установленным на середине высоты камеры. Температура воздуха в «теплой» камере измерялась двумя ртутными термометрами, расположеннымами по бокам камеры на середине ее высоты.

После того, как во фрагменте установился стационарный тепловой режим, провели измерения температур и плотности тепловых потоков с интервалом 1,5 ч.

Были рассмотрены ограждающие конструкции, представленные на рис. 2.

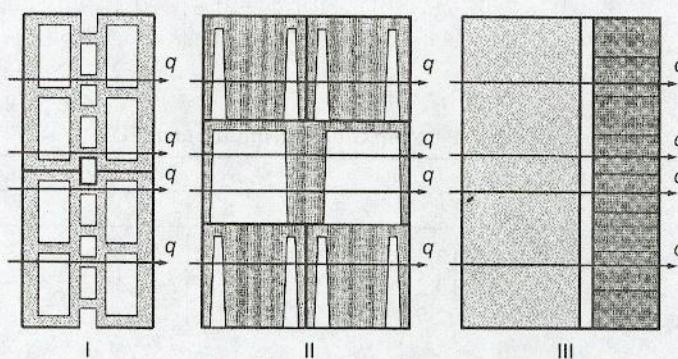


Рис. 2. Схемы исследуемых фрагментов

Фрагмент I выполнен из двух стенных пустотелых фибропенобетонных блоков, изготовленных из фибропенобетона, имеющего коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,25 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Для измерения температур на рабочих поверхностях фрагмента на теплой и холодной его сторонах были установлены по шесть хромель-копелевых термопар.

Фрагмент II состоял из кладки толщиной в один пустотелый керамзитобетонный стенной камень, изготовленный из керамзитобетона, имеющего коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Для измерения температур были установлены пять хромель-копелевых термопар на каждой поверхности фрагмента.

Фрагмент III, состоящий из кладки в 1/2 полнотелого кирпича ($\lambda = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), воздушной невентилируемой прослойки и фибропенобетонного блока ($\lambda = 0,10 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), был ориентирован кирпичной кладкой в сторону холодной среды, фибропенобетонным блоком — в сторону теплой среды. Измерение температур на поверхностях производилось при помощи четырех хромель-копелевых термопар, установленных на теплых и холодных поверхностях фибропенобетонных блоков и кирпичной кладки.

При проведении опытов температуры воздуха в «теплой» камере составляли для фрагмента I $t_b = 18^\circ\text{C}$, для фрагментов II и III $t_b = 20^\circ\text{C}$, в «холодной» камере — $t_h = -22^\circ\text{C}$. Расчетная величина коэффициента теплоотдачи со стороны «теплой» камеры составляла $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, со стороны «холодной» камеры — $\alpha_h = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

В табл. 1–3 представлены экспериментальные и расчетные значения поверхностных температур исследуемых фрагментов.

Таблица 1

Температуры поверхностей фрагмента I

Страна фрагмента	Теплая						Холодная					
	№ термопар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксперимент	15,7	16,0	16,3	16,1	16,5	16,3	-21,1	-21,7	-21,7	-21,8	-21,6	-21,3
Расчет	16,2	16,3	16,0	16,2	15,7	15,8	-21,6	-21,4	-21,6	-21,5	-21,3	-21,4
Расхождение, %	3,18	1,88	1,84	0,62	4,85	3,07	2,37	1,38	0,46	1,38	1,39	0,47

Таблица 2

Температуры поверхностей фрагмента II

Страна фрагмента	Теплая					Холодная				
	№ термопар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Эксперимент	17,8	17,0	16,4	16,0	17,2	-22,0	-21,0	-19,7	-20,0	-19,4
Расчет	16,9	16,7	16,8	16,6	16,8	-21,8	-20,7	-20,4	-20,8	-19,9
Расхождение, %	5,06	1,76	2,44	3,75	2,33	0,91	1,43	3,55	4,00	2,58

Таблица 3

Температуры поверхностей фрагмента III

Страна фрагмента	Теплая				Холодная			
	№ термопар	1	2	3	4	5	6	7
Эксперимент	18,2	18,3	18,4	18,0	-21,3	-21,2	-21,5	-21,4
Расчет	18,4	18,2	18,1	18,4	-21,5	-21,3	-21,8	-21,6
Расхождение, %	1,10	0,55	1,63	2,22	0,94	0,47	1,40	0,93

По температурам, полученным в результате расчета, были определены плотности тепловых потоков, проходящих через исследуемые фрагменты. В табл. 4 представлены значения плотностей тепловых потоков в рассмотренных конструкциях, полученные в результате расчета, и измеренных при помощи измерителя тепловых потоков конструкции ВНИФТРИ.

Из сравнения расчетных данных с экспериментальными результатами можно сделать вывод, что температуры неоднородных конструкций, определенные с помощью предложенной расчетной схемы, достаточно хорошо отражают действительную картину теплового переноса.

Таблица 4
Плотности тепловых потоков, Вт/м²

Фрагменты	I	II	III
Эксперимент	22,2	31	10,6
Расчет	22,9	29,8	11,4
Расхождение, %	3,15	3,87	7,55

Разумеется, приведенные в статье результаты не являются исчерпывающими. Изучение динамики теплообмена в других неоднородных конструкциях проводится аналогично, поскольку методика определения температур и тепловых потоков остается прежней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. В. Нестационарный теплоперенос в многослойных строительных конструкциях / В. В. Иванов, Л. В. Карасева, С. А. Тихомиров // Изв. вузов. Строительство. — 2001. — № 9–10. — С. 7–10.
2. Иванов В. В. Нестационарные температурные режимы многослойных ограждающих конструкций в летнее время / В. В. Иванов, И. И. Сахно, Л. В. Карасева // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 3. — С. 9–13.
3. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. — М.: ФГУП ЦПП, 2004.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. — М.: ФГУП ЦПП, 2004.

5. Самарский А. А. Вычислительная теплопередача / А. А. Самарский, Н. П. Вабищев. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 784 с.
6. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — М.: Наука, 1987. — 600 с.

© Иванов В. В., Бутенко А. Н., Карасева Л. В., 2007

Получено 10.01.07

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.042.8

А. Н. ПОТАПОВ, д-р техн. наук, проф., Л. М. АРТЕМЬЕВА, асп. (Южно-Уральский государственный университет)

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОНЕЧНОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ С УПРУГОВЯЗКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Исследуется динамическая реакция упругой диссипативной конструкции, рассматриваемой как система с конечным числом степеней свободы и находящейся под воздействием импульсной нагрузки треугольного вида. Силы внутреннего трения подчиняются линейной теории вязкого сопротивления [5] с произвольным типом демпфирования. Разрешающие уравнения динамической задачи строятся с помощью временного анализа реакции [6].

Как показывает практика динамических расчетов, традиционные методы не обеспечивают надежных оценок реакции сооружения при импульсных воздействиях, особенно в тех случаях, когда необходим учет внутреннего трения материала. В подавляющем большинстве динамический анализ проводится при весьма упрощающих предпосылках в отношении выбора параметров расчетной динамической модели, характера демпфирования или внешнего воздействия [1, 2]. Попытки решения динамической задачи без значительных упрощений обычно связаны с применением сложного математического аппарата, например, интегральных преобразований [3–5].

В статье исследуется динамическая реакция упругой диссипативной конструкции, рассматриваемой как система с конечным числом степеней свободы и находящейся под воздействием импульсной нагрузки треугольного вида. Силы внутреннего трения подчиняются линейной теории вязкого сопротивления [5], причем в рамках данной теории тип демпфирования может быть произвольным. Разрешающие уравнения динамической задачи строятся с помощью временного анализа реакции, основные положения которого сформулированы в работе [6].

1. Общая информация. Уравнения движения дискретной диссипативной системы (ДДС) представляются системой ОДУ с постоянными коэффициентами или в матричной форме

$$M\ddot{Y} + C\dot{Y} + KY = P(t), \quad (1)$$

где $M, C, K \in M_n(R)$ — положительно определенные матрицы инерции, демпфирования и жесткости соответственно;
 $Y(t), P(t)$ — векторы искомых перемещений и заданных нагрузок.

Положительная определенность матрицы C означает, что рассматриваемая система обладает полной диссипацией [1]. С точки зрения последующего анализа этот факт не имеет решающего значения. Матрица C может и не обладать указанным свойством. Гораздо важнее, чтобы для C выполнялось условие симметрии $C = C^T$. Частный случай неоднородного демпфирования (при $C \neq C^T$), позволяющий преобразовать ОДУ (1) к симметричной структуре коэффициентов, рассмотрен в [6].

Интегрирование ОДУ типа (1) требует решения двух основных проблем. Первая состоит в построении фундаментальных решений однородных систем уравнений, соответствующих (1). Другая проблема заключается в нахождении аналитических решений для неоднородных систем, правые части которых содержат функции внешних воздействий.

Построение фундаментальных решений связано с анализом характеристического матричного квадратного уравнения, представляющего собой уравнение движения собственных форм:

$$MS^2 + CS + K = 0, \quad (2)$$

где $S \in M_n(C)$ — матрица внутренних динамических характеристик системы.

По спектральной информации этой матрицы определяются все параметры собственных колебаний ДДС: коэффициенты демпфирования, собственные частоты и формы колебаний.

Для матрицы S существует разложение в виде корневой пары

$$S_{1,2} = M^{-1}(-C + V \pm U)/2,$$

где $V = V^T$, $U = U^T \in M_n$.

При малой диссипации ДДС эти матрицы обладают свойствами: $V = \operatorname{Re} V$, $U = i \operatorname{Im} U$, вследствие чего матричные корни являются комплексно-сопряженными $S_1 = S$, $S_2 = \bar{S}$. Значения матриц V , U отыскиваются с помощью итерационного алгоритма [6]. После нахождения матричных корней фундаментальные решения конструируются стандартным образом

$$Y(t) = \operatorname{Re} [\Phi(t) \cdot A],$$

где A — вектор постоянных интегрирования;

$\Phi(t) = e^{St}$ — фундаментальная матрица.

Аналитические решения неоднородного ОДУ (1) представляются в виде векторов перемещений и скоростей соответственно

$$Y(t) = 2\operatorname{Re} \{Y_i^0(t) + Y_i^p(t)\}, \quad \dot{Y}(t) = 2\operatorname{Re} \{S[Y_i^0(t) + Y_i^p(t)]\}, \quad (3)$$

где

$$Y_i^0(t) = \Phi(t - t_i) U^{-1} M [-\bar{S} Y_0 + \dot{Y}_0], \quad (4)$$

$$Y_i^p(t) = U^{-1} \int_{t_i}^t \Phi(t - \tau)^T P(\tau) d\tau, \quad (5)$$

$U = 2i M \operatorname{Im} S$;

t_i — время начала действия внешней нагрузки $P(t)$;

Y_0 , \dot{Y}_0 — векторы начальных условий. Первое слагаемое в фигурных скобках уравнений (3) выражает реакцию системы при свободных колебаниях, второе — при вынужденных.

Вывод уравнений (3)–(5) проведен при общих предпосылках динамической задачи. Данные уравнения позволяют в замкнутой форме вычислять реакцию сооружения независимо от типа демпфирования (однородное или неоднородное) и характера внешнего воздействия.

2. Действие одиночной группы импульсов. Рассмотрим вначале действие на конечномерную систему одиночной группы импульсов сил треугольной формы. Схематическое изображение треугольного импульса, действующего в j -м узле ДДС, показано на рис. 1.

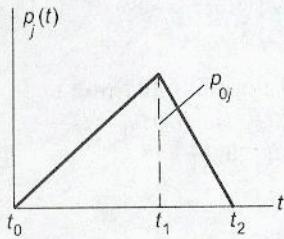


Рис. 1. Треугольный импульс

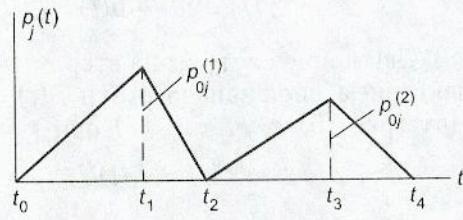


Рис. 2. Две группы импульсов

Все импульсы сил $p_j(t)$ ($j = 1, \dots, n$) имеют одинаковые временные параметры t_1 и t_2 . Амплитуды p_{0j} могут быть различными для различных узлов системы и определяются вектором амплитуд $P_0 = [p_{01}, \dots, p_{0n}]^T$.

Функция внешней нагрузки на восходящей ($t \in [t_0, t_1]$) и нисходящей ($t \in [t_1, t_2]$) фазах действия импульса выражается законами соответственно:

$$P(t) = P_0 t / t_1, \quad P(t) = P_0 (t_2 - t) / (t_2 - t_1). \quad (6)$$

Для того, чтобы вычислить интеграл (5) с вектор-функциями (6), необходимо получить аналитические выражения вспомогательных интегралов:

$$I_i(t) = \int_{t_i}^t \Phi(t - \tau) d\tau, \quad J_i(t) = \int_{t_i}^t \Phi(t - \tau) \tau d\tau. \quad (7)$$

Первый интеграл $I_i(t)$ имеет вид

$$I_i(t) = \int_{t_i}^t \Phi(t - \tau) d\tau = -S^{-1} \Phi(t - \tau) \Big|_{t_i}^t = [\Phi(t - t_i) - E] S^{-1}. \quad (8)$$

При записи этого выражения учтено, что матричная функция $\Phi(t)$ перестановочна с любой степенью матрицы S .

Определение второго интеграла $J_i(t)$ в (7) требует выполнения интегрирования по частям. Полагая, что $u = \tau$, $du = d\tau$, получаем $dv = \Phi(t - \tau) d\tau$, $v = -S^{-1} \Phi(t - \tau)$ и тогда

$$\begin{aligned} J_i(t) &= \int_{t_i}^t \Phi(t - \tau) \tau d\tau = \left\{ vu \Big|_{t_i}^t - \int_{t_i}^t v du \right\} = \{-S^{-1} \Phi(t - \tau) \tau \Big|_{t_i}^t + S^{-1} I_i(t)\} = \\ &= [\Phi(t - t_i) t_i - Et] S^{-1} + [\Phi(t - t_i) - E] S^{-2}. \end{aligned}$$

Прибавим и вычтем в первом слагаемом в квадратных скобках одну и ту же скалярную матрицу Et_i . После группировки членов окончательно получим

$$J_i(t) = \{[\Phi(t - t_i) - E][t_i S^{-1} + S^{-2}] - (t - t_i) S^{-1}\}. \quad (9)$$

Рассмотрим теперь движение системы на первом участке при внешнем воздействии $P(t) = P_0 t / t_1$. Интеграл (5) при $t_i = t_0$ с учетом (7), (9) и свойства [6] $U^{-1} \Phi(t)^T = \Phi(t) U^{-1}$ принимает вид:

$$\begin{aligned} Y_0^P(t) &= J_0(t) \cdot U^{-1} P_0 / t_1 = \{[\Phi(t - t_0) - E][t_0 S^{-1} + S^{-2}] - \\ &- (t - t_0) S^{-1}\} U^{-1} P_0 / t_1 = \{[\Phi(t - t_0) - E][St_0 + E] - \\ &- (t - t_0) S\}(US^2)^{-1} P_0 / t_1. \end{aligned} \quad (10)$$

Полагая, что в начальный момент действия импульса при $t_0 = 0$ система находилась в покое, имеем $Y_0 = \dot{Y}_0 = 0$. Отсюда, учитывая (10), получаем уравнения полной реакции системы (3)–(5) ($t \in [t_0, t_1]$)

$$\left. \begin{aligned} Y(t) &= 2\operatorname{Re} \{[\Phi(t) - E - St](US^2)^{-1}\} P_0 / t_1, \\ \dot{Y}(t) &= 2\operatorname{Re} \{[\Phi(t) - E](US)^{-1}\} P_0 / t_1. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Движение системы на втором участке ($t \in [t_1, t_2]$) происходит под воздействием внешней нагрузки $P(t) = P_0 t_2 (1 - t/t_2) / \Delta t_{21}$, где $\Delta t_{21} = t_2 - t_1$. Интеграл (5) с учетом (7) при $t_i = t_1$ записывается так

$$Y_i^P(t) = [I_1(t)U^{-1}t_2 - J_1(t)U^{-1}] P_0 / \Delta t_{21}.$$

Принимая во внимание найденные выражения интегралов (8) и (9), имеем

$$Y_i^P(t) = \{[\Phi(t - t_1) - E][\Delta t_{21}S - E] + (t - t_1)S\} (US^2)^{-1} P_0 / \Delta t_{21}. \quad (12)$$

Для получения уравнений полной реакции ДДС (3) необходимо добавить составляющую при свободных колебаниях (4) при $t_i = t_1$

$$Y_i^0(t) = \Phi(t - t_1)U^{-1}M[-\bar{S}Y_0 + \dot{Y}_0]. \quad (13)$$

Здесь векторы начальных условий вычисляются по уравнениям (11) при $t = t_1$

$$\left. \begin{aligned} Y_0 &= Y(t_1) = 2\operatorname{Re} \{[\Phi(t_1) - E - St_1](US^2)^{-1}\} P_0 / t_1, \\ \dot{Y}_0 &= \dot{Y}(t_1) = 2\operatorname{Re} \{[\Phi(t_1) - E](US)^{-1}\} P_0 / t_1. \end{aligned} \right\}$$

После исчезновения нагрузки ($P(t) = 0$) уравнения (3) содержат только реакцию при свободных колебаниях ($t > t_2$)

$$Y(t) = 2\operatorname{Re} \{Y_2^0(t)\}, \quad \dot{Y}(t) = 2\operatorname{Re} \{SY_2^0(t)\}.$$

Векторы начальных условий Y_0 , \dot{Y}_0 , содержащиеся в вектор-функции $Y_2^0(t)$, определяются в конце предыдущего интервала времени при $t = t_2$ из уравнений (3), (12), (13).

3. Действие двух групп импульсов. Пусть в j -м узле ДДС действует импульс треугольной формы на интервале $t \in [t_0, t_2]$ с амплитудной характеристикой $p_{0j}^{(1)}$. Затем сразу же после окончания первого импульса начинает действовать второй импульс на интервале $t \in [t_2, t_4]$ (рис. 2). Как и ранее, будем считать временные параметры импульсов (t_1, \dots, t_4) постоянными для всех узлов системы, а силовые параметры $(p_{0j}^{(1)}, p_{0j}^{(2)})$ в различных узлах могут быть различными. В соответствии с этим введем векторы амплитуд для обеих групп импульсов $P_0^{(1)} = [p_{01}^{(1)}, \dots, p_{0n}^{(1)}]^T$, $P_0^{(2)} = [p_{01}^{(2)}, \dots, p_{0n}^{(2)}]^T$. Верхний индекс говорит о принадлежности данного импульса к номеру группы. Тогда уравнения реакции ДДС от действия первой группы импульсов будут совпадать (при $P_0 = P_0^{(1)}$) с приведенными выше уравнениями: системами (11) — на восходящей фазе действия импульса, системами уравнений (3), (12), (13) — на нисходящей фазе.

При действии второй группы импульсов на систему вектор-функции нагрузок на интервалах времени $t \in [t_2, t_3]$, $t \in [t_3, t_4]$ соответственно имеют вид

$$P(t) = P_0^{(2)} t_2 (t/t_2 - 1) / \Delta t_{32}, \quad P(t) = P_0^{(2)} t_4 (1 - t/t_4) / \Delta t_{43}, \quad (14)$$

где $\Delta t_{i+1i} = t_{i+1} - t_i$ ($i = 2, 3$).

В соответствии с предыдущей схемой анализа уравнения (4), (5) на интервале $[t_2, t_3]$ записываются при $t_i = t_2$. При этом вектор-функция (5)

согласно (7), (14) имеет вид $Y_2^P(t) = [-I_2(t)U^{-1}t_2 + J_2(t)U^{-1}]P_0^{(2)} / \Delta t_{32}$, где интегральные величины $I_2(t)$, $J_2(t)$ определяются по формулам (8) и (9). После преобразований окончательно имеем

$$Y_2^P(t) = \{[\Phi(t - t_2) - E](US^2)^{-1} - (t - t_2)(US)^{-1}\}P_0^{(2)} / \Delta t_{32}. \quad (15)$$

На интервале времени $[t_3, t_4]$ в соответствии с законом нагружения (14) вектор (5), зависящий от (8) и (9), при $t_i = t_3$ принимает вид

$$\begin{aligned} Y_3^P(t) &= [I_3(t)U^{-1}t_4 - J_3(t)U^{-1}]P_0^{(2)} / \Delta t_{43} = \\ &= \{[\Phi(t - t_3) - E][\Delta t_{43}S - E](US^2)^{-1} + (t - t_3)(US)^{-1}\}P_0^{(2)} / \Delta t_{43}. \end{aligned} \quad (16)$$

Присоединяя к этой вектор-функции уравнение реакции при свободных колебаниях (4), получим полную систему уравнений (3) на рассматриваемом участке.

При $t > t_4$ система переходит в режим свободных колебаний ($Y_4^P(t) = 0$). При этом в вектор-функции (4) необходимо положить $t_i = t_3$. Если в формулах (15), (16) элементы вектора $P_0^{(2)}$ отличаются по знаку от соответствующих элементов вектора $P_0^{(1)}$ ($\text{sign} p_{0j}^{(1)} \neq \text{sign} p_{0j}^{(2)}$), то уравнения (3) будут определять реакцию системы от действия знакопеременных импульсов. Аналогичным образом строятся уравнения реакции ДДС при действии более сложной нагрузки, когда число групп треугольных импульсов больше двух.

4. Действие периодических импульсов. На рис. 3 изображены импульсы сил, действующие в j -м узле ДДС.

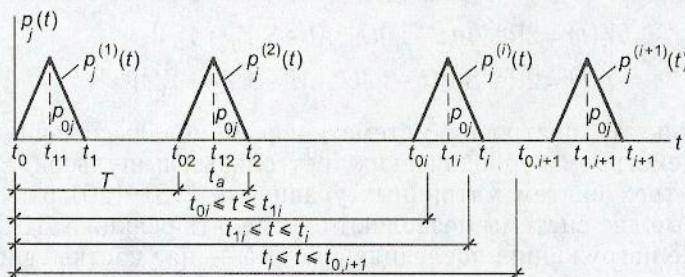


Рис. 3. Периодические импульсы треугольной формы

Все импульсы независимо от номера узла и номера группы имеют одинаковую длину $t_a = t_i - t_{0i}$, одинаковую частоту воздействия с периодом $T = t_{0,i+1} - t_{0i}$ и симметричную треугольную форму, характеризуемую средним временем $t_y = (t_{0i} + t_i) / 2$ при вершине импульса. Тогда длина временных интервалов на нисходящей и восходящей фазах импульса равна $\Delta t = t_a / 2$. Вектор амплитуд имеет вид $P_0 = [p_{01}, \dots, p_{0n}]^T$.

Уравнения реакции системы от действия импульсов первой группы с точностью до обозначений совпадают с уравнениями, полученными ранее при действии одной группы импульсов. Ниже приведем эти уравнения в соответствие с обозначениями рис. 3.

Движение ДДС на интервале $t \in [t_0, t_{11}]$ характеризуется уравнением реакции ($t_0 = 0$):

$$\left. \begin{aligned} Y(t) &= 2\text{Re} \{[\Phi(t) - E - St](US^2)^{-1}\}P_0 / \Delta t, \\ \dot{Y}(t) &= 2\text{Re} \{[\Phi(t) - E](US)^{-1}\}P_0 / \Delta t. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

На нисходящей фазе действия импульсов ($t \in [t_{11}, t_1]$) в уравнениях (3)–(5) необходимо принять $t_i = t_{11}$:

$$Y_{11}^{-0}(t) = \Phi(t - t_{11})U^{-1}M[-SY_0 + \dot{Y}_0],$$

$$Y_{11}^P(t) = \{\{\Phi(t - t_{11}) - E\}[\Delta t S - E] + (t - t_{11})S\}(US^2)^{-1}P_0 / \Delta t.$$

Здесь векторы начальных условий отыскиваются из системы (17): $Y_0 = Y(t_{11})$, $\dot{Y}_0 = \dot{Y}(t_{11})$.

Реакция системы при свободных колебаниях ($t \in [t_1, t_{02}]$) подчиняется уравнениям

$$\left. \begin{aligned} Y(t) &= 2\operatorname{Re}\{\Phi(t - t_1)U^{-1}M(-\bar{S}Y_0 - \dot{Y}_0)\} \\ \dot{Y}(t) &= 2\operatorname{Re}\{S\Phi(t - t_1)U^{-1}M(-\bar{S}Y_0 - \dot{Y}_0)\} \end{aligned} \right\},$$

где $Y_0 = 2\operatorname{Re}\{Y_{11}^0(t_1) + Y_{11}^P(t_1)\}$, $\dot{Y}_0 = 2\operatorname{Re}\{S[Y_{11}^0(t_1) + Y_{11}^P(t_1)]\}$.

В более общем случае при действии i -й группы импульсов уравнения динамической реакции распадаются на следующие системы. Интервал движения $t \in [t_{0i}, t_i]$:

$$\begin{aligned} Y(t) &= 2\operatorname{Re}\{Y_{0i}^0(t) + [\Phi(t - t_{0i}) - (t - t_{0i})S - E](US^2)^{-1}P_0 / \Delta t\}, \\ \dot{Y}(t) &= 2\operatorname{Re}\{S\dot{Y}_{0i}^P(t) + [\Phi(t - t_{0i}) - E](US)^{-1}P_0 / \Delta t\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Интервал движения $t \in [t_{i_k}, t_i]$:

$$\begin{aligned} Y(t) &= 2\operatorname{Re}\{Y_{ik}^0(t) + [(\Phi(t - t_{ik}) - E)(\Delta t S - E) + (t - t_{ik})S](US^2)^{-1}P_0 / \Delta t\}, \\ \dot{Y}(t) &= 2\operatorname{Re}\{S\dot{Y}_{ik}^P(t) + [\Phi(t - t_{ik})(\Delta t S - E) + E](US)^{-1}P_0 / \Delta t\}. \end{aligned} \quad (19)$$

Интервал движения $t \in [t_i, t_{0,i+1}]$:

$$\begin{aligned} Y(t) &= 2\operatorname{Re}\{\Phi(t - t_i)U^{-1}M(-\bar{S}Y_0 + \dot{Y}_0)\}, \\ \dot{Y}(t) &= 2\operatorname{Re}\{S\Phi(t - t_i)U^{-1}M(-\bar{S}Y_0 + \dot{Y}_0)\}. \end{aligned} \quad (20)$$

В результате построена математическая модель задачи колебаний ДДС под действием периодических треугольных импульсов. Эта модель имеет вид трех систем матричных уравнений (18)–(20) рекуррентного вида. Первые две системы позволяют определять реакцию ДДС на активном участке нагружения, последняя система — на участке свободных колебаний.

Индекс i обозначает номер действующей группы импульсов и одновременно этап в вычислении динамической реакции диссипативной конструкции. При заданном числе групп импульсов сил реакция определяется последовательно, начиная с первой группы. При этом непрерывность движения при переходе от одного интервала нагружения к другому (как внутри i -й группы, так и на границе с соседней $i+1$ -й группой) обеспечивается сменой начальных условий. После вычисления реакции на i -м этапе, используя свойство рекуррентности уравнений (18)–(20), выполняется переход к $i+1$ -й группе импульсов и процесс вычисления реакции повторяется на следующем этапе.

Выводы. В замкнутом виде построено уравнение динамической реакции дискретной системы с упруговязким сопротивлением колебаниям при действии импульсов треугольной формы. Рассмотрены случаи получения решения для одной и двух групп треугольных импульсов с произвольными параметрами, а также случай действия периодических импульсов.

Приведенные в статье уравнения реакции могут быть использованы при решении многих задач колебаний современных конструкций, находящихся под воздействием импульсной нагрузки. Кроме того, импульсы треугольной формы могут служить моделью ветровой нагрузки. Как следует из анализа ветрограмм [3], профили ветра имеют пилообразную форму. Поэтому при расчете конструкций на динамическое воздействие вет-

ра пульсационную составляющую нагрузки в узлах конструкций можно назначать в виде знакочередующихся или периодических треугольных импульсов.

Исследованию вопросов, связанных с анализом динамической реакции высотного каркасного здания на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки, предполагается посвятить отдельную статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибрации в технике: Справочник: в 6 т.— М.: Машиностроение, 1978.— Т. 1.— 352 с.
2. Резников Л. М. Эквивалентная модель многомассовой системы с вязким и частотно-независимым трением /Л. М. Резников //Строительная механика и расчет сооружений.— 1979.— № 4.— С. 44–48.
3. Масленников А. М. Расчет башен на импульсную нагрузку /А. М. Масленников //Строительная механика и расчет сооружений.— 1985.— № 5.— С. 36–39.
4. Неустроев Э. Я. Колебания двухмассовой системы, вызванные произвольной нагрузкой /Э. Я. Неустроев //Строительная механика и расчет сооружений.— 1987.— № 2.— С. 63–65.
5. Цейтлин А. И. Прикладные методы решения краевых задач строительной механики /А. И. Цейтлин.— М.: Стройиздат, 1984.— 336 с.
6. Потапов А. Н. Динамический анализ дискретных диссипативных систем при нестационарном воздействии /А. Н. Потапов.— Челябинск: ЮУрГУ, 2003.— 167 с.

© Потапов А. Н., Артемьева Л. М., 2007

Получено 26.10.06

УДК 539.3

Н. А. ГУРЕЕВА, канд. техн. наук, ст. препод. (Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия)

ВОСЬМИУЗЛОВОЙ ОБЪЕМНЫЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ С НЕИЗВЕСТНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ В УЗЛАХ

Для расчета произвольно нагруженной оболочки вращения разработан восьмиузловый объемный конечный элемент с неизвестными перемещениями и напряжениями в узлах. Интерполяция полей напряжений и перемещений осуществлялась с использованием трилинейных функций. Для формирования модифицированной матрицы жесткости использован функционал Рейснера. Приведен пример расчета, показавший перспективную возможность использования разработанного конечного элемента для определения напряжений в зонах их концентрации.

В работе [1] на базе теории оболочек Тимошенко построены функционалы Лагранжа, Рейснера. На этой основе выводится ряд гибридных конечных элементов для расчета оболочек и пластин с использованием гипотезы Тимошенко, учитывающей вектор поворота нормального элемента. В настоящей работе без дополнительных гипотез на основе соотношений теории упругости разработан восьмиузловой конечный элемент в смешанной формулировке для расчета произвольно нагруженной оболочки вращения. Неизвестными величинами являются напряжения и перемещения в его узлах. Для формирования смешанной матрицы связи между напряжениями и перемещениями конечного элемента использован вариационный принцип Рейснера в смешанной формулировке, в котором зависимости Коши, уравнения равновесия и граничные условия теории

упругости представляют собой уравнения Эйлера и естественные граничные условия.

Использование разработанного элемента позволяет сразу определять напряжения, в отличие от метода перемещений, где для определения напряжений требуется дополнительная операция дифференцирования. Разработанный конечный элемент применим как для расчета тонких оболочек, так и для расчета оболочек других толщин.

1. Основные соотношения напряженного состояния. Деформации произвольно загруженной оболочки вращения определяются в цилиндрической системе координат соотношениями [2]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{rr} &= \frac{\partial u}{\partial r}; \quad \gamma_{r\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r}; \\ \varepsilon_{\theta\theta} &= \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r}; \quad \gamma_{rz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r}; \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z}; \quad \gamma_{\theta z} = \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial z},\end{aligned}\quad (1.1)$$

где ε_{rr} , $\varepsilon_{\theta\theta}$, ε_{zz} — составляющие радиальной, окружной и осевой деформаций;

$\gamma_{r\theta}$, γ_{rz} , $\gamma_{\theta z}$ — составляющие угловой деформации;

u , v , w — радиальное, угловое и осевое перемещения точки с радиальной r , угловой θ и осевой z координатами.

В матричном виде соотношения (1.1) представляются выражением

$$\begin{matrix} \{\varepsilon\} \\ 6 \times 1 \end{matrix} = [L] \begin{matrix} \{\omega\}^T \\ 6 \times 3 \end{matrix}, \quad (1.2)$$

где $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_{rr} \varepsilon_{\theta\theta} \varepsilon_{zz} \gamma_{rz} \gamma_{\theta z}\}$ — вектор-строка деформаций;

$\{\omega\}^T = \{uvw\}$ — вектор-строка перемещений.

Связь между составляющими деформаций и составляющими напряжений выражается линейными зависимостями [2]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{rr} &= \frac{1}{E} (\sigma_{rr} - \mu \sigma_{\theta\theta} - \mu \sigma_{zz}); \\ \varepsilon_{\theta\theta} &= \frac{1}{E} (\sigma_{\theta\theta} - \mu \sigma_{rr} - \mu \sigma_{zz}); \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{1}{E} (\sigma_{zz} - \mu \sigma_{\theta\theta} - \mu \sigma_{rr}); \\ \gamma_{r\theta} &= \frac{\sigma_{r\theta}}{G}; \quad \gamma_{rz} = \frac{\sigma_{rz}}{G}; \quad \gamma_{\theta z} = \frac{\sigma_{\theta z}}{G}; \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)},\end{aligned}\quad (1.3)$$

где $\sigma_{r\theta}$, σ_{rz} , $\sigma_{\theta z}$ — касательные напряжения;

E — модуль упругости;

μ — коэффициент Пуассона.

В матричном виде зависимости (1.3) представляются выражением

$$\{\varepsilon\} = [S] \{\sigma\}^T, \quad (1.4)$$

где $\{\sigma\}^T = \{\sigma_{rr} \sigma_{\theta\theta} \sigma_{zz} \sigma_{r\theta} \sigma_{rz} \sigma_{\theta z}\}$ — матрица-строка напряжений;

$[S]$ — матрица податливости.

Для конечного элемента смешанная формулировка используется с применением функционала Рейснера [3]

$$\Pi_R = \int_v \left[\{\sigma\}^T [L]\{\omega\} - \frac{1}{2} \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} \right] dV - \int_{S_\sigma} \{q^*\} \{\omega\} ds - \int_{S_u} \{\sigma^*\}^T (\{\omega\} - \{\omega^*\}) ds, \quad (1.5)$$

где V — объем оболочки вращения;

$\{q^*\}$ — заданные поверхностные силы;

$\{\omega^*\}$ — заданные перемещения;

S_σ и S_u — поверхности деформируемой оболочки вращения с заданными силами и перемещениями.

2. Смешанная матрица связи между напряжениями и перемещениями конечного элемента. Произвольный объемный конечный элемент выбран в форме шестигранника с узлами i, j, k, l, m, n, p, h (рис. 1, а).

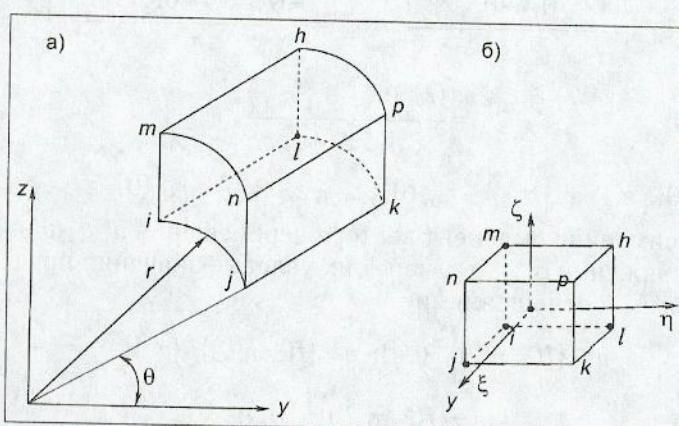


Рис. 1.

