



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.
№6 (50) 2013
(ноябрь-декабрь)

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Ольков Я.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф. (Украина)
Серник И.Н. д.т.н., проф.
Сикора З. д.т.н., проф. (Польша)
Тамразян А.Г. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Шах Р. д.т.н., проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:

Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство:
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Король Е.А., Харькин Ю.А. Технологическая и организационная эффективность возведения многослойных наружных стен в монолитном строительстве.....	3
Бухтиярова А.С., Колчунов В.И., Прасолов Н.О. Расчет обобщенного параметра живучести железобетонной рамно-стержневой конструктивной системы при внезапной потере устойчивости несущего элемента.....	9
Клюева Н.В., Дородных А.А. Экспериментальные исследования ширины раскрытия наклонных трещин в составных железобетонных конструкциях.	13
Колчунов В.И., Калашикова О.В. Контроль жесткости конструкций балочного типа, изготовленных из физически нелинейного материала.....	21
Купчикова Н.В. Численные исследования работы системы «свайное основание – усиливающие элементы» методом конечных элементов.....	28
Трауш В.И., Антошкин В.Д., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С. Конструктивно-технологические возможности сборных сферических оболочек.....	36
Турков А.В., Макаров А.А. Прогнбы и частоты собственных колебаний систем перекрестных балок с различными размерами ячеек на квадратном плане в зависимости от схемы опирания.....	49
Умнякова Н.П., Андрейцева К.С., Смирнов В.А. Инженерный метод расчета температуры в узле сопряжения наружной стены с монолитными междуэтажными и балконными плитами при использовании несущего теплоизоляционного элемента «шекк изокорб».....	53

Архитектура и градостроительство

Римшин В.И., Иванов В.В. Перспективы развития малых городов России требуют новой нормативной базы.....	65
Смоляго Г.А., Дронова А.В. Обеспечение экологической безопасности при строительстве малоэтажных «пассивных» домов.....	73

Строительные материалы и технологии

Опарина Л.А., Заянчуковская Н.В., Лыкова И.Н. Создание реляционной базы данных энергоемкости строительных материалов.....	78
Пичугин И.Л., Лукинов В.А. Развитие методики оценки эффективности системы энергоменеджмента в теплоснабжении.....	82
Соломенцев А.Б., Куликова А.В. Реологические свойства дорожного битума с композицией добавок различного функционального назначения....	88

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.



Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№6 (50) 2013
(November-December)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.

Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.

Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Assis-
tant Prof.

Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.

Korobko V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial committee

Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kljueva N.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Olkov Y.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Sergeychuk O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)

Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Sikora Z. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

Tamrazyan A.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)

Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Fyodorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

Responsible for edition:

Solopov S.V. Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,
Street Moscow, 77
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@ostu.ru

Journal is registered in Russian federal service
for monitoring communications, information
technology and mass communications
The certificate of registration:
ПН № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2013

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Korol' E., Kharkin Ju. Technological and organizational effectiveness for construction of multylayered external walls in the field of cast-in-place construction.....	3
Bukhtiyarova A., Kolcunov V., Prasolov N. Calculation of generalized survivability parameter for reinforced concrete frame structural system at the moment of abrupt buckling of a bearing element.....	9
Kljueva N., Dorodnykh A. Experimental research width opening of inclined cracks in the composite reinforced concrete constructions.....	13
Kolchunov V., Kalashnikova O. Control of deflection rate of beam type constructions made of physically-nonlinear material.....	21
Kupchikova N. Numerical study of the system «pile foundation the reinforcing element» finite element technique.....	28
Travush V., Antoshkin V., Erofeev V., Gudozhnikov S. Constructive and technological solutions of spherical shells.....	36
Turkov A., Makarov A. Deflections and frequencies of own fluctuations of systems cross beams with various sizes of cells on the square plan depending on bearing scheme.....	49
Umnyakova N., Andreytseva K., Smirnov V. The engineering method of calculating the temperature in the outer wall, monolithic floor and balcony slab interface with use of load-bearing heat-insulating element shoeck isokorb.....	53

Architecture and town-planning

Rimshin V., Ivanov V. Development perspectives on Russia's small towns demand new normative base.....	65
Smoljago G., Dronova A. Ensuring ecological safety at construction of low «passive» houses.....	73

Construction materials and technologies

Oparina L., Zayanchukovskaya N., Lykova I. Creating a relational database in the energy intensity of building materials.....	78
Pichugin I., Lukinov V. Development of evaluation methods in energy management for heat supply systems.....	82
Solomentsev A., Kulikova A. Reological properties of bitumen with additives composition of various functionality.....	88

УДК 693.55

КОРОЛЬ Е.А., ХАРЬКИН Ю.А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗВЕДЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАРУЖНЫХ СТЕН В МОНОЛИТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В статье представлены результаты исследований по разработке альтернативной технологии возведения многослойных наружных стен в монолитном домостроении с использованием в качестве утеплителя бетона низкой теплопроводности. Разработанная технология предусматривает возведение стен в едином технологическом цикле, обеспечивая снижение затрат труда и продолжительности возведения как самих стен, так и здания в целом. Показаны технико-экономические преимущества разработанной технологии по сравнению с традиционными технологиями, применяемыми в современном строительстве.

Ключевые слова: энергоэффективные многослойные ограждающие конструкции; монолитное домостроение; технология строительного производства; бетоны низкой теплопроводности; полистиролбетон.

Введение

В решении проблемы энергосбережения в зданиях особое значение имеет выбор конструктивно-технологических решений наружных стен. В общем объеме современного гражданского строительства значительную долю занимает монолитное домостроение. Для теплоизоляции наружных монолитных стен используется ряд традиционных решений, наибольшее распространение из которых получили навесные системы с тонкими наружными штукатурными слоями, системы с вентилируемым воздушным зазором, слоистые стены с облицовкой кирпичом. При этом в качестве теплоизоляционного материала, как правило, применяются плиты минеральной ваты или пенополистирола.

Для таких конструкций можно выделить следующие особенности, снижающие их технологическую эффективность на стадии строительства:

- различия технологических процессов, разнесенных во времени и требующих исполнителей разных специальностей (например, бетонные работы, крепление теплоизоляции, устройство облицовочного слоя и т.п.);
- специфика технологических требований к производству работ, в том числе необходимость защиты теплоизоляции и отделочных слоев от внешних воздействий;
- многокомпонентность таких систем как «вентилируемый фасад» и, как следствие, повышенная вероятность отклонений от проектных параметров при изготовлении;
- значительные различия в долговечности элементов конструкции (например, прогнозируемый срок службы теплоизоляции – до 60 лет, а экспериментально проверенный для железобетона – более 100 лет);
- необходимость устройства дополнительного слоя пароизоляции, т.к. при применении пенополистирола нарушается паропроницаемость конструкции и др.

Значительно сократить перечисленные недостатки при возведении многослойных стен в монолитном домостроении позволяет разработанная альтернативная технология с использованием в качестве утеплителя бетона низкой теплопроводности (на примере полистиролбетона), упрощающая как сам технологический процесс возведения наружных стен, так и здания в целом, повышая долговечность и сохраняя высокие теплофизические свойства ограждающих конструкций.

К настоящему моменту проведен комплекс многофакторных экспериментальных и теоретических исследований многослойных конструкций, позволяющий использовать их для дальнейшего развития не только теории и практики расчета, но и совершенствования технологии строительного производства [1-5].

Особенности технологии изготовления монолитных наружных стен с использованием в теплоизоляционном слое бетона низкой плотности

При возведении многослойной наружной стены с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона на строительной площадке арматурные каркасы устраиваются непосредственно на месте из отдельных стержней с соединением между собой вязальной проволокой с помощью крючка для вязки арматуры либо пистолета. Поперечная арматура выпускается в теплоизоляционный слой из легкого бетона для обеспечения надежной связи между слоями и совместной работы слоев. На границе слоев к поперечной арматуре жестко крепится (при помощи вязальной проволоки или сварки) металлическая сетка с ячейкой не более 6 мм, служащая разделителем слоев при бетонировании. Крепление сетки должно производиться к каждому стержню поперечной арматуры для предотвращения ее смещений при укладке бетонной смеси.

Для возведения монолитных стен с теплоизоляционным слоем из низкотеплопроводного бетона используется несъемная бетонная опалубка с наружной стороны стены и щитовая опалубка с внутренней (рис. 1). Опалубочные элементы изготавливаются в заводских условиях в соответствии с проектным решением здания. В местах соединения щитов опалубки стяжными штырями устраиваются отверстия. Для более надежной фиксации наружной опалубки при возведении конструкции и обеспечения ее связи с внутренним слоем при эксплуатации из плиты устраиваются выпуски арматурной проволоки В500, связываемые с поперечной арматурой основного каркаса и имеющие длину в зависимости от расчетной длины анкеровки.

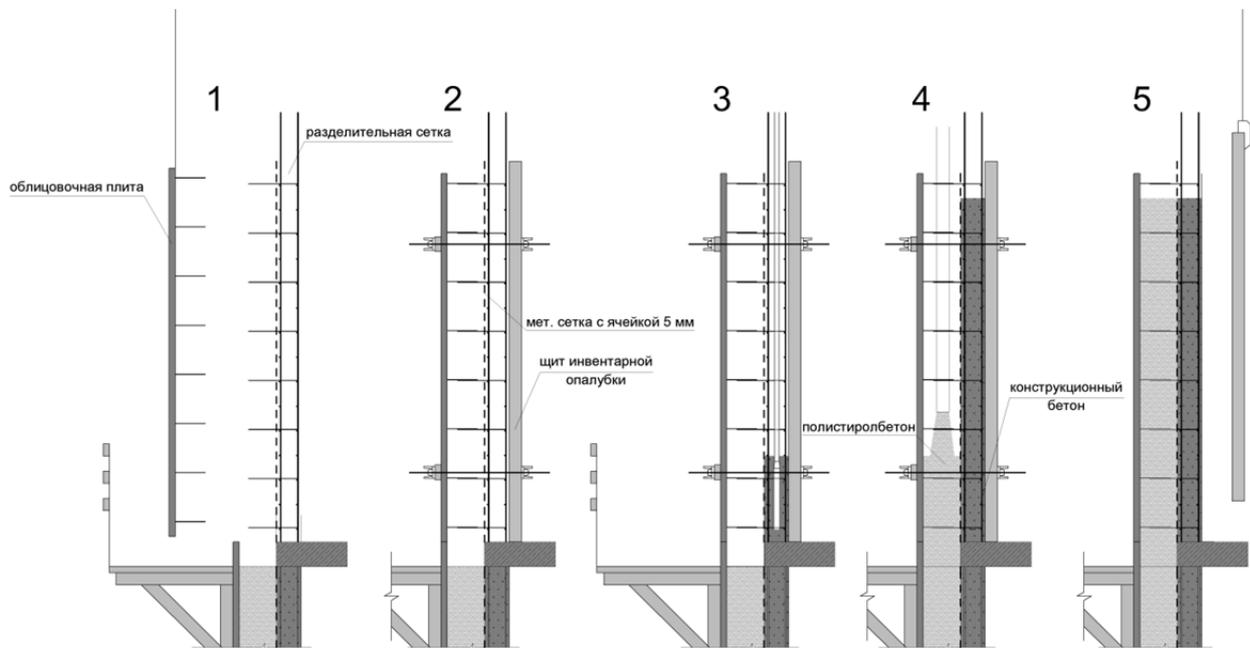


Рисунок 1 – Технологическая последовательность устройства монолитной многослойной наружной стены с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона:
 1 – установка плит несъемной опалубки; 2 – установка щитов инвентарной опалубки с внутренней стороны, их закрепление; 3 – укладка бетонной смеси в теплоизоляционный слой; 4 – укладка бетонной смеси в конструкционный слой; 5 – разборка щитов инвентарной опалубки

С внутренней стороны стены используются инвентарные щиты опалубки с металлической рамой и многослойной ламинированной фанерой в качестве палубы.

Подача опалубки к месту установки производится краном. Перед установкой опалубки с наружной стороны к нижележащим конструкциям крепятся подмости для обеспечения воз-

возможности установки и крепления наружных щитов опалубки. Первоначально устанавливаются наружные щиты с привязкой их к арматурному каркасу, выверкой и выравниванием при помощи подкосов. Внутренние щиты опалубки соединяются с наружными винтовыми стяжками и также выравниваются.

Бетонная смесь, как правило, доставляется на объект в автобетоносмесителе, но может также быть приготовлена непосредственно на строительной площадке. Подача бетонной смеси к месту укладки осуществляется при помощи бадьи и башенного крана. Подвижность бетонной смеси находится в пределах 10-15 см, либо 15-20 см в зависимости от толщины слоев и густоты армирования конструкции. Максимальная крупность заполнителя конструкционного бетона – 20 мм, полистиролбетона – 10 мм. Укладка бетона производится послойно с уплотнением глубинным вибратором.

В законченном виде конструкция представляет собой трехслойную стену с внутренним несущим слоем из конструкционного бетона, средним слоем из бетона низкой теплопроводности и наружным слоем, выполняющим декоративные функции и защищающим полистиролбетон от внешних воздействий.

Оценка технологической эффективности разработанной технологии

Для оценки эффективности разработанной технологии на примере одного из проектов жилого здания (рис. 2) было проведено сравнение показателей трудоемкости возведения ограждающих конструкций типового этажа. Сравнение проведено для двух типов конструкций: традиционной – с минераловатной теплоизоляцией и облицовочным слоем из кирпичной кладки (рис. 3, а), и монолитной – с использованием полистиролбетона (рис. 3, б).