Для выполнения численного интегрирования связь глобальных координат r, θ, z шестигранника и локальных координат куба ξ, η, ζ (рис. 1, б), изменяющихся в пределах $-1 \leq \xi, \eta, \zeta \leq 1$, выражается трилинейными соотношениями

$$\begin{aligned} \lambda = & \frac{1-\xi}{2} \frac{1-\eta}{2} \frac{1-\zeta}{2} \lambda^i + \frac{1+\xi}{2} \frac{1-\eta}{2} \frac{1-\zeta}{2} \lambda^j + \frac{1+\xi}{2} \frac{1+\eta}{2} \frac{1-\zeta}{2} \lambda^k + \\ & + \frac{1-\xi}{2} \frac{1+\eta}{2} \frac{1-\zeta}{2} \lambda^l + \frac{1-\xi}{2} \frac{1-\eta}{2} \frac{1+\zeta}{2} \lambda^m + \frac{1+\zeta}{2} \frac{1-\eta}{2} \frac{1+\zeta}{2} \lambda^n + \\ & + \frac{1+\xi}{2} \frac{1+\eta}{2} \frac{1+\zeta}{2} \lambda^p + \frac{1-\xi}{2} \frac{1+\eta}{2} \frac{1+\zeta}{2} \lambda^h = \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T \{\lambda_y\}, \end{aligned} \quad (2.1)$$

где $\{\lambda_y\}^T = \{\lambda^i \lambda^j \lambda^k \lambda^l \lambda^m \lambda^n \lambda^p \lambda^h\}$ — вектор-строка узловых значений величины λ .

В свою очередь λ обозначает одну из глобальных координат r, θ, z .

Дифференцируя выражение (2.1) по координатам ξ, η, ζ , определим производные глобальных координат r, θ, z в локальной системе координат ξ, η, ζ

$$\lambda_{,\xi} = \{f_{,\xi}\}^T \{\lambda_y\}; \lambda_{,\eta} = \{f_{,\eta}\}^T \{\lambda_y\}; \lambda_{,\zeta} = \{f_{,\zeta}\}^T \{\lambda_y\}. \quad (2.2)$$

Производные локальных координат ξ, η, ζ в глобальной системе координат r, θ, z получим дифференцированием (2.1) по координатам r, θ, z

$$\begin{aligned}\xi_{,r} &= \frac{\theta_{,\eta} z_{,\zeta} - z_{,\eta} \theta_{,\zeta}}{\Delta}; \quad \eta_{,r} = \frac{-(\theta_{,\xi} z_{,\zeta} - z_{,\xi} \theta_{,\zeta})}{\Delta}; \\ \zeta_{,r} &= \frac{(\theta_{,\xi} z_{,\eta} - z_{,\xi} \theta_{,\eta})}{\Delta}; \\ \xi_{,\theta} &= \frac{-(r_{,\eta} z_{,\zeta} - z_{,\eta} r_{,\zeta})}{\Delta}; \quad \eta_{,\theta} = \frac{(r_{,\xi} z_{,\zeta} - z_{,\xi} r_{,\zeta})}{\Delta}; \\ \zeta_{,\theta} &= \frac{-(r_{,\xi} z_{,\eta} - z_{,\xi} r_{,\eta})}{\Delta}; \\ \xi_{,z} &= \frac{(r_{,\eta} \theta_{,\zeta} - \theta_{,\eta} r_{,\zeta})}{\Delta}; \quad \eta_{,z} = \frac{-(r_{,\xi} \theta_{,\zeta} - \theta_{,\xi} r_{,\zeta})}{\Delta}; \\ \zeta_{,z} &= \frac{(r_{,\xi} \theta_{,\eta} - \theta_{,\xi} r_{,\eta})}{\Delta},\end{aligned}\tag{2.3}$$

где $\Delta = r_{,\xi} (\theta_{,\eta} z_{,\zeta} - z_{,\eta} \theta_{,\zeta}) - r_{,\eta} (\theta_{,\xi} z_{,\zeta} - z_{,\xi} \theta_{,\zeta}) + r_{,\xi} (\theta_{,\xi} z_{,\eta} - z_{,\xi} \theta_{,\eta})$.

Аппроксимация компонент вектора перемещения u, v, w и компонент тензора напряжений $\sigma_{rr}, \dots, \sigma_{\theta z}$ через их узловые значения представляется трилинейными соотношениями

$$\begin{aligned}u &= \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T \{u_y\}; \quad v = \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T \{v_y\}; \\ w &= \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T \{w_y\}; \\ q &= \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T \{q_y\},\end{aligned}\tag{2.4}$$

где узловые величины имеют вид:

$$\begin{aligned}\{u_y\}^T &= \{u^i u^j u^k u^l u^m u^n u^p u^h\}; \\ \{v_y\}^T &= \{v^i v^j v^k v^l v^m v^n v^p v^h\}; \\ \{w_y\}^T &= \{w^i w^j w^k w^l w^m w^n w^p w^h\}; \\ \{q_y\}^T &= \{q^i q^j q^k q^l q^m q^n q^p q^h\}.\end{aligned}$$

Символ q обозначает компоненты напряжений $\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta} \dots \sigma_{\theta z}$.

Выразим матрицы-строки напряжений и перемещений внутренней точки конечного элемента через узловые неизвестные с использованием аппроксимаций (2.4) в виде

$$\{\sigma\} = [G] [\sigma_y]; \quad \{w\} = [A] \{q_y\},\tag{2.5}$$

где $\{w\}^T = \{uvw\}$;

$\{\sigma_y\}^T = \left\{ \begin{matrix} \{\sigma_{rry}\}^T & \dots & \{\sigma_{\theta z y}\}^T \end{matrix} \right\}_{1 \times 48}^{6 \times 1} \quad \text{матрица-строка узловых напряжений конечного элемента};$

$\{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$
$\{0\}^T$	$\{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$
$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$
$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$
$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T$	$\{0\}^T$
$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{0\}^T$	$\{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T$

$1 \times 8 \quad 1 \times 8$

$[A] =$	$\begin{array}{ c c c }\hline & \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T & \{0\}^T & \{0\}^T \\ \hline & \{0\}^T & \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T & \{0\}^T \\ \hline & \{0\}^T & \{0\}^T & \{f(\xi, \eta, \zeta)\}^T \\ \hline \end{array}$
---------	--

Учитывая аппроксимирующие соотношения (2.5), деформации (1.2) представляем в виде

$$\{\varepsilon\} = [L]\{w\}^T = [L][A]\{\gamma_y\} = [B]\{\gamma_y\}, \quad (2.6)$$

где

$[B] =$	$\begin{array}{ c c c }\hline & \{f_{,r}\}^T & \{0\}^T & \{0\}^T \\ \hline & \frac{1}{r}\{f\}^T & \frac{1}{r}\{f_{,\theta}\}^T & \{0\}^T \\ \hline & \{0\}^T & \{0\}^T & \{f_{,z}\}^T \\ \hline & \frac{1}{r}\{f_{,\theta}\}^T & \frac{1}{2}\{f\}^T + \{f_{,r}\}^T & \{0\}^T \\ \hline & \{f_{,z}\}^T & \{0\}^T & \{f_{,r}\}^T \\ \hline & \{0\}^T & \{f_{,z}\}^T & \frac{1}{r}\{f_{,\theta}\}^T \\ \hline \end{array}$
---------	---

$1 \times 8 \quad 1 \times 8 \quad 1 \times 8$

Матрицы-строки, входящие в $[B]$, определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} \{f(\xi, \eta, \zeta)_{,r}\}^T &= \{f_{,\xi}\}^T \xi_{,r} + \{f_{,\eta}\}^T \eta_{,r} + \{f_{,\zeta}\}^T \zeta_{,r}; \\ \{f(\xi, \eta, \zeta)_{,\theta}\}^T &= \{f_{,\xi}\}^T \xi_{,\theta} + \{f_{,\eta}\}^T \eta_{,\theta} + \{f_{,\zeta}\}^T \zeta_{,\theta}; \\ \{f(\xi, \eta, \zeta)_{,z}\}^T &= \{f_{,\xi}\}^T \xi_{,z} + \{f_{,\eta}\}^T \eta_{,z} + \{f_{,\zeta}\}^T \zeta_{,z}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Принимая во внимание матричные выражения (2.5), функционал Рейнсера (1.5) представим в матричном виде

$$\begin{aligned} \Pi_R = & \{\sigma_y\}^T \int_v [G]^T [B] dV \{\gamma_y\}_{24 \times 1} - \frac{1}{2} \{\sigma_y\}^T \int_v [G]^T [S] [G] dV \{\sigma_y\}_{48 \times 1} - \\ & - \{\gamma_y\}^T \int_S [A]^T \{q\} ds. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Продифференцировав по узловым неизвестным $\{\sigma_y\}$ и $\{w_y\}$ выражение (2.8), получим систему уравнений:

$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial \{\sigma_y\}} = [H] \{\sigma_y\}_{48 \times 24} + [Q] \{\gamma_y\}_{48 \times 48} = 0;$$

$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial \{w_y\}} = [Q]^T \{\sigma_y\} \{f_s\} = 0, \quad (2.9)$$

где

$$[Q] = \int_v [G]^T [B] dV; \quad [H] = \int_v [G]^T [S] [G] dV;$$

$$\{f_s\} = \int_s [A]^T \{q\} ds.$$

Представим систему уравнений (2.9) в традиционном для метода конечных элементов виде

$$[k] \{z_y^R\} = \{f^R\}, \quad (2.10)$$

где $[k] = \begin{pmatrix} -[H] & [Q] \\ [Q]^T & [0] \end{pmatrix}_{72 \times 72}$ — смешанная матрица связи между напряжениями и перемещениями конечного элемента;

$\{z_y^R\} = \begin{pmatrix} \{\sigma_y\}^T & \{\gamma_y\}^T \end{pmatrix}_{1 \times 72}$ — вектор-строка неизвестных в узлах конечного элемента;

$\{f^R\}^T = \begin{pmatrix} \{0\}^T & \{f_s\}^T \end{pmatrix}_{1 \times 72}$ — вектор-строка усилий в узлах конечного элемента.

Смешанная матрица связи между напряжениями и перемещениями всей конструкции формируется с использованием традиционной процедуры метода конечных элементов [4].

ПРИМЕР РАСЧЕТА. Решена задача о напряженном состоянии защемленной по торцам цилиндрической оболочки (рис. 2), находящейся под действием внутреннего давления интенсивности q , при следующих исходных данных $E = 2070000,0 \frac{\text{даН}}{\text{см}^2}$, $\mu = 0,3$,

$t = 4 \text{ см}$, $R = 40 \text{ см}$, $L = 40 \text{ см}$, $q = 150 \frac{\text{даН}}{\text{см}^2}$.

В результате симметрии оболочки рассматривалась ее восьмая часть (рис. 3). Начало координат располагалось в горизонтальной плоскости симметрии, заделка располагалась в плоскости с координатой $z = -20 \text{ см}$. Координата θ изменялась в пределах $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$.

Границные условия по перемещениям для узлов, пронумерованных на рис. 3, даны в табл. 1, где цифрами 0, 1 отмечено отсутствие и наличие соответствующего перемещения. Напряжения во всех узлах считались отличными от нуля.

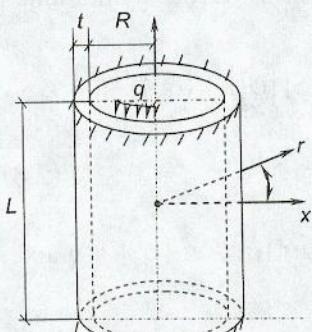


Рис. 2.

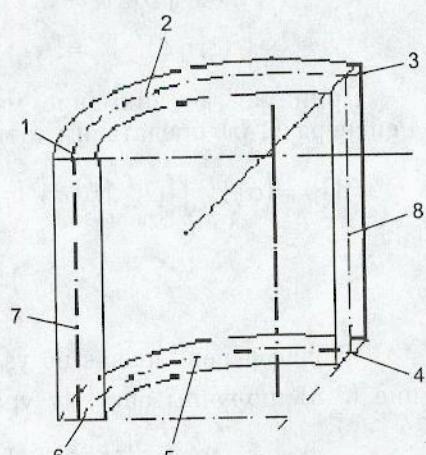


Рис. 3.

Результаты вычисления напряжений радиальных σ_{rr} , окружных $\sigma_{\theta\theta}$ и осевых σ_{zz} в точках с координатами r и z при $\theta = 0$ и $\theta = \frac{\Pi}{2}$ приведены в табл. 2 при различных вариантах дискретизации конструкции (при числе элементов $n_3 = 28, 48$ и 96). Анализ этих результатов свидетельствует о хорошей сходимости вычислительного процесса как в плоскости симметрии, так и в заделке. Максимальные напряжения в середине пролета оказались равными $\sigma_{\max} = 2,988 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$, прогиб $f_{\max} = 0,479 \text{ см}$.

Названные величины, подсчитанные по формулам сопротивления материалов оказались равными

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{q l^2}{8W} = \pm 3,0 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2, f_{\max} = \frac{5q l^4}{384EJ} = 0,474 \text{ см}.$$

Здесь W , J — соответственно момент сопротивления и момент инерции поперечного сечения балки.

Таблица 1

№ узла	Перемещения		
	u	v	w
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	1	0	0
5	1	1	0
6	1	0	0
7	1	0	1
8	1	0	1

Таблица 2

Координаты точки, см		Напряжения при числе элементов, $\frac{\text{даH}}{\text{см}^2} \left(u = 0; u = \frac{\Pi}{2} \right)$								
		$n_3 = 28$			$n_3 = 48$			$n_3 = 96$		
r	z	σ_{rr}	$\sigma_{\theta\theta}$	σ_{zz}	σ_{rr}	$\sigma_{\theta\theta}$	σ_{zz}	σ_{rr}	$\sigma_{\theta\theta}$	σ_{zz}
40,0	0,0	-148,81	1124,95	-548,57	-149,51	1119,11	-602,06	-149,54	1117,84	-609,95
44,0	0,0	-4,07	1443,57	931,02	-2,98	1468,57	982,48	-3,02	1471,92	990,47
40,0	-20,0	1176,50	1176,50	2745,18	1207,25	1207,25	2816,91	1211,41	1211,41	2826,61
44,0	-20,0	-903,54	-903,54	-2108,27	-896,26	-869,26	-2091,27	-898,64	-898,64	-2096,82

Как видно, расхождение в результатах составляет около 1%. Следовательно, элемент с неизвестными напряжениями и перемещениями в узлах вполне приемлем для вычисления в зонах концентрации напряжений.

Для проверки разработанного алгоритма было выполнено его преобразование к плоскому напряженному состоянию. Получены численные результаты для шарнирно опертой балки пролета $l = 80$ см с размерами поперечного сечения $b = 5$ см (ширина), $h = 4$ см (высота). Модуль упругости $\Pi = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, интенсивность равномерно распределенной нагрузки $q = 10^3$ кН/м².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рикардс Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин / Р. Б. Рикардс.— Рига: Зинанте, 1988.— 284 с.
2. Саммульт В. И. Основы теории упругости и пластичности / В. И. Саммульт.— М.: Высш. школ., 1970.— 288 с.
3. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер: Пер. с англ.— М.: Мир, 1984.— 428 с.
4. Постнов В. А. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций / В. А. Постнов, И. Я. Хархурим.— Л.: Судостроение, 1974.— 344 с.

© Гуреева Н. А., 2007

Получено после доработки 12.01.07

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.327 : 666.974 : 539.16

В. И. ПАВЛЕНКО, д-р техн. наук, проф., Д. В. ВОРОНОВ, инж., Р. Н. ЯСТРЕБИНСКИЙ, канд. физ.-мат. наук, доц. (Белгородский государственный технологический университет)

РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЙ ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Получено уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать прочность на сжатие мелкозернистого прессованного бетона от исследуемых факторов в широком диапазоне давлений прессования — от 2,5 до 25 МПа.

Согласно проведенным исследованиям данный радиационно-защитный бетон соответствует материалам для формирования инженерных защитных барьеров в атомной промышленности.

Бетон — наиболее распространенный строительный материал, используемый для защиты реакторов АЭС. Более 90% стационарных реакторных установок имеют защиту из бетона [1–3]. Подбором состава можно в достаточно широких пределах изменять его свойства для ослабления нейтронов и фотонов. Вода и гидросиликаты в бетоне обеспечивают замедление нейтронов всех энергий. При температуре выше 350°C происходит выделение связанной цементом воды, что приводит к ухудшению защитных свойств бетона.

Основные недостатки известных защитных бетонов — сравнительно низкие физико-механические показатели при высокотемпературной эксплуатации, недостаточно высокая радиационная стойкость по отношению к гамма-излучению высоких энергий и большой мощности дозы гамма-излучения (около 2 Мрад/ч), высокий уровень газовыделения (до 140 л на 1 м³ бетона).

Авторами разработан тяжелый бетон (тип РЗБ) на основе портландцемента, высокожелезистого железорудного концентрата (магнетит), этилсиликата, минеральных добавок [4]. С учетом конструкционных и радиационно-защитных характеристик подобран оптимальный состав бетона.

При выборе оптимального состава РЗК оценено влияние технологических факторов и состава бетона, изучены влияние расхода, водотвердое отношение и отношение вода/вяжущее, расход магнетита, модуля крупности магнетита и давления прессования бетона.

При низком давлении прессования композиции (2,5–10 МПа) необходимо готовить сухие смеси с повышенным содержанием неорганического вяжущего (15–25%), а при высоком давлении прессования (20–25 МПа) — с пониженным содержанием вяжущего (15–20%). Наиболее рациональный вариант должен определяться конкретными условиями эксплуатации радиационно-защитного тяжелого бетона.

При изучении влияния расхода железооксидного наполнителя (магнетита) на прочностные свойства мелкозернистого бетона видно (рис. 1), что максимальное



Рис. 1. Прочность РЗК от содержания магнетита (давление прессования 1 МПа)

значение прочности при сжатии (при прочих равных условиях) достигается в базовом бетоне (без магнетитового наполнителя). При сравнении полученных результатов с известными песчаными бетонами при водоцементном отношении ($B/C = 0,3$), для которых зависимость прочности от соотношения цемент/песок прямолинейная, в исследованной композиции зависимость прочности мелкозернистых РЗК от соотношения вяжущее/оксид железа близка к параболической.

При изучении влияния давления прессования на маловодные смеси с различными размерами частиц железорудного концентрата полученные результаты приведены на рис. 2 (в магнетите 75 мас.% составляет высокодисперсная фракция с размером частиц менее 50 мкм и 25% более крупная фракция с размером частиц 1,41–2,45 мм).

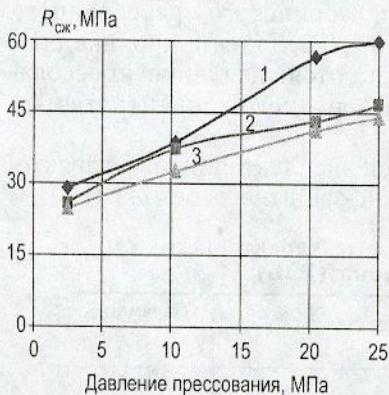


Рис. 2. Зависимость прочности РЗК от давления прессования

1 — $M_{kp} = 2,45$; 2 — $M_{kp} = 1,92$; 3 — $M_{kp} = 1,41$

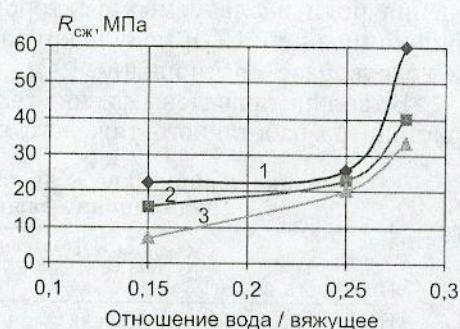


Рис. 3. Зависимость прочности мелкозернистого бетона от отношения вода / вяжущее в смеси

1 — 28 сут; 2 — 14 сут; 3 — 7 сут

При низких давлениях формования изделий из мелкозернистых РЗК до 5 МПа их прочность незначительно зависит от крупности железорудного концентрата. С увеличением давления прессования от 10 до 25 МПа эта зависимость становится более заметной. С уменьшением размеров частиц железорудного концентрата при повышении давления формования наблюдается снижение прочностных характеристик мелкозернистого бетона.

Установлено, что введение в состав мелкозернистого бетона железорудного концентрата с комбинированным модулем крупности ($M_{kp} = 2,45$) частиц (60% от массы железорудного концентрата и 40% высокодисперсного с $M_{kp} = 1,41$) в значительной степени компенсирует отставание в росте прочности бетона (по сравнению с бетоном, в котором присутствует только высокодисперсная фракция оксида железа).

Эксперименты по определению влияния отношения вода/вяжущее в сырьевой композиции на прочностные свойства бетона имеют свои особенности (рис. 3).

Для композиций с отношением вода/вяжущее от 0,15 до 0,25 при сроках твердения от 7 до 14 сут происходит незначительный рост прочности бетона. При дальнейшем увеличении сроков твердения бетона от 14 до 28 сут происходит плавное возрастание их прочности. При дальнейшем росте соотношения вода/вяжущее от 0,25 до 0,28 наблюдается заметное возрастание прочности бетона. С увеличением сроков твердения композитов в большей степени проявляется положительное влияние повышенного значения соотношения вода/вяжущее.

Получено уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать прочность на сжатие мелкозернистого прессованного бетона от исследуемых

факторов в широком диапазоне давлений прессования — от 2,5 до 25 МПа:

$$R_{сж} = 44,8 + 9,8 X_1 + 4,8 X_2 + 3,5 X_3 - 10,7 X_4 - 1,1 X_1 X_2 - 1,8 X_1 X_3 + 0,8 X_1 X_4 - 0,4 X_1 X_5 - 2,5 X_2 X_3 - 1,2 X_2 X_4 - 0,8 X_2 X_5 - 1,1 X_3 X_4,$$

где X_1 — давление прессования;

X_2 — модуль крупности оксида железа;

X_3 — водотвердое соотношение;

X_4 — соотношение вяжущее / оксид железа;

X_5 — соотношение вяжущее / вода.

Математическая обработка свидетельствует, что наибольшее влияние на физико-механические показатели мелкозернистого прессованного бетона типа РЗБ оказывает расход вяжущего (X_4). Далее в порядке снижения роли исследуемых факторов располагаются: давление прессования композиции (X_1); модуль крупности железорудного концентрата (X_2) и водотвердое соотношение (X_3).

В таблице приведены физико-технические и эксплуатационные характеристики разработанного тяжелого радиационно-защитного бетона (РЗБ).

Физико-технические и эксплуатационные характеристики радиационно-защитного бетона (РЗБ)

Показатель	Параметр
Плотность, кг / м ³	3300
Прочность на сжатие, МПа (класс прочности)	60 (B60)
Прочность на изгиб, МПа	12
Марка по водонепроницаемости	W 12
Марка по морозостойкости	> 400
Относительные деформации усадки, мм / м	0,07
Водопоглощение, мас. %	2,5
Удельная эффективная радиоактивность $A_{\text{эфф}}$, Бк / кг	40
Коэффициент линейного расширения, КТР 10^6 град ⁻¹	16,8
Истираемость на стандартном круге за 1000 оборотов, г / см ²	0,17
Коэффициент теплопроводности, Вт / (м · К)	0,90
Воздухопроницаемость, см ³ / (см ² · с)	1,0
Линейный коэффициент ослабления гамма-излучения по ^{60}Co ($E = 1,22 \text{ МэВ}$), см ⁻¹	0,22

Выводы. Разработанный мелкозернистый прессованный тяжелый бетон с железорудным магнетитовым наполнителем имеет высокие конструкционные и эксплуатационные характеристики, которые согласно нормативным требованиям ГОСТ 16327-88, АС (ОПБ-88) и АЭ Г-1-011-89 соответствуют материалам для формирования инженерных защитных барьеров в атомной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. — М.: Атомиздат, 1977. — С. 20–45.
2. Бродер Д. Л. Бетон в защите ядерных установок / Д. Л. Бродер. — М.: Атомиздат, 1973. — С. 21–57.
3. Егоров Ю. А. Радиационная безопасность и защита АЭС / Ю. А. Егоров, В. П. Машкович. — М.: Атомиздат, 1977. — 231 с.
4. Пат. РФ № 2172989. Сухая смесь для приготовления неорганического радиационно-защитного композита / В. И. Павленко, О. Н. Маракин. — 2001; Б.И. № 24.

© Павленко В. И., Воронов Д. В., Ястребинский Р. Н., 2007

Получено 09.01.07

В. П. СЕЛЯЕВ, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., Т. А. НИЗИНА, канд. техн. наук, доц., Ю. А. ЛАНКИНА, асп. (Мордовский государственный университет, г. Саранск)

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Проведен анализ структурной неоднородности полимерных композитов с применением фрактальной размерности. Предложены модифицированные методы определения фрактальной размерности, значительно легче реализуемые по сравнению с традиционными методиками. Для количественного определения значений фрактальной размерности структуры полимерных композиционных материалов использовались данные, полученные методом кинетической микротвердости.

Важная задача строительного материаловедения — разработка методов анализа структурной неоднородности реальных строительных композитов. Известно [1], что в открытых равновесных системах термодинамическое равновесие обеспечивается за счет нарушения упорядоченности. Возникающая внешне проявляемая упорядоченность в виде зерен, фаз и других структурных образований не является физическим признаком порядка из-за необеспеченности однородности химического состава и структуры композита на различных масштабных уровнях. Создание материалов со стабильными физико-механическими свойствами требует разработки новых технологий, базирующихся на подходах синергетики, являющейся теорией самоорганизующихся диссипативных структур, и теории фракталов, получившей в физике развитие в последние годы [1].

Фрактальные системы, согласно своему определению, обладают фрактальной размерностью, не совпадающей с размерностью пространства, в котором они существуют. Важное свойство фрактальных систем — их самоподобие. Это означает, что структура фрактала в одном масштабе подобна его структуре в другом, большем масштабе. При этом необходимо отметить, что свойство точного самоподобия характерно лишь для регулярных фракталов. Если вместо детерминированного способа построения включить в алгоритм их создания некоторый элемент случайности (что характерно для реальных структур), то возникают так называемые случайные фракталы. Основное их отличие от регулярных фракталов состоит в том, что свойства самоподобия справедливы только после соответствующего усреднения по всем статистически независимым реализациям объекта. При этом увеличенная часть фрактала не точно идентична исходному фрагменту, однако их статистические характеристики совпадают.

Полимерные композиционные материалы представляют собой типичные диссипативные системы, склонные к самоорганизации, что дает возможность производить их анализ, основываясь на теории фракталов. Однако до настоящего времени количественные оценки диссипативных структур с использованием фрактальной размерности были ограничены из-за экспериментальных трудностей.

Для количественного определения значений фрактальной размерности структуры полимерных композиционных материалов использовались данные (рис. 1), полученные методом кинетической (невосстановленной) микротвердости на микротвердомере ПМТ-3 [3]. Нагрузка на индентор составляла 1 Н. Значения микротвердости определялись в узловых точках сетки, нанесенной на поверхность шлифа с шагом 0,5 мм.

Фрактальность структуры эпоксидных композитов подтверждается при анализе поверхностей, показывающих распределение микротвердости эпоксидного композита по высоте поперечного сечения, построенных

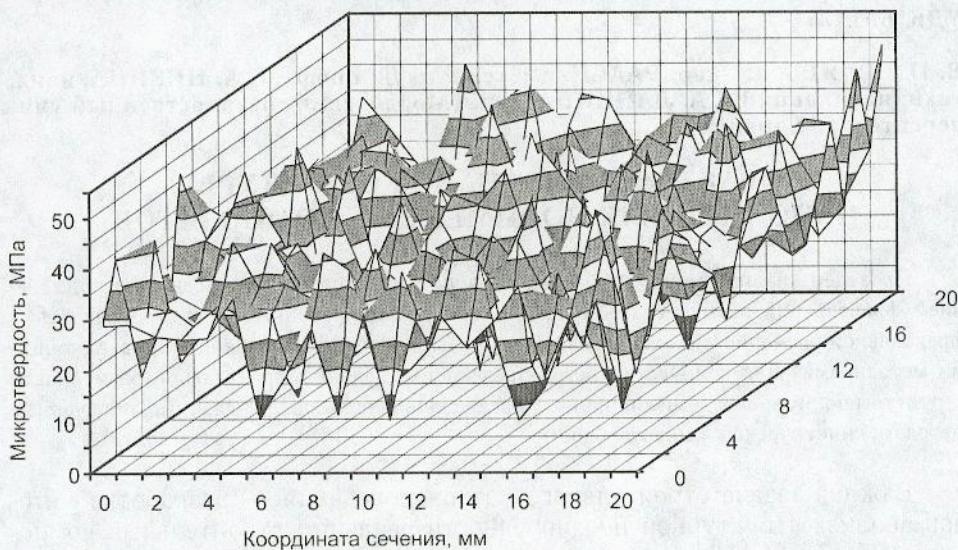


Рис. 1. Изменение микротвердости по поверхности эпоксидного композита

с различным шагом (рис. 2, 3). Полученные изображения позволяют убедиться, что структура данного композита обладает свойством скейлинга, т. е. она самоподобна на различных масштабных уровнях.

В настоящее время для определения значений фрактальной размерности используется множество методик, в том числе метод покрытия квадратами, метод Херста (метод нормированного размаха), Фурье-анализ профилей, метод вертикальных сечений, метод островов среза и т.д.

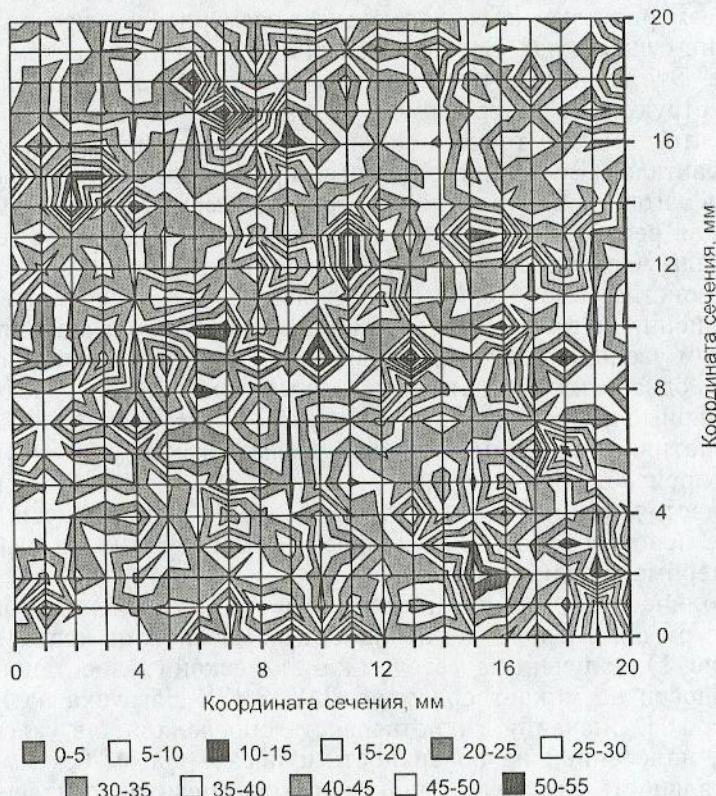


Рис. 2. Распределение микротвердости по сечению эпоксидного композита (шаг между экспериментальными точками — 1 мм)

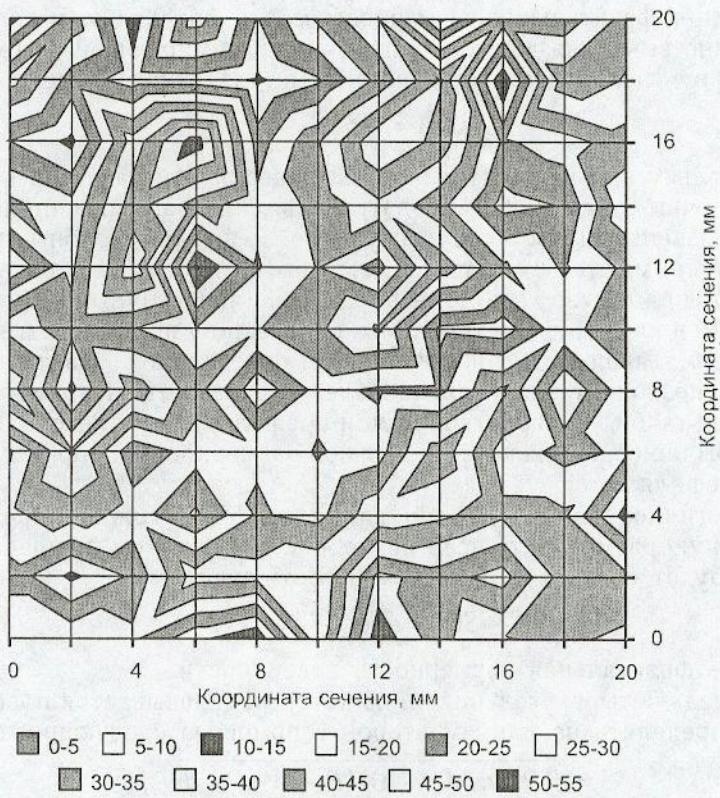


Рис. 3. Распределение микротвердости по сечению эпоксидного композита (шаг между экспериментальными точками — 2 мм)

В классическом примере для определения фрактальной размерности в качестве фрактальной системы рассматривается непрерывная линия, являющаяся берегом реки или озера [4]. Измеренная длина описывается приближенной формулой

$$L(\delta) = a \cdot \delta^{1-D}, \quad (1)$$

где δ — размер звена ломаной линии;

a — постоянный коэффициент;

D — фрактальная размерность.

Наибольшее развитие при определении фрактальной размерности получил метод покрытия квадратами. В общем случае при использовании данного метода требуется покрыть фрактальное множество d -мерными блоками с длиной ребра δ , произвести подсчет их числа $N(\delta)$, построить график в двойных логарифмических координатах $\log(N(\delta)) - \log(\delta)$ и определить по углу наклона величину фрактальной размерности:

$$D = -\log(N(\delta)) / \log(\delta). \quad (2)$$

Однако данный метод обладает тем недостатком, что приходится эмпирическим путем подбирать величину δ , так как, с одной стороны, она должна быть не настолько мала, чтобы стал невозможным подсчет числа элементов, а с другой — не настолько велика, чтобы выйти за область применимости. Кроме того, использование геометрического метода определения фрактальной размерности непосредственно к поверхности — сложная задача, поэтому обычно рассматриваются профили поверхности в различных сечениях.

Учитывая, что в ходе экспериментальных исследований нами получены числовые значения распределения микротвердости по высоте попереч-

ногого сечения, фрактальную размерность можно определить и иначе, непосредственно вычисляя длину ломаной, аппроксимирующей рассматриваемый профиль поверхности, при различных значениях размера звена:

$$L(\delta) = a \cdot \delta^{1-D_l}. \quad (3)$$

Поскольку в нашем случае форма поверхности задается в виде отдельных точек, то аппроксимировать профили ломанными линиями с одинаковыми звеньями достаточно неудобно. С другой стороны, точки поверхности снимаются с определенным шагом (по оси X и по оси Y). Этот шаг можно принять за характерный размер δ (аналогичный размеру звена или ячейки в клеточном методе) и находить длину профиля L в зависимости от него. Такая модификация метода определения фрактальной размерности позволяет значительно облегчить расчеты. Параметр D_l при этом будет такой же характеристикой профиля, как и клеточная размерность. Обычно ее называют фрактальной размерностью, определяемой по длине профиля.

Аналогично размерности по длине профиля можно определить и фрактальную размерность всей поверхности. При этом площадь поверхности S будет связана с размером δ соотношением

$$S(\delta) = a \cdot \delta^{2-D_S}, \quad (4)$$

где D_S — фрактальная размерность поверхности.

Площадь четырехугольников, из которых складывается поверхность, можно определять по длинам сторон с помощью следующих формул:

$$S = \sqrt{(P - a) \cdot (P - b) \cdot (P - c) \cdot (P - d)}, \quad (5)$$

где $P = (a + b + c + d) / 2$;

a, b, c, d — стороны четырехугольника, рассчитываемые по координатам точек поверхности.

При использовании формулы (5) было сделано допущение, что все четырехугольники, из которых складывается поверхность, являются вписанными. Однако, как показал анализ, данное условие на практике соблюдается лишь в очень редких случаях.

На наш взгляд, более целесообразно разбить каждый четырехугольник на два треугольника и определить их площадь по формулам:

$$S_1 = \sqrt{P_1 \cdot (P_1 - a) \cdot (P_1 - b) \cdot (P_1 - m)}, \quad (6)$$

$$S_2 = \sqrt{P_2 \cdot (P_2 - c) \cdot (P_2 - d) \cdot (P_2 - m)}, \quad (7)$$

где $P_1 = (a + b + m) / 2$; $P_2 = (c + d + m) / 2$;

m — диагональ четырехугольника, рассчитываемая по координатам точек поверхности.

В остальном алгоритм нахождения D_S аналогичен предыдущему случаю для профилей поверхности. Данный модифицированный метод определения фрактальной размерности значительно легче реализуемый и более удобный по сравнению с определением размерности по числу элементарных кубиков, необходимых для покрытия поверхности.

По результатам проведенных экспериментальных исследований методом покрытия квадратов и предложенными методами были получены значения фрактальной размерности эпоксидных композитов, наполненных мелом, маршалитом и диатомитом при степенях наполнения 0, 20, 50 и 80%. Параллельно для каждого состава исследовалось по 49 профилей и 6 поверхностей.

Анализ результатов обработки показал (таблица), что с увеличением степени наполнения с 0 до 50% для всех исследуемых наполнителей

Изменение значений фрактальной размерности от степени наполнения, определенных различными методами

Степень наполнения, %	Вид наполнителя								
	Мел			Маршалит			Диатомит		
	D	D _l	D _S	D	D _l	D _S	D	D _l	D _S
0	1,167	1,232	2,350	1,167	1,232	2,350	1,167	1,232	2,350
20	1,492	1,484	2,630	1,685	1,663	2,803	1,427	1,442	2,586
50	1,855	1,797	2,894	1,958	1,924	2,956	1,788	1,739	2,846
80	1,825	1,764	2,884	1,916	1,898	2,958	1,781	1,739	2,864

происходит значительное повышение величин фрактальных размерностей, что свидетельствует о возрастании неоднородности распределения свойств по сечению материала. Дальнейшее повышение степени наполнения до 80% практически не влияет на значения фрактальной размерности. Составы, наполненные самым крупным наполнителем из исследуемых — маршалитом, обладают более высокими величинами фрактальной размерности, что свидетельствует о наиболее неравномерном распределении свойств по высоте поперечного сечения.

Значения фрактальной размерности D_l , определяемые по длине профиля, отличаются от величин фрактальной размерности, определяемых клеточным методом. Это связано в первую очередь с различием в определении δ , поскольку в первом случае — это размер ячейки, а во втором — расстояние между точками поверхности. Между величинами фрактальной размерности, определенными по длине профиля, площади поверхности и клеточным методом, наблюдается тесная линейная корреляционная зависимость. Коэффициенты корреляции составляют 0,98–0,99, что свидетельствует о хорошей сопоставимости предлагаемых методов.

Значения фрактальной размерности, определяемые по площади поверхности (рис. 4), являются наиболее общей характеристикой структуры композиционных материалов, так как в этом случае учитываются все анализируемые профили. Если анализ структуры выполняется по кривым распределения микротвердости, то величина фрактальной размерности представляет количественную характеристику неравномерности распределения упругопрочных свойств композитов по высоте поперечного сечения.

Дробная размерность структуры полимерных композитов не только характеризует их геометрический образ, но и отражает процессы их образования и эволюции, а также определяет свойства материала. Это позволяет дать компактный способ описания объектов и процессов, решить проблемы оптимизации и прогнозирования свойств полимерных композитов.

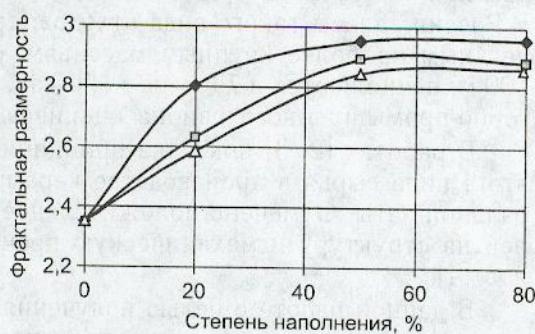


Рис. 4. Изменение фрактальной размерности, определяемой по площади поверхности, от степени наполнения эпоксидных композитов

1 — маршалит; 2 — мел; 3 — диатомит

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова В. С. Синергетика: Прочность и разрушение металлических материалов/В. С. Иванова.— М.: Наука, 1992.— 160 с.
2. Mandelbrot B. B. The fractal geometry of nature/B. B. Mandelbrot.— N.Y.: Freeman, 1983.— 480 p.

3. Селяев В. П. Анализ микроструктуры эпоксидных композиционных материалов / В. П. Селяев, Т. А. Низина, Ю. А. Ланкина и др. — Н. Новгород: ВРО РААСН, 2003. — С. 81–88.
4. Федер Е. Фракталы / Е. Федер: Пер. с англ. — М.: Мир, 1991. — 254 с.

© Селяев В. П., Низина Т. А., Ланкина Ю. А., 2007

Получено 10.01.07

УДК 691.51/55 : 666.941.2

В. Н. ЗЫРЯНОВА, канд. техн. наук, доц., Г. И. БЕРДОВ, д-р техн. наук, проф. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин));
В. И. ВЕРЕЩАГИН, д-р техн. наук, проф., С. В. ЭРДМАН, канд. техн. наук, доц. (Томский политехнический университет)

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНЕЗИАЛЬНО-ДИОПСИДОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕХАНИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ ДИОПСИДОВ

Исследовано влияние механической активации на гидратационную активность диопсида и свойства композиционного магнезиально-диопсидового вяжущего материала.

Установлено, что при тонком измельчении вследствие высокой дисперсности и дефектности структуры диопсида наблюдается проявление гидратационных свойств минералом. Введение тонкомолотого диопсида в качестве активного заполнителя позволяет получать композиционное магнезиально-диопсидовое вяжущее с прочностью 30–50 МПа, водостойкостью $K_{ct} = 0,8 - 0,9$.

Значительное количество природного магнезиально-силикатного сырья при извлечении 1–3% полезных ископаемых поступает в отвалы. В России запасы такого вида отходов, ориентировочно оцененные по отдельным наиболее крупным массивам, областям и районам на глубину 100 м, исчисляются в 75 млрд т [1]. Так, диопсидовые отходы Алданского горно-промышленного района оцениваются в десятки миллионов тонн.

В работах [2, 3] показана принципиальная возможность вовлечения этого вида сырья в производство керамической плитки, глазурей, минеральной ваты. Отмечено положительное влияние силикатных заполнителей на структуру и механическую прочность композиционных материалов [4].

В данной работе с целью получения композиционных магнезиальных вяжущих веществ исследованы диопсидовые отходы горно-обогатительно-го комбината (ГОК) «Алдан-слюда», влияние механической активации диопсида на свойства композиционного магнезиально-диопсидового вяжущего материала. Экспериментальные исследования выполнены в Институте химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск).

Отходы диопсида представляют собой обломки с размерами 0,25–0,003 м, серо-зеленого цвета со стеклянным блеском. Химический состав проб диопсида, отобранных из отвалов ГОК «Алдан-слюда», представлен в табл. 1.

Приведенные результаты показывают, что состав проб достаточно стабилен, потери при прокаливании (Δm) не превышают 1%. Содержание MgO составляет 23–25 мас. %.

Рентгенофазовый анализ показывает, что диопсидовые отходы содержат диопсид ($d = 0,322; 0,299; 0,295; 0,255; 0,251; 0,218; 0,204; 0,175$;

Таблица 1
Химический состав диопсида

№ пробы	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Δm(п.п.п.)
1	51,93	3,94	3,26	25,96	14,71	0,05	0,15
2	50,62	4,94	3,46	23,92	16,90	0,42	0,74
3	49,69	3,94	4,53	24,26	15,26	0,50	0,34
4	47,69	6,74	3,89	23,87	14,89	0,19	0,53
5	47,00	9,00	4,36	25,64	13,00	0,28	0,72

0,150 нм) с примесью флогопита ($d = 0,330; 0,157$ нм), скаполита ($d = 0,186$ нм), кальцита ($d = 0,219; 0,187$ нм).

Термический анализ диопсида свидетельствует, что при нагревании до 1000°C не наблюдается фазовых превращений, общие потери массы составляют 2%. На кривой ДТА присутствуют широкое «галло» в области температур 200–500°C и незначительные по интенсивности эндоэффекты при 608, 745°C, характеризующие удаление кристаллизационной воды из флогопита и разложение кальцита.

Диопсид $MgCa(SiO_3)_2$ — магний-кальциевый силикат, относится к неорганическим линейным кремнекислородным полимерам. Тетраэдры $[SiO_4]$, соединяясь между собой двумя вершинами, образуют одинарную цепочку, бесконечную в одном направлении. Каждый тетраэдр в цепочке имеет два общих атома кислорода («скелетный кислород») с двумя соседними тетраэдрами и два «анионных кислорода», через которые катионы Mg^{2+} и Ca^{2+} соединяют цепочки в решетку. Состав цепи $[SiO_3]_\infty$.

В отличие от силикатов кальция, магний-кальциевый силикат (диопсид) обладает высокой стойкостью по отношению к кислотам. При воздействии кислот он не выделяет гелей, но образует полимерный диоксид кремния в виде порошкообразного осадка [5].

В нормальных условиях диопсид гидратируется очень слабо. При длительной гидратации (5 лет) поверхность зерен минерала покрывается гелеобразной массой, не обладающей вяжущими свойствами [6]. При электрическом воздействии на кристаллическую решетку диопсида возможен выход на поверхность ионов, входящих в решетку. При тонком измельчении диопсид приобретает активность, схватывается и твердеет [7].

С целью изучения гидратационной активности диопсид подвергался помолу в шаровой мельнице и механической активации в планетарно-центробежной мельнице.

Помол в шаровой мельнице осуществлялся до гранулометрического состава, отвечающего требованиям ГОСТ 10178-87 для вяжущих веществ. Плотность порошка составляет 3,28 г/см³, насыпная плотность 1,87 г/см³, удельная поверхность 2,6 м²/г. Гидратационную активность порошка диопсида оценивали по величине предела прочности при сжатии образцов — кубов с ребром 0,02 м, затворенных раствором хлорида магния плотностью 1,2 г/см³ при отношении Ж : Т = 0,3.

При кратковременном помоле в шаровой мельнице до удельной поверхности 0,1 м²/г диопсид характеризуется слабыми вяжущими свойствами. Диопсидовое тесто схватывается и твердеет не ранее пяти часов. Предел прочности при сжатии не превышает 0,5 МПа. При увеличении удельной поверхности порошка до 2,6 м²/г гидратационная активность возрастает. Сроки схватывания теста: начало — 2 ч 40 мин, конец — 3 ч 20 мин. Предел прочности при сжатии равен 2,5–3,0 МПа.

Механическую активацию диопсида проводили в планетарно-центробежной мельнице в стальных барабанах со стальными мелющими шарами

в воздушной среде (центробежное ускорение — 20 g), соотношение массы навески и шаров 1:60, время активации — 5, 15, 60 мин.

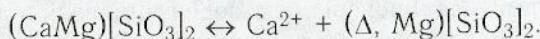
На рентгенограмме активированного в течение 5 мин диопсида наблюдается уширение и уменьшение интенсивности большинства линий, характерных для диопсида ($d = 0,332; 0,322; 0,299; 0,251; 0,215; 0,175; 0,157; 0,150$ нм). Линии меньшей интенсивности ($d = 0,835; 0,152; 0,148; 0,156$ нм) исчезают. Кристалличность диопсида, оцененная по полуширине максимальной линии ($d = 0,299$ нм), после активации понижается до 28%.

На кривой ДТА активированного диопсида наблюдается экзотермический эффект при 340°C. После прокаливания пробы при 350°C экзоэффект исчезает. Природа экзоэффекта не исследована. Можно предполагать, что при активации свежеобразованная поверхность обладает «избыточной» поверхностной энергией из-за образования большой концентрации дефектов.

Известно, что при активации в течение 5–10 мин материал запасает энергии 33–50 кДж/моль [5]. Этого запаса энергии достаточно для растяжения пироксеновой цепи за счет отклонения тетраэдров и увеличения числа катионных позиций. Вследствие этого вероятен выход крупных катионов из структуры.

Исследована химическая устойчивость диопсида после помола и механической активации. Водородный показатель фильтратов кипячения диопсида в воде и водном растворе соляной кислоты изменяется. В случае обычного помола диопсида в шаровой мельнице pH фильтрата равен 7,2–7,3, среда нейтральная. Фильтраты активированного в течение 5 и 10 мин диопсида имеют pH = 8,35–8,5; при 60-минутной активации фильтрат имеет слабокислую среду, pH = 6,8. В водном и кислотном фильтратах диопсида присутствуют ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Si^{4+} , причем концентрация иона Ca^{2+} во всех случаях значительно выше.

Можно предположить, что при механической активации имеют место механохимическая деструкция диопсида, нарушение связи $\text{Ca}-\text{O}-\text{Si}$, $\text{Mg}-\text{O}-\text{Si}$ и выход катионов из структуры:



Дефектная поверхность частиц диопсида способна к адсорбции заряженных частиц, ионов, функциональных групп.

Активированный диопсид обладает повышенными гидратационными свойствами. Сроки схватывания диопсидового теста укорачиваются, предел прочности при сжатии возрастает до 3,7–4,8 МПа (табл. 2).

Следует отметить, что тонкий помол в шаровой мельнице и активация в планетарно-центробежной мельнице способствуют повышению гидратационной активности диопсида, но использовать диопсидовый порошок как самостоятельное вяжущее нецелесообразно. Наиболее эф-

Таблица 2

Физико-механические свойства диопсида

Apparatus, режим помола	Остаток на сите, мас. %			$S_{уд.}$, $\text{м}^2/\text{г}$	ρ , $\text{г}/\text{см}^3$	$\rho_{нас.}$, $\text{г}/\text{см}^3$	Сроки схватывания, ч-мин		$R_{сж.}$, МПа		β , %
	02	008	<008				Начало	Конец	7 сут	28 сут	
ШМ, 0,5 ч	20,5	26,0	53,5	0,1	3,28	1,87			0,5	0,5	—
ШМ, 2 ч	5,5	15,0	79,5	2,6	3,28	1,87	2-40	3-20	2,5	3,0	—
ПЦМ, 5 мин	—	7,5	92,5	4,5	3,27	1,71	2-15	2-40	3,5	3,5	28
ПЦМ, 10 мин	—	6,0	94,0	5,0	3,26	1,70	2-05	2-20	4,0	4,0	20
ПЦМ, 15 мин	—	4,0	96,0	5,5	3,24	1,69	2-10	2-35	4,5	4,8	11

Примечание. β — степень кристалличности, ШМ — шаровая мельница, ПЦМ — планетарно-центробежная мельница.

фективно его применение в качестве активного заполнителя в композиционном вяжущем.

В качестве основного компонента композиционного магнезиально-диопсидового вяжущего могут использоваться высокомагнезиальные промышленные отходы, содержащие активный MgO , — бруситовая пыль, тонкодисперсные фракции брусита, запечные магнезитовые и доломитовые пыли, магнезиальные шламы от переработки рассолов. В качестве активного заполнителя вводится тонкоизмельченный диопсид. Компоненты смешиваются в соотношении 30:70 мас. % и гомогенизируются. Композиционное вяжущее характеризуется высокой механической прочностью (30–50 МПа), повышенной водостойкостью ($K_{ct} = 0,8 - 0,9$) и стандартными сроками схватывания (табл. 3).

Таблица 3
Физико-механические свойства магнезиально-диопсидового вяжущего

Состав вяжущего	Условия измельчения		Сроки схватывания, мин		$R_{cж.}$, МПа, после твердения в течение 28 сут			
	Аппарат	Время	Начало	Конец	Воздух	Вода	3%-й раствор $MgSO_4$	3%-й раствор $MgCl_2$
Магнезиальный шлам	ШМ	0,5 ч	20	45	50	28	19	28
Бруситовая пыль	ШМ	2 ч	35	55	40	22	17	19
Шлам-диопсид	ШМ	2 ч	115	124	30	30	28	28
	ПЦМ	5 мин	60	110	50	45	43	45
Бруситовая пыль-диопсид	ШМ	2 ч	60	80	45	43	38	48

Таким образом, механическая активация диопсидовых отходов в шаровых или планетарно-центробежных мельницах обеспечивает их эффективное применение в качестве активного заполнителя при получении композиционных магнезиальных вяжущих материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боженов П. И. Комплексное использование минерального сырья для производства строительных материалов / П. И. Боженов. — Л.: Госстройиздат, 1963. — 176 с.
2. Майдуров В. А. Керамическая плитка на основе диопсидовых и волластонитовых пород Якутии и Прибайкалья / В. А. Майдуров: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 1987.
3. Верещагин В. И. Возможности использования безжелезистых и волластонитовых пород для производства глазурей / В. И. Верещагин, В. А. Майдуров, В. М. Погребенок: Матер. всесоюз. межвед. совещ. Перспективы использования диопсидового и волластонитового сырья Южного Прибайкалья. — Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1987. — С. 47–48.
4. Бородина И. А. Влияние силикатных наполнителей на структуру и механическую прочность композиционных материалов / И. А. Бородина, В. В. Козик, Г. И. Бердов, В. Н. Зырянова, Е. В. Парикова // Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении. — Новосибирск, 2005. — С. 49–54.
5. Горшков В. С. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В. С. Горшков, В. Г. Савельев, Н. Ф. Федоров. — М.: Высш. шк., 1988. — 400 с.
6. Горшков В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашев. — М.: Высш. шк., 1963. — 286 с.
7. Верещагин В. И. Повышение прочности бетона активацией заполнителей электроимпульсным дроблением алданских диопсидов / В. И. Верещагин, Л. К. Котенко, Л. Н. Пименова, В. Н. Сафонов; Депонир. ВНИИЭСМ; № 1745; Томск, 25.07.89.

© Зырянова В. Н., Бердов Г. И., Верещагин В. И., Эрдман С. В., 2007

Получено 25.12.06

Б. С. БАТАЛИИ, д-р техн. наук, проф., Д. Р. ГАЗЕТДИНОВ, асп. (Пермский государственный технический университет)

НЕОРГАНИЧЕСКОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

Приведены результаты исследования связующего на основе жидкого стекла для производства арматурных композиционных элементов из базальтового волокна.

В настоящее время в качестве армирующих элементов в железобетонных конструкциях в подавляющем большинстве случаев применяется металлическая арматура. Однако следует сказать, что такая арматура наряду с целым набором неоспоримых достоинств имеет много недостатков, присущих стали. Во-первых, она обладает низкой коррозионной стойкостью и во многих случаях требует принятия специальных защитных мер. Во-вторых, в ограждающих конструкциях она образует «мостики» холода, резко нарушающие теплозащитные свойства таких конструкций. И, наконец, это один из самых дорогих строительных материалов.

Альтернатива металлической арматуре — арматура неметаллическая как внутренняя, так и внешняя. При ее изготовлении используются термореактивные полимеры, например, на эпоксидном, полиэфирном или других связующих [1, 2]. Многие из них экологически небезопасны, поэтому применение такой арматуры должно быть ограничено, особенно в жилых зданиях.

Исследования неорганического связующего для внешней арматуры и приведены в данной статье. Внешняя арматура может выполнять одновременно три функции: силовую, защитную и функцию несъемной опалубки при бетонировании. Поскольку стеклопластиковая внешняя арматура непроницаема для воды и воздуха, она надежно защищает бетон от воздействий внешней среды, а благодаря высокой прочности выполняет функцию усиления несущей способности конструкции, причем более эффективно, чем внутренняя стержневая арматура. Если внешнего армирования недостаточно для восприятия механических нагрузок, дополнительно применяется внутренняя арматура, которая может быть как стеклопластиковой, так и металлической. Это уже комбинированное армирование [3]. Отметим также, что основной характеристикой внешнего армирования является больше прочность на сжатие, а не на изгиб или на растяжение.

Один из перспективных материалов для создания неметаллической арматуры — базальтовое волокно. В ряде развитых стран научно-техническое направление в области базальта включено в категорию приоритетных. Базальтоволокнистые композиционные и гибридные материалы и технологии фигурируют в разделе «Новые материалы и химические продукты» «Перечня приоритетных направлений развития науки и техники и критических технологий Федерального уровня», утвержденного Правительственной комиссией по научно-технической политике Российской Федерации 06.07.96 г. [4].

В настоящее время усилия научных, проектных, конструкторских и производственных организаций Москвы и России по становлению практически новой отрасли промышленности объединены в рамках «Комплексной программы по применению новых базальтоволокнистых материалов и изделий в городском хозяйстве Москвы в 1998–2000 гг. и до 2005 г.» [4].

На кафедре «Стройматериалов и специальных технологий» ПГТУ предпринята попытка заменить полимерное связующее в арматурных

элементах минеральным. Проведенные на кафедре предварительные эксперименты показали, что из базальтового волокна с жидким стеклом в качестве связующего при использовании катализатора твердения в виде кремнефторида натрия может быть получен прессованный материал прочностью при сжатии более 50 МПа.

Состав вяжущего в экспериментах включал (мас. %): жидкое стекло — 81%, молотое базальтовое стекловолокно — 8,5%, кремнефторид натрия (Na_2SiF_6) — 8%, гидроксихлорид алюминия ($\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$) — 2,5%.

Поскольку базальтовое волокно представляет собой стекло с высокой размалываемостью, было высказано предположение, что в качестве компонента вяжущего можно применять молотое базальтовое волокно. Кроме того, в последующих экспериментах было решено до минимума снизить содержание кремнефторида натрия, так как это вещество ядовито.

Для исследований использовали следующие компоненты: базальтовое волокно толщиной 3–9 мкм, длиной 40–60 мм; связующее: жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078-81); молотое базальтовое стекловолокно (фракция менее 0,14); гидроксихлорид алюминия (ГХА) — $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$; кремнефторид натрия (Na_2SiF_6).

Опыты проводили с применением математического планирования эксперимента. В качестве плана эксперимента была выбрана полуреплика четырехфакторного центрального ортогонального плана. При этом четвертым фактором использовали тройное взаимодействие компонентов, считая его незначимым, а переменными факторами — ГХА; жидкое стекло; молотое базальтовое стекловолокно; кремнефторид натрия (табл. 1, 2).

Таблица 1
Матрица планирования
в натуральном виде, г

X_1 (ГХА)	X_2 (жидкое стекло)	X_3 (молотое базальто- вое волокно)	$X_4 = X_1X_2X_3$ (кремнефторид натрия)
3,5	50	6,25	4,84
1,5	50	6,25	2,84
1,5	40	6,25	4,84
3,5	40	5,25	4,84
3,5	50	5,25	2,84
3,5	40	6,25	2,84
1,5	50	5,25	4,84
1,5	40	5,25	2,84

Таблица 2
Результаты эксперимента

Плотность, г/см ³	Прочность образцов при сжатии, МПа		Водопоглоще- ние, %	Коэффици- ент раз- мягчения
	сухих	насыщен- ных водой		
1,74	129,00	9,49	14,20	0,73
1,73	168,60	18,74	10,67	1,11
1,79	145,57	13,45	12,83	0,92
1,76	97,63	15,55	14,07	1,59
1,80	164,23	15,35	11,37	0,93
1,59	81,64	5,4	20,4	0,66
1,84	318,63	25,3	9,53	0,79
1,82	154,8	11,81	12,13	0,76
Среднее	157,51	14,39	13,15	0,94

Экспериментальные образцы изготавливали следующим образом. Базальтовое волокно измельчали до полного прохождения через сито 0,14. Приготавливали связующее на основе жидкого стекла с добавлением ГХА и кремнефторида натрия. Полученную дисперсию тщательно перемешивали и формовали образцы в виде цилиндров диаметром и высотой 5 см в пресс-форме соответствующего размера.

Далее осуществляли прессование на прессе П-10 при давлении 40 МПа с 2–3 разгрузлениями.

После формования распалубленные образцы подвергали термической обработке: сначала сушка при температуре 100°C в течение 24 ч; а затем обжиг (5–6 ч) при температуре 350°C. Обожженные образцы охлаждали на воздухе, взвешивали, определяли размеры и вычисляли плотность, после чего испытывали на прочность при сжатии на прессе П-10. На параллельных образцах определяли водопоглощение и коэффициент размягчения полученного композиционного материала.

В качестве функций отклика в эксперименте использовали прочность при сжатии $R_{сж}$, водопоглощение по массе B_m и водостойкость $K_{разм}$.

После обработки результатов получено следующее уравнение регрессии:

$$R_{сж} = 157,51 - 39,41X_1 + 37,59X_2 - 26,32X_3 - 19,98X_2X_3, \quad (1)$$

где X_1 — ГХА;

X_2 — жидкое стекло;

X_3 — молотое базальтовое стекловолокно;

$X_4 = X_1X_2X_3$ — кремнефторид натрия.

Проверка уравнения регрессии по критерию Фишера показала, что оно является адекватным.

Следовательно, на основании этого уравнения можно утверждать, что в исследованной области

- при увеличении содержания ГХА прочность образцов уменьшается;

- при увеличении содержания жидкого стекла прочность образцов увеличивается;

- при увеличении содержания базальтового стекла (молотого базальтового волокна) прочность образцов также уменьшается;

- при увеличении содержания кремнефторида натрия (Na_2SiF_6) прочность образцов увеличивается.

При исследовании зависимости прочности материала от давления прессования образцов установлено, что близким к оптимальному является давление в 400 кг / см², так как уменьшение или повышение дает снижение прочностных свойств материала (рис. 1).

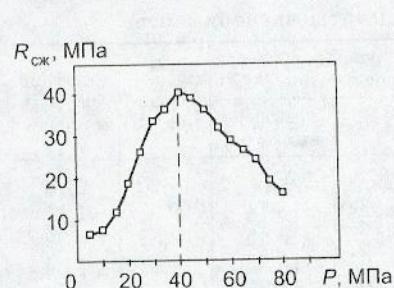


Рис. 1. Зависимость прочности от давления прессования

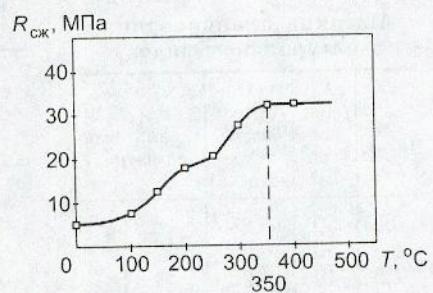


Рис. 2. Зависимость прочности от температуры обжига

Также близкой к оптимальной является температура 350°C. При дальнейшем увеличении температуры обжига прочность материала остается постоянной, следовательно, более высокая температура не требуется (рис. 2).

Выводы. 1. В результате проведенного исследования был разработан состав связующего из минеральных компонентов на основе жидкого стекла. Впервые в состав связующего было введено молотое базальтовое волокно.

2. На основе полученного связующего возможно получение внешней стеклопластиковой арматуры.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что для наружного армирования может быть получен стеклокомпозиционный материал на основе базальтового волокна без применения полимерного связующего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2009037. Арматурные стержни из композиционных материалов на основе базальтовых волокон.

2. Пат. № 2220049. Стержни для армирования бетона.
3. СНиП 2.03.03-85. Армоцементные конструкции.
4. www.basaltfibre.com/library/articles/volokno2.htm

© Баталин Б. С., Газетдинов Д. Р., 2007

Получено 29.11.06

УДК 691.434.001.4

А. В. АБДРАХИМОВ, инж. (ПК «НАУКА», г. Усть-Каменогорск, Казахстан);
Е. С. АБДРАХИМОВА, д-р техн. наук, доц., Е. В. ВДОВИНА, инж., В. З. АБДРАХИМОВ, д-р техн. наук, проф. (Самарский государственный архитектурно-строительный университет)

К ВОПРОСУ О ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГЛАЗУРОВАННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕГКОПЛАВКОЙ ГЛАЗУРИ

Исследования показали, что в результате ликвации стекло глазури в области повышенного содержания кремния разделяется на области, обогащенные кремнеземом, цирконием, натрием, бором и кальцием. Температурный интервал ликвации является функцией условий термообработки глазури.

В современном строительстве для облицовки фасадных поверхностей зданий широко применяют керамический кирпич, лицевая поверхность которого покрывается глазурью. Облицовочные глазурованные кирпичи отличаются высокими декоративными свойствами.

Исследования показали, что для получения облицовочного керамического кирпича состава, мас. %: глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд — 50, продукт сгорания от базальтовой шихты при получении минеральной ваты — 50 необходимо использовать глазурь марки 24/75.

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) кирпича и глазури определяли дилатометрическим методом. Дилатометрические исследования штабиков, вырезанных из кирпича и глазури размером 5×5×50 мм, проводились путем непосредственной записи при нагревании образцов с помощью дилатометра ДКВ-5А, оборудованного самописцем. Скорость нагрева 3°C/мин.

Образцы для дилатометрических исследований готовили сплавлением глазури в фарфоровых «лодочках». При таком способе их получения режим обжига образцов должен соответствовать режиму обжига изделий. Особенно важно выдержать ту же скорость охлаждения. Это требование является обязательным, и только при его соблюдении можно быть уверенным, что структура синтезированного образца (штабика) окажется тождественной или в достаточной мере близкой к структуре, которую имеет остывшая на изделии глазурь. В случае очень быстрого снижения температуры возможна закалка, которая резко отражается на дилатометрической кривой глазури. Она располагается выше кривой медленно охлажденного образца и имеет характерную площадку перед точкой температуры стеклования.

Исследования показали, что кирпич, обожженный при 1000°C, имел ТКЛР — $6,5 \cdot 10^{-4}$ °C, а глазурь — $6,4 \cdot 10^{-4}$ °C. Термостойкость облицовочного кирпича, покрытого глазурью 24/75, равнялась 150°C.

Термическая стойкость глазурованного кирпича в основном зависит от правильного подбора керамического черепка и глазури. На практике в случае их несоответствия изменяют состав глазури [1].

Одну и ту же глазурь нельзя применять для всех сортов керамических изделий. Если коэффициент расширения глазури меньше коэффициента расширения керамического материала, глазурь отскакивает. Если коэффициент расширения глазури больше, то при охлаждении изделия она растрескивается («цек» глазури).

Состав легкоплавкой глазури 24/75 состоял из следующих компонентов, мас. %: кварцевый песок — 13; каолин — 13; борная кислота — 39; сода кальцинированная — 2,5; циркон обезжелезистый — 12; криолит — 5; сверх 100% сернокислый кобальт — 0,02; мел — 9,5; углекислый стронций — 6 [1].

Одним из главных вопросов химии и технологии керамических материалов является вопрос о характере связи и силе сцепления между черепком и глазурью. Сцепление между фазами в гетерогенных системах определяется соотношением их поверхностной энергии, поверхностного натяжения между фазами сцепления [2]. Сцепление осуществляется как за счет сил Ван-дер-Ваальса между фазами, так и за счет образования промежуточных соединений. Для оценки возможного взаимодействия между фазами принято рассматривать смачивание между компонентами. Некоторые авторы полагают, что в случае хорошей смачиваемости глазурью керамического черепка между ними обязательно возникает некоторое химическое взаимодействие в тонком поверхностном слое на границе разделения фаз [3]. Полагают также, что слабое смачивание глазурью объясняется отрицательным электрическим зарядом, существующим на поверхности керамики.

По данным авторов статьи [3] при подборе глазури ТКЛР имеет большое значение, а по данным других авторов [4] — только ориентировочное. Значительную роль при этом играет эластичность глазури.

В работе [4] авторы полагают, что для лучшей смачиваемости важно подобие структур и типов внутрикристаллических связей обеих фаз, поэтому для улучшения смачивания в глазурь добавляют те компоненты, которые используются в керамическом черепке.

В глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд основным глинистым компонентом является каолинит, основной минерал каолина [5], а в продукте от сгорания базальтовой шихты — кальций, основной элемент мела.

На рис. 1 и в таблице показан поэлементный усредненный химический анализ продукта сгорания от базальтовой шихты, проведенный с помощью электронного растрового сканирующего микроскопа Phillips 525M.

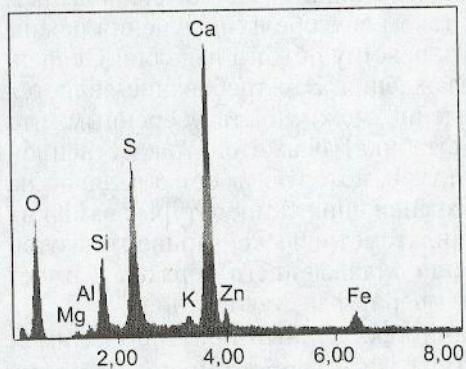


Рис. 1. Поэлементный химический анализ продукта сгорания базальтовой шихты

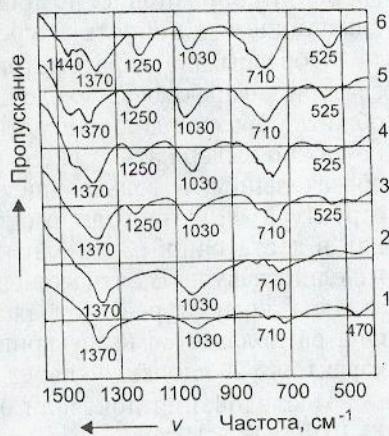


Рис. 2. ИК-спектры глазури 24/75, исходной и обожженной
1 — исходной; температура обжига, °C:
2 — 400, 3 — 500, 4 — 600, 5 — 700,
6 — 950

Поэлементный химический анализ продукта от сгорания базальтовой шихты

Компоненты	Концентрация, мас. %								
	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Zn	Fe
Продукт от сгорания базальтовой шихты при производстве минеральной ваты	49,78	—	0,07	3,37	10,99	0,87	29,17	1,55	4,21

Содержание в глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд каолинита составляет 45–48%, Ca в продукте сгорания от базальтовой шихты — 29,17%, а содержание в глазури 24/75 каолина и мела соответственно 13 и 9,5%.

В работе [1] указывалось, что отдельные случаи невысокой термостойкости при близких значениях ТКЛР могут иметь различное происхождение, например, когда глазурь «не созрела», т.е. в ней осталось некоторое количество нерастворившегося кварца.

Цекоустойчивость глазурованных изделий обусловлена в основном соотношением средних ТКЛР массы и глазури в интервале температур от комнатной до начала размягчения глазури, т.е. исчезновения в ней напряжений. В зависимости от этого соотношения в глазури могут возникнуть остаточные напряжения растяжения или сжатия [1]. Так как предел прочности при сжатии глазурей (стекол) на порядок выше, чем при растяжении, то практически необходимо использовать массы, характеризующиеся более высоким ТКЛР, чем у покрывающей глазури [1, 3, 4].

Величина температурного коэффициента линейного расширения у облицовочного кирпича, как было указано выше, имеет значение выше ($\text{TKLR} = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$), чем ТКЛР глазури ($6,4 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Таким образом, для получения глазурованного керамического кирпича с повышенной термостойкостью необходимо правильно подобрать глазурь к керамическому черепку.

Под механизмом формирования глазури в данной работе понимается последовательность процессов, в результате которых возникают кристаллические и иные образования, обуславливающие светорассеивающую способность материала.

Исследование монолитов из глазури 24/75 было проведено ИК-спектроскопическим методом. Для определения спектральным методом минералогического состава и характера строения силикатов необходимо, чтобы при возникновении спектров строение исследуемых объектов не нарушалось [6]. Это достигается получением спектров поглощения при прохождении пучка лучей через тонкий слой исследуемого вещества либо спектров отражения лучей от полированной грани объекта, а также спектров комбинационного рассеяния света в видимой области, образующихся при рассеянии монохроматического излучения колеблющимися атомами или группами атомов в веществе [7].