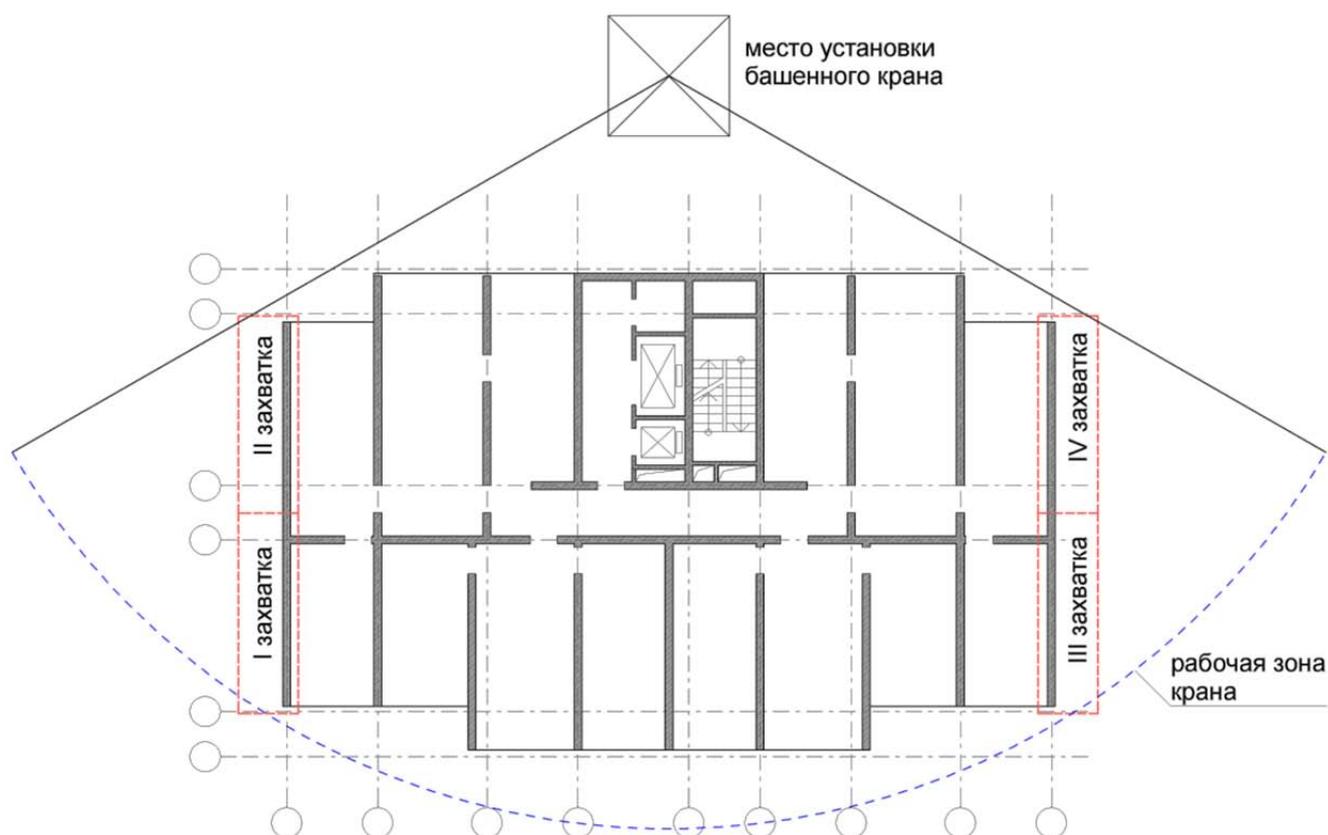


Рисунок 2 – Схема расположения захваток на плане этажа монолитного здания, на основании которого производится расчет показателей технологической эффективности сравниваемых конструктивно-технологических решений наружных стен

По результатам сравнения получено, что трудоемкость возведения разработанной ограждающей конструкции значительно меньше, чем для традиционной: 2,12 чел.-ч и 3,46 чел.-ч на

1 м² ограждающей конструкции соответственно. Более подробное сравнение по видам работ представлено на рисунке 4.

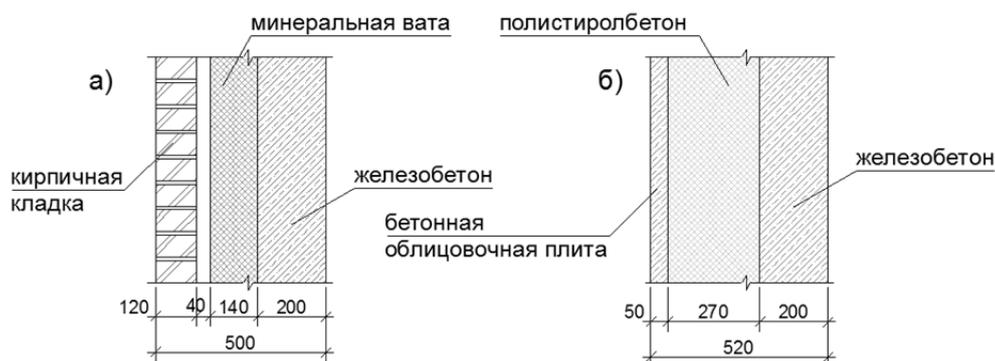


Рисунок 3 – Конструктивные решения наружных стен при одинаковых значениях термического сопротивления: а – с минераловатной теплоизоляцией и облицовочным слоем из кирпича; б – с монолитной теплоизоляцией из полистиролбетона

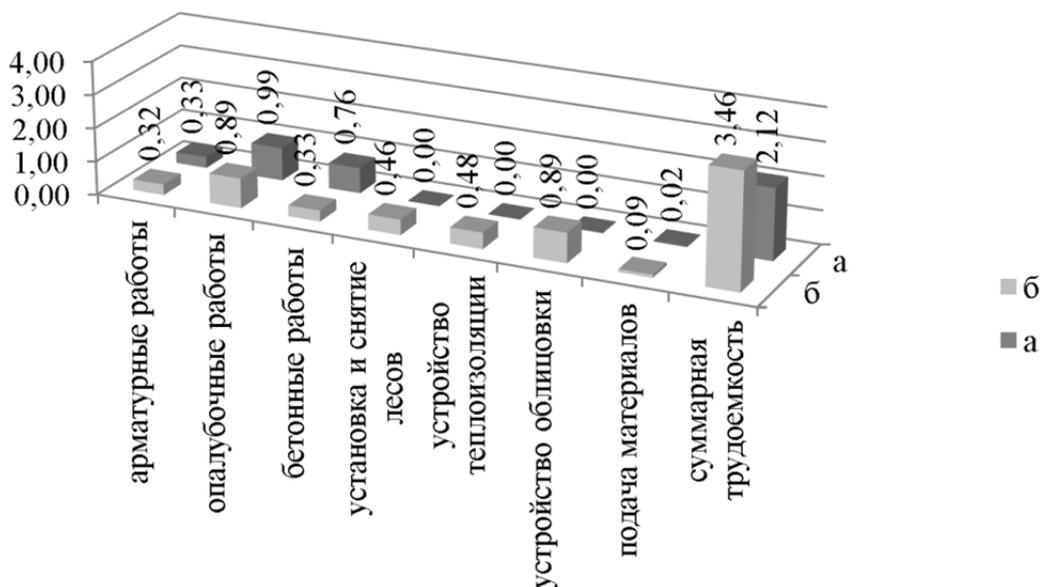


Рисунок 4 – Сравнение трудоемкости возведения 1 м² наружной стены: а – с минераловатной теплоизоляцией и облицовочным слоем из кирпича; б – с монолитной теплоизоляцией из полистиролбетона

Также сравнение продолжительности возведения наружных стен типового этажа показало, что при одном и том же составе специализированных бригад и одинаковой организационной схеме продолжительность производства работ составила для разработанной конструкции 9 смен, а для традиционной – 17 смен (рис. 5). При этом наружная стена с использованием минеральной ваты и облицовкой кирпичом требует дополнительных специализированных бригад для устройства теплоизоляционного и облицовочного слоев, а также установку лесов, что в рассматриваемом случае составило дополнительно 6 изоляционщиков, 10 каменщиков, 4 плотника.

Кроме того, при устройстве наружной стены по традиционной технологии необходим значительный перерыв во времени, необходимый для набора прочности железобетонного несущего слоя, завершения мокрых процессов в помещении и обеспечения защиты изготавливаемых наружных слоев конструкции от внешних воздействий. Разработанная технология возведения многослойных наружных стен предусматривает изготовление всех слоев в едином технологическом цикле.

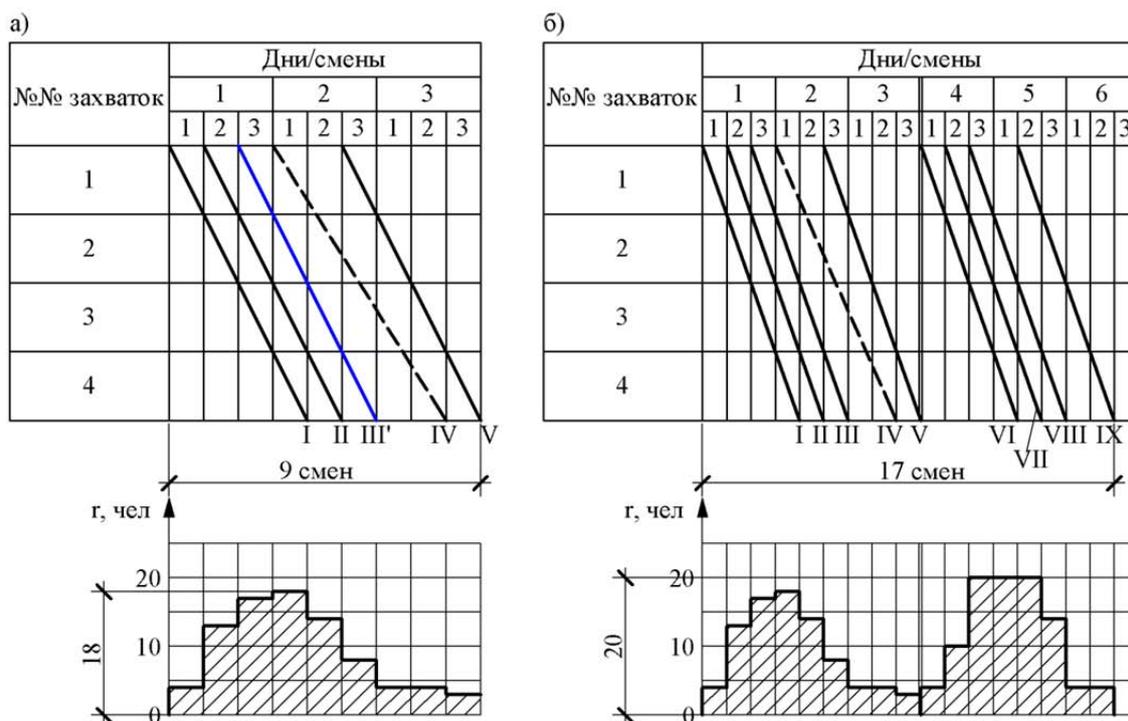


Рисунок 5 – Циклограммы производственных потоков и диаграммы трудовых ресурсов при возведении торцевых наружных стен этажа монолитного здания:
 а – для монолитной многослойной наружной стены с применением полистролбетона в теплоизоляционном слое; б – для многослойной наружной стены с применением плитного утеплителя и облицовочным слоем из кирпича. I – изготовление арматурного каркаса, II – установка опалубки; III – укладка и уплотнение бетонной смеси; III' – укладка и уплотнение бетонных смесей конструкционного и теплоизоляционного слоев; IV – интенсификация и уход за бетоном; V – разборка щитов опалубки; VI – установка лесов; VII – крепление плит теплоизоляции; VIII – кладка облицовочного слоя; IX – разборка лесов

Заключение

Экспериментальными и численными исследованиями обосновано, что разработанная технология возведения многослойных стен в монолитном домостроении имеет сравнительно низкую трудоемкость, что позволяет сократить сроки возведения не только ограждающих конструкций, но и здания в целом и является конкурентоспособной альтернативой традиционным конструктивно-технологическим решениям в монолитном домостроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Король, Е.А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета [Текст] / Е.А. Король. – М., АСВ. – 2001.
2. Колчунов, В.И. Методика экспериментальных исследований прочности и деформативности контактной зоны двух бетонов с различными физико-механическими свойствами [Текст] / В.И. Колчунов, И.В. Акимочкина // Известия Орловского государственного технического университета. Серия «Строительство. Транспорт». – Орел: ОрелГТУ. – 2005. – №3-4. – С. 46-48.
3. Король, Е.А. Актуальные вопросы энергоэффективности зданий и сооружений, пути их решения [Текст] / Е.А. Король. – М.: Вестник МГСУ. – 2009. – Спецвыпуск №3. – С. 5-9.
4. Король, Е.А. Технологическая и экономическая эффективность трехслойных ограждающих конструкций для энергоэффективных зданий [Текст] / Е.А. Король, Е.М. Пугач, А.Е. Николаев // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2009. – №5. – С. 415-418.
5. Король, Е.А. Экспериментальные исследования влияния климатических воздействий на монолитную связь бетонных слоев различной прочности в многослойных конструкциях [Текст] / Е.А. Король, Ю.А. Харьков, Е.Н. Быков. – М.: Вестник МГСУ. – 2010. – №3. – С. 164-169.

Король Елена Анатольевна

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», г. Москва

Доктор технических наук, профессор кафедры «Организация строительства и управление недвижимостью»

E-mail: professorkorol@mail.ru

Харькин Юрий Александрович

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», г. Москва

Инженер

E-mail: y.kharkin@gmail.com

E. KOROL', JU. KHARKIN

TECHNOLOGICAL AND ORGANIZATIONAL EFFECTIVENESS FOR CONSTRUCTION OF MULTILAYERED EXTERNAL WALLS IN THE FIELD OF CAST-IN-PLACE CONSTRUCTION

We propose the monolithic multilayer structure with polystyrene concrete insulation layer, that allows to simplify construction process and raise structure longevity without decaying its heat insulation properties. Layers of this structure have approximately equal longevity and monolithic connection with adjacent layers. At the same time, multilayer monolithic exterior wall can be constructed during single technological cycle. We considered the external walls construction durability of standard storey of designed building with the same number of workmen and organizational scheme for traditional and proposed exterior walls.

Keywords: *energy-efficient structures; exterior walls; monolithic reinforced concrete; construction technology; polystyrene concrete.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korol', E.A. Trehslojnye ogradhdajushhie zhelezobetonnye konstrukcii iz legkih betonov i osobennosti ih rascheta [Tekst] / E.A. Korol'. – M., ASV. – 2001.
2. Kolchunov, V.I. Metodika jeksperimental'nyh issledovanij prochnosti i deformativnosti kontaktnoj zony dvuh betonov s razlichnymi fiziko-mehanicheskimi svojstvami [Tekst] / V.I. Kolchunov, I.V. Akimochkina // Izvestija Orlovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija «Stroitel'stvo. Transport». – Orel: OrelGTU. – 2005. – №3-4. – S. 46-48.
3. Korol', E.A. Aktual'nye voprosy jenergojeffektivnosti zdaniy i sooruzhenij, puti ih reshenija [Tekst] / E.A. Korol'. – M.: Vestnik MGSU. – 2009. – Specvypusk №3. – S. 5-9.
4. Korol', E.A. Tehnologičeskaja i jekonomičeskaja jeffektivnost' trehslojnyh ogradhdajushhih konstrukcij dlja jenergojeffektivnyh zdaniy [Tekst] / E.A. Korol', E.M. Pugach, A.E. Nikolaev // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – M., 2009. – №5. – S. 415-418.
5. Korol', E.A. Jeksperimental'nye issledovanija vlijanija klimatičeskikh vozdejsťvij na monolitnuju svjaz' betonnyh sloev razlichnoj prochnosti v mnogoslojnyh konstrukcijah [Tekst] / E.A. Korol', Ju.A. Kharkin, E.N. Bykov. – M.: Vestnik MGSU. – 2010. – №3. – S. 164-169.