Внутренняя энергия вещества складывается из энергии вращения и колебания ядер и энергии движения электронов. Спектры поглощения получаются при изменениях внутренней энергии в веществе в результате квантовых переходов из одного энергетического состояния в другое.

Для исследования сложных веществ используют преимущественно колебательные спектры поглощения, расположенные в инфракрасной области длин волн от 2 до 100 мк. На возбуждение их требуется энергия, соответствующая волновым числам от 100 до 5000 cm^{-1} (частота колебаний в cm^{-1} равна $10^4 / \lambda$, где λ — длина волны, мк) [6, 7].

Для получения монолитов фритту 24/75 плавили в тиглях при 1250°С, после чего быстро выливали на металлическую плиту. В работу брали только такие, которые не имели признаков опалесценции.

Отобранные монолиты термообрабатывали в интервале 400–950°C с выдержкой 15 ч и изучали с помощью ИК-спектроскопического метода анализа. ИК-спектры поглощения образцов получены на спектрофотометре «Spekord-75JR». Образцы готовились в виде суспензии порошка с вазелиновым маслом.

Практическая расшифровка полученных ИК-спектров ведется сравнением со спектрами известных веществ по наличию характеристических полос, частота максимумов которых составляет у трехмерных (слоистых, кольцевых) и одномерных в виде цепей — 1000–1100, у изолированных групп $[SiO_4]$ — 900–1000 см^{-1} [6, 7].

Количество линий или полос в спектре, их частоты и интенсивность дают возможность судить о наличии тех или иных элементов симметрии у исследуемого вещества.

Так, в трехмерных структурах частота максимумов поглощения составляет у кристобалита 1010–1260, у кварца 980–1200 и у кварцевого стекла 1027–1195 см^{-1} [6, 7]. Для этих решеток характерна связь Si—O—Si, но под разными углами.

Исследования показали, что в результате термообработки монолитов при 600°C стекла сохраняют прозрачность, после чего приобретают молочно-белый цвет, хотя и остаются полностью рентгеноаморфными. С помощью ИК-спектроскопического метода анализа было установлено, что в результате ликвации, как и в работе [8], происходит разделение стекла глазури на области двух типов: 1 — обогащенных кремнеземом; 2 — обогащенных цирконием, натрием, бором и кальцием.

На рис. 2 приведены спектры глазури 24/75 исходной и после термической обработки при температурах 400, 500, 600, 700 и 950°C.

Спектр глазури до термообработки, как и в работе [8], имеет четыре интенсивные полосы поглощения со следующими максимумами: 470, 710, 1030 и 1370 см^{-1} . Полосы 1370 и 710 см^{-1} характерны для соединений, имеющих трехкоординатный бор в виде изолированных группировок BO_3 [8].

Как видно из рис. 2, до 400°C в исследуемой глазури заметных изменений не происходит. Спектры глазури, термообработанные при 500 и 600°C, близки друг к другу, но отличаются от исходного наличием ступеньки с отметкой 1250 см^{-1} , на правом плече полосы 1370 см^{-1} и слабого пика с максимумом при 525 см^{-1} . Максимального развития указанные изменения достигают при 700°C, когда помимо усиления интенсивности пика 525 см^{-1} появляется ступенька также и в левом плече полосы 1370 см^{-1} .

Расщепление полосы на три составляющие (с вершинами 1250, 1370, 1440 см^{-1}) обусловлено полимеризацией треугольников BO_3 [8], а в таком случае только одна из ликвационных фаз может быть обогащена бором.

Исследование термообработанных монолитов также показывает, что ликвационная структура исчезает при температурах 700 и 950°C.

Таким образом, в процессе формирования глазури 24/75 происходит фазовое разделение стекла (ликвация), которая предшествует кристаллизационному процессу. В результате ликвации стекло глазури в области повышенного содержания кремния разделяется на области, обогащенные кремнеземом, цирконием, натрием, бором и кальцием. Температурный интервал ликвации является функцией условий термообработки глазури.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещагин В. И. Термическая стойкость облицовочных плиток из различных составов керамических масс и глазури / В. И. Верещагин, В. З. Абдрахимов // Вестн. Вост.-Казахстан. техн. ун-та. — 2002. — № 2. — С. 49–52.

2. Будников П. П. Химическая технология керамики и огнеупоров / П. П. Будников, В. Л. Балкевич, А. С. Бережной, И. А. Булавин, Г. В. Куклев, Д. Н. Полубояринов, Р. Я. Попильский. — М.: Стройиздат, 1972. — 552 с.
3. Грум-Гржимайло О. С. Диалометрия глазурей для санитарных изделий / О. С. Грум-Гржимайло, Н. С. Белостоцкая // Тр. НИИстройкерамики. — 1985. — Вып. 56. — С. 53–60.
4. Гальперина М. К. Влияние некоторых добавок на ТКЛР облицовочных плиток / М. К. Гальперина, С. В. Петриченко // Тр. НИИстройкерамики. — 1984. — Вып. 55. — С. 72–80.
5. Абдрахимов В. З. Глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд — сырье для производства керамических материалов / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, Д. В. Абдрахимов, А. В. Абдрахимов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2005. — № 5. — С. 38–42.
6. Абдрахимов В. З. Исследование фазового состава керамического кирпича ИК-спектроскопическим методом / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 5. — С. 41–44.
7. Куклев Г. В. Химия кремния и физическая химия силикатов / Г. В. Куклев. — М.: Выш. шк., 1966. — 464 с.
8. Грум-Гржимайло О. С. Механизм формирования глушителя в легкоплавких борно-циркониевых глазурах / О. С. Грум-Гржимайло, К. К. Квятовская, Л. М. Савватеева, Л. М. Сироткина, Н. С. Андреева // Тр. НИИстройкерамики. Исследования по созданию и внедрению в производство высококачественных керамических изделий для промышленного и массового жилищного строительства. — 1979. — С. 127–145.

© Абдрахимов А. В., Абдрахимова Е. С., Вдовина Е. В., Абдрахимов В. З., 2007

Получено 07.12.06

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.003 : 658.012.12

А. И. РОМАНОВА, д-р экон. наук, проф., М. А. КАРИМОВ, инж. (Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

РАСЧЕТ УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ЭЛАСТИЧНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Экономико-математическое моделирование процессов безубыточного функционирования позволило обосновать с учетом специфики строительной деятельности логику расчетов эластичности производственной деятельности. Получаемые результаты помогут гибко реагировать на эндогенные и экзогенные изменения рынка.

В строительстве содержанием управления является осуществление управляющих воздействий, направленных на обеспечение своевременного ввода в эксплуатацию объектов и производственных мощностей. Именно в этом заключается сущность и цель системы управления строительным производством, так как только готовые к выпуску продукцию и оказанию услуг объекты представляют товарную строительную продукцию, скорейшее получение которой повышает эффективность капитальных вложений.

Рассматривая зависимость устойчивости от управляемых решений, необходимо иметь в виду, что решение должно быть своевременным.

Своевременность принятия решений определяется главным образом способностью системы к быстрому перепланированию в условиях изменяющейся производственной ситуации. Управленческий персонал должен уметь реально оценивать экономическое состояние как своей организации, так и существующих и потенциальных контрагентов. Обеспечение надежного информационного поля зависит от квалифицированного персонала, способного реализовать устойчивое развитие предприятия, а уровнем и качеством информационного обеспечения в значительной степени определяется сегодня результативность управления строительной организацией.

Система управления производством создается для того, чтобы объект управления достиг заданного результата в условиях воздействия дестабилизирующих факторов внутренней и внешней среды. Задача управляющего органа состоит в принятии решений, снижающих влияние этого воздействия и направляющих объект управления к заданной цели. Значит, вероятность достижения цели (заданного результата) в реальных условиях производства и должна характеризовать устойчивость управления. Следовательно, управленческая устойчивость — это свойство системы, проявляющееся в способности достигать объектом управления заданного результата.

Для обеспечения управленческой устойчивости, кроме качественных сдвигов в персоналиях, организационных изменений и маркетинга, рекомендуется производить количественно расчет вариантов наилучшего соотношения между затратами на административно-управленческий персонал (накладными расходами) и общими — на производство (прямыми затратами). Все затраты строительной организации делятся на постоянные, т.е. те, которые изменяются со временем, и переменные, которые изменяются в зависимости от объемов производства и реализации продукции. Это различие между затратами является базой для проведения анализа точки безубыточности выполненных строительно-монтажных работ (СМР). Концепция безубыточного выполнения строительно-монтажных работ может быть выражена в простом вопросе: сколько единиц строительной продукции или услуг необходимо продать с целью возмещения произведенных при этом постоянных затрат. Соответственно цены на строительную продукцию устанавливаются таким образом, чтобы возместить все переменные затраты организации и получить надбавку, достаточную для покрытия постоянных затрат и получения прибыли. После того, как будет продано количество единиц строительной продукции, достаточное для того, чтобы возместить постоянные или периодические затраты, каждая дополнительная проданная единица продукции будет приносить строительной организации дополнительную прибыль сверх переменных затрат и расходов. Величина прироста этой прибыли зависит от соотношения постоянных и переменных затрат в структуре издержек строительной организации.

Стремление организации к увеличению прибыли естественно, так как в результате повышается доходность предприятия, что способствует укреплению его финансового положения. Однако рыночная конкуренция настолько интенсивна, что трудно планировать повышение прибыли до неограниченных размеров, а прогнозирование нереального роста прибыли нецелесообразно. По нашему мнению, важное значение приобретает планирование изменения других основных факторов (цена реализации единицы продукции, постоянные и переменные затраты), но таким образом, чтобы прибыль осталась неизменной.

Логика расчетов основывается на следующих известнейших положениях теории безубыточности. При увеличении затрат снижается при-

быль. Переменные затраты снижают прибыль пропорционально своему изменению. Постоянные затраты необходимы для воспроизведения, но несмотря на то, что не зависят от объема производства, также снижают прибыль.

Предлагается расширить известные положения теории безубыточности расчетом способов компенсации прибыли за счет некоторых факторов и, кроме того, решить проблему директ-костинга в строительстве: невозможность применения в расчетах безубыточности натурального объема по предприятиям строительного комплекса. Подобные расчеты могут называться расчетами эластичности производственной деятельности, или, точнее, управлеченской эластичностью, так как данные, необходимые для расчетов, равно как и получаемые результаты, есть компетенция управлеченского персонала.

Для выполнения факторного анализа способов компенсации любого из факторов, влияющих на прибыль за счет других факторов, нужно выяснить степень влияния 10%-го изменения каждого из факторов себестоимости на прибыль. В расчетах принято, что объем работ равен 100%, поэтому каждый показатель в расчете на единицу объема измеряется в процентах (табл. 1, 2).

Выбраны следующие, наиболее эффективно влияющие на прибыль факторы: увеличение продажной цены единицы продукции; объема производства; снижение постоянных и переменных издержек.

Таблица 1
Исходные данные для расчета эластичности
ОАО «XXX»

Исходные показатели	Количество, тыс.р.	Исходные показатели на 100% объема СМР, тыс.р. / %
Объем продукции	1677699	16776,99
Себестоимость	1569918	15699,18
Постоянные затраты	816357,36	8163,574
Переменные затраты	753560,64	7535,606
Прибыль	107781	1077,81

Таблица 2
Матрицы эластичности ОАО «XXX»

Действия предприятия (управленческие решения)	Количественное изменение				Влияние данного действия на при- быль, %
	Цена 1% продукции V_c , тыс. р.	Объем производства V , тыс. р.	Постоянны е затраты X_c , тыс. р.	Переменны е затраты X_v , тыс. р.	
Изменение цены продукции (V_c) на 10%	167769,9				155,6581
Изменение объема производства (V) на 10%		167769,9		75356,1	85,74223
Изменение постоянных затрат (X_c) на 10%			81635,74		75,74223
Изменение переменных затрат (X_v) на 10%				75356	69,91591

При расчете способа компенсации прибыли от изменения какого-либо из четырех факторов (т.е. для расчетов управлеченской эластичности по какому-либо из этих факторов) желательно придерживаться следующей последовательности вычислений:

- 1) определить влияние исходных факторов на прибыль (табл. 1);
- 2) вычислить новую прибыль при каждом действии предприятия (начальное изменение факторов равно 10%);
- 3) для адекватности вычислений выполнить проверку по формуле

$$\text{Прибыль} = (V_c - X_v/V) \cdot V - X_c.$$

При исходных данных табл. 1 и планируемом росте постоянных затрат (X_{c1}), например, на 15% эти вычисления для ОАО «XXX» будут выглядеть следующим образом:

$$X_{c2} = 816357,36 \cdot 1,15 = 938810,9 \text{ тыс.р.}$$

При этом прибыль снизится на 113%. Для компенсации прибыли цесообразен комплекс мероприятий, который рассчитывается по следующей схеме:

а) 10%-й рост продажной цены продукции увеличивает прибыль в 2,06 раза больше, чем 10%-е снижение постоянных затрат:

$$\frac{\text{Фактор изменения удельной цены на } 10\%}{\text{Фактор изменения постоянных затрат на } 10\%} = 155,66\% : 75,74\% = 2,06,$$

или растет на 7,28% ($15\% : 2,06 = 7,28\%$).

Проверка расчетов подтверждается тождеством:

$$\text{Прибыль} = 107781 \text{ тыс. р.} = (16776,99 \text{ тыс. р. / \%} \cdot 1,0728 - 7535,6 \text{ тыс. р. / \%}) \cdot 100\% - 938810,9 \text{ тыс. р.} = 107464,5 \text{ тыс. р.};$$

б) объем производства растет на 13,25%:

$$\frac{\text{Фактор изменения объема производства на } 10\%}{\text{Фактор изменения постоянных затрат на } 10\%} = 85,74\% : 75,74\% = 1,132;$$

$$15\% : 1,132 = 13,25\%.$$

$$\text{Прибыль} = 107781 \text{ тыс. р.} = (16776,99 \text{ тыс. р. / \%} - 7535,6 \text{ тыс. р. / \%}) \times (100\% + 13,25\%) - 938810,9 \text{ тыс. р.} = 107776,5 \text{ тыс. р.};$$

в) переменные затраты снижаются на 16,25%:

$$\frac{\text{Фактор изменения переменных затрат на } 10\%}{\text{Фактор изменения постоянных затрат на } 10\%} = 69,91\% : 75,74\% = 0,92;$$

$$15\% : 0,92 = 16,25\%.$$

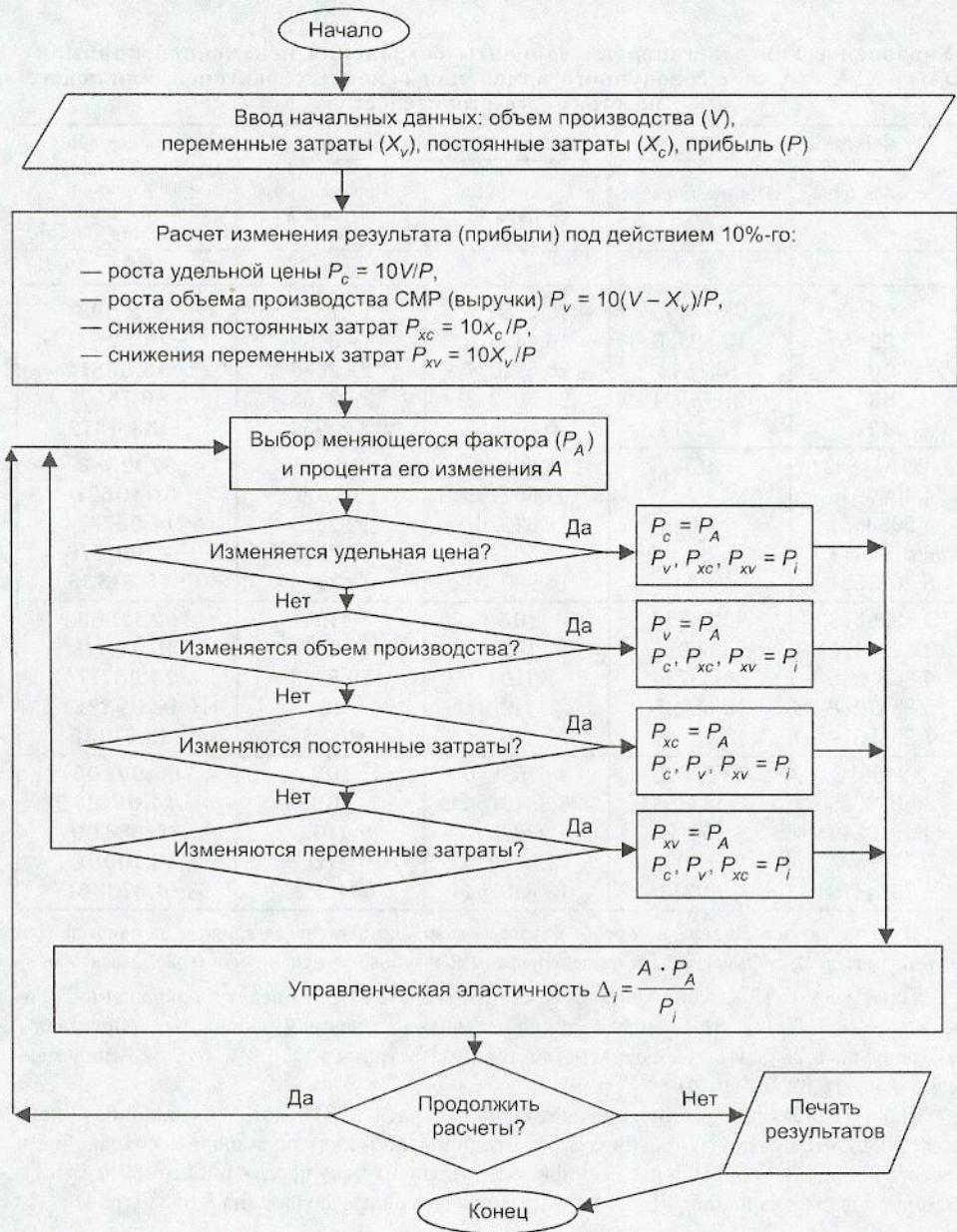
$$\text{Прибыль} = 107781 \text{ тыс. р.} = (16776,9 \text{ тыс. р. / \%} - 7535,6 \times (100 - 16,25) / 100) \cdot 100\% - 938810,9 \text{ тыс. р.} = 107781,6 \text{ тыс. р.}$$

Таким образом, рост постоянных затрат на 15% можно компенсировать либо сокращением прибыли на 113%, что неэффективно, либо комплексом мероприятий, незначительно изменяющих структуру производственно-хозяйственной деятельности, но дающих эффект в виде неизменности прибыли:

$$\begin{pmatrix} \text{Увеличение} \\ \text{постоянных} \\ \text{затрат на } 15\% \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Увеличение} \\ \text{удельной} \\ \text{цены на } 7,28\% \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Увеличение} \\ \text{объема} \\ \text{производства} \\ \text{на } 13,25\% \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Сокращение} \\ \text{переменных} \\ \text{затрат на } 16,25\% \end{pmatrix}.$$

Ввиду полезности получаемых выводов, годных для принятия важных стратегических решений, такие вычисления могут быть реализованы на персональных ЭВМ с использованием рекомендуемого нами алгоритма вычислений (рисунок).

Предлагаемый метод планирования прибыли представляется нам важным элементом управления резервами производственной мощности, а вкупе с анализом вариантов значений затрат он может представлять собой мощный инструмент экономической стратегии и тактики производ-



Алгоритм расчета управленческой эластичности

ственных предприятий в области управления резервами производственной мощности. Метод прост для выполнения и нагляден для трактовки результатов (табл. 3).

В ходе обработки бухгалтерской отчетности строительных предприятий установлено, что при доле постоянных затрат в составе себестоимости от 0,4 до 0,6 исследуемые предприятия проявили схожие данные факторного моделирования. С помощью программы Excel были проведены подобные расчеты для выборки из 200 строительных предприятий РТ.

Среднеарифметическая погрешность вычислений не превышает 7%, что позволяет говорить о возможности использования данной методики для строительных предприятий. Специфика строительного производства здесь учтена непосредственным образом: объем СМР всегда представлен в учете строительно-монтажных организаций в денежном исчислении, а цену строительной продукции рассчитать невозможно, так как в этот

Таблица 3

**Управленческая эластичность: варианты сохранения неизменной прибыли
ОАО «XXX» за счет совокупного изменения основных факторов, влияющих
на стоимость строительства**

Факторы, влияющие на изменение стоимости строительства				Новая величина прибыли, % от прежней при влиянии выделенного фактора
Удельная цена V_c	Стоимость работ V	Постоянные затраты X_c	Переменные затраты X_v	
1	2	3	4	5
95	9,077099	10,275518	11,1318	22,17093
92	14,52336	16,440829	17,8109	-24,52651
90	18,1542	20,551037	22,2636	-55,65814
88	21,78504	24,661244	26,7163	-86,78977
85	27,2313	30,826555	33,3954	-133,4872
2,754184	95	5,6601337	6,13181	57,12888
4,4066945	92	9,0562139	9,8109	31,40621
5,5083681	90	11,320267	12,2636	14,25777
6,6100417	88	13,584321	14,7163	-2,890679
8,2625521	85	16,980401	18,3954	-28,61335
2,4329673	4,416857	105	5,41667	62,12888
3,8927477	7,066971	108	8,66667	39,40621
4,8659346	8,833714	110	10,8333	24,25777
5,8391215	10,60046	112	13	9,109321
7,2989019	13,25057	115	16,25	-13,61335
2,245816	4,077099	4,6153846	105	65,04205
3,5933055	6,523358	7,3846154	108	44,06727
4,4916319	8,154197	9,2307692	110	30,08409
5,3899583	9,785037	11,076923	112	16,10091
6,7374479	12,2313	13,846154	115	-4,873861

Примечание. Выделенные особо факторы оказывают негативное влияние на прибыль (см. последнюю графу), либо могут быть компенсированы совокупным изменением остальных факторов.

Пример 1. 15%-е снижение объема производства (гр. 2) ведет к сокращению прибыли до -28,61% (гр. 5). Прибыль можно оставить на прежнем уровне, увеличив удельную цену на 8,26% (гр. 1), сократив постоянные затраты на 16,9% (гр. 3) и переменные — на 18,39% (гр. 4).

Пример 2. 8%-е увеличение постоянных затрат (гр. 3) ведет к сокращению прибыли до 39,4% от прежнего уровня (гр. 5). Предприятие может планировать сохранение и без того невысокой прибыли неизменной, если увеличит цену продукции на 3,89% (гр. 1), объем производства на 6,5% (гр. 2) и сократит переменные затраты на 8,66% (гр. 4).

объем работ входит дифференциация продукции с разными ценами (основная деятельность по возведению зданий и сооружений, реализация строительной продукции, услуги физическим и юридическим лицам). В нашей методике эта проблема решена: объем СМР принят за 100%. Поэтому все величины в матрице эластичности рассчитаны в процентах к общему объему.

Итак, простейшее моделирование процессов безубыточного функционирования позволило обосновать с учетом специфики строительной деятельности логику расчетов эластичности производства или, точнее, управленческой эластичности. Рассматривая в целом управляющие решения по обеспечению устойчивости системы управления строительной, следует указать на необходимость системного подхода к оценке решений по отдельным объектам. Должна быть в первую очередь обеспечена максимальная устойчивость всей системы, что не исключает пониженного уровня устойчивости на отдельных объектах.

Таблица 4

Управленческая эластичность для строительных предприятий РТ
(среднее арифметическое по выборке из 200 предприятий РТ)

Факторы, влияющие на изменение стоимости строительства				Стандартное отклонение по выборке из 200 предприятий РТ			
Удельная цена V_c	Стоимость работ V	Постоянные затраты X_c	Переменные затраты X_v	V_c	V	X_c	X_v
1	2	3	4	1	2	3	4
Сокращение 5%	9,332532109	10,74420846	10,77029769	1,51	2,07	2,17	
Сокращение 8%	14,93205137	17,19073354	17,2324763	2,42	3,32	3,47	
Сокращение 10%	18,66506422	21,48841693	21,54059537	3,03	4,15	4,34	
Сокращение 12%	22,39807706	25,78610031	25,84871445	3,63	4,98	5,21	
Сокращение 15%	27,99759633	32,23262539	32,31089306	4,54	6,22	6,51	
2,617363338	Сокращение 5%	5,749255062	5,492577573	0,43	0,56	2,17	
4,187781341	Сокращение 8%	9,198808099	8,788124116	0,69	0,90	3,47	
5,234726677	Сокращение 10%	11,49851012	10,98515515	0,86	1,13	4,34	
6,281672012	Сокращение 12%	13,79821215	13,18218617	1,03	1,36	5,21	
7,852090015	Сокращение 15%	17,24776519	16,47773272	1,29	1,69	6,51	
2,257163703	4,309948787	Рост на 5%	4,739054291	0,41	0,44	1,86	
3,611461924	6,895918059	Рост на 8%	7,582486865	0,66	0,70	2,97	
4,514327405	8,619897574	Рост на 10%	9,478108581	0,82	0,88	3,72	
5,417192886	10,34387709	Рост на 12%	11,3737303	0,99	1,05	4,46	
6,771491108	12,92984636	Рост на 15%	14,21716287	1,23	1,31	5,58	
2,24564563	4,076537235	4,702898551	Рост на 5%	0,43	1,51	1,84	
3,593033008	6,522459576	7,524637681	Рост на 8%	0,69	2,42	2,94	
4,49129126	8,15307447	9,405797101	Рост на 10%	0,86	3,03	3,68	
5,389549511	9,783689364	11,28695652	Рост на 12%	1,03	3,63	4,42	
6,736936889	12,22961171	14,10869565	Рост на 15%	1,29	4,54	5,52	

Примечание. Высокая точность расчетов (стандартное отклонение не превышает 10%) позволяет делать предположение о возможности использования данной матрицы в аналитической деятельности строительных предприятий.

Логическая схема формирования эффективности мероприятий по внедрению управленческой эластичности может включать следующие основные мероприятия: снижение количества и цены ошибок при разработке управленческого решения, сокращение цикла обоснования, выработки, принятия и реализации решений, снижение затрат на разработку управленческого решения и на осуществление функций управления, сокращение численности управленческих работников, снижение трудоемкости осуществления управленческих процедур и трудоемкости обработки информации. Полученные в ходе изложенного моделирования результаты помогут гибко реагировать на эндогенные и экзогенные изменения рынка, а также позволяют перейти к восстановлению платежеспособности строительной организации и в перспективе — установлению высокой финансовой устойчивости.

© Романова А. И., Каримов М. А., 2007

Получено 09.01.07

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.921.47

В. И. ПОЛУШКИН, д-р техн. наук, проф., М. А. ГРИМИТЛИНА, инж. (НП «Северо-западный межрегиональный центр АВОК», г. Санкт-Петербург)

СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В результате проведенных исследований удалось найти уравнения, позволяющие определить скорость перемещения твердых частиц по плоской поверхности и удаление их через щелевой отсос. Приточный воздух на рабочее место предлагаются подавать рассеянной струей. Получено расчетное уравнение для определения допустимого количества приточных отверстий и шага между ними.

Одним из способов экономии энергоресурсов является применение местных систем приточно-вытяжной вентиляции постоянных рабочих мест. Однако в этом случае необходимо более точно, чем при общеобменной вентиляции, рассчитывать приточные струи и всасывающие спектры.

В настоящей работе рассматриваются результаты исследования приточных рассеянных струй (рис. 1) и полуограниченных всасывающих спектров при удалении твердых частиц с плоской поверхности (рис. 2). Эта система нашла применение в производствах, где используются сварка, пайка, обтирка сварочных швов и др.

Для определения эффективности удаления частиц необходимо знать скорость трогания w_x , шероховатость поверхности k , относительную плотность твердых частиц $\bar{\rho}$.

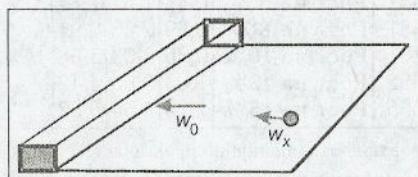


Рис. 1. Боковой щелевой отсос

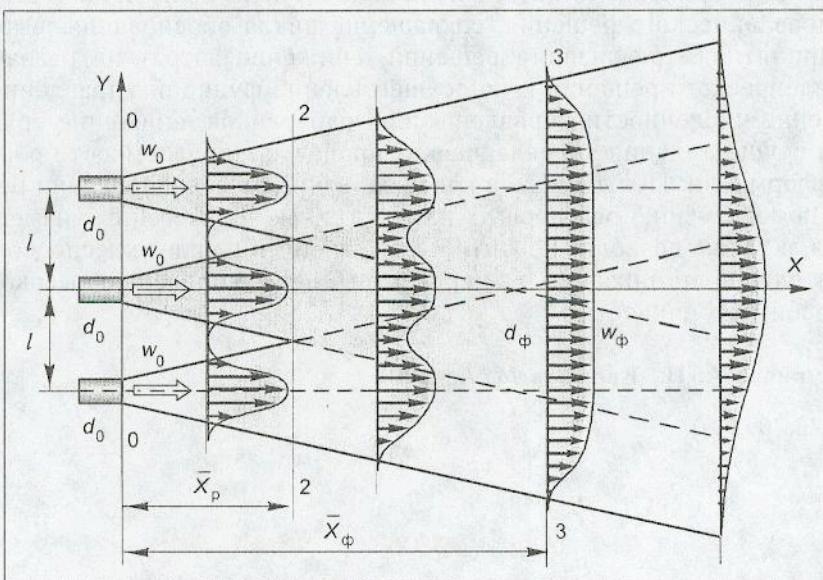


Рис. 2. Слияние осесимметричных параллельно развивающихся струй (плоская задача)

Как показали экспериментальные исследования, скорость трогания частиц можно определить по формуле

$$w_t = w_b \cdot \left(1 + \frac{k \cdot 10^5}{\bar{\rho}} \right)^2, \quad (1)$$

где w_b — скорость витания частицы, м/с;
 k — коэффициент шероховатости поверхности (см. таблицу);
 $\bar{\rho} = \rho_q / \rho_b$ — отношение плотности твердой частицы к плотности воздуха.

Скорость витания

$$w_b = (0,654 \cdot 10^{-3} \cdot d \cdot \rho_q / \rho_b)^{0.5}, \quad (2)$$

где d — расчетный диаметр частицы, мкм.

Для определения скорости всасывания w_0 можно воспользоваться формулой

$$w_0^2 \cdot \delta = \frac{w_t^2 \cdot X}{2,63^2}. \quad (3)$$

ПРИМЕР 1. Рассчитать щелевой отсос длиной 1 м, расположенный на расстоянии 0,7 м от рабочего места. Отсос улавливает хлопковую пыль плотностью 600 кг/м³ и средним диаметром частиц 50 мкм. Поверхность стола покрыта оцинкованной новой сталью.

Решение:

$$w_b = \left(0,654 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{600}{1,2} \cdot 50 \right)^{0.5} = 4,04 \text{ м/с},$$

$$w_t = 4,04 \left(1 + \frac{10^5 \cdot 0,05 \cdot 1,2}{600} \right)^2 = 12,8 \text{ м/с},$$

$$w_0^2 \cdot \delta = \frac{12,8^2 \cdot 0,7}{2,63^2} = 16,6.$$

Скорость всасывания должна быть больше скорости трогания, поэтому примем $w_0 = 20$ м/с, тогда высота всасывающей щели отсоса равна

$$\delta = 16,6 / 20^2 = 0,0415 \text{ м} = 41,5 \text{ мм.}$$

Расход отсасываемого воздуха должен быть

$$V_{\text{отс}} = 3600 \cdot 0,0415 \cdot 1 \cdot 20 = 2990 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Приточный воздух подается на рабочие места рассеянной струей, показанной на рис. 2, 3.

Рассматриваются осесимметричные струи с равными начальными количествами движения. Для расчета таких струй были предложены гипотетические теории. В. В. Батурина, В. Н. Талиев, И. А. Шепелев предложили использовать метод векторного сложения скоростей, или метод суперпозиции токов, что для стационарных потоков одно и то же. Как показал ряд экспериментальных исследований, этот метод не всегда дает положительные результаты. С. Е. Бутаков, Ю. В. Иванов предложили параметры сложного потока, образованного сливающимися струями, определять по скоростным давлениям исходных струй. Л. А. Вулис, А. Кестель, В. Базус, В. Кочова путем экспериментальных исследований показали, что при слиянии нескольких параллельных струй удовлетворительные результаты по-

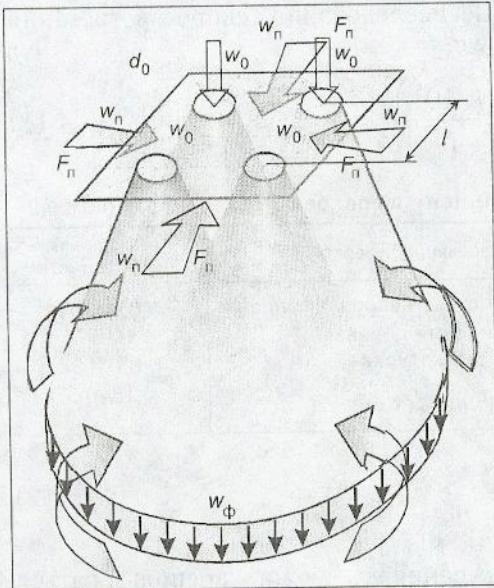


Рис. 3. Слияние осесимметричных параллельно развивающихся струй (объемная задача)

Рассмотрим вначале слияние небольшого количества струй (см. рис. 2), расположенных в одной плоскости.

Для элементарной площади $d\delta$ нескольких параллельных струек метод суперпозиции количеств движения может быть записан уравнением

$$\rho \cdot w^2 d\delta = \sum_{j=1}^n (\rho \cdot w^2 d\delta)_j, \quad (4)$$

где n — количество сливающихся струек.

Если пренебречь различием плотностей отдельных струек, т.е. считать $\sqrt{\rho / \rho_j} \approx 1$, то уравнение (4) преобразуется к виду

$$w = \left(\sum_{j=1}^n w_j^2 \right)^{0.5}. \quad (5)$$

Предполагая, что начальные импульсы всех струек, вытекающих из насадок, одинаковы и считая, что приточные отверстия имеют осесимметричную форму, получим

$$w = \frac{6.1 \cdot w_0}{\bar{X}} \left[\sum_{j=1}^n \exp \left\{ -149 \left(\frac{Y_j}{\bar{X}} \right)^2 \right\} \right]^{0.5}. \quad (6)$$

Уравнение (6) может служить для расчета скорости в произвольной точке всего сложного потока, образованного слиянием нескольких параллельных струй (плоская задача). Оно справедливо, в частности, для зоны раздельного развития струек (между сечениями «0-0» и «2-2», рис. 2), так как не имеет точек разрыва при всех положительных значениях Y .

Рассмотрим струю, образующуюся истечением из n насадок, расположенных в форме квадрата, с равным шагом l (см. рис. 3).

лучаются, если применить метод суперпозиции количеств движения. Строго говоря, этот метод справедлив только для потенциальных потоков. Однако он непосредственно вытекает из индуктивной теории турбулентности Рейхардта, положенной нами в основу рассмотрения струйных течений.

Следует отметить, что непосредственное использование данного метода дает положительные результаты только для сравнительно небольшого количества сливающихся струек (область его применения определена ниже). При значительном же количестве струек их взаимодействие более сложно, так как слияние происходит в зоне переменного статического давления.