Elena Korol'

Moscow state construction university, Moscow

Doctor of technical sciences, professor of the department «Organization of construction and real estate management»

E-mail: professorkorol@mail.ru

Yuri Kharkin

Moscow state construction university, Moscow

Engineer

E-mail: y.kharkin@gmail.com

БУХТИЯРОВА А.С., КОЛЧУНОВ В.И.,
ПРАСОЛОВ Н.О.

РАСЧЕТ ОБОБЩЕННОГО ПАРАМЕТРА ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РАМНО-СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВНЕЗАПНОЙ ПОТЕРЕ УСТОЙЧИВОСТИ НЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА *

Предложена зависимость для расчета обобщенного параметра живучести железобетонной рамно-стержневой системы при внезапной потере устойчивости несущего элемента. Определение этого параметра выполнено на экспериментальной основе без привлечения аппарата динамики сооружений с применением критерия, предложенного профессором А.В. Александровым, определяющим вид бифуркации для каждого элемента конструктивной системы.

Ключевые слова: конструктивная безопасность; живучесть; потеря устойчивости; запроектное воздействие; железобетон.

В научных исследованиях последнего десятилетия и особенно после принятия закона о безопасности зданий и сооружений [1] созданию нового направления теории конструктивной безопасности зданий и сооружений (теории живучести конструктивных систем) стало уделяться все большее внимание. Здесь, как и в [2], под термином живучесть понимается способность конструктивной системы распределять нагрузку между остальными элементами в случае внезапного выключения из работы одного из несущих элементов этой системы. Одной из ключевых задач в решении этой проблемы является задача о количественном определении обобщенного параметра живучести конструктивной системы λ , представляющего собой коэффициент динамичности в конкретном расчетном сечении элемента конструктивной системы от указанного воздействия. Определение этого параметра для оценки живучести сооружений в случае исчерпания прочности в сечении одного из несущих элементов рассмотрено в работе [3]. В настоящей работе приведено решение задачи расчета обобщенного параметра живучести рамно-стержневых железобетонных конструкций при внезапной потере устойчивости несущего элемента.

Пусть для конструктивной системы, изображенной на рисунке 1, а, запроектное воздействие связано с выключением из работы упругих связей, раскрепляющих крайнюю стойку. В результате такого запроектного воздействия расчетная схема рамы мгновенно изменяется (рис. 1, б).

Рассматриваемое запроектное воздействие может вызвать переход отдельных элементов системы из активной формы бифуркации в пассивную. Это явление, как было показано А.В. Александровым [4], представляет собой относительную опасность в связи с тем, что механизм потери устойчивости активной и пассивной стойки различен.

Для формализованного представления расчетных зависимостей и последующей автоматизации расчета физически и конструктивно нелинейных систем использован метод перемещений. Определение последовательности образования пластических шарниров в конструктивной системе проводится методом кинематического анализа. Для деформированного состояния, соответствующего определенному значению критической силы, находится элемент с максимальным значением активной работы внутренних сил. В таком элементе максимальное значение относительного изгибающего момента возникнет, как правило, в узлах крепления стоек к ригелю $M_{n,v}$ и в опорных сечениях $M_{n,n}$ (см. рис. 1, б, в).

* Исследования выполнены в рамках государственного задания на оказание услуг (выполнение работ) подведомственным Минобрнауки России вузам на выполнение НИОКР, проект 7.402.2011 «Физические и расчетные модели сопротивления конструктивных систем из железобетона в запредельных состояниях».

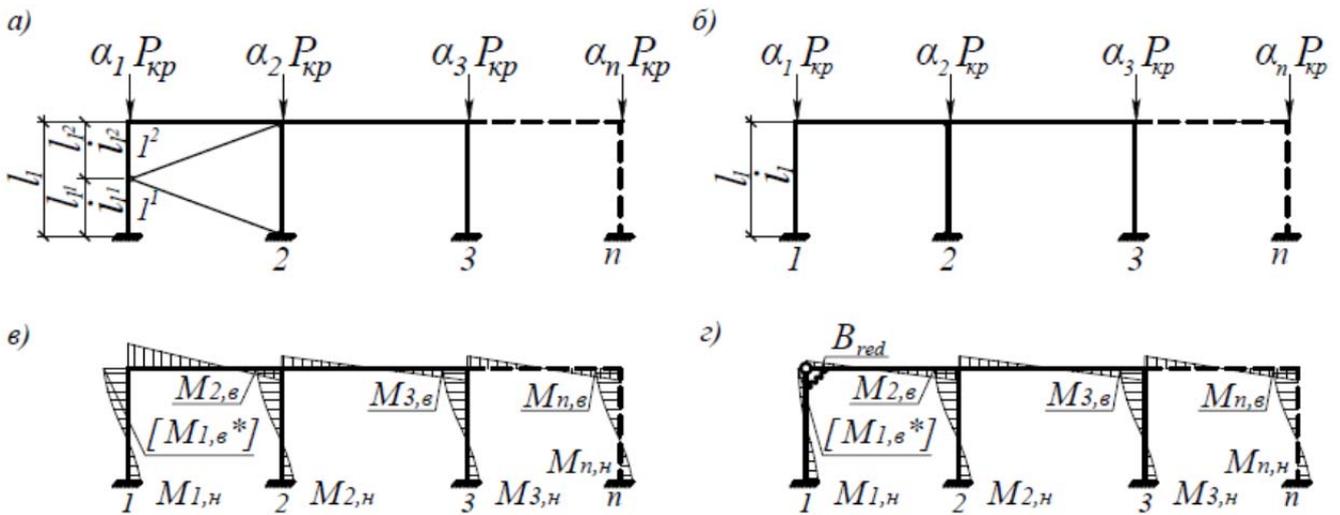


Рисунок 1 – Расчетная схема рамно-стержневой системы с (n) связями (а) и (n-1) связями (б); эпюры изгибающих моментов на относительных перемещениях на (i-1)-ом этапе расчета (в) и i-ом этапе расчета (з)

В качестве предельного состояния на первом этапе расчета определяется максимальное значение относительного изгибающего момента $[M_{i,max}^*]$, при котором в рассматриваемом узле рамно-стержневой системы образуется пластический шарнир (происходит первое локальное разрушение). Значение приведенной жесткости сечения железобетонного элемента с трещинами $B_{red,i}$, соответствующее состоянию пластического шарнира, вычислено с использованием шагово-итерационной процедуры.

На каждом последующем этапе расчета для изменившейся исходной расчетной схемы (см. рис. 1, б) выполнялся кинематический анализ конструктивной системы с учетом значения приведенной жесткости сечения $B_{red,}$, в результате которого определялся следующий элемент с наибольшей работой внутренних сил, а также вычислялись относительные изгибающие моменты в узлах конструктивной системы при новом деформированном состоянии.

Увеличение нагрузки, при достижении которой происходит образование пластического шарнира на каждом последующем i -ом этапе расчета, может быть определено с помощью обобщенного параметра λ из выражения:

$$P_{\lambda}^i = P_{\lambda}^{(i-1)} / \lambda, \quad (1)$$

где $P_{\lambda}^{(i-1)}$ – нагрузка, действующая на систему на $(i-1)$ этапе расчета.

На первом этапе расчета значение этой нагрузки составит: $P_{\lambda}^1 = P_{кр}^{(n-1)}$, где $P_{кр}^{(n-1)}$ – критическая сила для системы после приложения запроектного воздействия в виде внезапного выключения из работы несущего элемента.

В первом пролете рассматриваемая рама раскреплена связями, уменьшающими свободную длину крайней стойки в два раза. Рама нагружена внешними узловыми нагрузками (по стойкам), связанными между собой заданным соотношением. В качестве варьируемого параметра при расчете рассматриваемой рамы принята свободная длина крайней стойки.

Для рассматриваемой (n) -системы, следуя [4], определено значение критической силы, действующей на каждую стойку:

$$P_{кр}^I = 61,5 \cdot B_{red,1} / l_1^2. \quad (2)$$

Полагая, что в результате коррозионных процессов элементы связей в первом пролете разрушились, свободная длина первой стойки увеличилась в два раза, и расчетная схема метода перемещений при тех же нагрузках изменилась (см. рис. 1, б).

Критическая сила для полученной таким образом конструктивной системы будет равна:

$$P_{кр}^{II} = 36,3 \cdot B_{red,1} / l_1^2, \quad (3)$$

а изменение критической силы в результате динамического догружения конструктивной системы определено на энергетической основе с использованием выражения $P_{кр(n-1)}^0 = 2 \cdot P_{кр(n-1)}^c - P_{кр(n)}^c$:

$$P_{кр(n-1)}^0 = 2 \cdot 36,3 \cdot B_{red,1} / l_1^2 - 61,5 \cdot B_{red,1} / l_1^2 = 11,1 \cdot B_{red,1} / l_1^2. \quad (4)$$

Для рассматриваемой конструктивной системы с применением критерия, предложенного А.В. Александровым, с использованием алгоритма [4] определен вид бифуркации (пассивный или активный) для каждого элемента при рассматриваемом догружении в виде внезапного изменения свободной длины левой стойки рамы.

Анализ результатов проведенного расчета позволил установить, что для исходной системы стойки 1_н и 2 рамы теряют устойчивость активно (рис. 2, а), вовлекая в этот процесс стойки 3 и 1_в. После внезапного выключения связей и изменения свободной длины левой стойки активная потеря устойчивости произойдет в стойках 1 и 3, в то время как стойка 2 потеряет устойчивость пассивно (рис. 2, б). Следовательно, внезапное выключение связи в первом пролете приведет не только к снижению критической силы величиной $61,5 \cdot B_{red,1} / l_1^2$ в 5,5 раз, но и к качественному изменению формы потери устойчивости системы.



Рисунок 2 – Формы потери устойчивости исходной рамы (а) и рамы с выключенной связью (б)

Параметр λ представляет собой отношение предельного значения относительного изгибающего момента в наиболее нагруженном сечении на i -ом этапе $[M_{i,max}^*]$ к предельному значению относительного момента на $(i-1)$ этапе расчета системы $[M_{i-1,max}^*]$:

$$\lambda = \frac{[M_{i,max}^*]}{[M_{i-1,max}^*]}. \quad (5)$$

В соответствии с выражением (5), на первом этапе расчета параметр $\lambda = 1$.

Теоретически признаком прогрессирующего разрушения конструкции рамы может считаться образование кинематически изменяемой системы. Если же в процессе расчета на i -ом этапе вычислений выполняется условие $P_{\lambda}^i \geq P_{эсп}$ ($P_{эсп}$ – эксплуатационная нагрузка, действующая на исходную (n) -систему, то происходит стабилизация силового потока в конструктивной системе до превращения ее в кинематически изменяемую, и, следовательно, имеет место локальное разрушение конструкции рамы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федер. закон от 30.12.2009 г. №384-ФЗ [Текст] / Правовой сервер «Консультант Плюс» / [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.consultant.ru.
2. Бондаренко, В.М. Концепция и направления теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средних воздействиях [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №2. – С. 28-31.
3. Ключева, Н.В. К построению критериев живучести коррозионно повреждаемых железобетонных конструктивных систем [Текст] / Н.В. Ключева, Н.Б. Андросова // Строительная механика и расчет сооружений. – №1, 2009. – С. 29-34.
4. Александров, А.В. О расчете стержневых конструкций на устойчивость [Текст] / А.В. Александров, В.И. Травуш, А.В. Матвеев // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – №3. – С. 16-19.

Бухтиярова Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Уникальные здания и сооружения»
Тел.: +7 (4712) 51-82-66
E-mail: yz_swsu@mail.ru

Колчунов Виталий Иванович

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уникальные здания и сооружения»
Тел.: +7 (4712) 51-82-66
E-mail: yz_swsu@mail.ru

Прасолов Николай Олегович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-49

A. BUKHTIYAROVA, V. KOLCUNOV, N. PRASOLOV

**CALCULATION OF GENERALIZED SURVIVABILITY
PARAMETER FOR REINFORCED CONCRETE FRAME
STRUCTURAL SYSTEM AT THE MOMENT OF ABRUPT
BUCKLING OF A BEARING ELEMENT**

The paper presents some relation to calculate the generalized survivability parameter for reinforced concrete frame structural system at the moment of abrupt buckling of a bearing element. The determination of this parameter is performed on an experimental basis without involving structural dynamics methods but using the criterion proposed by Professor A.V. Alexandrov, which allows determining the form of bifurcation for each element of a structural system.

Keywords: structural safety; structural survivability; buckling; action beyond design basis; reinforced concrete.

BIBLIOGRAPHY

1. Tehnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij: feder. zakon ot 30.12.2009 g. №384-FZ [Tekst] / Pravovoj server «Konsul'tant Pljus» / [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: www.consultant.ru.
2. Bondarenko, V.M. Koncepcija i napravlenija teorii konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovyh i sredovyh vozdejstvijah [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013. – №2. – S. 28-31.
3. Kljueva, N.V. K postroeniju kriteriev zhivuchesti korrozionno povrezhdaemyh zhelezobetonnyh konstruktivnyh sistem [Tekst] / N.V. Kljueva, N.B. Androsova // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – №1, 2009. – S. 29-34.
4. Aleksandrov, A.V. O raschete sterzhnevnyh konstrukcij na ustojchivost' [Tekst] / A.V. Aleksandrov, V.I. Travush, A.V. Matveev // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2002. – №3. – S. 16-19.

Anastasia Bukhtiyarova

Southwest state university, Kursk
Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Unique buildings and constructions»
Ph.: +7 (4712) 51-82-66
E-mail: yz_swsu@mail.ru

Vitaly Kolchunov

Southwest state university, Kursk
Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Unique buildings and constructions»
Ph.: +7 (4712) 51-82-66
E-mail: yz_swsu@mail.ru

Nikolay Prasolov

State university – educational-science-production complex, Orel
Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Construction structures and materials»
Ph.: +7 (4862) 73-43-49

КЛЮЕВА Н.В., ДОРОДНЫХ А.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН В СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Получены экспериментальные данные о ширине раскрытия наклонных трещин в составных железобетонных конструкциях при варьировании разных классов бетона и армирования с учетом условных сосредоточенных сдвигов в шве между бетонами, несовместности деформаций бетона и арматуры и эффекта нарушения сплошности бетона для эффективного проектирования железобетонных составных конструкций.

Ключевые слова: наклонные трещины; ширина раскрытия; деформации бетона и арматуры; картины трещинообразования; железобетонные составные конструкции.