Из уравнения (6) находятся максимальные значения скоростей в по-перечном сечении струи

$$w_X = \frac{6,1 \cdot w_0}{\bar{X}} \left\{ -149 \left(\frac{l}{X} \right)^2 + 4 \exp \left[-149 \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \frac{l}{X} \right)^2 \right] + \right. \\ \left. + \dots + 4 \exp \left[-149 \left(\frac{\sqrt{n-1}}{2} \frac{l}{X} \right)^2 \right] \right\}^{0.5}. \quad (7)$$

Нетрудно убедиться, что с достаточной для практики точностью можно ограничиться двумя членами в скобках (7). Тогда получим

$$w_X = \frac{6,1 \cdot w_0}{\bar{X}} \left\{ 1 + 4 \exp \left[-149 \left(\frac{l}{X} \right)^2 \right] \right\}^{0.5}. \quad (8)$$

Выражение, стоящее в квадратных скобках уравнения (8), возрастает медленнее, чем убывает множитель перед скобками. Поэтому с увеличением расстояния от места выпуска струй суммарная скорость не будет возрастать при любом количестве исходных струй, как это может показаться на первый взгляд.

При развитии «пучка» параллельных струй можно выделить следующие характерные участки: участок раздельного развития струй «0-0», «2-2»; участок слияния струй «2-2», «3-3»; основной участок сформировавшейся струи «3-3» и далее. В конце участка слияния, сечение «3-3», возникает равномерное поле, начиная с которого иногда можно рассматривать новую струю, вытекающую из плоскости «3-3» с равномерным полем скорости. При такой постановке задачи необходимо знать размеры этого сечения и скорость струи в нем. Участок струи от плоскости истечения до сечения «3-3» часто называют участком «формирования».

Учитывая, что в конце участка формирования поле «ровное», скорость по оси каждой струйки $w_{X,0}$ и между ними $w_{X,l/2}$ одинакова, из (8) получим

$$\frac{w_{X,l/2}}{w_{X,0}} = \left\{ 4 \exp \left[-74,5 \left(\frac{l}{X_\phi} \right)^2 \right] + 4 \exp \left[-670,5 \left(\frac{l}{X_\phi} \right)^2 \right] + \right. \\ \left. + 4 \exp \left[-560 \left(\frac{l}{X_\phi} \right)^2 \right] + \dots + 4 \exp \left[-(\sqrt{n} + 1) 74,5 \left(\frac{l}{X_\phi} \right)^2 \right] \right\}^{0.5} = 1.$$

Ограничиваюсь первыми двумя членами, имеем

$$\frac{w_{X,l/2}}{w_{X,0}} = 2 \exp \left[-37,25 \left(\frac{l}{X_\phi} \right)^2 \right] = 1.$$

Отсюда можно определить длину участка формирования

$$\bar{X}_\phi = 7,35 \cdot \bar{l}. \quad (9)$$

Учитывая, что естественное расширение внешней границы струи равно $\alpha = 12^\circ 30'$, находится длина участка развития раздельных струй

$$\bar{X}_p = 2,7 \cdot \bar{l}, \quad (10)$$

где $\bar{l} = l / d_0$ — относительный шаг между приточными насадками.

Скорость воздуха в конце участка формирования (сечение «3-3») соответственно определяется

$$\frac{w_\phi}{w_0} = \frac{0,837}{\bar{l}}. \quad (11)$$

Определяющий размер сечения «3-3»

$$\bar{d}_\phi = \bar{l} \cdot \sqrt{n}. \quad (12)$$

Если воздух подается через перфорированную решетку со значительным количеством отверстий и малым шагом между ними, то подтекание окружающей среды к центрально расположенным струйкам затруднено и в струе возникает разрежение. Допустим, что из-за этого обстоятельства эжекционная способность изменится на некоторую величину $\Delta\beta$.

Это изменение эжекционной способности приводит к уменьшению количества движения струи. Предположим, что разрежение в струе уравновешивается динамическим давлением питающего струю воздуха по периферии участка раздельных струек, т.е. $(P_d)_n = P_{ct}$.

Или для стационарного течения

$$(G \cdot w)_n = \Delta M_n = \Delta M_\phi;$$

$$\frac{(G \cdot w)_n}{M_0} = 1 - \frac{M_\phi}{M_0} = 1 - \frac{(G \cdot w)_\phi}{(G \cdot w)_0};$$

$$\bar{G}_\phi = \frac{G_\phi}{G_0 \cdot n} = \frac{1}{\bar{w}_\phi} \left[1 - \frac{(G \cdot w)_n}{(G \cdot w)_0} \right] = \frac{1}{\bar{w}_\phi} [1 - (\bar{G} \cdot \bar{w})_n],$$

где G_n — количество подсасываемого к струе воздуха на участке раздельных струек через периферийное сечение площадью F_n ;

w_n — скорость подсасываемого воздуха по периферийным участкам.

Получим

$$\bar{G}_\phi = 1,195 \cdot \bar{l} [1 - (\bar{G} \cdot \bar{w})_n]$$

или

$$\Delta\beta = 1 - (\bar{G} \cdot \bar{w})_n.$$

Для квадратной решетки через периферийное сечение F_n к струе должно подтекать следующее количество воздуха

$$\bar{G}_n = \frac{G_n}{G_0 \cdot n} = 0,89 \cdot \bar{l} \cdot \left(1 - \frac{2}{\sqrt{n}} + \frac{1}{n} \right).$$

Относительная площадь рассматриваемого периферийного сечения равна

$$\bar{F}_n = \frac{F_n}{F_0 \cdot n} = 6,88 \cdot \bar{l}^2 \left(\frac{1}{\sqrt{n}} - \frac{1}{n} \right).$$

Средняя относительная скорость подсасываемого воздуха в сечении F_n будет

$$\bar{w}_n = \frac{w_n}{w_0} = \frac{0,13}{l} \frac{(n - 2 \cdot \sqrt{n} + 1)}{(\sqrt{n} - 1)}.$$

Отсюда

$$\Delta\beta' = 1 - 0,116 \frac{(n - 2 \cdot \sqrt{n} + 1)^2}{n(\sqrt{n} - 1)}.$$

Рассмотрим поведение «пучка» струй при следующих граничных условиях.

При достаточно большом числе отверстий в решетке количества подсасываемой среды через периферийное сечение хватает только для питания струек, расположенных по краю решетки. Тогда пренебрегая этим расходом, из условия сохранения массы будем иметь

$$\Delta\beta'' = \frac{\pi}{2 \cdot l}.$$

С другой стороны, при свободном слиянии струек $\Delta\beta = 1$.

Учитывая граничные условия, имеем

$$\Delta\beta = 1 - 0,116 \frac{(n - 2 \cdot \sqrt{n} + 1)^2}{n(\sqrt{n} - 1)} \left(1 - \frac{\pi}{2 \cdot l} \right). \quad (13)$$

Последняя формула позволяет выявить три характерные области течения струи, вытекающей из перфорированной решетки в окружающую среду.

Первая область обеспечивает свободное слияние приточного воздуха и окружающего. В этой области происходит наиболее интенсивное изменение начальных параметров приточной струи.

Анализируя (13), можно определить границу (с точностью до 10%) этой области (по числу допустимых отверстий перфорации), которая должна удовлетворять следующему неравенству

$$n \geq 1,44 (\bar{l} + 6)^2. \quad (14)$$

Вторую область можно характеризовать как зону наименьшего тепломассообмена приточного воздуха с окружающей средой (т.е. присоединенной массой окружающей среды можно пренебречь).

Границу этой зоны можно представить неравенством

$$n \leq 4,0 (\bar{l} + 6)^2. \quad (15)$$

Очевидно, что промежуточную (третью) зону занимают струи, вытекающие из решеток, которые характеризуются следующими параметрами:

$$1,44 (\bar{l} + 6)^2 \leq n \leq 4,0 (\bar{l} + 6)^2.$$

Таким образом, меняя количество воздуховыпускных отверстий и шаг между ними, можно регулировать как скорость, так и температуру воздуха в рассматриваемом сечении параллельно развивающихся струй.

ПРИМЕР 2: Рассчитать приточную квадратную панель, при истечении из которой обеспечивается свободное подтекание к струям окружающего воздуха, а следовательно, и наибольшая интенсивность изменения начального перепада температуры. Подвижность воздуха в рабочей зоне должна находиться в диапазоне $w_{p,z} = 0,3 - 0,5 \text{ м/с}$, расход воздуха принимается по количеству отсасываемого воздуха (см. пример 1), т.е. $V_{\text{отс}} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Размеры рабочей зоны в плане $1 \times 1 \text{ м}$.

Решение. Принимаем из конструктивных соображений относительный шаг между приточными отверстиями в перфорированной панели $\bar{l} = 2$, количество отверстий

$$n = 1,44 \cdot (2 + 6)^2 = 92,2$$

Примем $n = 100$, тогда по одной стороне квадратной панели необходимо расположить 10 отверстий.

Шаг между отверстиями должен быть

$$l = \frac{1000}{10} = 100 \text{ мм},$$

диаметр отверстий

$$d_0 = \frac{l}{\bar{l}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ мм.}$$

Скорость истечения приточного воздуха из панели

$$w_0 = \frac{3000}{3600 \cdot 1} = 0,83 \text{ м/с.}$$

Подвижность воздуха в рабочей зоне будет

$$w_{p,z} = w_0 \frac{0,837}{\bar{l}} = 0,83 \frac{0,837}{2} = 0,348 \approx 0,35 \text{ м/с.}$$

Эта подвижность воздуха является допустимой для рассматриваемого примера.

© Полушкин В. И., Гринитлина М. А., 2007

Получено 12.01.07

УДК 697.932

В. П. ШАЦКИЙ, д-р техн. наук, проф., **В. А. ГУЛЕВСКИЙ**, канд. техн. наук, ст. препод., **А. А. ГУЛЕВСКИЙ**, асп. (Воронежский государственный аграрный университет)

К ВОПРОСУ О ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Обоснован способ повышения холодопроизводительности водоиспарительных охладителей в параллели со снижением относительной влажности охлажденного воздуха.

Как было показано в работе [1], для создания в производственных помещениях заданных температурно-влажностных параметров воздуха наиболее перспективно использование водоиспарительных охладителей прямого принципа действия. Однако, обладая рядом преимуществ, они имеют один недостаток, ограничивающий их применение: в процессе охлаждения воздуха увеличивается его относительная влажность, что, в свою очередь, приводит к превышению ее значений в охлаждаемом объеме.

Основным показателем эффективности работы таких воздухоохладителей является холодопроизводительность, зависящая от объемного расхода воздуха в каналах испарительной насадки G , $\text{м}^3/\text{с}$, и глубины охлаждения Δt , $^{\circ}\text{C}$, под которой понимается разность температур воздуха на входе и на выходе из охладителя:

$$Q = c \cdot \rho \cdot G \cdot \Delta t,$$

где c — удельная теплоемкость воздуха, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

ρ — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Наибольшее значение функции Q соответствует максимально эффективным режимам работы охладителя. Очевидно, что на увеличение холодопроизводительности влияет как увеличение глубины охлаждения, так и увеличение расхода воздуха. До последнего времени считалось, что оптимальной конструкцией охладителя является та, в которой температура

воздуха на выходе из испарительной насадки t_k равна температуре наружного воздуха по мокрому термометру t_{nm} . В этом случае глубина охлаждения максимальна, а относительная влажность охлажденного воздуха равна 100%.

Проведенные исследования показали, что динамика падения температуры охлаждаемого воздуха по длине каналов охладителя непостоянна. В начале участка температура воздуха резко снижается за счет активного испарения влаги с поверхности пластин. Далее интенсивность процессов тепломассопереноса снижается, так как воздух насыщается влагой. А на конечном участке эти процессы вовсе незначительны (рис. 1).



Рис. 1. Динамика изменения температуры воздуха по длине охладителя



Рис. 2. Зависимость глубины охлаждения от длины испарительной насадки при использовании осевого вентилятора BO-14-320-6,3

Вместе с тем от длины каналов охладителя прямо пропорционально зависит транспортное сопротивление насадки, увеличение которого снижает расход воздуха, а стало быть, и холодопроизводительность.

Исходя из этого, нами было предложено сократить длину охладительной насадки, что ведет к уменьшению глубины охлаждения, но увеличивает расход воздуха за счет снижения аэродинамических сопротивлений. Для количественной оценки этих изменений в предложенной математической модели [1] необходимо учесть аэродинамические сопротивления.

При работе водоиспарительного охладителя поток воздуха при движении встречает транспортные сопротивления P_{tp} , внезапное сужение P_c , внезапное расширение P_p .

Учитывая ламинарный режим движения парогазовой смеси внутри охладителя, а также форму канала из формулы Дарси — Вейсбаха, получим

$$\Delta P_{tp} = 217 \cdot \frac{L \cdot V}{h^2} \cdot 10^{-6},$$

где L — длина каналов охладителя;

V — скорость воздуха;

h — сечение канала.

При местном изменении геометрии канала возникают местные сопротивления, которые всегда сопровождаются потерями давления. Для определения потерь давления на местные сопротивления используется формула Вейсбаха

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2},$$

где ξ — коэффициент местных потерь.

Аппроксимируя табличные данные [2], получим этот коэффициент при внезапном сужении

$$\xi_c = 5,6 \cdot Re^{-0,4} - 0,12 + \left(0,6 - \frac{F_0}{F_1} \right) \cdot 0,5$$

и при внезапном расширении

$$\xi_p = e^{\left(-117 \cdot 10^{-9} \cdot Re^2 - \frac{427}{Re}\right) + \left(0.5 - \frac{F_0}{F_1}\right) \cdot 1.6},$$

где $Re = \frac{V \cdot 2h}{v}$, v — кинематическая вязкость;

$\frac{F_0}{F_1}$ — отношение «живого» сечения к площади поперечного сечения насадки.

Математическая модель аэродинамических сопротивлений представляет собой трансцендентное уравнение, в правой части которого находится сумма всех сопротивлений, встречающихся на пути воздушного потока, а в левой части расходно-напорная характеристика применяемого вентилятора

$$P_1(G) = P_2(G, h, l).$$

Решение этого уравнения при заданных геометрических параметрах охладителя позволяет определить расход воздуха.

Совместное решение математической модели тепломассопереноса, предложенной в работе [1], и представленной модели аэродинамических сопротивлений позволяет определить зависимость температурно-влажностных параметров охлажденного воздуха от геометрических размеров охладителя.

Рассмотрим процесс влияния длины испарительной насадки и ширины ее каналов на холодопроизводительность охладителя. В качестве образца был выбран охладитель, состоящий из вентиляторного блока ВО-14-320-6,3, оборудованного двигателем АИР71А6, испарительной насадкой, вертикальный и горизонтальный размеры которой $0,95 \times 0,95$ м, $t_u = 30^\circ\text{C}$, $\phi_u = 40\%$. Проведенные исследования подтвердили наши предположения.

На начальном участке вследствие увеличения рабочей площади пластины глубина охлаждения интенсивно возрастает. Затем, достигнув определенного значения, ее увеличение практически останавливается (рис. 2).

В свою очередь, расход воздуха уменьшается обратно пропорционально росту длины насадки. Это происходит из-за увеличения транспортного сопротивления охладителя (рис. 3).

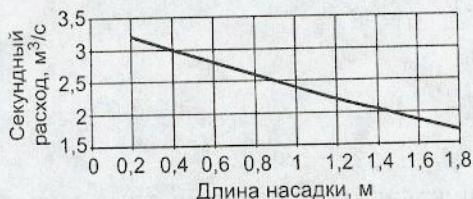


Рис. 3. Зависимость расхода воздуха от длины испарительной насадки при использовании осевого вентилятора ВО-14-320-6,3



Рис. 4. Зависимость холодопроизводительности испарительной насадки от ее длины

Взаимное влияние глубины охлаждения и расхода воздуха на холодопроизводительность обусловливают следующий характер поведения ее кривой. При увеличении длины испарительной насадки до определенного значения холодопроизводительность растет. При дальнейшем увеличении длины холодопроизводительность, достигнув определенного максимума, убывает (рис. 4).

Отметим, что снижение холодопроизводительности происходит более плавно, чем ее рост. Такое поведение кривой обосновано менее ин-

Длина насадки L , м	Глубина охлаждения Δt , °C	Холодопроизводительность Q , кВт	Температура воздуха внутри помещения t_b , °C	Относительная влажность воздуха на выходе из охладителя ϕ_k , %	Относительная влажность воздуха внутри помещения ϕ_b , %
1,1	7	25,6	26,0	87	64,5
1,3	10	22,7	24,6	98	77,6

тенсивным увеличением аэродинамических сопротивлений вследствие снижения скорости воздуха.

Из описанного выше следует, что увеличение длины испарительной насадки охладителя свыше определенного значения приводит к снижению ее холодопроизводительности и необоснованному завышению относительной влажности охлажденного воздуха.

При снижении длины охладителя не только увеличивается его холодопроизводительность, но и уменьшается относительная влажность воздуха. В таблице приведены данные исследований, проведенных для птицеводческого помещения, представленного в работе [1], показывающие, что предложенный способ позволяет снизить относительную влажность в помещении на 12–15 %, при этом холодопроизводительность возрастает на 2,2–5,4 кВт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шацкий В. П. Об эффективности применения охладителей воздуха в животноводческих помещениях / В. П. Шацкий, В. А. Гулевский // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 4. — С. 73–78.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. — М.: Машиностроение, 1975. — 559 с.

© Шацкий В. П., Гулевский В. А., Гулевский А. А., 2007

Получено 10.01.07

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 725.838 (470.316)

Н. С. САПРЫКИНА, канд. архит., доц. (Ярославский государственный технический университет)

ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ КЛУБНЫХ ЗДАНИЙ ЯРОСЛАВЛЯ (середина 1950-х — 1960-е гг.)

На примере конкретных проектных разработок и построек дворцов культуры излагаются особенности проектирования клубных зданий в г. Ярославле (середина 1950-х — 1960-е годы). Рассматриваются этапы преобразования их планировочных программ, архитектурных решений в свете стилистических и идеологических установок времени.

Судьба многих клубных зданий, построенных в Ярославле после 1955 г., сложилась очень непросто. Спроектированные в послевоенное десятилетие в традиционном для этого времени стиле, они претерпели значительные изменения в ходе строительства, которое осуществлялось в период пересмотра творческих тенденций и задач архитектуры. Подоб-

ная участь, долгая история сооружения, связанная с переходным этапом в области архитектуры, ожидала наиболее крупное учреждение Ярославля — Дворец культуры моторостроителей. Он должен был занять одно из самых ответственных градостроительных положений в городе — по центру новой Юбилейной площади, стать композиционной доминантой, фокусом трех улиц. Для строительства был принят в качестве повторного применения проект здания Дворца культуры завода «Ростсельмаш» в г. Ростове-на-Дону, разработанный в 1949–1950 гг. в стиле неоклассицизма. Привязка проекта для Ярославля была осуществлена Ростовским Горпроектом в 1953–1954 гг. под руководством архитектора — автора проекта А. Т. Мулика [1, 2].

При разработке ярославского варианта Дворца культуры главным требованием было откорректировать его архитектуру с учетом северного региона, а также создать новое решение по наружной отделке фасадов. Поэтому основное отличие двух проектов заключалось в решении боковых ротонд, которые в аналоге были открытыми, а в повторном решении превращались в замкнутые стенами объемы, сохраняя принципиальное декоративное решение [3]. Колонны заменялись пилястрами идентичного ордера, ритма и пропорций, в простенках между ними располагались окна, равномерно освещая внутреннее пространство ротонд. В качестве наружной облицовки основной поверхности здания предполагалось использование инкерманского камня светло-золотистого тона, детали должны были оштукатуриваться церезитовым раствором, в состав которого входила крошка инкерманского камня, а для цоколя был выбран крымский зеленый диарит. Такая теплая цветовая гамма должна была, по мнению автора, более соответствовать северной полосе застройки, одновременно подчеркивая нарядность и парадность монументального решения. Главный вход в здание украшался скульптурными барельефами на фронтоне, выполненными в камне, по бокам и над карнизом устанавливались групповые скульптуры (рис. 1). На площади перед главным фасадом здания, который отодвигался на 25 м от красной линии проспекта в глубину будущего парка, предполагалось строительство двух фонтанов в обрамлении газонов и цветников [1].

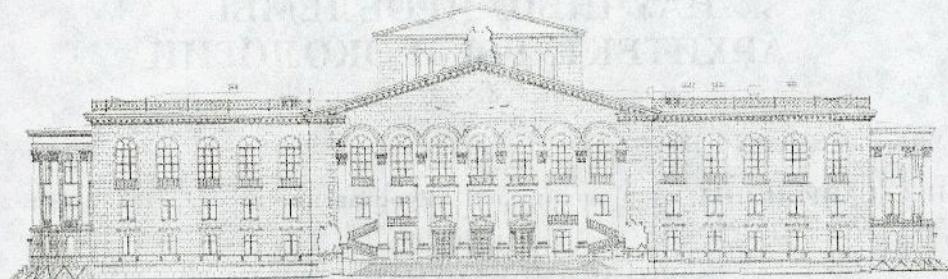


Рис. 1. Дворец культуры моторостроителей, 1954–1965 гг. Первоначальный проект здания Дворца культуры моторного завода (1954 г.). Архитектор А. Т. Мулик (Горпроект, Ростов-на-Дону)

Клубные помещения, театр на 1000 зрителей и кинозал на 300 мест — основные функциональные зоны. При этом театральная часть, размещенная на 2–4 этажах, решалась по плану изолированно от остальных помещений дворца. Зрительный зал подковообразного очертания с большим количеством ярусных лож по периметру боковых и задней стен располагался на уровне второго этажа и занимал центральное положение. Клубная часть размещалась на первом этаже под театральной частью, а также в четырехэтажных объемах примыкающих крыльев здания. Соответственно схеме функционального зонирования решались входы в здание, которые согласно планировочной идеи имели пространственное разделение. Глав-

ный вход в клубную часть помещений устраивался на первом этаже, а вход в театральную часть — по открытым лестницам на втором этаже под общим портиком, подчиняясь строго симметричной композиции фасада. Дополнительные входы размещались в торцах крыльев.

Строительство здания Дворца было начато в Ярославле лишь в 1956 г., а уже в 1957 г. в проект были внесены первые корректировки, касающиеся фундаментов и конструктивных элементов. В связи с отсутствием планомерного финансирования строительные работы производились медленно и к 1960 г. были закончены только фундаменты и выложена стена по периметру здания первого и частично второго этажей, после чего стройка была приостановлена. В результате затяжного строительства здания Дворца культуры и выхода новых постановлений партии и правительства в середине 1950-х гг. принятые в проекте нормы проектирования, архитектурно-планировочные и конструктивные решения устарели и не отвечали современным требованиям. В свете новых стилистических установок началась активная кампания по корректировке архитектуры здания в части исключения «излишеств», совершенствования композиции плана, изменения которых уже в первом варианте дали ощутимую экономию в размере 1 млн р. [4].

При этом на фоне поисков качественно нового подхода к архитектуре нужно было не просто исправить некоторые ошибки в проекте, упростить его, как решали эту проблему ранее в большинстве случаев. Необходимо было создать такое сооружение на базе частично осуществленных конструкций, образ которого прочно бы ассоциировался с понятием «современный, новый, совершенно иной». Изменение творческой направленности архитектуры побудило зодчих опять обратиться к тем критериям, которые были выработаны в конце 1920-х — начале 1930-х гг. Это, прежде всего, органическая взаимосвязь формы и функции, формы и конструкций, внутренней планировочной структуры с рациональным функциональным зонированием, лаконичных средств выразительности с современным языком архитектуры. Однако новый взгляд на данные установки неизбежно проходил сквозь призму опыта последующих трех десятилетий, которые наложили свой отпечаток на многие понятия, добавили такие ценности, как ансамблевое строительство, яркая образная композиция, диалектическая взаимосвязь исторического наследия и современной архитектуры, продолжение традиций русской культуры.

Ориентируясь на новый «эталон» крупного монументального общественного здания — Дворец съездов, строящийся в это время в Москве и ставший первым грандиозным сооружением, выполненным на качественно новой основе, необходимо было создать подобное современное сооружение с чертами демократичности и официальной парадности, строгий силуэт и пропорции которого увязывались бы с торжественностью и представительностью классического решения. Вследствие этих обстоятельств проект здания Дворца культуры претерпел неоднократную корректировку и переработку объема, фасадов и планов под руководством автора проекта А. Т. Мулика в течение 1959–1962 гг., сохранив свою принципиальную симметричную осевую объемно-планировочную схему решения с Т-образной конфигурацией в плане [4, 5]. Исчезли или претерпели значительное упрощение центральный восьмиколонный портик коринфского ордера с аркадой и треугольным полуфронтоном, мощная балюстрада и арочные завершения витражей, сложный лепной карниз с кронштейнами, пилястры коринфского ордера на ротондах, декоративные эдикулы центральных входов, групповые скульптуры и многие другие детали и элементы, в том числе и интерьера.

В результате проект был не только упрощен от «излишнего декора», но и увеличена полезная площадь помещений с 1700 до 2500 м² при сохранении общего объема здания, пересмотрена схема функционального

зонирования, рассчитана акустика театрального зала, продумано его электро- и кинотехническое оборудование. Вместо нескольких ярусов лож в структуре зрительного зала был выполнен балкон с большим выносом. Отказались от открытых лестниц в театральную часть дворца, выбрав решение единого главного входа в здание. Здание приобрело ясный объем, простоту членений, крупную пластику и ненавязчивую детализацию. Спокойный ритм и крупный масштаб пилонов центрального симметричного объема придавали Дворцу благородную простоту и монументальность. В варианте 1960 г. в качестве декоративно-пластических средств, усиливающих общее образное решение, предполагался рельефный декоративный фриз и рустовка, имитирующая простую двухрядную разрезку (кладку) крупноразмерных блоков, а также две одиночные скульптуры на фоне крайних витражей центрального ризалита (рис. 2). Для подчеркивания входной группы дверные проемы окантовывались наличниками с небольшими карнизами и устраивался мощный пьедестал с лестницей [4].

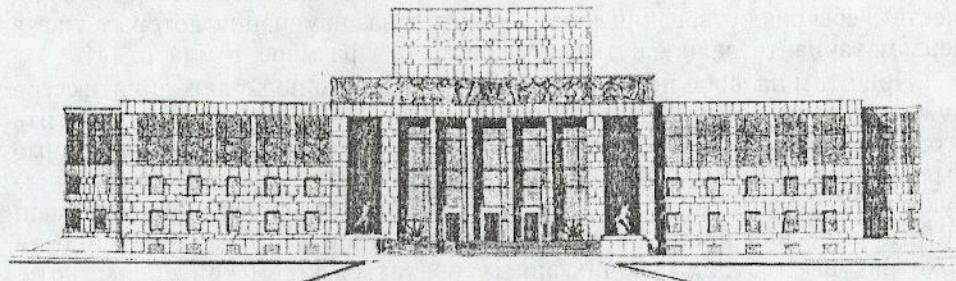


Рис. 2. Дворец культуры моторостроителей, переработанный вариант здания 1960 г.
Архитектор А.Т. Мулик (Горпроект, Ростов-на-Дону)

Строительство Дворца культуры моторного завода возобновилось после выхода постановления Бюро ЦК КПСС по РСФСР и Совета Министров РСФСР от 20 октября 1961 г., разрешающего продолжить его строительство с рекомендацией дополнительно переработать архитектуру и интерьеры здания с целью устранения всех излишеств (в рабочем порядке). В окончательном варианте, доработанном Ярославским филиалом института «Гипроавтопром» при участии автора проекта и представленном на рассмотрение в июле 1962 г. главному архитектору города Б. Л. Хуторянскому, убраны все немногочисленные декоративные элементы здания [5]. Все было упрощено до предела, даже высота боковых ротонд стала единой с высотой боковых объемов, завершающихся карнизом в виде простой полочки. Фриз выполнен гладким, облицовка главного и частично боковых фасадов уже не имитировала крупноразмерную кладку, став мелкой и невыразительной, исчезли простенки между витражами ротонд, превратив их в сплошные стеклянные стены на уровне третьего этажа. Входы в здание не выделялись из общего фона центральных витражей, отказались от скульптур на пьедестале. Дворец культуры моторостроителей был сдан в эксплуатацию 6 августа 1965 г. Единственным декоративным элементом его фасада была рельефная надпись с фирменным знаком, украшившим высокий фриз центрального ризалита, цоколь — облицован гранитом.

Свой окончательный облик здание Дворца приобрело в 1985 г., когда было полностью облицовано известняком, обновлен гранитный цоколь, появились новые архитектурные детали: декоративно выделен портал, добавили рельефную окантовку центральной плоскости витражей, витражей и окон боковых крыльев и другие рельефные детали, исчезла фирменная надпись (рис. 3). В целом здание стало смотреться пластически интереснее, более парадно и современно [6].

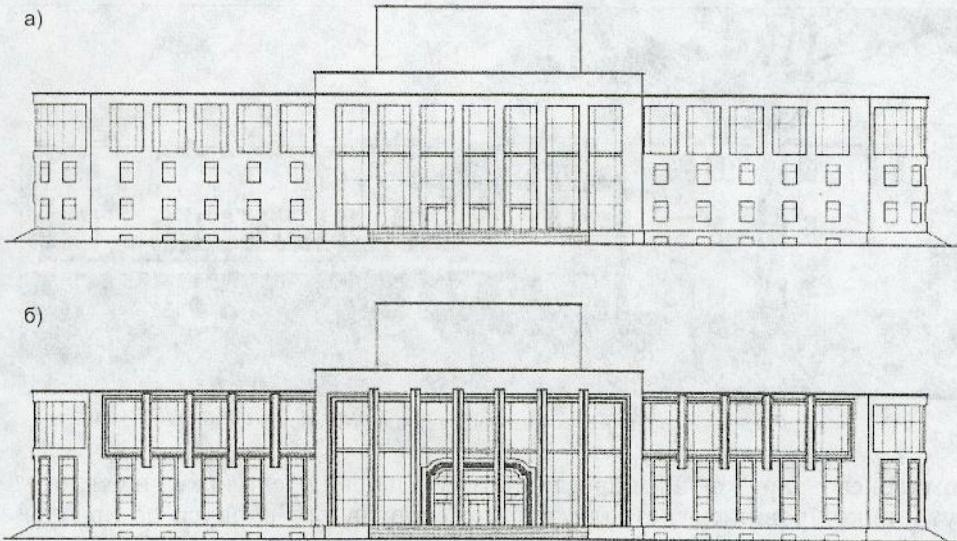


Рис. 3. Дворец культуры моторостроителей

а — главный фасад здания (вариант 1962 г.); б — после облицовки (1985 г.)

Одновременно Дворец может вместить до 3500 посетителей. Зрелищная и клубная группы разбиты не только по горизонтали (среднее, левое и правое крылья), но и по вертикали. Первый этаж левого крыла включает в себя лекторий на 220 мест, выставочный зал, кружковые комнаты и игротеку. В правом крыле помещается кафе, три читальных зала для детей и взрослых. Центральный сектор второго этажа занимает театральный зал, рассчитанный на 1000 зрителей, в окружении холлов и кафетериев. Сцена зрительного зала оборудована вращающимся кругом. Кроме театральных постановок в зале предусмотрен показ широкоэкранных фильмов. В распоряжении артистов тридцать артистических, размещенных на четырех этажах пространства за сценой. Кружковая часть второго этажа включает в себя зал для игр в правом крыле и музыкальную школу в левом. Третий этаж отдан двум спортивным залам и танцевальному залу с хореографической студией. Дворец культуры имеет 10 подъездов (помимо главного входа), что обеспечивает необходимую изолированность функциональных зон при их эксплуатации. В целом интерьеры получили необходимую открытость пространственной системы, в ряде случаев использован принцип переливающихся пространств — для вестибюля, фойе, что явилось началом новых экспериментов, развивающихся в архитектуре в 1960-е гг. Получившийся осовремененный, сближенный с архитектурой рационалистического направления неоклассицизм Дворца культуры — во многом непосредственный ответ на вызов времени. И если Дворец съездов стал началом новой, четко определенной линии во всей советской архитектуре, то Дворец культуры моторостроителей стал «отправной точкой» новой архитектуры для Ярославля.

В 1960-е гг. создается целый ряд крупных культурно-зрелищных зданий с учетом новых стилистических установок, играющих значительную роль в архитектуре Ярославля. Среди них доминирующее положение занимает Дворец культуры нефтяников (рис. 4), который был построен в 1967 г. (Московский пр., 92) по типовому проекту, разработанному институтом «Гипротеатр» [6]. Это современный многофункциональный центр досуга, который является главным составляющим элементом общественного центра поселка Строителей.

Асимметричное построение объемной композиции и раскрытие в сторону Московского проспекта позволили органично связать архитектуру

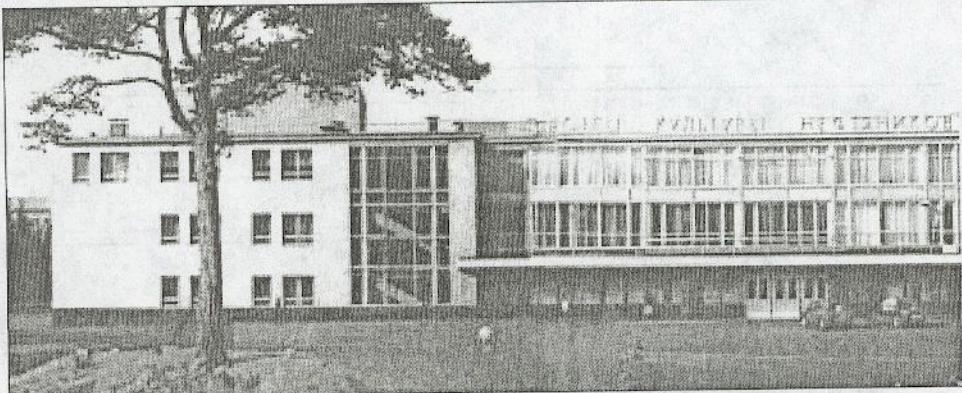
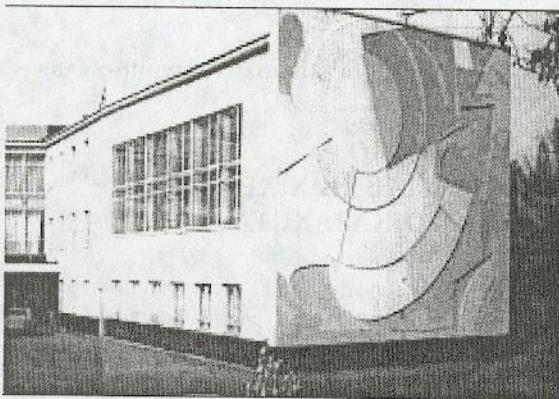


Рис. 4. Дворец культуры нефтяников, Московский пр., 92 (1967 г.).

комплекса с окружающим пространством. Дворец расположен на склоне, чуть ниже уровня магистрали, торцом спортивного корпуса по красной линии проспекта. За счет значительной сдвижки основного объема здания перед ним сформировалась открытая входная площадь, ограниченная со всех сторон искусственным «барьером». Изначально выбранное место для строительства имело ярко выраженный рельеф с понижением в глубь района от проспекта. Поэтому для организации ровной площади перед зданием и получения простого конструктивно-технологического решения его при привязке была искусственно создана большая плоская терраса. Парковая зона вокруг здания, в свою очередь, сохранила естественный рельеф, который красиво увязан лестницами, пологими спусками с территорией Дворца культуры. Чтобы сохранить существующую раскидистую сосну в структуре нового комплекса в виде красивого природного акцента, теперь уже ставшую символом этого района, на ровной поверхности площади был оставлен холм с деревом. Все это свидетельствует о продуманности градостроительной ситуации, тактичном и бережном отношении к природной подоснове.

Комплекс Дворца культуры может вместить до 2500 человек. Ему присущи черты открытости и приветливости, достигнутые масштабом оружения, общим построением композиции, основанной на сочетании массивных боковых объемов с легкой остекленной центральной частью. Фасады, равно как и вся объемная композиция, — несимметричны. Протяженный козырек входа на главном фасаде выполняет одновременно функцию балкона-трибуны второго яруса центрального блока. Сплошное остекление галерей, лестниц, вестибюля первого этажа, спортивного зала, большие окна клубной части визуально раскрывают внутреннее пространство здания наружу. Ритм металлических переплетов витражей подчеркивает тектоническую структуру здания. Эффект легкости главному фасаду здания также придает облицовка светлыми плитами известняка. Особая роль в формировании идейно-художественного образа Дворца принадлежит произведениям монументально-декоративного искусства. Это рельефное многоцветное панно на глухом торце спортивного корпуса, обращенного на Московский проспект. Здесь тема стилизованных солнца и знамени наиболее ярко отражает социалистическую идеологию времени, символизирует радость и свет — все то, что несет культура в массы. А также мозаичное цветное панно, украшающее парапет пристройки здания кафе, с контрастным абстрактным рисунком, сочетающим жесткую геометрию форм и живописность природных элементов.

Трехчастное деление архитектурной композиции и характер остекления отображают функциональную структуру Дворца культуры. Так, зреющимая часть здания размещена в левом крыле; клубная часть, спортив-



Гипротеатр. Общий вид здания

но-гимнастический зал, библиотека с читальным залом и книгохранилищем, лекторий — в правом. Обе части соединены корпусом-переходом, в котором находятся дополнительные клубные и вспомогательные комнаты. Здесь также предполагалось устройство буфета с подсобными помещениями, гостиная и бильярдная. Весь комплекс и отдельные помещения спланированы с таким расчетом, чтобы зрелищная,

клубная и спортивная группы имели удобную взаимосвязь и в то же время могли работать одновременно, независимо одна от другой. На первом этаже в корпусе-перемычке предусмотрен главный вестибюль с гардеробом на 2500 мест. Отсюда зрители попадают в двухсветное фойе, из которого — в партер зрительного зала. Из фойе открывается парадная лестница, которая ведет на балкон зрительного зала и выше, соединяя зрительную часть с клубной зоной. Кассовый вестибюль выделен в отдельное помещение с входом с улицы. В средней части правого крыла расположены кулуары, откуда можно пройти по дополнительной лестнице в клубную часть, минуя зрительную группу, и в спортивный блок. Отсюда же осуществляется доступ в читальный зал и абонемент. Зрительный зал вместимостью 800 человек предназначен для показа театральных постановок, демонстрации кинофильмов на обычном и широком экранах, проведения концертов, лекций и собраний. Он оборудован квадратной сценой, традиционной сценической коробкой, кинопроекционной. Зрительные места в зале расположены в два яруса: в партере с пологим амфитеатром и на балконе.

Хорошие пропорции и удобная связь основных помещений, простота и четкость планировочного решения и архитектурных форм, контраст белокаменного внешнего облика фланкирующих объемов здания со сплошной стеклянной стеной центрального объема-перемычки, привлечение дополнительных видов искусств для повышения выразительности здания, органическая связь с природой — все это создает запоминающийся архитектурный образ. Характерные черты социалистического реализма нашли свое достойное воплощение в данном объекте, который наглядно продемонстрировал новые возможности архитектуры, связанные с индустриальными методами строительства и стал своеобразным ориентиром в дальнейшей деятельности архитекторов Ярославля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы Государственного архива Ярославской области, ф. Р-872, оп. 4 т., т. 1, д. 187.
2. Там же. — Д. 188.
3. Там же. — Д. 71.
4. Там же. — Д. 357.
5. Там же. — Д. 358.
6. Козлов П. И. Ярославль: Путеводитель — справочник / П. И. Козлов, В. Я. Маров. — Ярославль: Верх.-Волж. кн. изд-во, 1988. — 240 с.

© Сапрыкина Н. С., 2007

Получено 26.12.06

З. В. ПОПОВА, асп. (Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия)

СТРОИТЕЛЬСТВО СОВРЕМЕННЫХ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ В ГОРОДАХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Рассматриваются построенные в конце XX — начале XXI в. православные храмы в городах северного Казахстана. Анализируется соответствие их расположения выявленным историческим принципам размещения церквей в структуре города, а также некоторые планировочные, архитектурно-пространственные и стилистические особенности.

Северные города Казахстана — Семипалатинск, Усть-Каменогорск и Петропавловск — возникли в XVIII в. как крепости Иртышской и Ишимской укрепленных линий. Планы вновь запроектированных в XVIII в. городов-крепостей составлялись перспективно и предусматривали дальнейший их рост. Строительство этих городов неразрывно связано с глубокими градостроительными традициями России. В XVIII—XIX вв. их развитие происходило благодаря разведке и добыче полезных ископаемых и переселенческому движению русских из нечерноземных центральных и северных регионов страны, что вызвало христианизацию края и строительство православных храмов.

Традиционная ориентация православной церкви на запад-восток пришла из Византии, а размещение храма с учетом ландшафтных особенностей местности и органичное вписывание его в природное окружение связано с практикой храмового строительства Древней Руси. На территории Семипалатинска, Усть-Каменогорска, Павлодара и Петропавловска к 30-м гг. XX в. было построено 22 церкви, включая домовые. Анализируя приемы их размещения с XVIII по XX в., автором выделено пять основных использовавшихся принципов.

Остановившийся более чем на 70 лет процесс проектирования и строительства храмов возобновился в самом конце XX в. в связи с новыми политическими и экономическими преобразованиями. Распад единой страны и образование на ее территории суверенных государств, взятый курс на капитализацию вызвали интерес к дореволюционной истории, истории религии и Церкви. В Казахстане на волне самоопределения началось строительство мечетей и храмов различных религиозных конфессий, в том числе и православных. Сохранившиеся православные сооружения (в исследуемых городах их четыре) возвращены Российской православной церкви. В современных городах севера Казахстана градостроительная ситуация весьма изменилась за советский период. Новые храмы в память о существовавших, зачастую не повторяя их архитектурного облика, закладываются на специально отведенных территориях в городах Усть-Каменогорске, Павлодаре и др.

После почти векового перерыва первым в 1990 г. был заложен Благовещенский собор Павлодара. В 1999 г. в 19-м микрорайоне Петропавловска началось строительство храма Вознесения Господня. Две существующие в Петропавловске исторические церкви (Покровский собор и Церковь Всех Святых) не могли вмещать всех желающих во время религиозных праздников. Сегодня в Петропавловске с населением около 200 тыс. человек три храма, а до революции их было семь на 35 тыс. жителей.

Первый храм в Усть-Каменогорске, возведенный после разрушения в 1937 г. Покровского собора, — Свято-Зиновьевский освящен в 2005 г. (рис. 1). В 2004 г. в Усть-Каменогорске было завершено строительство



Рис. 1. Свято-Зиновьевский храм в Усть-Каменогорске

Свято-Покровского храма. Особенностью этого сооружения является то, что, в отличие от большинства строящихся сегодня в городах каменных храмов, эта церковь — деревянная. В Усть-Каменогорске, на стрелке слияния Иртыша и Ульбы, откуда начинался с небольшой крепости город, был заложен в самом начале XXI в. на сегодняшний день самый крупный в Усть-Каменогорске православный храм — собор Андрея Первозванного. (рис. 2, 3). Это незавершенное в настоящее время здание уже увенчано золочеными куполами, штукатурятся центральный и угловые барабаны.

Исследование закономерностей размещения православных храмов в XVIII—XX вв. дает возможность использования традиций и приемов прошлого в современном храмостроительстве.

Градостроительная ситуация конца XIX в., сложившаяся в северо-казахстанских городах, ставших крупными промышленными центрами (особенно Усть-Каменогорск и Павлодар), и отсутствие непрерывности храмостроительной практики привели к появлению примеров не всегда органичного со-

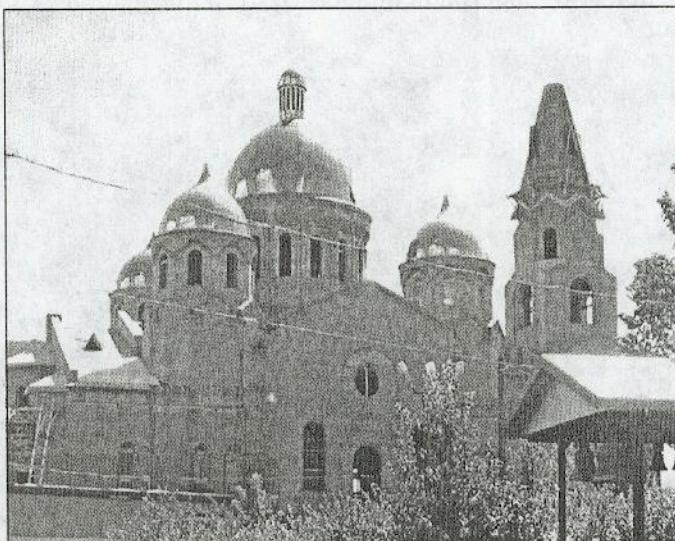


Рис. 2. Собор Андрея Первозванного в Усть-Каменогорске

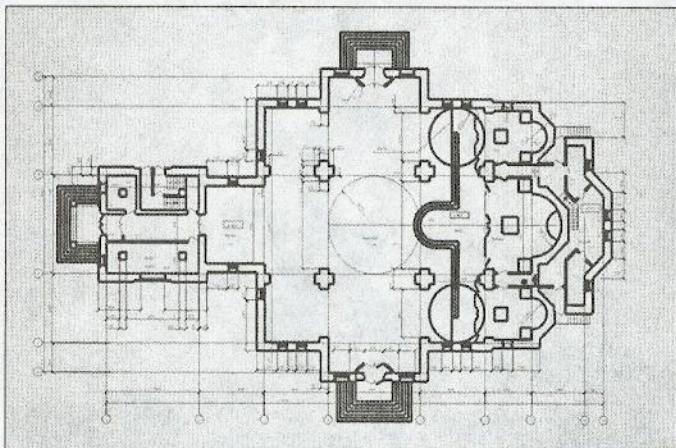


Рис. 3. План собора Андрея Первозванного

четания исторических принципов размещения храмового сооружения на выделенной, подчас ограниченной, площадке строительства, со сложившейся современной городской застройкой.

Один из исторических приемов — размещение здания церкви на берегу реки для формирования «речного фасада». В соответствии с ним построен комплекс зданий Павлодарского Благовещенского собора, территории которого раскинулась на высоком берегу Иртыша, на месте бывшего пустыря. Вблизи храмового комплекса заложен городской парк, служащий природным окружением церковным сооружениям в отсутствие застройки при восприятии города со стороны реки.

Другим примером соответствия данному принципу размещения является строящийся в Усть-Каменогорске собор Андрея Первозванного. Силуэт храма, вписавшегося между зданиями высотной жилой застройки с прямолинейными очертаниями, — наиболее выразительный элемент речной панорамы этой части города.

На берегу Иртыша расположена еще одна современная Усть-Каменогорская церковь — Свято-Покровский храм, построенный в центре частного сектора городской застройки, плавно перетекающей в дачные поселки (рис. 4). Со стороны существующей городской магистрали здание церкви практически не видно, ее золоченые купола хорошо просматриваются при восприятии береговой полосы со стороны реки и с нового моста через Иртыш.



Рис. 4. Свято-Покровский храм в Усть-Каменогорске



Рис. 5. Благовещенский собор в Павлодаре

Другой, примененный в современной градостроительной практике прием размещения храма — расположение его в центре городской застройки. Ранее этот прием сочетался с организацией на площади, как правило, торговой, единого многофункционального центра районного или городского значения. Ныне, при современном строительстве, эти функции разделены. Церковь, расположенная внутри городской застройки, становится организующим центром в селитебе. Такому принципу размещения соответствуют современные храмы Вознесения Господня в 19-м микрорайоне Петропавловска и Свято-Зиновьевский храм в рабочем жилом районе «Согра» в Усть-Каменогорске.

Из-за отсутствия проектной и строительной практики культовых сооружений в советское время возвращение к этому типу зданий поставило архитекторов и градостроителей перед проблемой соответствия канону, выбора планировочного и образного, т.е. стилевого решения, а при условии не реконструкции, а возведения нового храма — его соответствия, без нарушения церковных догм, современному эстетическому и художественному видению. При проектировании современных церквей, сохраняющих традиционный состав планировочных (притвор, храм, алтарь) и объемно-композиционных элементов, используются современные строительные технологии и материалы, соблюдаются обязательные требования по противопожарным нормам и сейсмоустойчивости.

Стоящие в последние годы православные храмы отличает весьма большое разнообразие как планировочных, так и пространственных решений. Из преемственных региональных особенностей отметим архитектурно-пространственную композицию — все храмы, за исключением Свято-Зиновьевского, построены в одной связи с колокольней, а также применяемый строительный материал — кирпич. Все возведенные в северных казахстанских городах с начала 90-х гг. храмы относятся к сооружениям крестчатого типа; во всех, за исключением Свято-Покровского, главный четырехверник венчают пять глав.

Архитектурно-пространственное решение во всех храмах различное. В Благовещенском соборе Павлодара паперть расположена в открытом пространстве первого яруса колокольни, развитой по оси север-юг, и представляет собой, в отличие от исторических примеров, не доминантную в объемно-пространственной композиции храма башню звона, а расширенную двухуровневую западную часть храмового сооружения, во втором ярусе которого линейно размещена звонница (рис. 5). По-разному решаются и апсиды храмов: от одной пятистенной в Свято-Покровском и полуцилиндрической — в Свято-Зиновьевском до трех полуциркульных в Благовещенском и гранных в Вознесенском и Андрея Первозванного.

Каждый из храмов обладает и индивидуальными тектоническими особенностями. В Петропавловском Вознесенском соборе (рис. 6) отдельные элементы декора, подобно православным сооружениям XIX в., построенным в русском стиле, окрашены в белый цвет (в отличие от использования в исторических постройках кирпича другого цвета). В Благовещенском соборе Павлодара и Свято-Зиновьевском Усть-Каменогорска фасады украшены фигурной кирпичной кладкой, многоступенчатыми кокошниками (в Павлодаре),

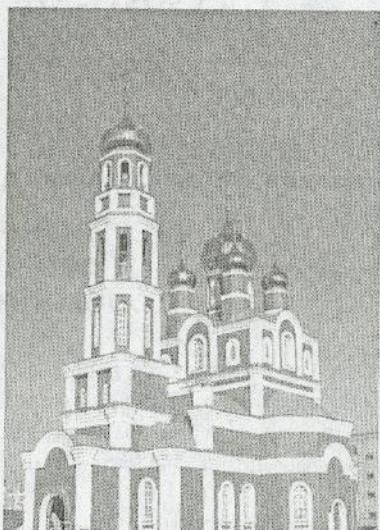


Рис. 6. Вознесенский храм
в Петропавловске

карнизными поясами. В используемых мотивах рельефной кирпичной кладки отметим присутствие как элементов русского стиля — закомары, кокошники, так и приемы, свойственные «кирпичному» стилю, типологически присущие и гражданской архитектуре. Особенностью современных храмов стало использование в их отделке новых строительных материалов, применяемых как в жилищном, так и в строительстве общественных зданий. Например, в здании Свято-Зиновьевской церкви алюминиевыми панелями выполнена отделка барабанов под куполами, конха покрыта наплавляемой черепицей.

Сравнительный анализ исторических храмовых построек в северных казахстанских городах с возведенными в них в последнее десятилетие православными церквями позволяет заключить, что:

— опыт, накопленный градостроителями прошлого, и выработанные ими принципы размещения православного храма в структуре города используются и современными архитекторами в новых градостроительных условиях;

— историческая региональная преемственность выражается в выборе архитектурно-пространственной композиции (большинство церквей запроектированы и построены в одной связи с колокольней) и строительного материала;

— архитектурно-пространственное и пластическое решение современных храмов имеет исторические истоки в период поиска нового образного и стилевого решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барапов Н. Н. Силуэт города / Н. Н. Барапов. — Л.: Стройиздат, 1980. — 184 с.
2. Морозов М. А. Петропавловск в иллюстрациях и информаций / М. А. Морозов. — СПб., 2004. — 96 с.
3. Пилявский В. И. История русской архитектуры: Учебник для вузов / В. И. Пилявский, А. А. Тиц, Ю. С. Ушаков. — Л.: Стройиздат, 1984. — 512 с.

© Попова З. В., 2007

Получено 26.12.06

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.316

В. Д. ВОЛКОВ, д-р техн. наук, проф., А. В. ПОЛУКАЗАКОВ, ассист. (Воронежский государственный архитектурно-строительный университет)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХФАЗНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Рассматриваются вопросы электромагнитного преобразования энергии в автономных источниках постоянного тока. Приведено сравнение основных электрических параметров трансформатора и выпрямителя при различном соединении вторичных обмоток трансформатора.

Часто возникающей задачей в бортовых сетях мобильных объектов является изменение уровня постоянного напряжения, питающего потребителей [1, 2].

Эффективный способ изменения уровня напряжения постоянного тока — его трансформация после инвертирования напряжения с последующим выпрямлением.

Наиболее важный показатель при этом энергетический, особенно значимый для автономных объектов.

Примем для определенности, что вентили, входящие в схему, идеальны, нагрузка выпрямителя активная, а первичная обмотка трансформатора, присоединяемая к автономному инвертору напряжения, соединена «звездой». Для обоснования выбора рационального соединения вторичных обмоток трансформатора сопоставим условия проводимости вентилей выпрямителя, а также возникающие при этом потери во вторичных обмотках трансформатора и мощность на выходе преобразователя.

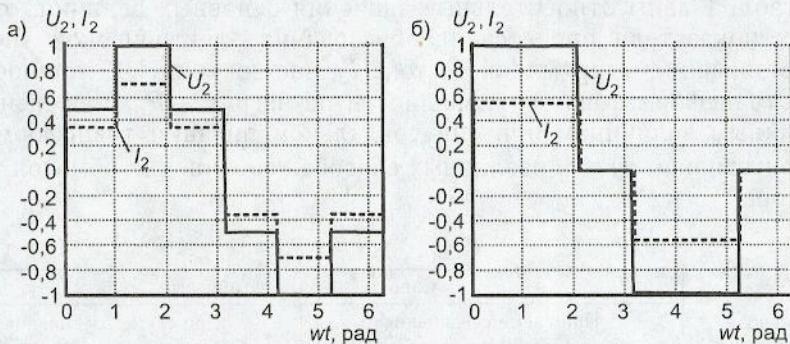


Рис. 1. Напряжение и ток вторичной обмотки трансформатора при питании от АИН

а — при соединении обмоток Y/Y ; б — при соединении обмоток Y/Δ

При соединении обмоток трансформатора «звезда / треугольник» (Y/Δ) на его вторичной обмотке формируется импульсное напряжение длительностью 120 эл.град на полупериоде питающего напряжения. В результате последовательность включения и угол проводимости вентилей выпрямителя не меняются по сравнению со случаем питания от синусoidalной сети, и в фазах трансформатора протекает ток, форма которого приведена на рис. 1, б.

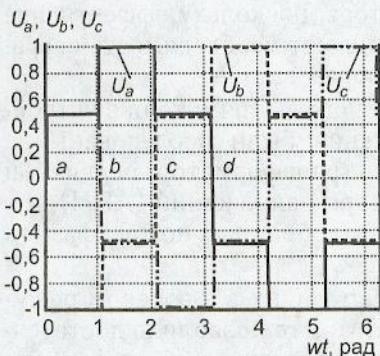


Рис. 2. Система вторичных напряжений трансформатора при питании от АИН и соединении обмоток Y/Y

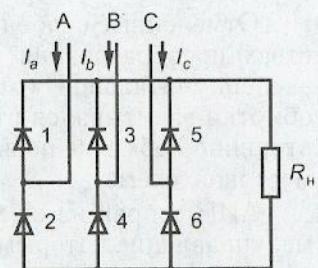


Рис. 3. Мостовая схема выпрямления

В случае соединения обмоток трансформатора «звезда / звезда» (Y/Y) и питания от автономного инвертора напряжения на вторичной обмотке формируется ступенчатое напряжение (рис. 2), существенно изменяющее условия включения вентилей выпрямителя (рис. 3). Действительно, на интервале ab (см. рис. 2) помимо вентиля 4 (рис. 3), имеющего наиболее низкий потенциал на катоде, проводить ток могут также вентили 1 и 5, имею-

щие одинаковые потенциалы на аноде. На интервале bc , кроме вентиля 1, одновременно могут проводить ток вентили 4 и 6, а на интервале cd — одновременно с вентилем 6 могут проводить ток вентили 1 и 3. Это приводит к тому, что при активной нагрузке форма фазного тока вторичной цепи трансформатора полностью повторяет форму напряжения (см. рис. 1, а). Таким образом, по отношению к вторичной обмотке трансформатора выпрямитель уже не представляется нелинейной нагрузкой, обеспечивая протекание тока по фазным обмоткам выпрямителя на всем интервале существования вторичного напряжения трансформатора.

Выявленные особенности определяют характер распределения потерь в элементах преобразовательного устройства, которые необходимо учитывать при его проектировании.

В табл. 1 даны относительные значения основных величин, определяющих показатели процесса преобразования электрической энергии: среднее значение выпрямленного тока I_d , напряжения U_d , мощности на выходе трансформатора P_{tp} и мощности на нагрузке P_r , приведенные к аналогичным величинам при синусоидальном питании трансформатора (отмечены знаком \approx) при различных способах соединения обмоток трансформатора.

Таблица 1

Активное сопротивление нагрузки выпрямителя, Ом	Сопоставляемые параметры							
	При схеме соединения обмоток трансформатора Y/Δ				При схеме соединения обмоток трансформатора Y/Y			
	$\frac{I_d}{I_d^{\approx}}$	$\frac{U_d}{U_d^{\approx}}$	$\frac{P_r}{P_r^{\approx}}$	$\frac{P_{tp}}{P_{tp}^{\approx}}$	$\frac{I_d}{I_d^{\approx}}$	$\frac{U_d}{U_d^{\approx}}$	$\frac{P_r}{P_r^{\approx}}$	$\frac{P_{tp}}{P_{tp}^{\approx}}$
120	0,77	0,77	0,59	1,79	0,995	0,99	1,0	2,0
20	0,76	0,77	0,57	1,99	1,00	0,97	0,96	2,18

Экспериментальные данные исследования преобразовательной установки, выполненной по схеме «источник постоянного напряжения — автономный инвертор напряжения — выпрямитель», свидетельствуют о целесообразности использования в рассматриваемом случае схемы соединения вторичных обмоток трансформатора «звездой», определяя достаточно высокие требования к исполнению трансформатора, поскольку эффективное использование вторичной мощности обусловливают необходимость сокращения потерь именно в этом элементе преобразователя.

Отмеченные особенности работы трехфазного выпрямителя в устройствах преобразования постоянного напряжения были исследованы на экспериментальной установке. Трехфазный трансформатор первичной обмотки запитывался от автономного инвертора напряжений (АИН), а к вторичной обмотке подключался выпрямитель, собранный по трехфазной мостовой схеме.

АИН собран на шести транзисторах, работающих в ключевом режиме, управление которым производилось от ЭВМ. Это позволило достаточно точно фиксировать рабочие частоты инвертирования при проведении эксперимента. Сигнал от ЭВМ подавался на диодные оптопары, с помощью которых происходило управление транзисторными ключами. Питание АИН осуществлялось от источника постоянного напряжения.

Формы токов и напряжений измерялись при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП). При соединении обмоток трансформатора Y/Y и питании от автономного инвертора напряжения на вторичной обмотке формируется ступенчатое напряжение (рис. 4, а), а при соединении обмоток трансформатора Y/Δ на его вторичной обмотке формируется импульсное напряжение (рис. 4, б).

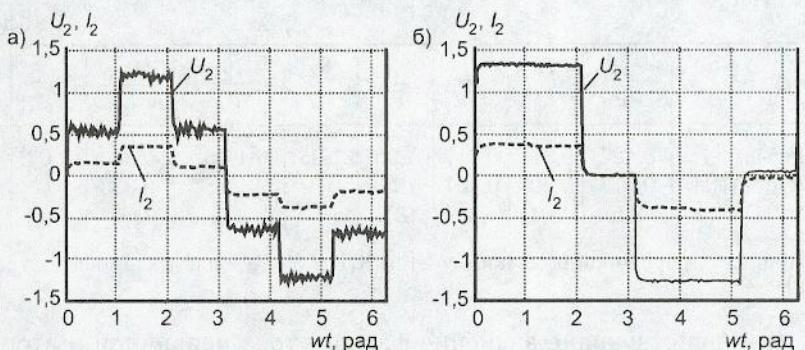


Рис. 4. Напряжение и ток вторичной обмотки трансформатора при питании от АИН

а — при соединении обмоток Y/Y (эксперимент); б — при соединении обмоток Y/Δ (эксперимент)

Помимо определения мгновенных значений, были экспериментально получены нагрузочные характеристики устройства в целом. В зависимости от вида соединения первичной и вторичной обмоток трансформатора изменяется характер зависимости выпрямленного напряжения от выпрямленного тока (рис. 5), т.е. жесткость внешних характеристик преобразовательной установки. Наибольшая жесткость внешних характеристик, т.е. наименьшая зависимость выпрямленного напряжения от выпрямленного тока, соответствует соединению обмоток трансформатора Y/Y , что свидетельствует о целесообразности использования этой схемы в преобразовательной установке.

Приведенные особенности формирования выходного напряжения преобразовательной установки характеризуют «идеальный» режим работы преобразовательной установки, при котором изменения параметров и функционирования отдельных ее элементов не искажают приведенных на рис. 1–3 форм токов и напряжений. Вместе с тем они позволяют получить приемлемые для инженерной практики соотношения выходных величин преобразовательной установки в форме, аналогичной [3] при следующих допущениях:

- действующие значения фазных напряжений и токов трансформатора при активном характере нагрузки считались для форм кривых, приведенных на рис. 1;
- при соединении обмоток трансформатора Y/Y амплитуда фазного напряжения равна $2/3$ амплитуды линейного напряжения;
- обратное максимальное напряжение на диоде $U_{\text{обр max}}$ равно напряжению U_d ($U_d = \text{const}$), и, следовательно, максимальное значение тока диода равно среднему значению выпрямленного тока, а коэффициент пульсаций при соединениях Y/Y и Y/Δ равен нулю ($k_n = 0$).

Поскольку форма тока, проходящего через диод, зависит от формы линейного тока на вторичных обмотках трансформатора, их средние значения рассчитывались с учетом этой выявленной особенности. Вышеприведенные расчетные параметры для соединения обмоток Y/Y представлены в табл. 2, где

$U_{2\Phi}$ — действующее значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора;

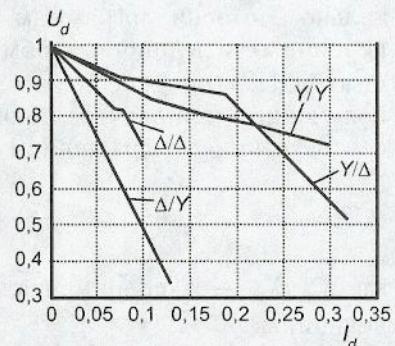


Рис. 5. Нагрузочные характеристики при различных способах соединения обмоток трансформатора (эксперимент)

Таблица 2

Параметры	$\frac{U_{2\Phi}}{U_d}$	$\frac{I_2}{I_d}$	$\frac{I_1}{kI_d}$	$\frac{S_1^*}{P_r}$	$\frac{S_2}{P_r}$	$\frac{U_{\text{обр max}}}{U_d}$	$\frac{I_{A \text{ср}}}{I_d}$	$\frac{I_{\max}}{I_d}$	k_n
Питание Sin	0,427	0,817	0,817	1,05	1,05	1,05	0,333	1,04	0,057
Питание от АИН	0,417	0,707	0,707	1	1	1	0,333	1	0
$\Delta x, \%$	3,5	5,4	4	8*	7	3,5	6	3,6	3,5

* Мощность первичной обмотки с учетом КПД (0,83 — для маломощных трансформаторов)

I_1, I_2 — действующие значение фазного тока первичной и вторичной обмотки трансформатора;

$I_{\max}, I_{A \text{ср}}$ — максимальное и среднее значения тока, проходящего через диод;

S_1, S_2 — полные мощности первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Для сравнения приведены также значения параметров для случая питания трехфазного трансформатора синусоидальным напряжением [3].

Достоверность аналитических зависимостей проверена экспериментально. По осцилограммам мгновенных значений токов и напряжений первичных и вторичных обмоток трансформатора, полученных с помощью АЦП, были рассчитаны величины, указанные в табл. 2. Ошибки Δx , полученные при расчете по экспериментальным данным, определялись в соответствии с выражением

$$\Delta x = \frac{X_s - X_m}{X_m} 100\%,$$

где X_s, X_m — экспериментальное и «идеальное» значения определяемой величины.

Результаты расчета Δx приведены в табл. 2.

При расчете параметров ошибка не превышает 8%, следовательно, приведенные соотношения выходных параметров преобразовательной установки могут быть применены в инженерной практике.

Выводы. 1. Энергетические характеристики преобразовательной установки постоянного тока определяют целесообразность использования соединения обмоток трансформатора типа Y/Y при преобразовании уровня напряжения постоянного тока.

2. При питании выпрямителя от АИН нелинейность выпрямителя не оказывает существенного влияния на процессы электромагнитного преобразования энергии.

3. Отношение полной мощности трансформатора к мощности постоянного напряжения равно единице, что на 5% меньше, чем при синусоидальном напряжении, т.е. в исследуемом случае КПД преобразовательной установки выше, чем при синусоидальном питании.

4. Получены соотношения электрических параметров преобразовательной установки, которые могут быть применены в инженерной практике. При расчете параметров ошибка не превышает 8%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В. Д. Особенности работы трехфазного выпрямителя в устройствах преобразования постоянного напряжения / В. Д. Волков, А. В. Полуказаков // Электротехнические комплексы и системы управления. — 2006. — № 1. — С. 51–54.

2. Полуказаков А. В. Особенности работы трехфазного выпрямителя в автономных источниках питания / А. В. Полуказаков // Энергия. XXI век. — 2006. — № 2 (60). — С. 15–20.
3. Справочник по преобразовательной технике / Под ред. И. М. Чиженко. — Киев: Техника, 1978. — 447 с.

© Волков В. Д., Полуказаков А. В., 2007

Получено после доработки 09.01.07

УДК. 621.317.7 : 536.5

В. Д. КАРГАПОЛОВ, канд. техн. наук, доц. (Северный международный университет, г. Магадан)

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА МЕДНОГО ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Проведены экспериментальные исследования влияния нагрева электрического термометра сопротивления на достоверность получаемых при измерении результатов. Экспериментально установлено, что нагрев датчика протекающим током не является препятствием для увеличения сопротивления датчика. Применение электрических термометров сопротивления большого номинала позволяет исключить трехпроводную схему измерения и повысить чувствительность датчика.

При измерении температуры грунтов вечномерзлых оснований применяются стеклянные ртутные термометры, медно-константановые термопары, терморезисторы, медные термометры сопротивления. Нет единого параметра, по которому можно было однозначно оценить и выбрать наиболее приемлемый способ измерения температуры. В каждом конкретном случае выбирать приходится в зависимости от сложившихся условий. Самые сложные условия измерения температуры — это полевые работы в зимнее время. Здесь конкурируют два вида датчиков: терморезисторы и медные термометры сопротивления.

Терморезисторы обладают неоспоримыми преимуществами перед остальными датчиками температуры. Известно, что чувствительность датчика температуры зависит от температурного коэффициента. Температурный коэффициент терморезисторов ММТ может достигать 5, медные же термометры сопротивления имеют коэффициент, равный 0,4. Сопротивление терморезисторов может достигать сотен килоом, поэтому при измерении температуры в скважинах можно не учитывать сопротивление подводящих проводов. Терморезисторы компактны, следовательно, имеют малую тепловую инерцию [1]. Но у них есть существенные недостатки. Основной недостаток терморезисторов заключается в том, что зависимость сопротивления от температуры выражается нелинейной функцией, поэтому для тарировки требуются прецизионная аппаратура, высокоточные термометры и качественное терmostатирование.

Медные термометры сопротивления (ЭТС) заводского изготовления имеют номинал 53 Ом, точность измерения $\pm 0,45^\circ\text{C}$ [2]. При таком номинале существенное влияние на точность измерения оказывает изменение сопротивления подводящих проводов при изменении температуры. Для устранения этой погрешности применяют два способа: измерение по трехпроводной схеме (отдельно измеряется сопротивление подводящих проводов) и увеличение номинала датчика. Измерение по трехпроводной схеме громоздко и сложно, поэтому более приемлемым является увеличение номинала сопротивления. По мнению некоторых авторов [2, 3], при

увеличении номинала ЭТС возникает погрешность вследствие «перегрева» датчика протекающим током.

Автором экспериментально проверено влияние протекающего по ЭТС тока на достоверность измерений. Опытный ЭТС был намотан бифилярно медным проводом на резервуар метастатического термометра Бекмана с ценой деления $0,01^{\circ}\text{C}$. На резервуаре предварительно была вылеплена катушка из пластилина (рис. 1).

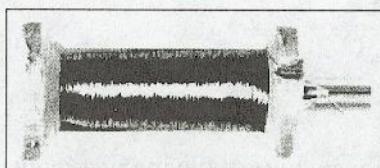


Рис. 1. Исследование нагрева ЭТС с помощью термометра Бекмана

в качестве нуль-индикатора использовался зеркальный гальванометр М-195/2. После длительной выдержки снимался отсчет по термометру. Затем ЭТС включался в цепь моста и выдерживался до стационарного состояния, и вторично снимался отсчет по термометру. Опыты проводились многократно. На основании проведенных опытов установлено, что протекание тока по ЭТС увеличивает температуру резервуара термометра на $0,01\text{--}0,02^{\circ}\text{C}$.

Следующий опыт был проведен с ЭТС номиналом 7930 Ом (рис. 2, а). ЭТС наматывался бифилярно на стержень шариковой авторучки по длине 3 см. Измерительные спаи батареи микротермопар помещались внутрь обмотки ЭТС. При тарировке микротермопар с помощью термометра Бекмана возникли сложности — точки не ложились на прямую линию зависимости температуры от сопротивления. Происходило это, видимо, потому, что при обычных условиях тарировки не учитывается различная тепловая инерция резервуара термометра и спая термопары. Обычно при тарировке повышение температуры жидкости фиксируется одновременно как термометром, так и термопарой. Но если резервуар термометра массивный, возникает погрешность вследствие разности тепловой инерции термометра и термопары. При высокой точности замеров температуры (сотые доли градуса) эта погрешность может быть весьма существенной. Чтобы ее уменьшить до минимума, мы применили схему, показанную на рис. 2, б. В стеклянный сосуд с водой 1 помещался омический нагреватель 2, подключенный к электрической сети через лабораторный автотрансформатор 3. В сосуд также помещалась мешалка 4 и метастатический термометр Бекмана 5. К резервуару термометра плотно прикреплялись измерительные спаи батареи микротермопар 6. Спаи сравнения 7

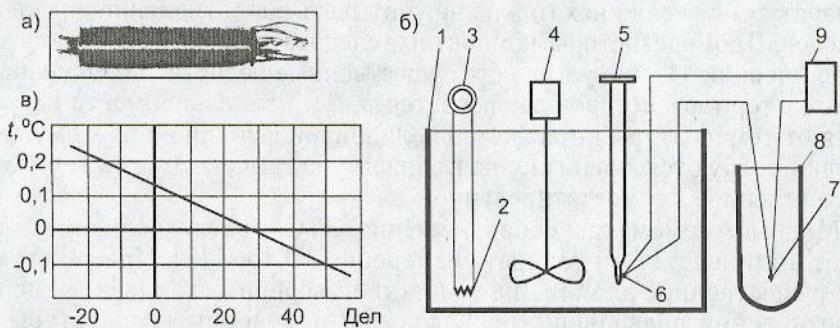


Рис. 2. Исследование нагрева ЭТС с помощью батареи микротермопар
а — конструкция ЭТС; б — схема установки для тарировки ЭТС: 1 — стеклянный сосуд; 2 — нагреватель; 3 — автотрансформатор; 4 — мешалка с электродвигателем; 5 — метастатический термометр Бекмана; 6 — измерительные спаи батареи микротермопар; 7 — спаи сравнения батареи микротермопар; 8 — сосуд Дьюара с тающим льдом; 9 — зеркальный гальванометр; в — график тарировки микротермопар

помещались в сосуд Дьюара с тающим льдом 8. Измерения выполнялись зеркальным гальванометром 9. Вся установка помещалась в холодильную камеру, температура в которой поддерживалась близкой к 0°C.