В настоящее время преимущества железобетонных составных конструкций (сборно-монолитных, усиленных при реконструкции) становятся столь очевидными, что отмахнуться от неотложной потребности углубленного исследования особенностей их сопротивления уже просто нельзя.

Экспериментальные исследования ширины раскрытия трещин железобетонных составных конструкций проведены лишь в единичных случаях с необходимым количеством изучаемых параметров [1, 2].

Сегодня мало опытных данных и о длине и о приращении трещин при увеличении нагрузки, практически отсутствует информация о ширине раскрытия трещин как на уровне оси наиболее растянутой арматуры, так и вдоль всего профиля трещины. Такие сведения необходимы, прежде всего, по двум причинам. С одной стороны, это позволит заметно уточнить зависимости для определения ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций, с другой, эта информация может дать более полное представление об особенностях сопротивления железобетона в целом.

1) разработка методики экспериментальных исследований прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям;

2) экспериментальное определение параметров прочности (с анализом возможных разрушений от выкалывания бетона, его раздавливания, отрыва или среза, а также возможности потери сцепления с арматурой в приопорной зоне), жесткости при наличии наклонных трещин; ширины раскрытия наклонных трещин на уровне оси продольной растянутой арматуры и в нескольких уровнях над растянутой арматурой (a_{crc} вдоль всего профиля трещин); изменения расстояния между трещинами l_{crc} и длины трещин h_{crc} по мере увеличения нагрузки (с проверкой многоуровневого процесса образования трещин), деформаций сжатого бетона и средних деформаций арматуры, высоты сжатой зоны бетона;

3) проверки предлагаемого расчетного аппарата по уточненному расчету прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям с учетом эффекта нарушения сплошности и относительных взаимных смещений арматуры и бетона и в шве между бетонами.

Механические характеристики арматуры определялись в соответствии с действующими стандартами. При этом было испытано по три стержня длиной 400 мм каждого диаметра. Одновременно с основными железобетонными составными конструкциями для определения прочностных и деформативных характеристик бетона в возрасте 28 суток и в момент испытаний изготавливались вспомогательные бетонные образцы из бетонов того же состава: кубы $100 \times 100 \times 100$ – 18 шт., призмы сплошного сечения $100 \times 100 \times 400$ – 18 шт., составные бетонные призмы $100 \times 100 \times 400$ – 24 шт. и составные армированные призмы $100 \times 100 \times 400$ – 48 шт. При этом фактическая прочность кубов бетона на сжатие составила: для сжатой зоны (домоноли-

чивание новым бетоном) образцов всех серий – 35,3 МПа, для образцов всех серий (растянутой зоны) – 23,9 МПа.

Железобетонные конструкции испытываются в горизонтальном положении (со свободным доступом к растянутой зоне), что позволяет детально изучить картины разрушения, образования, развития, раскрытия трещин и деформирования при наличии трещин. Испытательная установка позволяет реализовывать намеченную схему нагружения с заданными пролетами «среза» (рис. 1, 2).

Размещение механических приборов приведено на рисунке 3. Зоны установки электротензорезисторов базой 20 мм показаны на рисунке 2.

Электротензорезисторы устанавливаются по высоте поперечного сечения экспериментальных конструкций основных серий в фибровых волокнах, в местах определения нулевой точки, т.е. перехода от удлинения к укорочению и в сжатой зоне бетона (см. рис. 2). Целью установки электротензорезисторов является изучение распределения деформаций по высоте сжатой зоны и в окрестности, прилегающей к шву, определения размеров сжатой зоны и фактической высоты развития трещин.

При разработке методики экспериментальных исследований предусматриваются четыре группы электротензорезисторов на основные опытные железобетонные составные конструкции, и на вспомогательные составные призмы из разных классов бетонов (В30/В30/В30, В20/В30/В20). Для электротензометрических измерений была использована система типа СИИТ-3 (см. рис. 2). При этом также устанавливаются механические приборы вдоль оси наиболее растянутой арматуры (см. рис. 3), которые дают возможность определить средние деформации арматуры и в сочетании с другими механическими приборами и тензорезисторами – проверить гипотезу плоских сечений в сечении I-I для средних деформаций в пределах каждого из составляющих стержней.

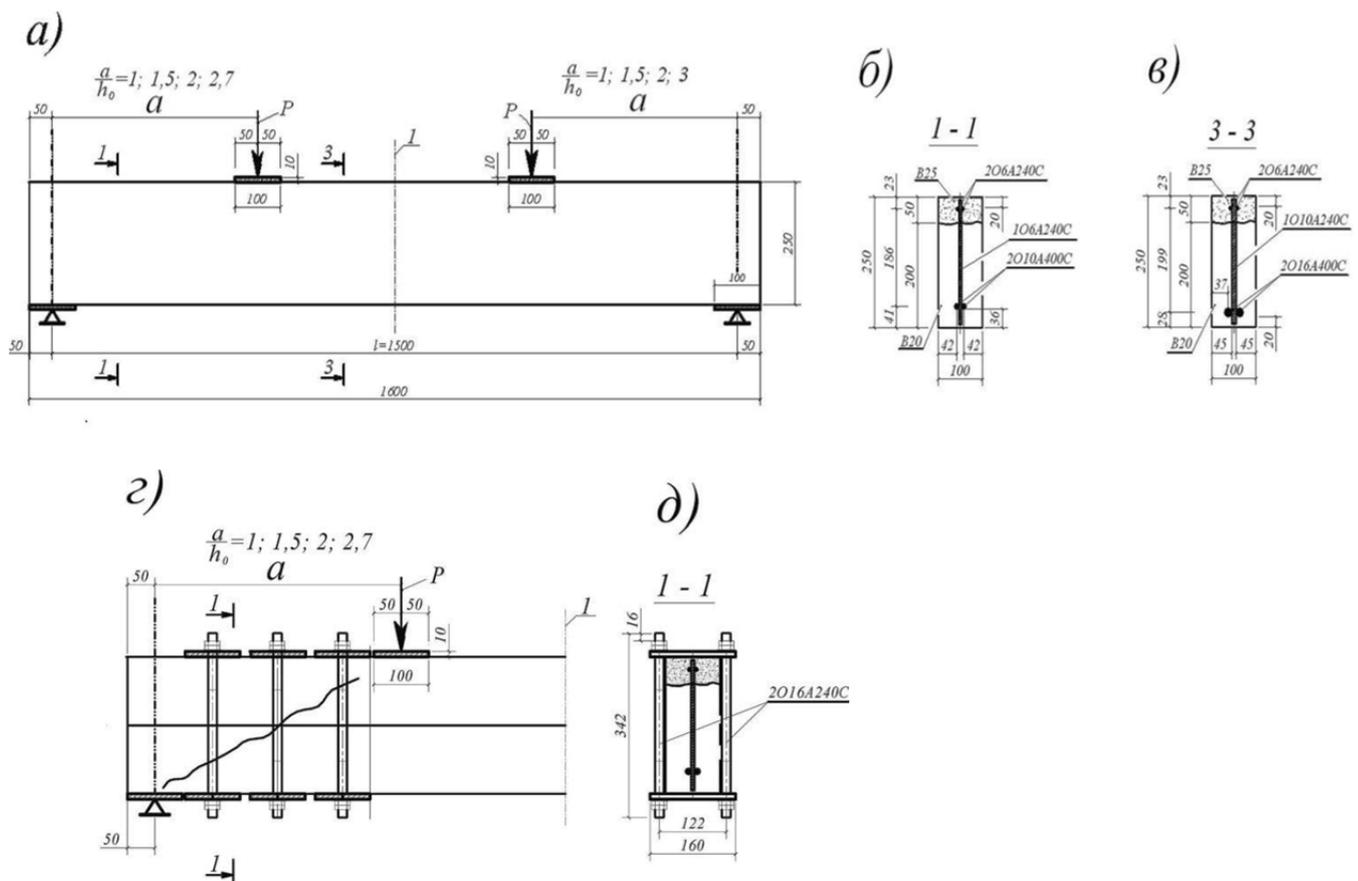


Рисунок 1 – Схема силового нагружения железобетонных составных конструкций (а); поперечное сечение 1-1 и 3-3 соответственно (б), (в); схема расположения стяжек для испытания второго пролета среза (г), (д)



Рисунок 2 – Общий вид лабораторных испытаний железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям

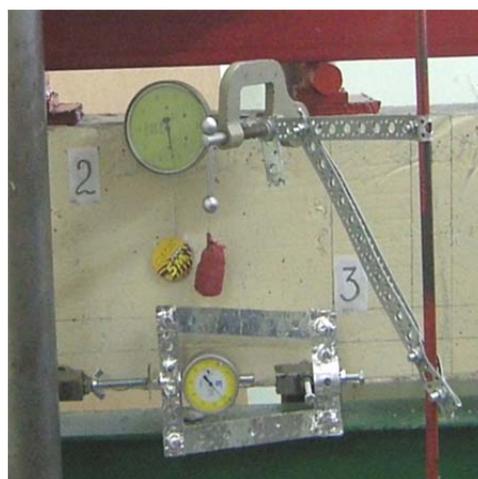


Рисунок 3 – Установка механических приборов с помощью специальных приспособлений

Перед началом испытаний производится тщательное освидетельствование конструкции, т.е. отмечаются начальные трещины, раковины, искривления и пр.

С целью извлечения максимума информации каждый образец испытывается с доведением до разрушения. Нагружение железобетонных составных конструкций осуществляется плавно мелкими ступенями, составляющими $0,1 M_{cr}$. Это необходимо для выявления особенностей деформирования при образовании трещин первого, второго и т.п. уровней. Выдержка на ступенях контрольной нагрузки по трещиностойкости и жесткости осуществляется в течение часа. Выдержка на всех ступенях, кроме контрольной, для проверки жесткости и трещиностойкости составляет 0,5 часа. В процессе кратковременного нагружения отсчеты по механическим приборам и датчикам снимаются дважды на этапе: сразу после приложения нагрузки и после выдержки.

Для опытной конструкции первой серии БС-I-1,5-150-Ø6 (растянутая арматура 2Ø16A400C) трещины образовались в зоне нейтральной оси и развивались как в направлении верхней грани, так и в направлении к продольной растянутой арматуре.

При этом максимальное раскрытие наклонных трещин на уровне оси рабочей продольной арматуры составляло на XI ступени нагружения (0,7 от разрушающей) 0,23 мм, а на удалении 2 диаметров арматуры – 0,36 мм соответственно.

Картина образования и развития трещин приведена на рисунке 4. Здесь имеют место три наклонные трещины, образующие веер I. Первая трещина, прилегающая к силе, появилась на пятой ступени нагружения. Вторая трещина появилась на девятой ступени нагружения (она же впоследствии стала разрушающей). Третья наклонная трещина, расположенная со стороны опоры, появилась на одиннадцатой ступени нагружения. Вторая наклонная трещина, подойдя к шву, соединилась с горизонтальной трещиной, образовавшейся вдоль шва на двенадцатой ступени (рис. 4).

Следует отметить, что для всех серий на графиках экспериментальных зависимостей $a_{cr} - P/P_u$ (рис. 5-8) ширина раскрытия трещин возрастает с увеличением уровня нагружения, несмотря на то, что с увеличением напряжений в арматуре происходит одновременное уменьшение расстояния между трещинами (см. рис. 5-8). При учете многоуровневого процесса образования трещин можно было ожидать уменьшение ширины раскрытия трещин, так как, несмотря на увеличение уровня нагружения и роста напряжений в арматуре, происходит уменьшение расстояния между трещинами (изменение расстояния между трещинами происходит дискретно (обратно пропорционально изменению изгибающих моментов)), которое носит противоположный характер влияния на ширину раскрытия трещин. Однако этого не произошло.



Рисунок 4 – Картины образования и развития трещин в опытной конструкции третьей серии БС-III-2,7-100-Ø10-(п2)

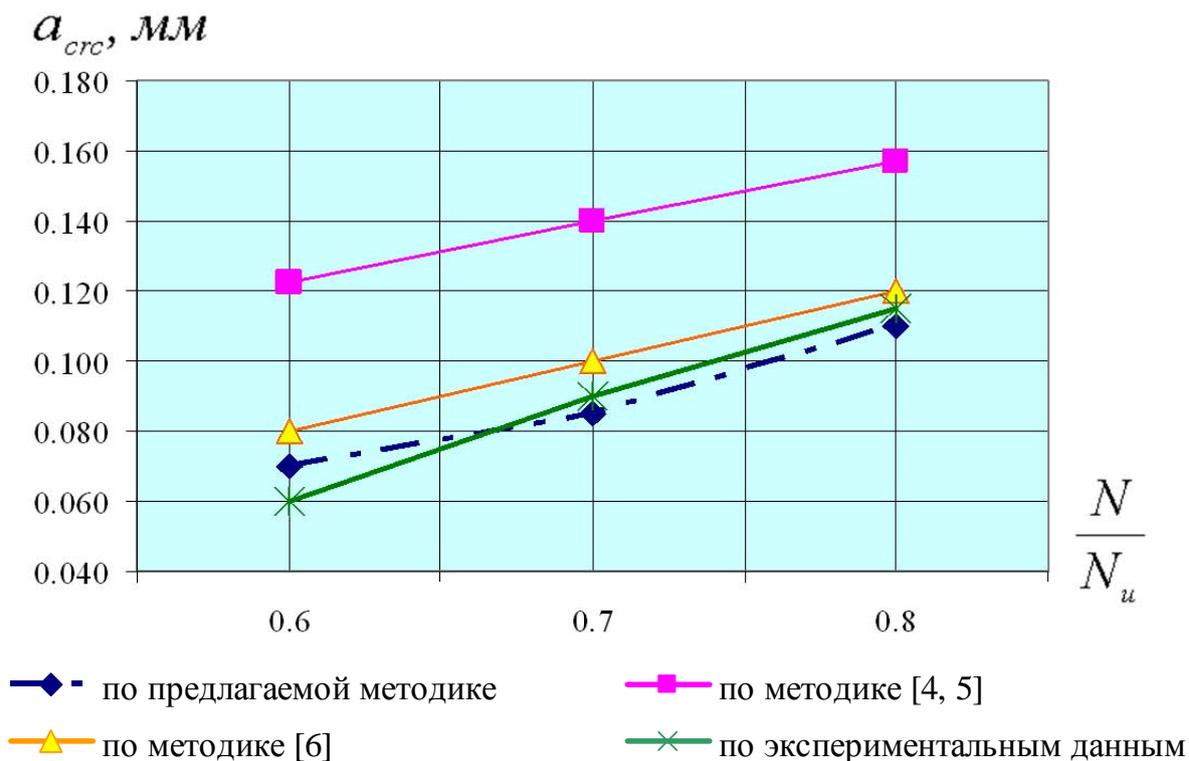


Рисунок 5 – Графики зависимости « $a_{срс} - N / N_u$ » для конструкции третьей серии БС-III-2,7-100-Ø10(п2)

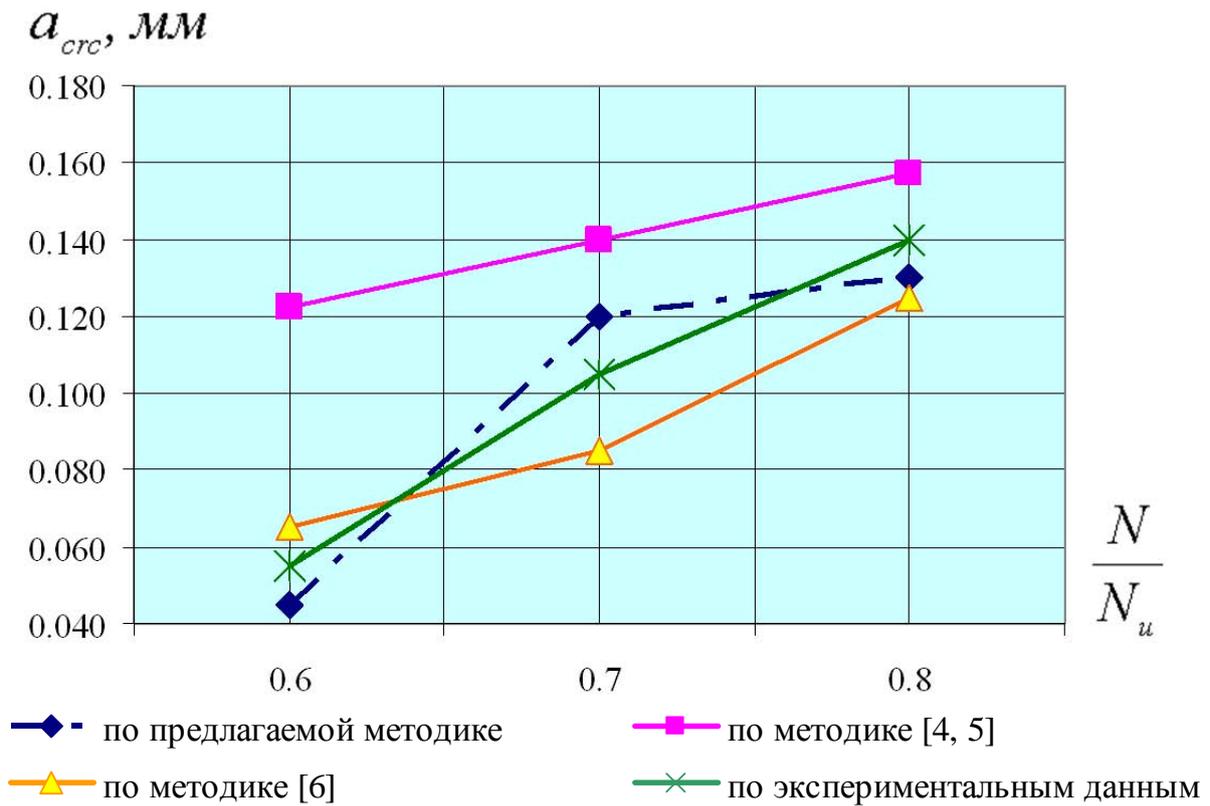


Рисунок 6 – Графики зависимости « $a_{crc} - N / N_u$ » для конструкции третьей серии БС-III-2,7-100-Ø10(n3)

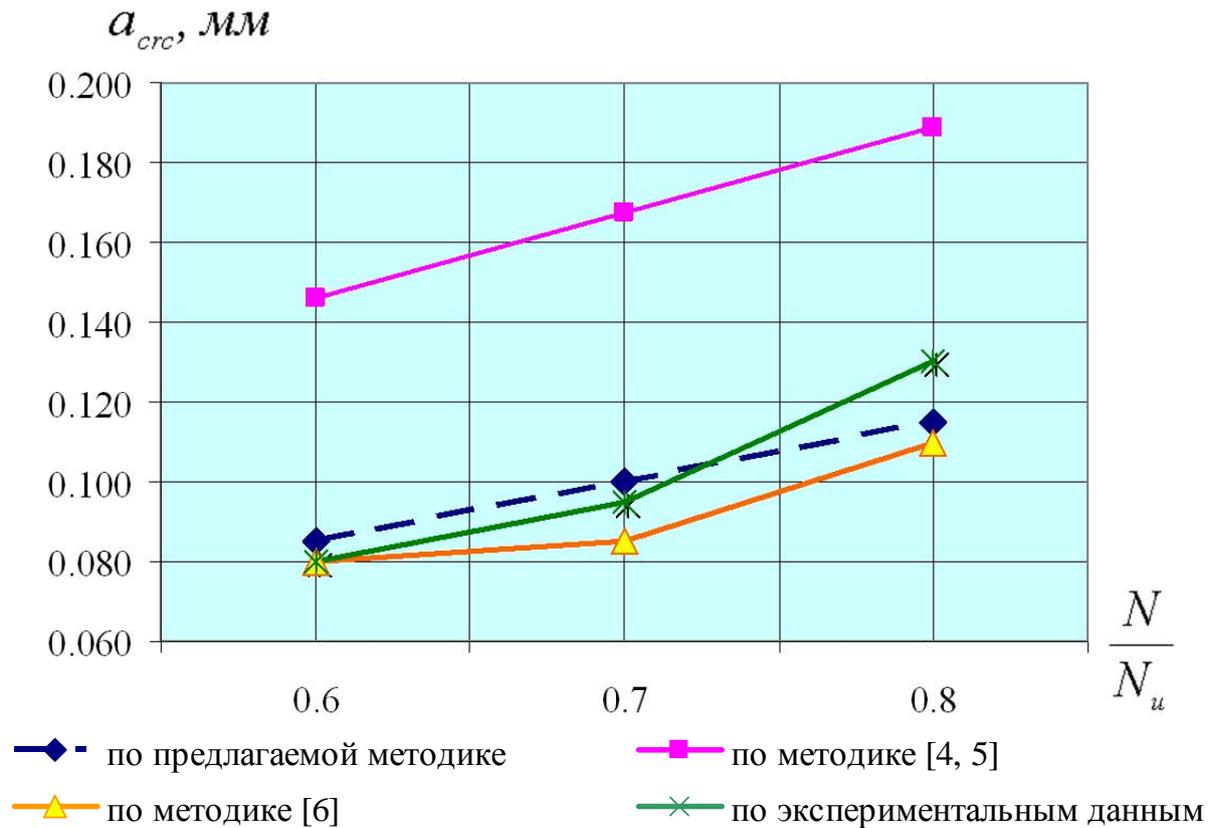


Рисунок 7 – Графики зависимости « $a_{crc} - N / N_u$ » для конструкции пятой серии БО-V-2-100-Ø6

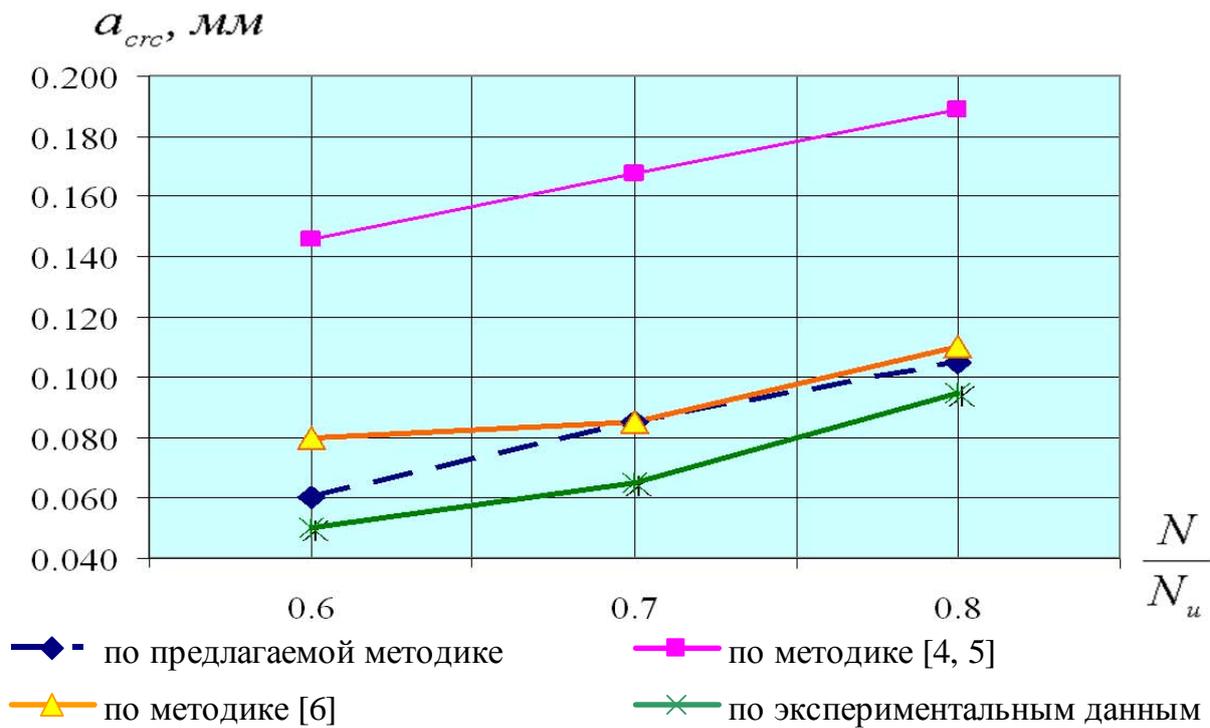


Рисунок 8 – Графики зависимости « $a_{crc} - N / N_u$ » для конструкции пятой серии БС-V-2-100-06

Полученный экспериментальный результат ставит весьма конкретное требование к предлагаемой расчетной методике: расчет хотя бы качественно должен подтвердить эту закономерность, замеченную в опыте. Весьма важным является также полученный результат о том, что в пределах эксплуатационной нагрузки (0,6-0,8 от разрушающей), высота сжатой зоны бетона практически не изменяется. При этом плоские сечения пересекаются в одной точке (как бы поворачиваясь вокруг нее).

Проведены экспериментальные исследования и получены новые экспериментальные данные о железобетонных составных конструкциях для следующих основных параметров: ширины раскрытия трещин на уровне оси продольной растянутой арматуры и вдоль всего профиля трещины; изменения расстояния между трещинами l_{crc} и длины трещин h_{crc} по мере увеличения нагрузки, деформаций рабочей арматуры и бетона вдоль оси рабочей арматуры между трещинами, которые в значительной мере дополняют накопленный экспериментальный материал.

При этом подтверждено, что арматура сдерживает раскрытие трещины, противодействуя раскрытию ее берегов, и возникающие при этом реакции вызывают местное сжатие в бетоне в окрестности трещины (эффект нарушения сплошности), что и приводит к изменению профиля трещины от треугольного к сложному.

Выполненный анализ экспериментальных картин образования и развития трещин позволяет выявить несколько уровней появления трещин. Причем трещины последующего уровня появляются, как правило, в середине расстояния между трещинами предыдущего уровня (в проведенном эксперименте наблюдалось два-три уровня трещинообразования).

Экспериментально подтверждена правомерность использования гипотезы плоских сечений для средних деформаций рабочей арматуры и сжатого бетона в каждом из составляющих стержней бетона, и получена возможность экспериментального определения высоты сжатой зоны бетона в железобетонных составных стержнях. В пределах эксплуатационной нагрузки (0,6-0,8 от разрушающей) высота фактической сжатой зоны бетона практически не изменяется (сжатая зона бетона приостанавливает их развитие на столько, что увеличение их высоты происходит лишь на несколько миллиметров на последующих ступенях нагружения).

Получены экспериментальные данные следующих основных параметров: ширины раскрытия трещин на уровне оси продольной и поперечной растянутой арматуры и в нескольких уровнях над растянутой арматурой (a_{cr} вдоль всего профиля трещины); изменения расстояния между трещинами l_{cr} (функционального и уровневого) и длины трещин h_{cr} по мере увеличения нагрузки (с выявлением многоуровневого процесса образования трещин), средних деформаций продольной и поперечной арматуры в трещине и между трещинами с учетом эффекта нарушения сплошности, несовместных деформаций бетона и арматуры, условного сосредоточенного сдвига в швах, фибровых деформаций сжатого бетона, высоты сжатой зоны бетона при варьировании разных пролетов «среза», диаметра и шага хомутов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баширов, Х.З. Методика экспериментальных исследований прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям [Текст] / Х.З. Баширов, А.А. Дородных, К.М. Чернов, И.С. Горностаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №5. – С. 29-32.
2. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
3. Баширов, Х.З. Основные результаты экспериментальных исследований ширины раскрытия трещин железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям [Текст] / Х.З. Баширов, Н.В. Ключева, А.А. Дородных // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – Воронеж, 2013. – №2. – С. 18-26.
4. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84* [Текст]. – [Введены в действие с 1986-01-01]. – М.: ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]: СП 63.13330.2012. – [Введены в действие с 2013-01-01]. – М.: Министерство регионального развития РФ, 2012. – 156 с. – (Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003).
6. Баширов, Х.З. Железобетонные составные конструкции транспортных зданий и сооружений: автореферат дис. на соискание докт. техн. наук: спец. 05.23.01 / Хамит Закирович Баширов. – М., 2013. – 48 с.

Ключева Наталия Витальевна

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»

E-mail: klynavit@yandex.ru

Дородных Анна Алексеевна

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»

Преподаватель кафедры «Уникальные здания и сооружения»

E-mail: yz_swsu@mail.ru

N. KLJUEVA, A. DORODNYKH

EXPERIMENTAL RESEARCH WIDTH OPENING OF INCLINED CRACKS IN THE COMPOSITE REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

Experimental data on the opening width of inclined cracks in composite reinforced concrete constructions by varying the different classes of concrete and reinforcement, taking into account contingent centered shifts in the seam between the concrete, the incompatibility of deformations of concrete and armature and concrete effect of discontinuity for the efficient design of reinforced concrete composite constructions.