Тарировка выполнялась в следующей последовательности. На нагреватель 2 подавалось напряжение, после чего установка выдерживалась до стационарного состояния, и снимались показания по термопару 4 и по зеркальному гальванометру 9. На рис. 2, в показан тарировочный график. Согласно графику чувствительность батареи термопар составляет 0,005°C/дел.

ЭТС был тщательно гидроизолирован и помещен в сосуд Дьюара с тающим льдом. Выводы ЭТС подключались к мосту постоянного тока МО-62. В качестве нуль-индикатора использовался зеркальный гальванометр. Опыты показали, что температура ЭТС в результате протекания тока по обмотке повышается не более чем на 0,03°C.

Для определения «перегрева» ЭТС третьим способом была использована высокая чувствительность зеркального гальванометра. ЭТС номиналом 6023 Ом был изготовлен так же, как предыдущий. Опыты проводились в следующей последовательности. ЭТС помещали в сосуд Дьюара с тающим льдом, его выводы подключались к мосту постоянного тока Р-333. В качестве нуль-индикатора использовался зеркальный гальванометр М-195/2 (чувствительность 4×10^{-9} А). Для исключения влияния падения напряжения на источнике питания использовался аккумулятор ЗМТ12 (напряжение на клеммах 6 В).

Чувствительность ЭТС номиналом 6023 Ом с мостом Р-333 составляет 0,04°C/Ом. При использовании зеркального гальванометра чувствительность можно увеличить. При повороте курбели моста « $\times 1$ » на одно деление в ту или другую сторону зайчик гальванометра перемещается на 15 делений, при этом перемещение зайчика на одно деление соответствует 0,003°C. Опыт выполнялся в следующей последовательности. На курбелях моста устанавливалось сопротивление, соответствующее номиналу, и при включенном кнопке «точно» выдерживалось до стационарного состояния, т. е. до момента, когда зайчик гальванометра при «перегретом» датчике останавливался на некоторой отметке. Затем кнопка «точно» отключалась и ЭТС выдерживался до «холодного» состояния, т. е. он принимал температуру тающего льда. Гальванометр подключали к мосту таким образом, чтобы перемещение зайчика вправо соответствовало нагреву датчика, а перемещение влево — охлаждению. После подключения «холодного» ЭТС к напряжению батареи питания зайчик резко уходил влево, а затем медленно перемещался до некоторой отметки. Перемещение зайчика от левого крайнего положения («холодный» ЭТС) до крайнего правого («перегретый» ЭТС) дает величину повышения температуры при протекании тока в делениях шкалы. Умножая на величину 0,003°C/дел, можно получить величину «перегрева» ЭТС. Опыты, проведенные многократно, показали, что температура ЭТС номиналом 6023 Ом при длительном включении питания увеличивается не более чем на 0,07°C. По приведенной выше методике была определена величина «перегрева» ЭТС разных номиналов. На рис. 3 показан график зависимости температуры от сопротивления.

Менее освещен в литературе вопрос влияния нагрева терморезистора на достоверность получаемых результатов. Мы провели экспериментальное определение величины «перегрева»

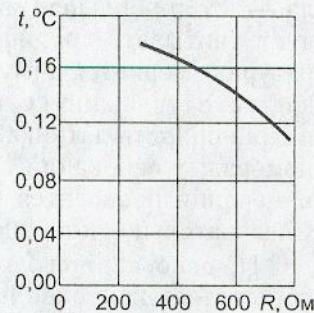


Рис. 3. Зависимость «перегрева» ЭТС от сопротивления

терморезистора по описанной выше методике. В опытах использовался терморезистор ММТ-4, изготовленный и протарированный в Институте мерзлотоведения СО РАН. Результаты тарировки приводятся институтом в виде распечатки, выписка из которой дается ниже. Терморезистор № 27, партия 04.01.91, температуре 0°C соответствует сопротивление 14317,35 Ом, температуре 1°C — 13852,39 Ом. Терморезистор с припаянными проводами был гидроизолирован многократным погружением в клей БФ-2 с последующей сушкой. Во время опыта терморезистор помещался в сосуд Дьюара, его выводы присоединялись к мосту Р-333. В качестве источника питания использовался аккумулятор ЗМТ12. Множитель моста был установлен в положение «×10». В качестве нуль-индикатора использовался зеркальный гальванометр М-195/2. Переключатель цены деления по току гальванометра устанавливался в положение «×10».

Опыты проводились в следующей последовательности. Переключатель диапазона измерения устанавливался в положение «×10». Если в состоянии равновесия моста с включенным в цепь терморезистором его курбель «×10» повернуть на одно деление, сопротивление моста изменится на 100 Ом. В наших опытах зайчик гальванометра переместился на 51 деление. Следовательно, перемещение зайчика гальванометра по шкале на одно деление соответствует изменению сопротивления моста примерно на 2 Ом. По этой методике мы определили, что «перегрев» терморезистора соответствует 42 делениям шкалы гальванометра. По данным распечатки изменение температуры терморезистора на 1°C соответствует изменению его сопротивления на 465 Ом. Принимая, что в пределах 1°C сопротивление терморезистора изменяется в зависимости от температуры линейно, можно, составив пропорцию, вычислить величину «перегрева» терморезистора. Перемещение зайчика гальванометра на 42 деления соответствует изменению сопротивления терморезистора на 84 Ом. Отсюда следует, что при протекании током температура терморезистора повысилась на 0,18°C.

При использовании терморезистора в качестве датчика температуры его гидроизолируют. Слой гидроизоляции одновременно является теплоизоляцией, поэтому температура датчика может дополнительно повышаться. Мы исследовали по той же методике влияние теплоизоляции датчика на его температуру. В качестве гидроизоляции был взят пластилин, при этом диаметр ММТ-4 в пластилиновой оболочке составлял 18 мм. Многократно проведенные опыты показали, что температура терморезистора повышается на 0,21°C.

Увеличение номинала сопротивления ЭТС не является препятствием для их применения. Но есть один недостаток у ЭТС большого номинала — это их большая масса и, следовательно, инерционность. Здесь следует учитывать специфику термометрических измерений. Если температура измеряется в глубоких и сверхглубоких скважинах и датчик опускается в скважину с помощью троса и лебедки, то имеет значение инерционность датчика. При исследовании температурного режима вечномерзлых оснований глубина скважин редко превышает 20 м, поэтому измерения проводятся гирляндой, постоянно находящейся в скважине. Следовательно, инерционность датчика значения не имеет.

На основании своего опыта использования датчиков температуры автор считает наиболее приемлемым ЭТС номиналом 2000–3000 Ом. При таком номинале ЭТС не требуется трехпроводная схема измерения, датчик легко изготовить и протарировать. Обработка результатов измерения не представляет трудностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по применению полупроводниковых терморезисторов для геотермических измерений.— Якутск: Ин-т мерзлотоведения.— 1985.— 48 с.
2. Веденников Л. Е. Измерение температуры горных пород электрическими термометрами сопротивлений/Л. Е. Веденников.— Магадан: Магадан. кн. изд-во, 1956.— 44 с.
3. Паладько В. В. Электрические термометры сопротивления для геокриологических исследований/В. В. Паладько.— М., 1962.

© Каргаполов В. Д., 2007

Получено 09.01.07

УДК 691.001

Н. П. НЕМЧИН, канд. техн. наук, доц., С. В. КОНДРАКОВ, асп. (Читинский государственный технический университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ ОТСТУПЛЕНИИ ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ПРОЕКТА МАТЕРИАЛА

Свойства материала заданы зависимостями, полученными в ходе эксперимента и теоретическим путем. Управляемые параметры, от которых зависят эти свойства, при контролируемом отступлении от первоначального проекта лежат в некоторой области значений. С помощью метода штрафных функций нелинейного программирования решается задача нахождения такой области для волокнистых полимерных нетканых материалов.

Постановка оптимизационной задачи. Настоящая статья является продолжением статьи [1].

Для оптимального проектирования материалов, прежде всего, должна быть установлена связь между управляемыми параметрами \vec{x} и заданными свойствами \vec{y} в области изменения значений $\vec{x}^* \leq \vec{x} \leq \vec{x}^{**}$

$$\vec{y} = \vec{y}(\vec{x}). \quad (1)$$

Характеристики требуемого проекта материала первоначально могут быть заданы формулой

$$\vec{y}^* \leq \vec{y} \leq \vec{y}^{**}. \quad (2)$$

Отклонение найденных показателей свойств от требуемых значений выражается следующими формулами:

$$h_i = \begin{cases} 0, & \text{если } y_i^* \leq y_i \leq y_i^{**}; \\ \frac{y_i - y_i^*}{y_i^*} \cdot 100\%, & \text{если } y_i < y_i^*; \\ \frac{y_i - y_i^{**}}{y_i^{**}} \cdot 100\%, & \text{если } y_i > y_i^{**}. \end{cases} \quad (3)$$

Среднее квадратичное отклонение найденного проекта от требуемого может быть выражено как

$$H = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{h_i^2}{m}}, \quad (4)$$

где m — количество свойств (размерность вектора \vec{y}).

Степень приближения найденного проекта к требуемому проекту оценивается величиной

$$P = 100\% - H. \quad (5)$$

Для отыскания оптимального проекта решается задача нелинейного программирования с целевой функцией

$$f(\vec{x}) = \sum_{i=1}^m h_i^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

и ограничениями

$$x_j^* \leq x_j \leq x_j^{**}, \quad j=1, 2, 3, \dots, n. \quad (7)$$

В общем случае эта задача недифференцируемого нелинейного программирования с простыми ограничениями [2].

В результате решения первоначальной оптимизационной задачи (6), (7) будут найдены конкретные значения $\vec{x}^{(0)}, \vec{y}^{(0)}, P_0, H_0$. Рассматриваемая задача заключается в том, чтобы найти область изменения управляемых параметров $\vec{x}_{\min} \leq \vec{x} \leq \vec{x}_{\max}$, в которой происходит контролируемое уменьшение первоначальной степени приближения к требуемому проекту P_0 на величину, не превышающую ΔP . Для этого должны решаться задачи $x_k \rightarrow \min$ или \max , при условии

$$P \geq P_0 - \Delta P. \quad (8)$$

Допускаемое отклонение от требуемого проекта обозначим H_d . Тогда

$$H_d = H_0 + \Delta P. \quad (9)$$

Условие (8) можно привести к следующему виду:

$$h = \sum_{i=1}^m h_i^2 \leq mH_d^2. \quad (10)$$

Поставленные задачи могут быть решены методом штрафных функций нелинейного программирования [2]. Обозначим штраф за отклонение от условия (10) через Z :

$$Z = \begin{cases} 0, & \text{если } h \leq mH_d^2; \\ h - mH_d^2, & \text{если } h > mH_d^2. \end{cases} \quad (11)$$

Теперь необходимо решать задачи:

а) для получения нижней границы x_k

$$f = \frac{x_k}{x_{k, \text{cp}}} + cZ \rightarrow \min; \quad (12)$$

б) для получения верхней границы x_k

$$f = -\frac{x_k}{x_{k, \text{cp}}} + cZ \rightarrow \min, \quad (13)$$

где c — параметр управления штрафом;

$$x_{k, \text{cp}} = \frac{x_k^* + x_k^{**}}{2}; \quad y_{k, \text{cp}} = \frac{y_k^* + y_k^{**}}{2}.$$

На каждой итерации метода штрафных функций должна решаться задача недифференцируемой минимизации с простыми ограничениями

$$\vec{x}^* \leq \vec{x} \leq \vec{x}^{**}. \quad (14)$$

Для решения рассматриваемых задач на ЭВМ была создана программа fwmdo3.pas.

2. Решение задачи для волокнистых полимерных нетканых материалов. После обработки результатов экспериментов установлены зависимости (1), которые опубликованы ранее [1].

В качестве управляемых параметров принимались: тип иглы x_1 ; поверхностная плотность волокнистой массы x_2 ($\text{кг}/\text{м}^2$); плотность прошивания x_3 ($1/\text{см}^2$) на иглопробивной машине ИМ-1800. Определяемыми параметрами были выбраны продольная сила y_1 (Н), действующая на иглу; высота волокнистого слоя y_2 (мм); объемная плотность материала y_3 ($\text{кг}/\text{м}^3$); разрывные силы вдоль полотна y_4 (Н) и поперек полотна y_5 (Н).

Пусть требуемый проект полимерного волокнистого материала задан условиями:

$$45 \leq x_1 \leq 100; 0,15 \leq x_2 \leq 0,55; 60 \leq x_3 \leq 220; \quad (15)$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \leq y_1 \leq 9,39; 1,05 \leq y_2 \leq 2,5; 70 \leq y_3 \leq 80; \\ 500 \leq y_4 \leq 771; 400 \leq y_5 \leq 527. \end{array} \right\} \quad (16)$$

Пределы условий (15) — это экстремальные значения независимых параметров, осуществленные в опытах. Вне этих границ эмпирические уравнения несправедливы.

В результате решения задачи (6), (7) получены оптимальные значения:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 45; x_2 = 0,2157; x_3 = 169,02; y_1 = 1,254 (h_1 = 0); \\ y_2 = 2,852 (h_2 = 14,081\%); y_3 = 71,7 (h_3 = 0); \\ y_4 = 499,4 (h_4 = -0,126\%); y_5 = 331,5 (h_5 = -17,117\%). \end{array} \right\} \quad (17)$$

Степень приближения полученного проекта (17) к заданному условиями (16)

$$P_0 = 90,087\%.$$

Будем искать область изменения параметров x_1, x_2, x_3 , в которой степень приближения к требуемому проекту не менее $P_0 = 1\%$.

Так как значение $x_1 = 45$ совпадает с нижней границей области определения значений независимого параметра x_1 , то задача (12) для x_1 была пропущена, и определялась верхняя граница x_1 из решения задачи (13). Штраф Z вычислялся по формулам (11).

Решение задачи для верхней границы изменения x_1 имеет следующий вид:

$$P = 89,087\%;$$

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 57,78; x_2 = 0,2158; x_3 = 154,32; y_1 = 2,769 (h_1 = 0\%); \\ y_2 = 2,841 (h_2 = 13,647\%); y_3 = 72,6 (h_3 = 0\%); \\ y_4 = 493,8 (h_4 = -1,235\%); y_5 = 319,2 (h_5 = -20,1927\%). \end{array} \right\} \quad (18)$$

Полученные результаты показали, что найдена область изменения параметра $45 \leq x_1 \leq 57,78$.

Следующим этапом вычислений является разбивка области изменения x_1 на сортаментные значения 45, 50, 55 и получение области изменения независимых параметров x_2, x_3 . Для этого сначала необходимо при каждом из сортаментных значений x_1 вычислить границы области изменения параметра x_2 :

$$f = \pm \frac{x_2}{x_{2\text{ср}}} + cZ \rightarrow \min \quad \text{при } x_1 = 45, 50, 55. \quad (19)$$

Результаты вычислений занесены в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров	$x_1 = 45$	$x_1 = 50$	$x_1 = 55$
Максимальные	$x_2 = 0,2180$	$x_2 = 0,2234$	$x_2 = 0,2233$
Минимальные	$x_2 = 0,2022$	$x_2 = 0,2056$	$x_2 = 0,2102$

На этом этапе нами получены верхняя и нижняя граница изменения параметра x_2 при каждом из значений параметра x_1 . Для получения точек, определяющих концы интервала изменения параметра x_3 , в каждом интервале значений x_2 в табл. 1 был взят дискретный ряд значений по формуле

$$x_2 = x_{2\text{min}} + \alpha (x_{2\text{max}} - x_{2\text{min}}),$$

где $\alpha = 0; 0,3333; 0,6667; 1$.

Для каждого такого фиксированного значения x_2 решена задача

$$f = \pm \frac{x_3}{x_{3\text{ср}}} + cZ \rightarrow \min \quad \text{при} \quad (20)$$

$x_1 = \text{const}$ и $x_2 = \text{const}$.

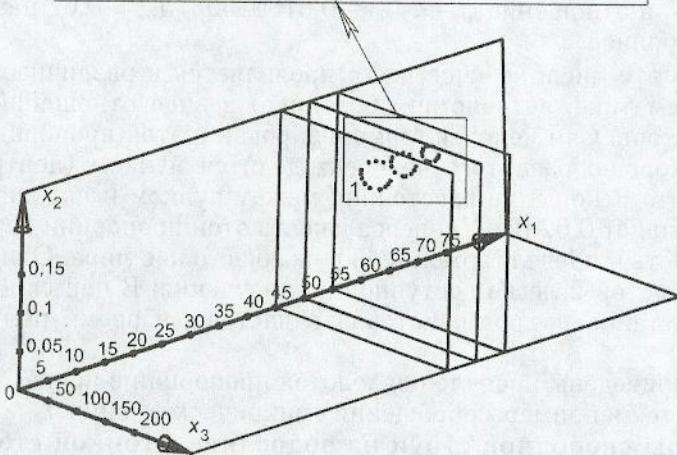
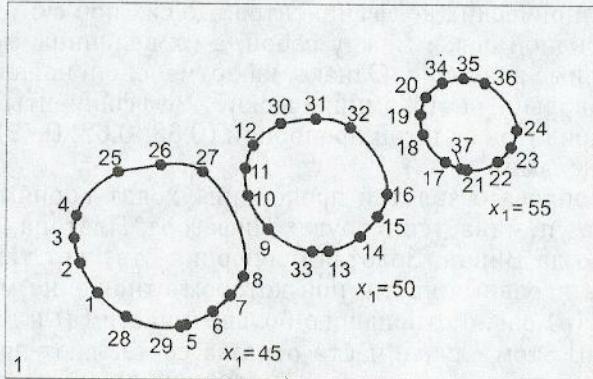
Получаем точки границы искомой области № 1–24 (рисунок).

Другую серию точек, характеризующих искомую область, вычисляем аналогично, только при решении этой задачи фиксированными значениями являются x_1 и x_3 . Получаем точки границы искомой области № 25–37 (см. рисунок). Значения координат для каждой точки занесены в табл. 2.

Таким образом, разработана методика определения области изменения управляемых параметров проектирования, в которой допускается контролируемое снижение степени приближения к требуемому проекту на заданную величину.

Таблица 2

№ точки	Значения x_1	Значения x_2	Значения x_3
1	45	0,2022	148,4
2	45	0,2075	142,8
3	45	0,2127	140,9
4	45	0,2180	141,4
5	45	0,2022	175,3
6	45	0,2075	183,4
7	45	0,2127	188,6
8	45	0,2180	192,4
9	50	0,2056	151,0
10	50	0,2115	144,4
11	50	0,2175	143,5
12	50	0,2234	145,5
13	50	0,2056	169,5
14	50	0,2115	178,9
15	50	0,2175	184,1
16	50	0,2234	186,8
17	55	0,2102	155,5
18	55	0,2146	148,5
19	55	0,2189	147,6
20	55	0,2233	149,1
21	55	0,2102	162,0
22	55	0,2146	171,3
23	55	0,2189	175,1
24	55	0,2233	176,8
25	45	0,2315	153,6
26	45	0,2365	166,4
27	45	0,2385	179,2
28	45	0,1991	157,2
29	45	0,2014	173,6
30	50	0,2307	153,9
31	50	0,2346	164,5
32	50	0,2355	175,1
33	50	0,2041	164,5
34	55	0,2280	153,9
35	55	0,2307	160,3
36	55	0,2314	166,7
37	55	0,2100	160,3



Область изменения параметров x_1 , x_2 , x_3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Немчин Н. П. Применение нелинейного программирования при проектировании материалов с заданными свойствами / Н. П. Немчин, В. М. Герасимов, С. В. Кондратков // Строительство. — 2004. — № 7. — С. 113–116.
- Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Моррей, М. Райт. — М.: Мир, 1988. — 509 с.

© Немчин Н. П., Кондратков С. В., 2007

Получено 18.01.07

УДК 532.5.011 : 72.013

Г. Д. СЛАБОЖАНИН, канд. техн. наук, доц. (Томский государственный архитектурно-строительный университет)

ЗОЛОТАЯ ПРОПОРЦИЯ — ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ КОНСТАНТА ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ*

Показано, что золотую пропорцию целесообразно использовать в качестве константы при описании процессов истечения жидкостей. На ее основе получены простые универсальные формулы для параметров истечения через отверстия, насадки и водосливы различных типов.

Введение. В гидравлических расчетах различных водопропускных инженерных сооружений, технических систем и устройств используется

* Печатается в порядке обсуждения

множество эмпирических коэффициентов. До сих пор считалось, что они не имеют очевидной связи между собой, а их величины могут приобретать произвольные значения. Однако, как отмечено в нашей работе [1], в гидравлике довольно часто эмпирические коэффициенты приобретают значения инвариантов золотой пропорции ($0,38; 0,62; 0,79$), называемых «золотыми» числами.

История вопроса о золотой пропорции уходит корнями в глубокую древность. Она упоминается в трудах Пифагора, Платона, Евклида, Кеплера, Леонардо да Винчи. Золотая пропорция отвечает такому делению отрезка на две неравные части, при котором отношение меньшей части (a) к большей (b) равно отношению большей части (b) к длине всего отрезка ($a + b$). В этом случае части отрезка составляют приблизительно 62% и 38%, а отношение $\phi = a/b = 0,6180339875\dots \approx 0,62$ называют золотой пропорцией.

Именно это число ϕ чаще всего проявляется в различных отраслях науки (математике, астрономии, ботанике) в виде отношений однородных параметров. Сам человек гармонизирован в этой пропорции. Например, тело хорошо развитого человека делится пупком (центр тяжести тела) так, что отношение расстояния между пупком и подошвами ног к росту составляет 0,62 [2]. Универсальность этой пропорции характеризует целостность и предел гармонии окружающего нас мира. Однако она не является простой и легко доступной для изучения. В ней скрыта фундаментальная тайна природы, которая в настоящее время полностью не раскрыта.

Ниже приведены проявления золотой пропорции в процессах истечения жидкостей и примеры обобщения эмпирических данных на ее основе.

Размеры свободной струи на водосливе с тонкой стенкой. Основные вертикальные и горизонтальные размеры струи на водосливе прямоугольного сечения без бокового сжатия по классическим опытам Базена (1898 г.) и по ТУиН МЭС СССР (1951 г.) [3, с. 61; 4, с. 240] указаны на рисунке, а в табл. 1 представлены отношения размеров струи в порядке убывания.

Проведенный анализ показывает, что все отношения размеров струи являются членами одной геометрической прогрессии со знаменателем $\phi^{1/6}$ (см. табл. 1). В этом случае отношение любых размеров струи A_i и A , в том числе и приведенные на рисунке коэффициенты пропорциональности при H , совпадают с членами ряда

Таблица 1

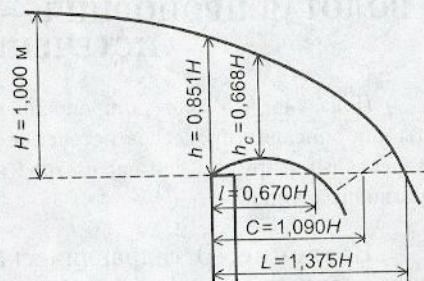
Соотношения размеров свободной струи на водосливе с тонкой стенкой

Отношение размеров	Значение отношения	Величина $\phi^{k/6}$	Значение $\phi^{k/6}$	Отклонение, %
h_c/l	0,997	$\phi^{0/6}$	1,000	0,30
H/C	0,917	$\phi^{1/6}$	0,923	0,65
h/H	0,851	$\phi^{2/6}$	0,852	0,12
h_c/h	0,785	$\phi^{3/6}$	0,786	0,13
h/C	0,781		0,64	
C/L	0,793		0,88	
H/L	0,727	$\phi^{4/6}$	0,726	0,14
h_c/H	0,668	$\phi^{5/6}$	0,670	0,30
l/H	0,670		0,00	
h/L	0,619	$\phi^{6/6}$	0,618	0,16
l/C	0,615			0,45

$$A_i/A = \phi^{\pm k/6}, \quad (1)$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$; при $A_i < A$ принимается «+», в противном случае — «-».

Таким образом, любой из анализируемых размеров струи



Профиль свободной струи на водосливе с тонкой стенкой

A_i может быть выражен через геометрический напор H и золотую пропорцию ϕ по формуле

$$A_i = \phi^{\pm k/6} H. \quad (2)$$

Тогда размеры струи можно представить так:

$$h = \phi^{2/6} H, (0,12\%); h_c = \phi^{5/6} H, (0,30\%); l = \phi^{5/6} H, (0,00\%);$$

$$C = \phi^{-1/6} H, (0,64\%); L = \phi^{-4/6} H, (0,15\%).$$

Видно, что отклонения (указаны в скобках) размеров, выраженных по формуле (2) через ϕ , от опытных значений размеров струи, приведенных на рисунке, не превышают 0,64%. Этот результат следует считать довольно точным, если учесть, что отклонения вызваны и ошибкой эксперимента.

Можно также показать, что сжатое сечение струи на водосливе с тонкой стенкой с достаточно высокой точностью делит отрезок l в золотой пропорции (сжатое сечение струи является золотым сечением для отрезка l).

Коэффициенты сжатия струи. Коэффициенты сжатия представляют собой отношение линейных размеров, например, диаметров ($\varepsilon = d_c/d$ = диаметр сжатого сечения струи/диаметр отверстия) или площадей ($\varepsilon_\omega = \omega_c/\omega$ = площадь сжатого сечения струи/площадь отверстия). В табл. 2 представлены эмпирические формулы для коэффициентов сжатия струи и их предельные (справочные) значения при совершенном истечении жидкости через отверстия, насадки и водосливы.

Коэффициенты сжатия приобретают предельные (постоянные) значения, когда относительные размеры выходного сечения канала (h/H , d/D), силы вязкости и поверхностного натяжения малы. Например, при истечении различных жидкостей через малые отверстия с острой кромкой, значение коэффициента сжатия при числах Рейнольдса $Re > 10^5$ и Вебера $We > 200$ стабилизируется и становится близким к рекомендуемому для расчетов: $\varepsilon_\omega = 0,62$ [5, с. 121]. На такое же предельное значение указывает и эмпирическая формула для ε при истечении из цилиндрического резервуара диаметром D через круглое отверстие диаметром d , расположенное на его оси, при больших значениях Re (см. табл. 2). В этой формуле представлены сразу два золотых числа: 0,62 и 0,38. Видно, что при уменьшении относительного размера отверстия d/D , когда влияние стенок сосуда (резервуара) на истечение уменьшается и сжатие струи становится совершенным, второе слагаемое стремится к нулю, а коэффициент сжатия приобретает предельное значение $\varepsilon_\omega = 0,62$, равное золотой пропорции.

Из табл. 2 видно, что предельные коэффициенты сжатия по линейному размеру ε находятся в соответствии с формулой (1). При изменении геометрии (типа) насадка (канала или сооружения) эти коэффициенты изменяются ступенчато и приобретают дискретные значения, определяемые зависимостью

$$\varepsilon = \phi^{k/6}, \quad (3)$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Тогда при истечении через каналы круглого сечения предельные коэффициенты сжатия струи по площади ε_ω должны совпадать с рядом следующих инвариантов золотых чисел:

$$\begin{aligned} \varepsilon_\omega &= \omega_c/\omega = (d_c/d)^2 = \varepsilon^2 = (\phi^{k/6})^2 = \phi^{k/3} \approx \\ &\approx 1,00 - 0,85 - 0,73 - 0,62 - 0,53, \end{aligned} \quad (4)$$

что подтверждается опытными данными (см. табл. 2).

Таблица 2

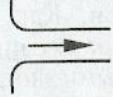
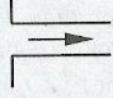
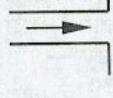
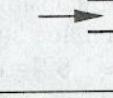
Пределные эмпирические значения коэффициентов сжатия ε и ε_ω

Название канала	Схема канала (сооружения)	Пределные значения ε и ε_ω	$\varepsilon = \varphi^{k/6}$
Коноидальный насадок		$\varepsilon_\omega = \omega_c / \omega = (d_c / d)^2 = 1,00$ [3, с. 55] $\varepsilon_\omega = 1,00 = \varphi^0$ $\varepsilon = d_c / d = \varepsilon_\omega^{1/2} = 1,00 = \varphi^0$	$\varphi^{0/6}$
Круглое отверстие в тонкой стенке		$\varepsilon_\omega = 0,62 + 0,38(d/D)^4$ [5, с. 122] $\varepsilon_\omega \rightarrow 0,62 \approx 0,618 = \varphi^{3/3}$ $\varepsilon = d_c / d = \varepsilon_\omega^{1/2} = 0,62^{1/2} = 0,787 \approx 0,786 = \varphi^{1/2}$	$\varphi^{3/6}$
Внутренний цилиндрический короткий насадок		$\varepsilon_\omega = \omega_c / \omega = 0,53$ [3, с. 55] $\varepsilon_\omega = 0,53 \approx 0,529 = \varphi^{4/3}$ $\varepsilon = d_c / d = \varepsilon_\omega^{1/2} = 0,53^{1/2} = 0,728 \approx 0,726 = \varphi^{2/3}$	$\varphi^{4/6}$
Водослив с тонкой стенкой		$h_c / h = 0,668 / 0,851 = 0,785$ [4, с. 240] $0,785 \approx 0,786 = \varphi^{1/2}$	$\varphi^{3/6}$
Водослив в плане		$\varepsilon = b_c / b = 1 - 0,2H_0 / b$ при $H_0 / b \leq 1,0$ [3, с. 64] $\varepsilon \rightarrow 0,8 \approx 0,786 = \varphi^{1/2}$	$\varphi^{3/6}$
Отверстие под щитом		$\varepsilon = h_c / h = 0,615 + 0,12(h/H)^2$ [6, с. 161] $\varepsilon \rightarrow 0,615 \approx 0,618 = \varphi$	$\varphi^{6/6}$
Водослив с широким порогом		$h / H \rightarrow 0,62$ при $m \rightarrow 0,38$ [7, с. 182] $0,62 \approx 0,618 = \varphi$	$\varphi^{6/6}$

Коэффициенты расхода насадков. В табл. 3 расположены насадки различного типа с постоянным по длине круглым сечением в порядке уменьшения их пропускной способности. Учитывая совпадение коэффициентов сжатия по площади ε_{ω} с рядом чисел (4), можно предположить, что предельные коэффициенты расхода тоже являются членами геометрической прогрессии. Найдем формулу общего члена этой прогрессии.

Таблица 3

Сравнение справочных коэффициентов расхода и рассчитанных через φ

№ п/п (n)	Название насадка	Схема насадка	Эмпирические формулы для μ [6, с. 155, 159]	Справочное μ [3, с. 50, 55]	Расчет по $\mu = 0,97\varphi^{k/3}$ (отклонение, %)
1	Коноидальный насадок		$0,97/(1 - 0,065\omega^*)^{0,5}$	0,97	0,970 (0,00)
2	Нормальный внешний цилиндрический насадок		$0,815/(1 - \omega^*/3)^{0,5}$	0,82	0,826 (0,73)
3	Нормальный внутренний цилиндрический насадок		$0,705/(1 - 0,5\omega^*)^{0,5}$	0,71	0,704 (0,85)
4	Круглое отверстие в тонкой стенке		$0,60(1 + 30/\text{Re} - 1,2/\text{Re}^{0,25})^{0,5}$	0,60	0,599 (0,17)
5	Короткий внутренний цилиндрический насадок		$0,495 + 2,4\delta/d$ (δ — толщина стенки)	0,51	0,511 (0,20)

Примем коэффициент скорости, приведенный к сжатому сечению, равным $\varphi_c = 0,97$, так как в квадратичной области сопротивления это значение соответствует отверстию в тонкой стенке, коноидальному насадку и короткому внутреннему цилиндрическому насадку [3, с. 49, 55]. С учетом выражения (4) для ε_{ω} получим простую обобщающую формулу для определения ряда предельных значений коэффициентов расхода при истечении из насадков различных типов с постоянным по длине круглым сечением:

$$\mu = \varphi_c \varepsilon_{\omega} = 0,97\varphi^{k/3}, \quad (5)$$

где $k = n - 1 = 0, 1, 2, 3, 4$ — числа, присваиваемые типам насадков в известном порядке убывания их пропускной способности;

n — номера типов насадков в ряду убывания их пропускной способности, т.е. порядковые номера насадков в табл. 3.

Из (5) следует, что для каналов с круглым сечением коэффициенты расхода должны быть членами геометрической прогрессии со знаменателем $\varphi^{1/3}$. Это подтверждается данными табл. 3, где приведены эмпирические формулы из [6, с. 155, 157, 159] и соответствующие им справочные (предельные) значения для μ [3, с. 50, 55], т.е. значения при $\text{Re} > 10^5$

(в области автомодельности по Re) и при отсутствии влияния стенок сосуда на истечение (при малых значениях относительной площади сечения насадка $\omega^* = \omega / \Omega = \text{площадь сечения насадка} / \text{площадь стенки резервуара}$).

Анализ данных табл. 3 показывает, что отношения соседних μ , как и ожидалось из формулы (5), оказались близки к значению $\varphi^{1/3} = 0,852$, а расхождение значений μ , определенных по этой формуле, со справочными значениями составляет менее 1 %. Это подтверждает справедливость формул (1) и (3), на основе которых получена формула (5).

Следует заметить, что формуле (1) подчиняются и другие предельные геометрические соотношения параметров истечения жидкостей и даже размеры молекулы воды. Обоснования этого приводятся ниже.

Критерий подтопления водосливов. Как известно, водослив с тонкой стенкой (с острым гребнем) и безвакуумный водослив криволинейного очертания становятся подтопленными, когда перепад уровней на водосливе Z меньше геометрического напора H , т.е. при $Z/H < 1 = \varphi^{0/6}$, а после водослива устанавливается затопленный гидравлический прыжок, для чего отношение Z к высоте водослива P со стороны нижнего бьефа должно быть меньше его критического значения. Согласно [3, с. 62, 65] минимум этого значения составляет $(Z/P)_{\min} = 0,67$, т.е. $\varphi^{5/6}$.

Критерием затопления водослива с широким порогом служат соотношения величины подтопления h_n с полным напором H_0 или с критической глубиной h_k . Водослив считается подтопленным по А. Р. Березинскому при $h_n/H_0 > 0,8$ [3, с. 71], а по П. Г. Киселеву — при $h_n > 1,25h_k$ [3, с. 70], т.е. при $h_n/H_0 > \varphi^{3/6}$ и $h_k/h_n < 0,8 \approx 0,79 = \varphi^{3/6}$.

Вакуум в насадке и на водосливе. При истечении в атмосферу в нормальном внешнем цилиндрическом насадке в сжатом сечении струи образуется вакуум в диапазоне $h_{\text{вак}} = (0,75...0,80)H$ [3, с. 54], т.е. относительное максимальное значение вакуума (при больших значениях Re) составляет $(h_{\text{вак}})_{\max}/H = 0,80 \approx 0,79 = \varphi^{3/6}$.

По исследованиям Н. П. Розанова вакуум на сливной грани водосливов криволинейного очертания с различной формой оголовков достигает $h_{\text{вак}} = (1,27...1,63)H_0$ [5, с. 69], т.е. максимальное значение вакуума соответствует отношению $(h_{\text{вак}})_{\max}/H_0 = 1,63 \approx 1,62 = \varphi^{-1} = \varphi^{-6/6}$.