Keywords: *inclined cracks; width opening; the deformation of concrete and armature cracking scheme; concrete composite constructions.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bashirov, H.Z. Metodika jeksperimental'nyh issledovanij prochnosti, zhestkosti i treshhinostojkosti zhelezobetonnyh sostavnyh konstrukcij po naklonnym sechenijam [Tekst] / H.Z. Bashirov, A.A. Dorodnyh, K.M. Chernov, I.S. Gornostaev // Promyshlennoe i grazhdan-skoe stroitel'stvo. – 2013. – №5. – S. 29-32.
2. Bondarenko, V.M. Raschetnye modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetona: monografija [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – M.: ASV, 2004. – 472 c.
3. Bashirov, H.Z. Osnovnye rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij shiriny raskrytija treshhin zhelezobetonnyh sostavnyh konstrukcij po naklonnym sechenijam [Tekst] / H.Z. Bashirov, N.V. Kljueva, A.A. Dorodnyh // Nauchnyj vesnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – Voronezh, 2013. – №2. – S. 18-26.
4. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii: SNiP 2.03.01-84* [Tekst]. – [Vvedeny v dejstvie s 1986-01-01]. – M.: CTIP Gosstroja SSSR, 1989. – 88 s.
5. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija [Tekst]: SP 63.13330.2012. – [Vvedeny v dejstvie s 2013-01-01]. – M.: Ministerstvo regional'nogo razvitija RF, 2012. – 156 s. – (Svod pravil. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 52-01-2003).
6. Bashirov, H.Z. Zhelezobetonnye sostavnye konstrukcii transportnyh zdaniy i sooruzhenij: avtoreferat dis. na soiskanie dokt. tehn. nauk: spec. 05.23.01 / Hamit Zakirovich Bashirov. – M., 2013. – 48 s.

Natalia Kljueva

Southwest state university, Kursk

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Industrial and civil engineering»

E-mail: klynavit@yandex.ru

Anna Dorodnykh

Southwest state university, Kursk

Lecturer of the department «Unique buildings and constructions»

E-mail: yz_swsu@mail.ru

КОЛЧУНОВ В.И., КАЛАШНИКОВА О.В.

КОНТРОЛЬ ЖЕСТКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ БАЛОЧНОГО ТИПА, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОГО МАТЕРИАЛА

В статье изложены теоретические основы способа контроля максимального прогиба балок, изготовленных из материала, обладающего физически нелинейными свойствами. Приводятся результаты экспериментального исследования железобетонных перемычек типа 2ПБ-26-4, которые убедительно подтвердили работоспособность предложенного способа. Анализ ожидаемой погрешности при использовании предложенного способа показал, что для балок рассматриваемого типа она не будет превышать 6%.

Ключевые слова: балка; материал с физически нелинейными свойствами; максимальный прогиб; основная частота колебаний; вибрационный способ контроля жесткости.

Введение

Контроль жесткости конструкций балочного типа при их изготовлении и при обследовании зданий и сооружений является одной из актуальных современных проблем в области строительства. Как правило, для контроля жесткости конструкций используются статические методы, заключающиеся в нагружении балок контрольной нагрузкой, назначаемой соответствующими нормативными документами [1, 2]. Этот способ обладает большой трудоемкостью из-за необходимости осуществления процедуры нагружения контролируемых конструкций. В последние годы в Архитектурно-строительном институте ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК» активно развиваются и совершенствуются динамические методы контроля жесткости конструкций в виде балок и пластинок, в основе которых лежит фундаментальная закономерность, связывающая элементарной зависимостью величину максимального прогиба упругих балок с их основной (или первой резонансной) частотой колебаний в ненагруженном состоянии [3]. Эти методы менее трудоемки, чем методы статического нагружения, однако они охватывают в основном балки, изготовленные из материала, подчиняющиеся закону Гука. Они пока не могут применяться к конструкциям из физически нелинейного материала и к конструкциям, работающим в условиях эксплуатации в упругопластической и пластической стадиях.

1 Взаимосвязь максимального прогиба из физически нелинейного материала с основной частотой их колебаний в ненагруженном состоянии

Для балок, изготовленных из материала, подчиняющегося закону Гука и работающих в упругой стадии, известна закономерность [3], связывающая их максимальный прогиб w_0 при статическом нагружении равномерно распределенной нагрузкой q с основной (или первой резонансной) частотой колебаний ω в ненагруженном состоянии:

$$w_0 \approx \frac{4 q l}{\pi m \omega^2}, \quad (1)$$

где m – погонная масса балки постоянного сечения. По основной (или первой резонансной) частоте колебаний, зная погонную массу балки, можно определить ее максимальный прогиб от заданной контрольной нагрузки q . Эта закономерность замечательна тем, что в ней две важнейшие физико-механические характеристики балки w_0 и ω не зависят от вида материала, граничных условий и длины пролета.

Рассмотрим диаграмму « $\sigma - \varepsilon$ » для материала, обладающего физически нелинейными свойствами (рис. 1). Тангенс угла наклона касательной, проведенной в начало координат, с горизонталью α_0 равен начальному модулю упругости E_0 материала; тангенс угла наклона каса-

тельной, проведенной к любой точке диаграммы, с горизонталью α равен текущему модулю упругости E материала.

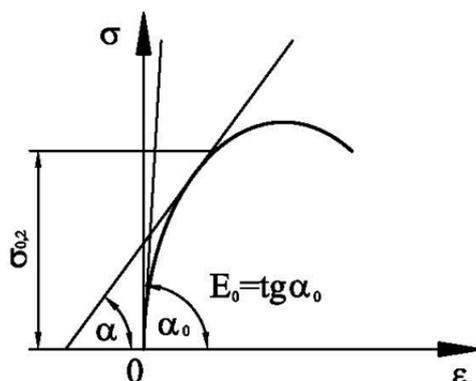


Рисунок 1 – Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для материала с физически нелинейными свойствами

Максимальный прогиб балки, изготовленной из материала, обладающего физически нелинейными свойствами и нагруженной по всему пролету равномерно распределенной нагрузкой q , определяется по формуле:

$$w_0 = \varphi q \ell^4 / EI, \quad (2)$$

где φ – коэффициент пропорциональности, зависящий от граничных условий по концам балки; ℓ – пролет балки; E – модуль упругости материала, являющийся в данном случае переменной величиной, зависящей от интенсивности действующей нагрузки (от напряженного состояния в сечениях балки) (рис. 1); I – момент инерции поперечного сечения балки. Основная частота колебаний такой балки в ненагруженном состоянии ω_0 определяется по формуле:

$$\omega_0 = \beta^2 \sqrt{E_0 I / m} / \ell^2, \quad (3)$$

где β^2 – коэффициент пропорциональности, зависящий от вида граничных условий по концам балки; E_0 – начальный модуль упругости материала. С учетом выражений (1)...(3):

$$w_0 = \varphi \beta^4 \frac{q E_0}{m E} \frac{1}{\omega_0^2}.$$

(4) В отличие от формулы (1), справедливой для балок из материала, подчиняющегося закону Гука, в формуле (4) появилось отношение начального модуля упругости E_0 к текущему E . Объединим это отношение с коэффициентом пропорциональности $\varphi \beta^4$, тогда

$$w_0 = \left(\varphi \beta^4 \frac{E_0}{E} \right) \frac{q}{m} \frac{1}{\omega_0^2} = K \frac{q}{m} \frac{1}{\omega_0^2},$$

(5) где $K = \alpha \beta^2 \times E_0 / E$. Если текущий модуль упругости E равен начальному E_0 , что соответствует материалу, подчиняющемуся закону Гука, то коэффициент $K = 4/\pi$, и выражение (5) приводится к виду (1).

Для физически нелинейного материала K является сложной функцией, зависящей от напряженного состояния в сечениях балки, то есть в первую очередь от действующей нагрузки q .

Преобразуем зависимость (5) к следующему виду:

$$\omega_0^2 m \frac{w_0}{q} = K. \quad (6)$$

На рисунке 2 кривой 1 представлен график « $K - q$ », построенной по экспериментальным данным испытания железобетонной перемычки типа 2ПБ-26-4. Прямая 2 на этой фигуре соответствует балкам из материала, подчиняющегося закону Гука, а пунктирная – некоторому гипотетическому материалу с физически нелинейными свойствами. Зная величину контрольной нагрузки по кривой 1, построенной для эталонной балки, можно найти значение параметра

ра K , который в дальнейшем согласно (5) будет использован для контроля максимального прогиба балок серийного изготовления по их основной частоте колебаний.

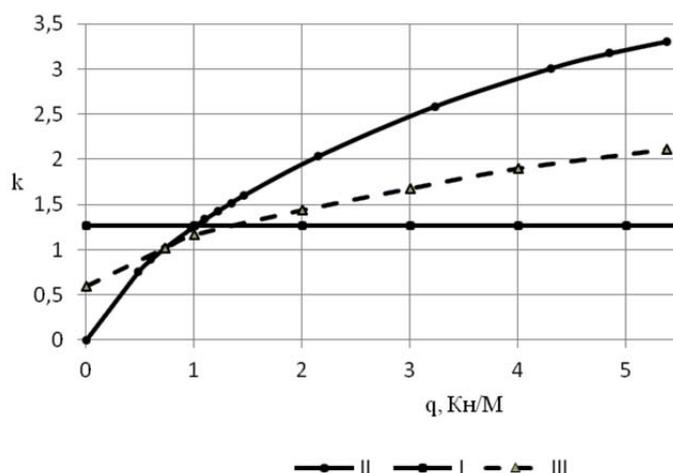


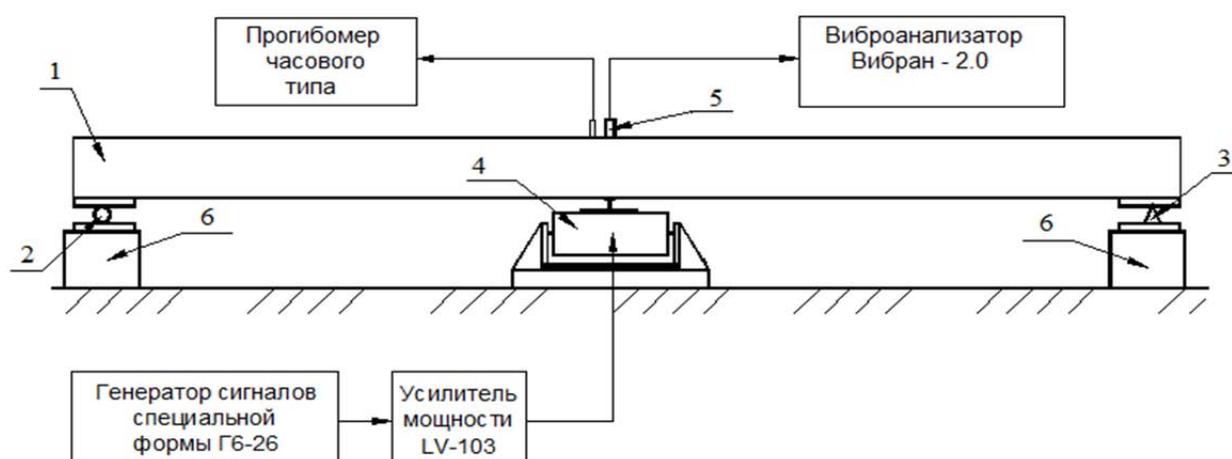
Рисунок 2 – График зависимости « $K - q$ » для железобетонной перемычки типа 2ПБ-26-4

2 Экспериментальные исследования

Для апробации предложенного способа определения жесткости балок из физически нелинейного материала была изготовлена железобетонная балка в опалубке перемычек типа 2ПБ-26-4 ($l = 2590$ мм; $b = 120$ мм; $h = 140$ мм, масса балки $m = 109,0$ кг).

Арматурный каркас состоял из рабочей арматуры нижней зоны (арматура класса А400 диаметром $d_s = 12$ мм), конструктивной арматуры верхней зоны (проволочной арматуры В500 $d_s = 5$ мм) и поперечных связей из арматуры В500 $d_s = 4$ мм. Для замоноличивания использовался бетон с начальным модулем упругости $E_b = 27,5 \cdot 10^3$ МПа. Балка изготавливалась в заводских условиях под строгим контролем всех технологических операций согласно ГОСТ Р 53231-2008 [4] (подбор состава бетона и его укладка в опалубку, контроль режимов формования и термообработки, соблюдение геометрических размеров, армирования и др.).

Испытания железобетонных балок проводились на специальном стенде, который включал в себя набор стандартного оборудования, приборов и средств измерений. Функциональная схема этого стенда приведена на рисунке 3.

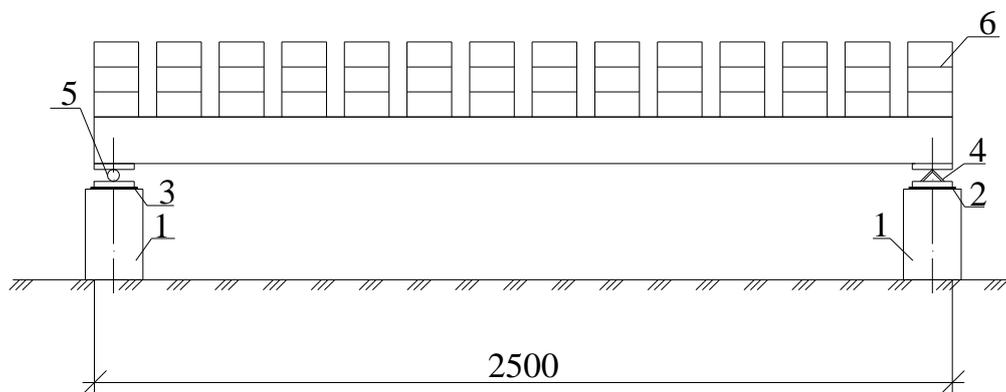


1 – контролируемая балка; 2, 3 – подвижная и неподвижная шарнирные опоры;
4 – ударное устройство – возбудитель собственных поперечных колебаний;
5 – вибронализатор спектра колебаний «Вибран-2.0»; 6 – силовые опоры

Рисунок 3 – Функциональная схема испытательного стенда

Балка 1 устанавливалась и закреплялась на шарнирных опорах. Одна из них шарнирно неподвижная 3 в виде стального уголка, другая – шарнирно подвижная 2 в виде металлического круглого стержня. Шарнирные опоры 2 и 3 установлены на силовых опорах б. В средней части балки закреплялся вибродатчик 5 прибора «Вибран-2.0» и прогибомер часового типа 6ПАО 6 с ценой деления 0,01 мм. Под балкой в середине пролета размещался возбудитель колебаний ударного типа 4 на основе контактора КТ6042-УЗ с емкостным накопителем мощностью до 600 Дж), работу которого обеспечивали вспомогательные устройства: генератор сигнала типа Г6-26 и усилитель мощности типа LV-103 (ММФ).

В контролируемой балке сначала измерялась основная частота колебаний в ненагруженном состоянии, а затем осуществлялось статическое нагружение ступенчато возрастающей равномерно распределенной нагрузкой в виде силикатного кирпича с размерами 250×120×88 мм и массой ≈5,2 кг. Каждая ступень нагрузки согласно требованиям ГОСТ 8829-94 [2] не превышала 10% от контрольной разрушающей нагрузки. Схема нагружения балок показана на рисунке 4. На каждом этапе загрузки балки определялся ее максимальный прогиб.



1 – силовые опоры; 2, 3 – металлические пластины; 4 – шарнирно неподвижная опора; 5 – шарнирно подвижная опора; 6 – силикатный кирпич

Рисунок 4 – Схема нагружения балок

При динамическом испытании балки в ненагруженном состоянии в режиме свободных колебаний была найдена основная частота $f = 29,9$ Гц ($\omega = 2\pi f = 187,87$ с⁻¹). Результаты статических испытаний балки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты статических испытаний железобетонной балки

№ исп.	q , кН/м	w_0 , мм	K	K по (7)	Разница, %
1	0,488	0,251	0,764	0,762	0,26
2	0,600	0,389	0,929	0,889	4,31
3	0,732	0,500	1,014	1,022	0,79
4	0,976	0,810	1,233	1,238	0,41
5	1,098	1,010	1,366	1,337	2,12
6	1,220	1,163	1,416	1,430	0,99
7	1,342	1,368	1,514	1,520	0,40
8	1,466	1,590	1,611	1,607	0,25
9	2,152	2,901	2,002	2,038	1,80
10	3,228	5,608	2,580	2,587	0,27
11	4,304	8,752	3,020	3,009	0,36
12	4,842	10,33	3,168	3,174	0,19
13	5,380	11,979	3,307	3,307	0,00

Результаты подсчета коэффициента пропорциональности K по формуле (6) и экспериментальным данным после их статистической обработки приведены в колонке 4. По этим значениям K построена аппроксимирующая кривая « $K - q$ »:

$$K = \sqrt{a + bq + cq^2 + dq^3}, \quad (7)$$

где $a = -0,2496$, $b = 1,5591$, $c = 0,3130$, $d = -0,04021$. Результаты расчета по этой формуле приведены в колонке 5, а в колонке 6 – их отклонения от результатов, приведенных в колонке 4. Графическое представление этой зависимости представлено на рисунке 2 (кривая 1). Графический анализ этой кривой 1 показал, что она является монотонно возрастающей без каких-либо заметных переломов в момент перехода работы балки из упругой стадии в упругопластическую и пластическую.

Совместно с испытанной эталонной железобетонной балкой была изготовлена и испытана вторая балка, отличающаяся от первой тем, что приготовленная бетонная смесь была жестче за счет снижения объема воды в ней на 5%. После ее укладки в опалубку смесь вибрировалась дольше, чем в первой балке.

В этой балке в ненагруженном состоянии была определена основная частота колебаний $f = 32,47$ Гц ($\omega = 204,015$ с⁻¹). Далее балка была испытана тремя ступенями статически приложенной равномерно распределенной нагрузки: $q_1 = 0,488$ кН/м, $q_2 = 1,466$ кН/м и $q_3 = 3,228$ кН/м. Первая нагрузка соответствовала упругой работе балки, вторая – приблизительно моменту появления трещин, третья – работе балки в упругопластической стадии. Для этих нагрузок экспериментально были определены прогибы: $(w_0)_1 = 0,22$ мм, $(w_0)_2 = 1,28$ мм, $(w_0)_3 = 4,60$ мм.

По формуле (5) для заданных нагрузок и найденной экспериментально основной частоте колебаний были подсчитаны значения максимальных прогибов $(w_0)_1 = 0,212$ мм, $(w_0)_2 = 1,345$ мм, $(w_0)_3 = 4,768$ мм. Эти результаты отличаются от полученных экспериментально соответственно на 3,64%, 5,07% и 3,65%.

3 Оценка максимально возможной погрешности при проведении испытаний балки рассматриваемого типа

Оценим максимально возможную абсолютную погрешность Δw_0 при определении максимального прогиба экспериментальной балки с использованием зависимости (5) по методу максимума-минимума [5]:

$$\Delta w_0 = \frac{\partial w_0}{\partial K} \Delta K + \frac{\partial w_0}{\partial q} \Delta q + \frac{\partial w_0}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial w_0}{\partial \omega_0^2} \Delta \omega_0^2,$$

где ΔK , Δq , Δt и $\Delta \omega_0$ – абсолютные погрешности измерения соответственно параметра K , нагрузки q , погонной массы t и основной частоты колебаний балки ω_0 .

Значения абсолютных погрешностей принимаем по существующим нормативным документам или задаем по результатам проведенных экспериментальных исследований:

$\Delta K = 4,31\%$ – по результатам аппроксимации экспериментально полученных значений параметра K (см. табл. 1);

$\Delta q = 0,5\%$ – по результатам взвешивания мелкоштучных элементов, используемых для загрузки балок контрольной нагрузкой q_0 ;

$\Delta t = 0,5$ кг/м – по результатам взвешивания контролируемых балок;

$\Delta \omega = 0,2\%$ – по данным статистической обработки результатов измерений основной частоты колебаний балок в ненагруженном состоянии.

Согласно методу максимума-минимума [5], для нахождения максимально возможной абсолютной погрешности необходимо взять наибольшие предельные отклонения для всех параметров, у которых коэффициенты влияния положительные, и наименьшие предельные отклонения для параметров с отрицательными коэффициентами влияния; для нахождения минимально возможной погрешности необходимо взять наименьшие предельные отклонения для всех параметров, у которых коэффициенты влияния положительные, и наибольшие предельные отклонения для параметров, у которых коэффициенты влияния отрицательные. Согласно этому правилу и принятым абсолютным погрешностям:

$$\begin{aligned} \Delta w_0 &= \frac{\partial w_0}{\partial K} \Delta K + \frac{\partial w_0}{\partial q} \Delta q + \frac{\partial w_0}{\partial m} \Delta m + \frac{\partial w_0}{\partial \omega_0^2} \Delta \omega_0 = \\ &= \frac{q}{m} \frac{1}{\omega_0^2} \left(\pm \frac{1,430 \cdot 4,31}{100} \right) + K \frac{1}{m} \frac{1}{\omega_0^2} \left(\pm \frac{1220 \cdot 0,5}{100} H / m \right) - \\ &- K \frac{q}{m^2} \frac{1}{\omega_0^2} (\mp 0,5 \text{ кг} / \text{м}) - 2K \frac{q}{m} \frac{1}{\omega_0^3} \left(\mp \frac{187,87 \cdot 0,2}{100} c^{-1} \right). \end{aligned}$$

Подставляя в эту формулу значения экспериментальных данных, получим:

$$\begin{aligned} \Delta w_0 &= \underbrace{\frac{1220}{42,08} \frac{1}{187,87^2} \left(\pm \frac{1,430 \cdot 4,31}{100} \right)}_{5,06 \cdot 10^{-5}} + \underbrace{1,430 \frac{1}{42,08} \frac{1}{187,87^2} \left(\pm \frac{1220 \cdot 0,5}{100} H / m \right)}_{5,87 \cdot 10^{-6}} - \\ &- \underbrace{1,430 \frac{1220}{42,08^2} \frac{1}{187,87^2} (\mp 0,5 \text{ кг} / \text{м})}_{1,396 \cdot 10^{-5}} - \underbrace{2 \cdot 1,430 \frac{1220}{42,08} \frac{1}{187,87^3} \left(\mp \frac{187,87 \cdot 0,2}{100} c^{-1} \right)}_{4,70 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 7,509 \times 10^{-5} \text{ м} = 7,509 \times 10^{-2} \text{ мм}. \end{aligned}$$

С учетом этого результата найдем максимально возможную относительную погрешность при определении максимального прогиба железобетонных балок рассмотренного типа с помощью предложенного способа:

$$\Delta w_0 / w_0 \times 100 = 7,509 \cdot 10^{-2} / 1,163 \times 100 = 6,46 \text{ \%}.$$

Таким образом, для железобетонных балок рассмотренного типа максимальный прогиб от действия равномерно распределенной нагрузки будет определяться по формуле:

$$w_0 = \sqrt{-0,2496 + 1,5591q + 0,3130q^2 - 0,04021q^3} \frac{q}{m} \frac{1}{\omega_0^2} \quad (6)$$

с относительной погрешностью, не превышающей 6,5%.

Заключение

1. Разработан вибрационный способ контроля жесткости балок из физически нелинейного материала, работающих как в упругой, так и в упругопластической стадиях, позволяющий оценивать их максимальный прогиб по основной частоте колебаний в ненагруженном состоянии.

2. Предложенная математическая модель не включает модули упругости материала балки и ее геометрические размеры. В нее входит всего 3 независимых параметра (нагрузка, масса и основная частота колебаний), что предопределяет достаточно высокую точность оценки контролируемого параметра. Проведенные экспериментальные исследования железобетонной перемычки типа 2ПБ-26-4 убедительно подтвердили работоспособность предложенной математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лужин, О.В. Обследование и испытание сооружений [Текст] / О.В. Лужин, А.Б. Злочевский, И.А. Горбунов, А.Н. Волохов; под ред. О.В. Лужина. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
2. ГОСТ 8829-94. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытания нагружением и оценка прочности, жесткости и трещиностойкости [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 26 с.
3. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода – Т. 1. [Текст] / В.И. Коробко. – М.: АСВ, 1997. – 390 с.
4. ГОСТ Р 53231-2008. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2009. – 15 с.
5. Коробко, В.И. Лекции по курсу «Основы научных исследований» [Текст] / В.И. Коробко. – М.: АСВ, 2000. – 218 с.

Колчунов Виталий Иванович

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уникальные здания и сооружения»
Тел.: +7 (4712) 51-82-66
E-mail: yz_swsu@mail.ru

Калашникова Ольга Владимировна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Аспирантка кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-48
E-mail: center_epb@mail.ru

V. KOLCHUNOV, O. KALASHNIKOVA

**CONTROL OF DEFLECTION RATE OF BEAM TYPE
CONSTRUCTIONS MADE OF PHYSICALLY-NONLINEAR
MATERIAL**

The article presents theoretical grounds of method of maximum deflection rate control of beams being made of material that has physically-nonlinear properties. The results of experimental study of reinforced-concrete link beams of type 2ПБ-26-4 that provided convincing proof of efficiency of suggested method are given. The analysis of the expected error at the suggested method application showed that for beams of the considered type it will not excess 6%.

Keywords: beam; material with physically-nonlinear properties; maximum deflection; basic frequency of oscillations; vibration method of deflection rate control.

BIBLIOGRAPHY

1. Luzhin, O.V. Obsledovanie i ispytanie sooruzhenij [Tekst] / O.V. Luzhin, A.B. Zlochevskij, I.A. Gorbunov, A.N. Volohov; pod red. O.V. Luzhina. – М.: Strojizdat, 1987. – 264 s.
2. GOST 8829-94. Konstrukcii i izdelija betonnye i zhelezobetonnye sbornye. Metody ispytaniya nagruzheniem i ocenka prochnosti, zhjostkosti i treshhinostojkosti [Tekst]. – М.: Izd-vo standartov, 1994. – 26 s.
3. Korobko, V.I. Izoperimetricheskij metod v stroitel'noj mehanike: Teoreticheskie osnovy izoperimetricheskogo metoda – Т. 1. [Tekst] / V.I. Korobko. – М.: ASV, 1997. – 390 s.
4. GOST R 53231-2008. Betony. Pravila kontrolja i ocenki prochnosti [Tekst]. – М.: Standartinform, 2009. – 15 s.
5. Korobko, V.I. Lekcii po kursu «Osnovy nauchnyh issledovanij» [Tekst] / V.I. Korobko. – М.: ASV, 2000. – 218 s.

Vitaly Kolchunov

Southwest state university, Kursk
Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Unique buildings and constructions»
Ph.: +7 (4712) 51-82-66
E-mail: yz_swsu@mail.ru

Olga Kalashnikova

State university – educational-science-production complex, Orel
Post-graduate student the department «Building designs and materials»
Ph.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: center_epb@mail.ru

КУПЧИКОВА Н.В.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ «СВАЙНОЕ ОСНОВАНИЕ-УСИЛИВАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ» МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований на моделях свай с концевым уширением, образованным нагнетанием в грунт цементного раствора и поверхностным уширением из сборных клиньев. Выполнен сравнительный анализ результатов экспериментов и результатов численных исследований работы системы «свайное основание – усиливающие элементы» с помощью системного численного изучения на основе решения МКЭ в системе препроцессора FEMAP с решателем NE/NASTRAN.

Ключевые слова: свайный фундамент с концевыми и поверхностными уширениями; численные исследования; эксперимент; метод конечных элементов.

Прочность фундамента еще на стадии его проектирования с высокой степенью достоверности можно оценить с помощью метода конечных элементов. Современный уровень развития технологий информатизации позволяет не ограничиваться одномерными расчетами, а перейти к анализу массивных трехмерных тел и их фрагментов совершенно произвольной формы, что стало возможным, в основном, благодаря развитию метода конечных элементов (МКЭ) и его реализации с помощью вычислительных систем.

Расчет напряженно-деформированного состояния свайных фундаментов на действие статических нагрузок можно осуществлять разными методами. Основная идея МКЭ, базирующаяся на методах Бубнова, Галеркина и Ритца, была предложена Р. Курантом в 1943 г., но осталась незамеченной, опередив потребности практики. С появлением первых компьютеров возникла необходимость в разработке новых инженерных подходов к численному решению задач со сложной геометрией, в которых области интегрирования разбивались на подобласти. Такие подобласти (носители базисных функций) и являются конечными элементами.

В последние десятилетия шло бурное развитие МКЭ, наряду с развитием идеи приложения классических методов расчета статически неопределимых систем в матричной форме к решению двух- и трехмерных задач теории упругости, быстро развивалась и вычислительная техника.

Большое число работ, посвященным самым различным аспектам развития МКЭ, указывают на то, что первоначально метод разрабатывался на основе идей, используемых в строительной механике стержневых систем, а также как некоторых разновидностей вариационно-разностных методов решения задач математической физики. Развитию МКЭ и его внедрению в инженерную практику способствовали работы зарубежных и отечественных ученых К. Бате, Е. Вилсона, О. Зенкевича, А.М. Масленникова, В.А. Постнова, А.Р. Ржаницина, Л.А. Розина, Л. Сегерлинда, М. Секуловича, А.Ф. Смирнова, Ю.Я. Тюкалова, Л.А. Трайнина, А.П. Филина, Н.Н. Шапошникова и др. Для практических методов расчета МКЭ можно трактовать как обобщение методов строительной механики стержневых систем любой сложности (континуальных, дискретных, дискретно-континуальных, то есть таких систем, элементы которых можно рассматривать как самостоятельные конструкции – пластины, плиты, оболочки, стержни, балки, сваи и др.).