Высота и дальность полета струи. Золотой пропорции часто подчиняются и размеры пожарных струй, вытекающих из насадка (брэндспойта) в атмосферу. Если такую вертикальную струю воды высотой H_v постепенно наклонять при неизменном значении напора в насадке, то при некотором значении угла наклона ($30...35^\circ$) будет наблюдаться максимальная дальность полета (боя) струи L_{\max} . Интересно, что и в этом случае, как следует из опытных данных [4, с. 115–116], отношение $H_v/L_{\max} = 0,62 \approx \varphi$.

Строение молекулы воды. Как известно, молекула воды состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Их ядра образуют равнобедренный треугольник, боковые стороны которого отвечают расстояниям 0,096 нм, а основание — 0,154 нм [8]. Присутствие золотой пропорции в этих размерах очевидно: $0,096/0,154 = 0,62 \approx \varphi$.

Выводы. Анализ эмпирических зависимостей, коэффициентов и соотношений позволил обнаружить надежную связь геометрических параметров истечения жидкостей с золотой пропорцией $\varphi = 0,618$. Установлена закономерность, заключающаяся в том, что относительные геометрические параметры совершенного истечения через отверстия, насадки и водосливы различных типов, в том числе и коэффициенты сжатия, в области автомодельности от чисел Рейнольдса и Вебера являются членами

одной геометрической прогрессии со знаменателем, равным золотой пропорции в степени одна шестая — $\varphi^{1/6}$. С использованием этой закономерности получена простая универсальная формула, хорошо обобщающая опытные предельные коэффициенты расхода насадков различных типов. Золотая пропорция, ранее наблюдавшаяся в самых различных областях науки, искусства и человеческой деятельности, теперь обнаружена и в гидравлике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слабожанин Г. Д. Проявление принципов золотой пропорции в гидравлике / Г. Д. Слабожанин, Е. П. Лашкевич, О. В. Малмыгина // Проблемы инженерного образования: Матер. регионал. науч.-методич. конф. 22–23 апреля 2003 г. — Томск: Том. архит.-строит. ун-т, 2003. — С. 92–97.
2. Коробко В. И. Золотая пропорция и проблемы гармонии систем / В. И. Коробко. — М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов стран СНГ, 1998. — 373 с.
3. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П. Г. Киселева. — М.: Энергия, 1974. — 312 с.
4. Агроскин И. И. Гидравлика: Учебник для вузов / И. И. Агроскин, Г. Т. Дмитриев, Ф. И. Пикалов; Под ред. И. И. Агроскина. — М.: Л.: Энергия, 1964. — 352 с.
5. Бутаев Д. А. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Д. А. Бутаев, З. А. Калмыкова, Л. Г. Подвидз и др.; Под ред. И. И. Куcoleвского, Л. Г. Подвидза. — М.: Изд-во МГТУ, 2002. — 448 с.
6. Курганов А. М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / А. М. Курганов, Н. Ф. Федоров; Под ред. А. М. Курганова. — Л.: Стройиздат, 1986. — 440 с.
7. Константинов Ю. М. Гидравлика: Учебник / Ю. М. Константинов. — Киев: Вища шк., 1988. — 398 с.
8. Гончарук В. В. Структура воды / В. В. Гончарук, В. П. Казимиров // Химия и технология воды. — 1999. — Т. 100, № 3. — С. 232–244.

© Слабожанин Г. Д., 2007

Получено 19.09.06

УДК 624.132.3

А. Н. САЛОВ, канд. техн. наук, доц., И. В. КЛИШИН, И. А. ОБРАЩЕВ, инженеры (Новосибирская государственная академия водного транспорта)

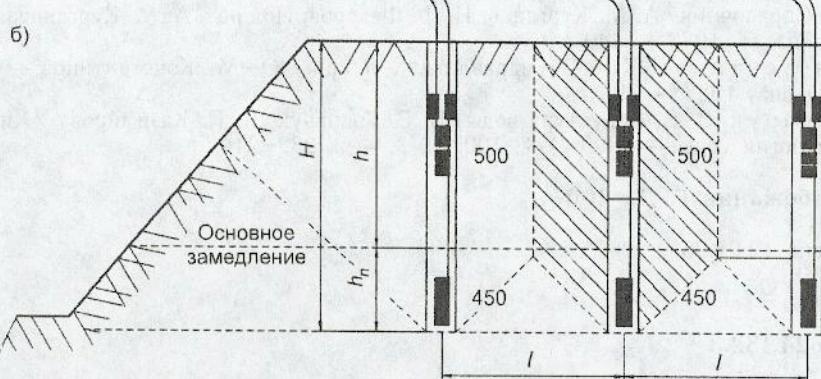
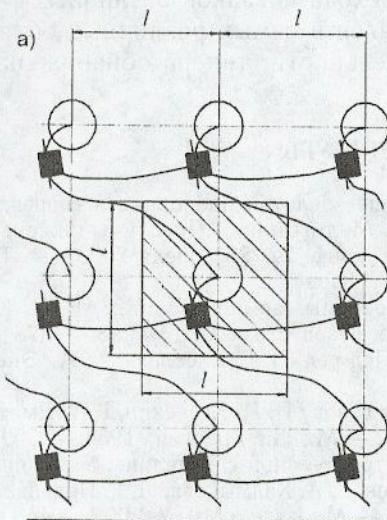
ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫХОДА НЕГАБАРИТА ПРИ БУРОВЗРЫВНОМ РАЗРУШЕНИИ ПРОЧНЫХ ГРУНТОВ

Предлагаемый метод расчета оптимальных технологических параметров буровзрывной сетки шпуров позволяет планировать гранулометрический состав взорванной породы, что дает возможность учета объемов выхода негабаритов при дноуглубительных и добывающих работах на реках для определения трудоемкости и материальных затрат по их ликвидации.

В процессе буровзрывного дробления скального грунта на дне реки или в массиве обводненного карьера образуются обломки значительных размеров, не помещающиеся в черпак земснаряда (многочерпакового, штангового, грейферного) или в ковш экскаватора, так называемые негабариты. Так как уборка негабаритов требует значительных усилий и средств, необходимо знать их процентное содержание в общем объеме разрыхленной породы, другими словами, необходимо знать гранулометрический состав продуктов рыхления.

Как известно, технологическими параметрами буровзрывного способа рыхления являются: толщина снимаемого слоя (массива) h , величина

переуглубления (перебур) h_n , диаметр скважины $d_{\text{скв}}$, длина заряда $L_{\text{вв}}$ и скважины $H = h + h_n$, коэффициент использования длины скважины для заряжания ВВ $\varphi = L_{\text{вв}} / (h + h_n)$, расстояние между осями скважин l и



техническая производительность бурового станка Π , которая зависит от крепости скального грунта f и скорости бурения бурового станка.

Рассмотрим баланс энергии при взрыве скважинного заряда и

Рис. 1. Схема буровзрывного дноуглубления
а — план; б — разрез.

энергии, требуемой для разрушения породы, приходящейся на скважину (рис. 1):

$$\eta Q U = \mathcal{E}_{\text{уд}} V_{\text{пор}} \lambda, \quad (1)$$

где $\eta = H \sigma^2 / 6 \cdot 10^5 E$ — КПД взрыва скважинного заряда;

Q — масса заряда ВВ в скважине, кг;

U — удельная энергия ВВ, Дж/кг;

$\mathcal{E}_{\text{уд}}$ — удельная энергоемкость разрушения породы, Дж/м³:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \sigma^2 / (2E), \quad (2)$$

σ — разрушающее напряжение, Па;

E — модуль деформации породы, Па;

$V_{\text{пор}}$ — объем породы, приходящейся на один скважинный заряд (на рис. 1 этот объем заштрихован), м³:

$$V_{\text{пор}} = l^2(h + h_n / 3); \quad (3)$$

λ — коэффициент увеличения энергии заряда ВВ для получения заданного размера продуктов разрушения $A_{\text{ср}}$

$$\lambda = 0,693 \ln(1 / A_{\text{ср}}^3). \quad (4)$$

Подстановка вышеперечисленных величин в (1) и замена $h_n/h = k$ позволяют получить кубическое уравнение, которое связывает технологические параметры буровзрывного способа рыхления

$$Ak^3h/3 + (A-1)k^2 - 2k - 1 = 0, \quad (5)$$

где

$$A = 22 \cdot 10^5 \ln(1/A_{cp}^3) / \varphi \rho_{\text{вв}} U. \quad (6)$$

Решение уравнения (5) для конкретных условий позволяет увязать технологические параметры буровзрывной технологии в виде номограммы (рис. 2), пример пользования которой показан пунктирумыми линиями со стрелками.

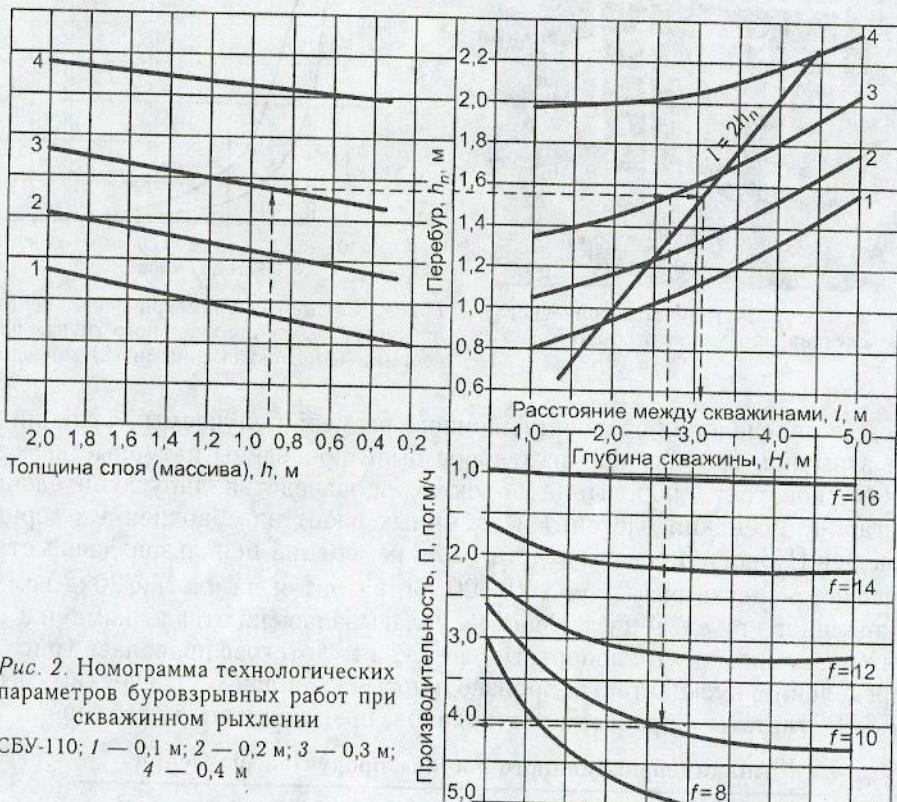


Рис. 2. Номограмма технологических параметров буровзрывных работ при скважинном рыхлении
СБУ-110; 1 — 0,1 м; 2 — 0,2 м; 3 — 0,3 м;
4 — 0,4 м

Исследование схем планового расположения скважин на взрываемом массиве показало, что наиболее простым и технологичным следует считать квадратное расположение скважин, при этом скважины могут быть как вертикальными, так и наклонными. Подрыв зарядов необходимо осуществлять с помощью низкоэнергетической системы инициирования повышенной безопасности (метод СИНВ), дублируя схему монтажа взрывной сети во избежание «отказов».

Для оценки гранулометрического состава взорванной массы скального грунта можно воспользоваться уравнением Розина — Раммлера [1], дающим математическое описание кривой гранулометрического состава в большом интервале изменения крупности фракций.

Суммарный выход фракций $R, \%$, определяется формулой [1]

$$R = 100 \exp \{-X/X_1\}^n, \quad (7)$$

где X_1 — величина, характеризующая действительную крупность (является размером, больше которого содержится 36,8% материала по объему), см;

X — размер куска, до которого определяется суммарный выход сверху (принимается равным заданному размеру негабарита в данном интервале измерения, например, $X = b_k$, где b_k — линейный размер грунтозаборного устройства), см;

n — показатель степени рассеяния кусков по крупности.

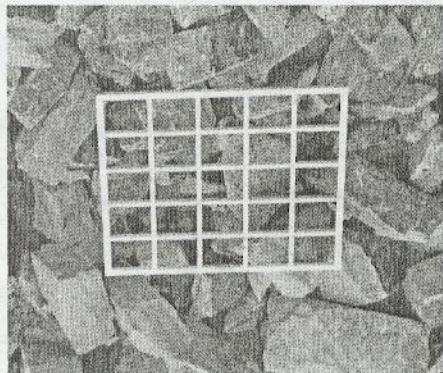


Рис. 3. Фотоплан гранулометрического состава продуктов рыхления

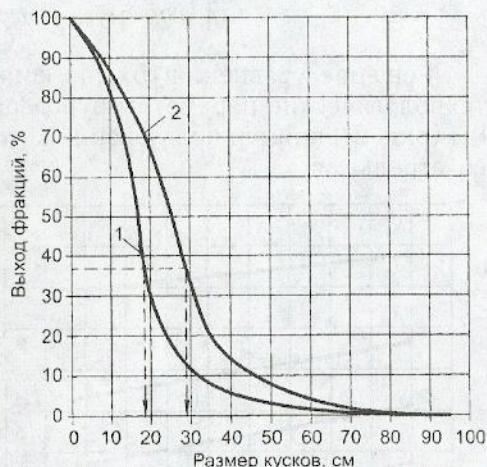


Рис. 4. Кривые гранулометрического состава продуктов рыхления скального грунта шпуровыми (1) и скважинными (2) зарядами

Для определения средневзвешенного размера получаемых фракций X_1 при взрывной отбойке прочных пород были проведены натурные измерения кусковатости породы на объектах производства дноуглубительных (Ангаро-Енисейский бассейн) и добывающих работ из обводненных горных карьеров (Новосибирская область). Для измерений использовалась металлическая решетка размером 100×100 см, разбитая на клетки 20×20 см и выкрашенная в белый цвет. Решетка укладывалась на отвалы камней в момент погрузки их в транспортные средства и фотографировалась (рис. 3). Определение кусковатости производилось фотопланиметрическим методом. Результаты обработки фотопланов представлены в таблице и на

Анализ фракционного состава продуктов рыхления

Наименование объекта	Крупность фракций, A_i , см	Число камней, шт.	Выход фракций y_i , %	Средне-взвешенный размер, см
Рыхление шпуровыми зарядами (р. Енисей)	< 10 10–20 20–30 30–40 40–50 > 50	90 394 178 28 2 7	12,9 56,4 25,4 4,0 0,3 1,0	17,5
Рыхление скважинными зарядами (карьеры Западно-Сибирского горного округа)	< 10 10–20 20–30 30–40 40–50 50–60 60–70 70–80 80–90 90–100 > 100	70 184 293 148 96 22 14 9 6 4 2	8,9 21,7 34,55 17,45 11,30 2,6 1,64 1,06 0,7 0,47 0,23	28,5

графике рис. 4. В результате исследований было обработано около 150 фотопланов.

Средневзвешенный диаметр определялся по формуле

$$A_{cp} = \gamma_i A_i / 100, \quad (8)$$

где γ_i — выход фракций, %;

A_i — соответствующие крупности фракций, см.

Пользуясь графиком на рис. 4, можно определить значения X_1 и по графику на рис. 5 [2] — соответствующие им величины n . Эти величины оказались следующими:

— для шпурового рыхления $X_1 = 18$ см, $n = 1,30$;

— для скважинного рыхления $X_1 = 29$ см, $n = 2,33$.

На значения величин X_1 и n влияют средний размер продуктов рыхления A_{cp} и максимальный размер куска b_k , от которых непосредственно зависит производительность добычных и дноуглубительных средств.

Экстраполируя кривые гранулометрического состава в область малых и больших размеров крупности фракций и используя уравнение Розина — Раммлера, можно подсчитать процентное содержание любой фракции в конкретном взорванном массиве.

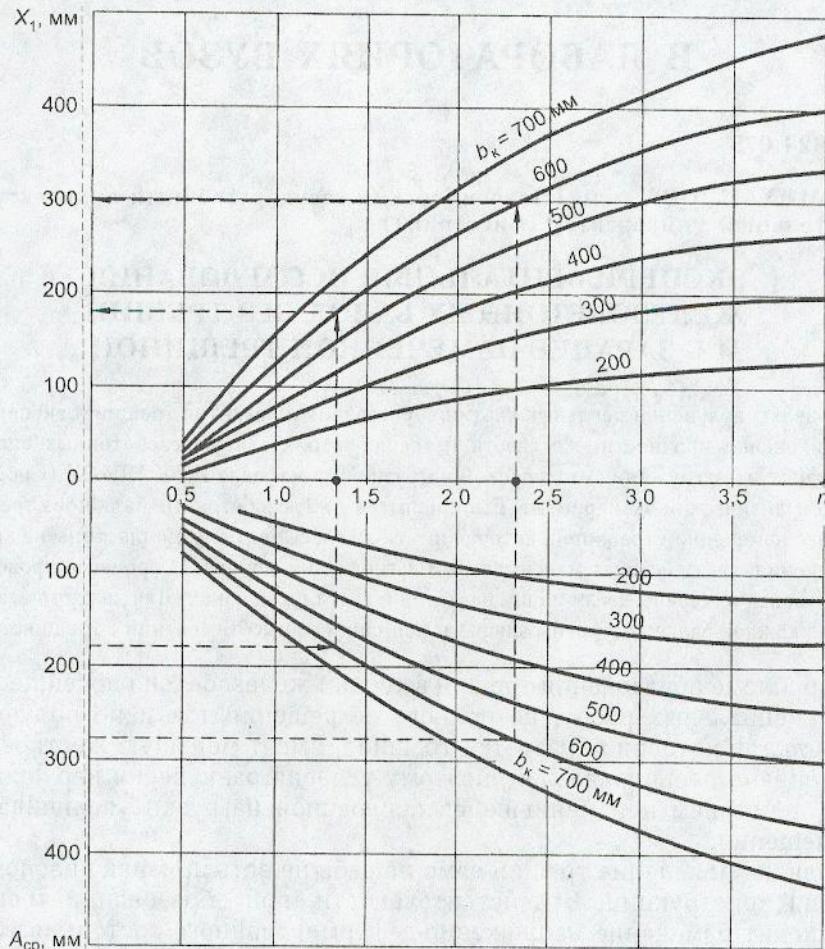


Рис. 5. Номограмма для определения размера кусков и их рассеяния в зависимости от крупности по заданному среднему размеру куска

Пример расчета выхода негабаритов. В результате обработки 150 фотопланов определен гранулометрический состав продуктов буровзрывного рыхления и средневзвешенный размер, равный 28,5 см. Размер негабарита (0,8 м) установлен в соответствии с вместимостью ковша экскаватора. Тогда $X_1 = 30$ см, $n = 2,33$ (см. рис. 5).

Используя формулу (7), можно получить $R = 0,38\%$, т.е. 0,38% всех камней будут иметь размер 0,8 м и больше.

Зная общий объем разрыхленного грунта $V_{об}$, можно установить выход негабаритов

$$V_{нег} = 0,0038 V_{об}. \quad (9)$$

Установленный объем негабаритов позволяет определить трудоемкость работ и материальные затраты по их удалению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон Л. И. Кусковатость и методы ее определения / Л. И. Барон.— М.: Наука, 1960.— 124 с.
2. Барон Л. И. Проверка применимости уравнения Розина — Раммлера для исчисления диаметра среднего куска при взрывной отбойке горных пород / Л. И. Барон, Г. Н. Сиротюк // Взрывное дело.— М.: Недра, 1967.— № 62/19.— С. 111—121.

© Салов А. Н., Клишин И. В., Обращев И. А., 2007

Получено после доработки 20.01.07

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.078

Н. С. МИХАЙЛОВА, асп. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК БЕЗ ТРЕЩИН И С ЗАРАНЕЕ НАМЕЧЕННОЙ ТРЕЩИНОЙ

С целью получения реальных картин образования и развития трещин и экспериментальной оценки прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных балок на всех этапах их загружения статической нагрузкой на кафедре ЖБК НГАСУ (Сибстрин) проведен физический эксперимент. Были испытаны железобетонные балки без трещин и с заранее намеченной трещиной, которая имитировалась установкой пластины на арматуру в сечении, где действует максимальный изгибающий момент. В процессе проведения эксперимента измерены деформации в сжатой и растянутой зонах. Для каждого этапа нагрузки в каждой балке построены эпюры деформаций по высоте сечения с трещиной.

Проблеме образования трещин в теории железобетона посвящено немало специальных работ, но полного ее решения так и не получено.

Балка, в которой образуется трещина, имеет меньшую жесткость по сравнению с первоначальной, поэтому условия равновесия нарушаются, и под действием неизменившейся поперечной нагрузки увеличиваются перемещения.

Однако появление трещин само по себе не есть признак опасного состояния конструкции. В действительности, при образовании трещины происходит изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) в окрестности сечения с трещиной, причем процесс образования и стабилизации ее протекает с очень высокой скоростью, что позволяет представить образование трещины как мгновенный разрыв бетона растянутой

зоны, который сопровождается колебаниями балки. Вследствие этого изменения НДС всей конструкции настолько сложны, что для их описания затруднительно сформулировать физически обоснованные кинематические гипотезы. Альтернативой является введение гипотез некинематического характера, в частности энергетических.

Так, в соответствии с гипотезой проф. В. М. Митасова [1], при образовании трещины часть энергии бетона в окрестности последней рассеивается, а обратимая часть должна восприниматься арматурой и работоспособной частью сечения.

Образование трещины сопровождается скачкообразным изменением напряжений в арматуре, увеличением прогиба элемента и подрастанием самой трещины. При этом наибольшая амплитуда скачка приходится на момент непосредственно после начала образования трещины, характеризуемый наибольшей высотой трещины, наибольшими напряжениями в арматуре и наибольшим прогибом элемента при условии постоянства внешней нагрузки.

С образованием трещины энергия деформирования растянутого бетона переходит в энергию движения с перераспределением на арматуру, которая сдерживает распространение трещины по сечению, фактически являясь тормозным элементом.

С целью получения реальных картин образования и развития трещин и экспериментальной оценки прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных балок на всех этапах их загружения статической нагрузкой на кафедре ЖБК НГАСУ (Сибстрин) проведен физический эксперимент. Испытывались железобетонные балки без трещин и с заранее намеченной трещиной, которая имитировалась установкой пластины на арматуру в сечении, где действует максимальный изгибающий момент.

Проф. В. М. Митасовым выдвинута гипотеза о том, что в балках с намеченной трещиной развитие последней происходит без скачков, т.е. создается более «мягкий» характер деформирования.

Сделано предположение, что с момента образования трещины в балках со сплошным сечением жесткость последних будет ниже, чем с организованной трещиной, на всех этапах дальнейшего нагружения.

Для подтверждения этих гипотез проведен модельный поисковый эксперимент. Изготовлены железобетонные балки размерами $1200 \times 70 \times 140$ мм с одиночной арматурой А-III (А-400) диаметром 8 мм. Класс бетона В20.

Опирание балок принято шарнирным со свободным перемещением одной из опор вдоль оси элемента; статическая нагрузка прикладывалась по средине пролета с помощью гидроцилиндра ДГ-25 (рис. 1).

Испытаны четыре балки: две балки без начальных трещин и две с намеченной трещиной.

Для регистрации прогибов балок использовались индикаторы часового типа ИЧ с ценой деления 0,01 мм. Осадки опор измерялись при помощи индикаторов часового типа ИЧ с ценой деления 0,001 мм (балка № 1, балка № 2, балка № 2 с намеченной трещиной) и ценой деления 0,01 мм (балка № 1 с намеченной трещиной). Относительные деформации регистрировались тензорезисторами 2ПКБ-20-200ХБ и 2ФКПА-5-100В с базой 20 мм с помощью комбинированного цифрового прибора Ш300. Нуевые отсчеты по приборам брали непосредственно перед приложением нагрузки, последующие (рядовые) — после.

Схема расстановки механических приборов и расклейки тензорезисторов представлена на рис. 2.

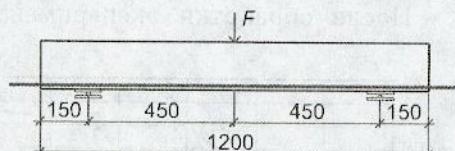


Рис. 1. Схема железобетонной балки и нагрузки

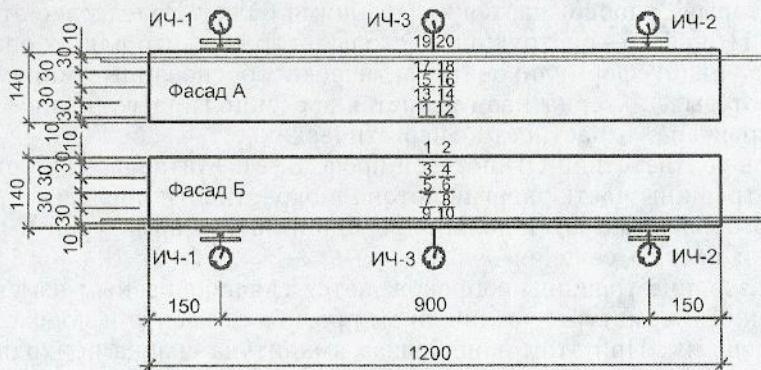


Рис. 2. Схема расположения индикаторов и тензорезисторов на балке № 2 (без намеченной трещины)

ИЧ-1, ИЧ-2 — индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм;
ИЧ-3 — то же, с ценой деления 0,01 м; 1 ... 20 — тензорезисторы с базой 20 мм

В балке № 1 с намеченной трещиной на этапе приложения нагрузки в 1000 кгс давали выдержку в течение 8 мин для стабилизации скорости деформаций ползучести.

В процессе проведения эксперимента измерены деформации в сжатой и растянутой зонах. Для каждого этапа нагрузки в каждой балке построены эпюры деформаций по высоте сечения с трещиной (рис. 3).

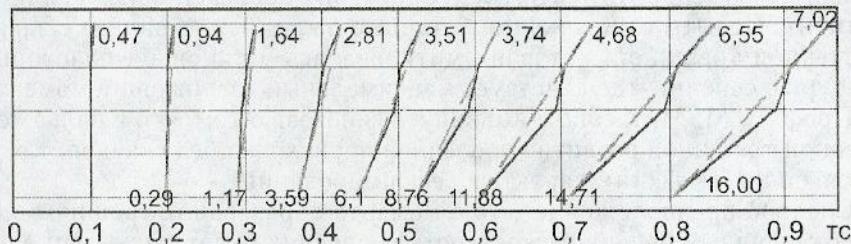


Рис. 3. Эпюры деформаций по высоте сечения с намеченной трещиной (балка № 2)

— эпюры деформаций по гипотезе плоских сечений; цифры — деформации в сжатой и растянутой зонах ($\times 10^{-4}$); 0..0,9 тс — значения нагрузки

В данном эксперименте размеры трещин по высоте не фиксировались.

После обработки экспериментальных данных построены графики прогибов всех четырех образцов (рис. 4), из которых видно, что прогибы балок с намеченной трещиной развиваются плавно, без резких скачков.

В обычных балках в момент образования трещины кривая меняет наклон, и деформации резко увеличиваются. Горизонтальный участок графика прогибов балки № 1 с намеченной трещиной объясняется выдержкой под нагрузкой 1000 кгс в течение 8 мин.

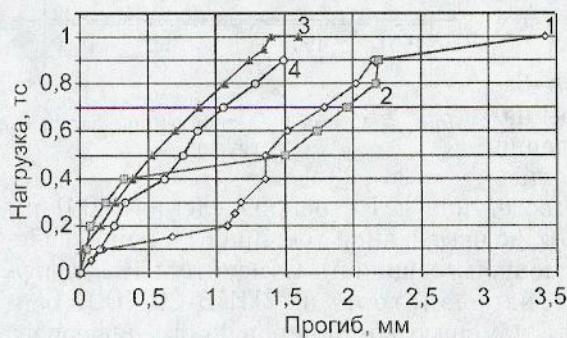


Рис. 4. Зависимость прогибов от нагрузки для всех образцов

1 — балка № 1; 2 — балка № 2; 3 — балка № 1-crack; 4 — балка № 2-crack

В целом, если брать для сравнения нагрузку в 900 кгс, видно, что в балках с заранее намеченной трещиной прогибы в среднем в 1,5 раза меньше, чем в обычных балках.

В балке № 1 с намеченной трещиной при нагрузке от 600 кгс до 900 замечено, что трещина «застывает», и развиваются лишь пластические деформации.

Экспериментальные исследования подтвердили следующие гипотезы, выдвигаемые в [1].

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

2. Гипотеза Бернулли может быть принята и для нетреснувшей части сечения над трещиной вплоть до момента достижения наибольших деформаций на фиброзных волокнах.

3. После образования трещины по высоте ее распространения деформация арматуры кинематически не связана с деформацией бетона, что требует при определении напряжений в арматуре учитывать депланацию деформирования сечения.

Эти гипотезы хорошо согласуются с одним из положений теории В. И. Мурашева о волнообразном характере поведения нейтрального слоя на участке с трещинами [2], а также подтверждены модельным экспериментом, проведенным с использованием оптически активного материала [3].

Выводы. Испытания балок с заранее намеченной трещиной показали плавный характер зависимости прогибов от нагрузки, без резких скачков при образовании трещин.

С момента образования трещин жесткость балок с намеченной трещиной выше, чем в балках со сплошным сечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митасов В. М. О применении энергетических соотношений в теории сопротивления железобетона / В. М. Митасов, В. В. Адищев // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1990. — № 4. — С. 33–37.
2. Мурашев В. И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона / В. И. Мурашев. — М.: Машстройиздат, 1950. — 268 с.
3. Албаут Г. И. Определение полей напряжений в зоне трещин железобетонных балок методом фотоупругости / Г. И. Албаут, В. А. Барышников, В. М. Митасов // Сибирская школа по современным проблемам механики деформируемого твердого тела. — Иркутск, 1990. — 18 с.

© Михайлова Н. С., 2007

Получено 06.02.07

УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМОДЕКОРИРОВАНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

В Ивановском государственном архитектурно-строительном университете разработано новое техническое решение установки для термодекорирования длинномерных бетонных и железобетонных изделий, включающей раздвижную электропечь для получения глазурного покрытия на изделиях круглого сечения. Изделие, например, опора для уличного освещения, укладывается горизонтально с возможностью вращения вокруг собственной оси. Электропечь перемещается вдоль изделия.

Электропечь содержит теплоизолированные С-образные части, охватывающие обрабатываемый участок изделия. В качестве нагревательных элементов предлагаются использовать силитовые или муллитовые (со спиралью) стержни. Путем термообработки поверхности изделия с предварительно нанесенным на нее слоем легкоплавкой глазурной суспензии можно получать цветные (многоцветные) глазурованные опоры.

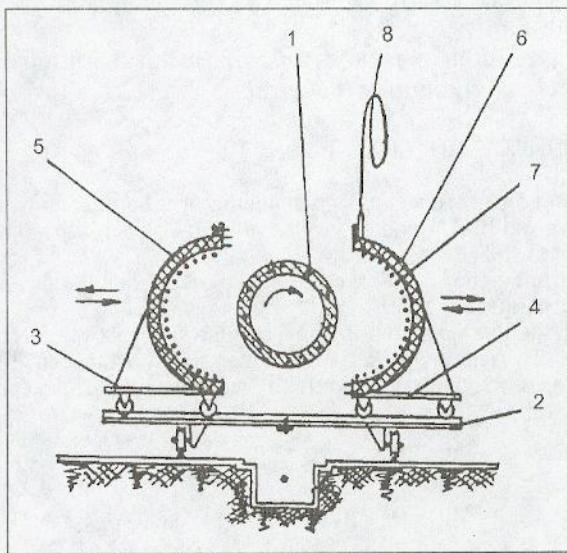


Схема электропечи для получения глазурного покрытия на длинномерном бетонном изделии круглого сечения: 1 — изделие; 2 — подвижная платформа; 3 и 4 — колесные тележки; 5 и 6 — раздвижные С-образные части электропечи; 7 — нагревательные элементы; 8 — кабель системы электропитания.

Установка для термодекорирования длинномерных бетонных изделий защищена патентом РФ на полезную модель (№ 51383).

За получением более подробной информации обращаться по адресу: 153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, ИГАСУ, кафедра строительного материаловедения и специальных технологий.

Разработчики: С. В. ФЕДОСОВ, Ю. А. ЩЕПОЧКИНА

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ (исправленные и дополненные)

1. К рукописи, представляемой в редакцию, необходимо приложить:

— *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи из расчета 550 рублей за 1 журнальную страницу объема статьи (включая иллюстрации, таблицы и список литературы) за подпись автора или руководителя представляющей статью организации. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала

- рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);
- экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;
- разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение;
- аннотацию, кратко излагающую основное содержание рукописи, объемом до 0,3 страницы текста;
- название статьи и фамилии авторов на *английском языке*.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах с приложением ее записи на диске 3,5" или CD (3", 5"). Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Сиг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Число знаков в строке — до 70, строк на странице — до 38. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

- Порядок оформления титульной части статьи (см. в нашем журнале):
 - индекс УДК;
 - инициалы, фамилии, ученые степени и звания авторов (звания в негосударственных академиях наук не указывать); наименование учреждения, в котором работают авторы;
 - название статьи;
 - аннотация.
- На полях рукописи простым карандашом указываются места рисунков и таблиц.
- Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи). Приводятся точные почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов.

3. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах Corel Draw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографии — TIFF или JREG. Надписи и цифры набрать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше чем 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, а фото присыпать в оригинал. Размер иллюстрации не должен превышать 20x30 см, их общее число, как правило, не более 4. На обратной стороне каждой из них простым карандашом проставляются порядковый номер и фамилии авторов. Подписи к иллюстрациям печатаются на отдельном листе.

4. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

5. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos) 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 l, e, 1 (цифра), l и ll, 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).

6. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052—78 (СН 528—80).

7. Библиографический указатель под названием «Список литературы» помещается в конце статьи. Источники располагаются в нем в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу (номера источников в списке) в тексте заключаются в квадратные скобки. Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-03 и ГОСТ 7.80-2000. В список литературы вносятся только те работы, которые опубликованы в печати.

Примеры оформления можно найти на INTERNET-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу <http://www.sibstrin.ru/izv.html>

8. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже опубликовавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

9. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указывается ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается момент получения редакцией ее окончательного текста.

10. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не предоставляется*.

11. Гонорар за опубликованные статьи не выплачивается.

12. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на I-е полугодие 2007 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
АССОЦИАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ
НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

(Сибстрин)

Издается с марта 1958 года

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, аспирантов, а также студентов старших курсов строительных вузов и факультетов, работников соответствующих научно-исследовательских и проектных институтов, инженерно-технический персонал строительных организаций и предприятий.

Объем журнала до 10 печатных листов

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ:

статьи о результатах научных исследований, сообщения о передовом отечественном и зарубежном опыте в строительстве, работы по автоматике и автоматизации производственных процессов, материалы межвузовских научных конференций и совещаний, отдельные разделы диссертаций, материалы о внедрении в производство заключенных научных работ, а также обзорные статьи, статьи научно-методического характера, предложения по расчету и проектированию строительных конструкций и инженерных сооружений.

Каталожная цена за 6 месяцев — 480 р.

Цена отдельного номера — 80 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами Союзпечати и отделениями связи. Индекс 70377.

Журнал издается Новосибирским государственным архитектурно-строительным университетом (Сибстрин).

Адрес редакции: 630008, Новосибирск, 8, Ленинградская, 113,
тел./факс (8-383) 266-28-59; e-mail: izvuz_str@sibstrin.ru