Несмотря на все многообразие конечных элементов, на которые могут быть расчленены конструкции, последовательность расчета при этом будет единой. Определение связи между узловыми усилиями и узловыми перемещениями конечного элемента (построение матрицы жесткости, матрицы податливости, матрицы упругих свойств в общем случае) является одним из основных и в то же время наиболее сложным этапом применения МКЭ в качестве метода расчета конструкций. Так как конечные элементы, на которые расчленяется исходная конструкция, имеют вдоль своей границы непрерывные или дискретные связи со смежными эле-

ментами, то при построении расчетной дискретной модели вводятся априорные предположения о характере силового или кинематического воздействия на границах между смежными элементами. От выбора функций, аппроксимирующих силовые или кинематические воздействия на границах между элементами, зависит возможность получения точного решения.

В этой связи МКЭ может быть дана более широкая трактовка с позиций вариационных методов (Ритца, Бубнова-Галеркина).

Главное различие между традиционной формой применения отмеченных вариационных методов и МКЭ заключается в том, что при применении этих методов координатные функции задаются для всей рассматриваемой области, а при применении МКЭ – для каждой из подобластей конечных размеров (конечных элементов), на которые разбивается исходная область.

Если в первом случае при использовании метода Ритца выражение энергии варьируется по обобщенным координатам (коэффициентам членов ряда) для всей области, то во втором – по величинам силовых или кинематических взаимодействий в местах стыка элементов. Это приводит к алгебраическим уравнениям классических методов строительной механики (метод перемещений, метод сил, смешанный метод).

Решающее преимущество МКЭ по сравнению с вариационными методами состоит в том, что координатные функции в методе отличны от нуля только в окрестности соответствующего узла и, следовательно, носят локальный характер [1].

Традиционные методы расчета стержневых систем по МКЭ (в форме метода перемещений) имеют следующую последовательность:

- нанесение сетки расчетных узлов, в которых определяется значение разрешающей функции, и расчленение исходной системы на КЭ;
- построение матриц жесткости конечных элементов;
- составление системы канонических уравнений, отражающих кинематическую совместимость расчетной схемы;
- решение системы уравнений и вычисление значений разрешающей функции в расчетных узлах;
- определение компонентов напряженно-деформированного состояния исследуемой системы по найденным значениям разрешающей функции в расчетных узлах сетки.

Оценка достоверности результатов анализа МКЭ производится тестированием МКЭ на задачах, для которых известно точное решение. Для получения наиболее точного результата и снижения трудоемкости расчета по МКЭ систем со сложным очертанием контура конечные элементы КЭ задают с различными размерами и числом узлов на сторонах. Этот этап расчета можно рассматривать как подготовку исходных данных для счета, компьютерная поддержка которого выполняется препроцессором [2].

Расчет напряженно-деформированного состояния свайного фундамента с усиливающими элементами (уширениями) будем осуществлять с помощью системного численного изучения на основе решения МКЭ в системе препроцессора FEMAP с решателем NE/NASTRAN. По недавним сведениям разработчиков решателя NE/NASTRAN с его использованием за восемь часов удалось решить систему из полмиллиарда уравнений [3].

Для создания геометрической модели сваи с уширениями и ее конечно-элементного анализа используем элемент типа Solid. Данный элемент создает трехмерную модель твердой конструкции, изображается как двумерный, но в действительности является объемным.

Проведем исследования сваи с совместным концевым и поверхностным уширениями в результате одновременного нагружения вертикальной и горизонтальной нагрузками с использованием МКЭ. Общий вид фундамента представлен на рисунке 1. Данная конструкция состоит из готовой сваи, погружаемой различными методами: забивкой, вдавливанием, подмывом; верхнего уширения, состоящего из четырех сборных клиньев, погружаемых забивкой или вдавливанием и выполненных из того же материала, что и свая, и концевого уширения, образованного в результате подачи цементного раствора. Свая с уширениями может быть использована при строительстве на любых грунтах, допускающих ее погружение, в том числе на просадочных, водонасыщенных, набухающих структурно-неустойчивых грунтах.

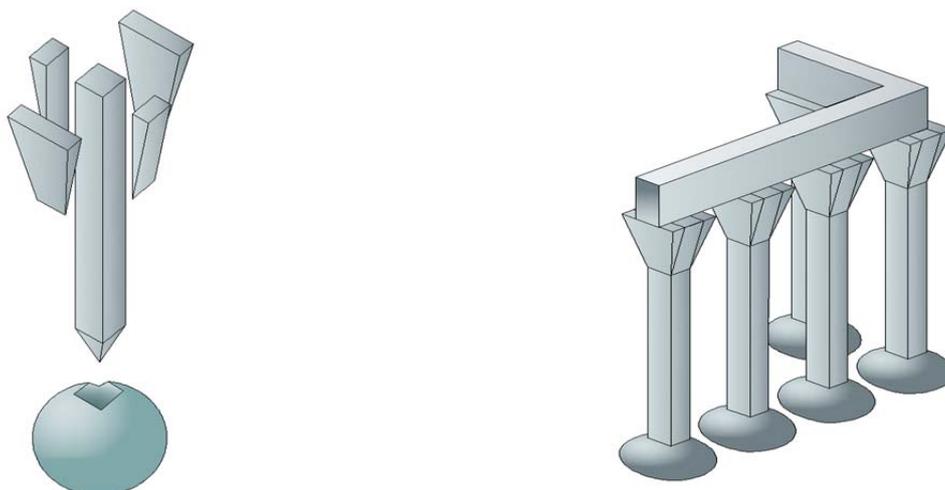


Рисунок 1 – Фундамент из свай с совместным концевым и поверхностным уширениями: а – деталь; б – общий вид

Пакет конечно-элементного анализа MSC/visual NASTRAN позволяет выполнить практически любой вид их расчета и оптимизации. Расчетная модель сваи создана по всем параметрам базовой испытываемой модели.

Конечно-элементная модель грунта со свайей (рис. 2) составлена с помощью треугольных элементов с узлами в их вершинах. Применение этих элементов позволяет точнее аппроксимировать геометрию криволинейных поверхностей (уширений сваи) и получать более высокую точность при меньшем числе элементов. Размеры сетки соответствуют размерам лотка с грунтом, в котором проводились эксперименты. Применяется данный элемент для моделирования очень толстых тел, имеющих постоянное поперечное сечение, и является объемным. Стиль деформации результатов программа представляет в виде анимации (см. рис. 3) и в виде изополей различных цветов (см. рис. 6), что позволяет наиболее точно отследить характер сжатия элементов (перемещения грунта).

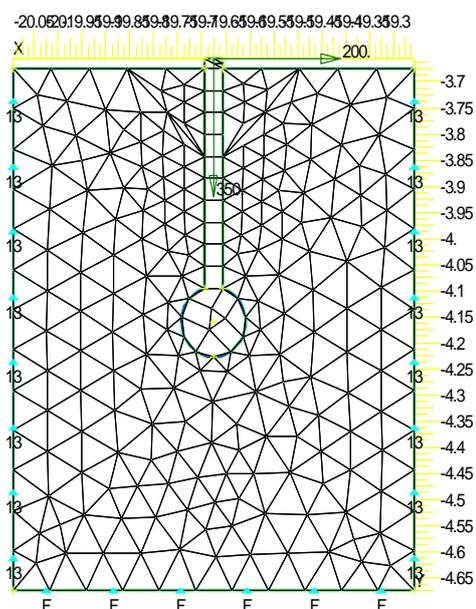


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель из четырехугольных тетраэдров сваи с совместным поверхностным и концевым уширениями

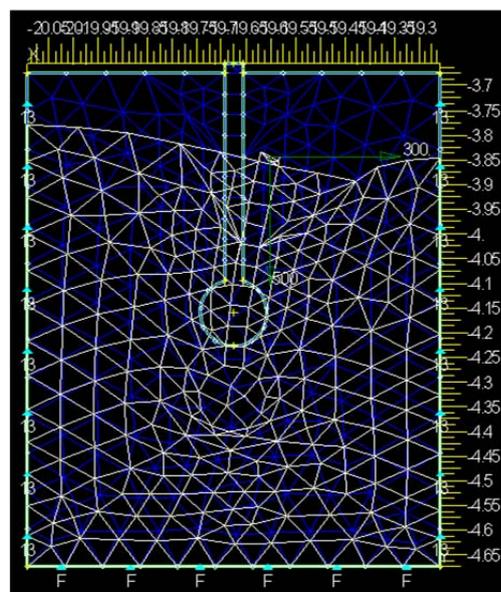


Рисунок 3 – Изображение деформаций грунта и сваи

На рисунке 2 показана конечноэлементная модель сваи с уширениями в массиве грунта. Свая с уширением и грунт разбиты на 465 треугольных элементов (четырёхугольных тетраэдров).

эдров). В системе координат вывода заданы граничные условия для степеней свободы узла. Узел каждого конечного элемента содержит 3 степени свободы: перемещение по осям X , Y , Z . Система координат XYZ элементов, построенная для тетраэдров, определяется в терминах трех векторов R , S и T (рис. 4).

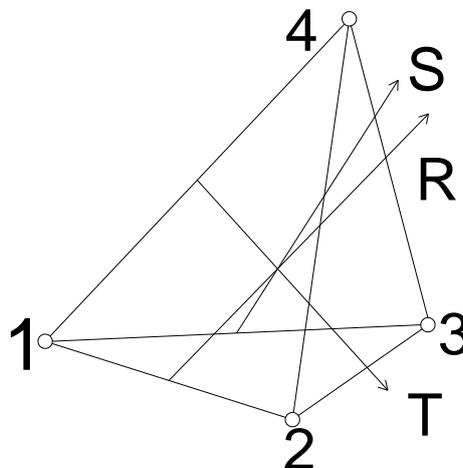


Рисунок 4 – Построение системы координат для пространственного конечного элемента в виде тетраэдра, нумерация узлов

Для тетраэдра векторы R , S и T проводятся через середины противоположных ребер. Направления осей X , Y и Z выбирают так близко к R , S и T , насколько это возможно. Точное значение вычислений получали путем увеличения количества КЭ. Грани КЭ прямые. При смещении грани угла конечного элемента остаются прямыми, что не мешает получить точное значение исследуемых параметров. В расчетах НДС напряжения в толще грунта и перемещения сваи определяли под действием нескольких загрузок вертикальными (280 Н, 350 Н, 500 Н) и горизонтальными (100 Н, 200 Н, 300 Н) нагрузками. В решении использовались следующие данные: коэффициент Пуассона – 0,2; модуль упругости грунта 15000000 Н/м^2 ; модуль упругости сваи $2,698E+10 \text{ Н/м}^2$; массовая плотность сваи 2500 кг/м^3 ; массовая плотность грунта 1830 кг/м^3 . На рисунке 4 представлены результаты расчета сваи на действие горизонтальной нагрузки 300 Н в виде изополей напряжений и перемещений.

Геометрические параметры сети и свойства материалов взяты из экспериментальных исследований, которые были проведены в лабораторных условиях. Для получения наиболее достоверных результатов расчета напряженно-деформированного состояния сваи с совместными уширениями на одновременное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок проводились испытания в лотке. Установка для погружения сваи, устройству уширений и загрузке сваи представлена на рисунке 5. Эксперимент проводился в следующей последовательности:

- 1) вдавливание модели сваи (армированной трубкой внутри) в лоток с помощью рычага;
- 2) нагнетание цементного раствора по ранее отработанной технологии для образования концевого уширения;
- 3) выдерживание 27 суток для твердения концевого уширения;
- 4) одновременное вдавливание клиньев с четырех сторон (или попарное с двух сторон);
- 5) фиксация пластины по верху сваи с проволокой для горизонтального нагружения;
- 6) установка штатива с индикаторами часового типа для измерения перемещений;
- 7) одновременное нагружение сваи вертикальной и горизонтальной нагрузкой;
- 8) обработка результатов эксперимента.

Все результаты экспериментов проходили статистическую обработку измерений. Методика статистической обработки результатов измерений освящена В.А. Вознесенским в работе [5], в которой идет речь об основных концепциях нового статистического направления – математической теории эксперимента в случаях использования методов планирования и анализа результатов наблюдений. Так, необходимое количество испытаний образцов определяет

ся по формуле: $n=t^2 \gamma^2 / [\Delta]$, где γ – коэффициент вариаций, $\gamma=G/\chi$; χ – среднее арифметическое изучаемой величины; G – ее среднее квадратичное отклонение изучаемой величины, (G^2 – дисперсия); t , $[\Delta]$ – коэффициент доверия, определяющий вероятность предельной ошибки измерений и предельная относительная ошибка с заданной вероятностью; $[\Delta=0,05]$.

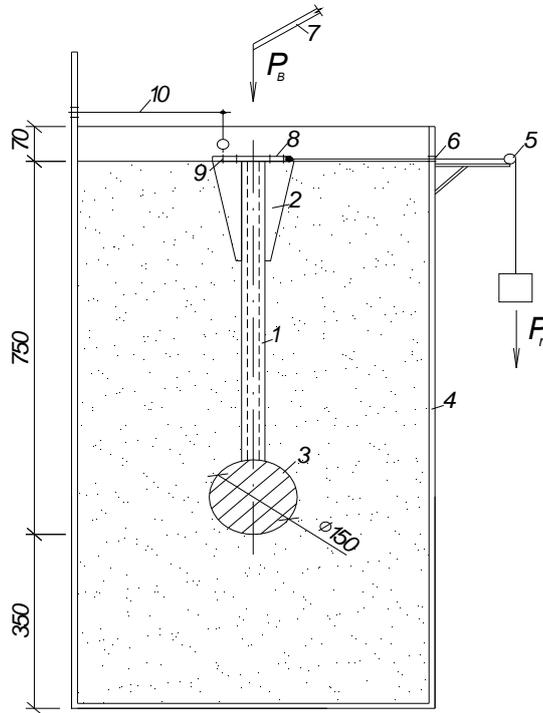


Рисунок 5 – Лабораторная установка для одновременного загрузения в лотке с песком сваи с поверхностным и концевым уширениями вертикальной и горизонтальной нагрузками: 1 – свая с трубой внутри для подачи цементного раствора под ее нижний конец; 2 – ж/б клинья; 3 – концевое уширение сваи; 4 – лоток с опорным столиком и штативом для индикатора; 5 – блок с нитью для подвешивания груза (горизонтального нагружения); 6 – отверстие для пропуска нити; 7 – рычаг, закрепленный к лотку для вертикального нагружения; 8 – деревянная пластина для крепления проволоки; 9 – фиксаторы крепления клиньев к пластине; 10 – индикаторы часового типа

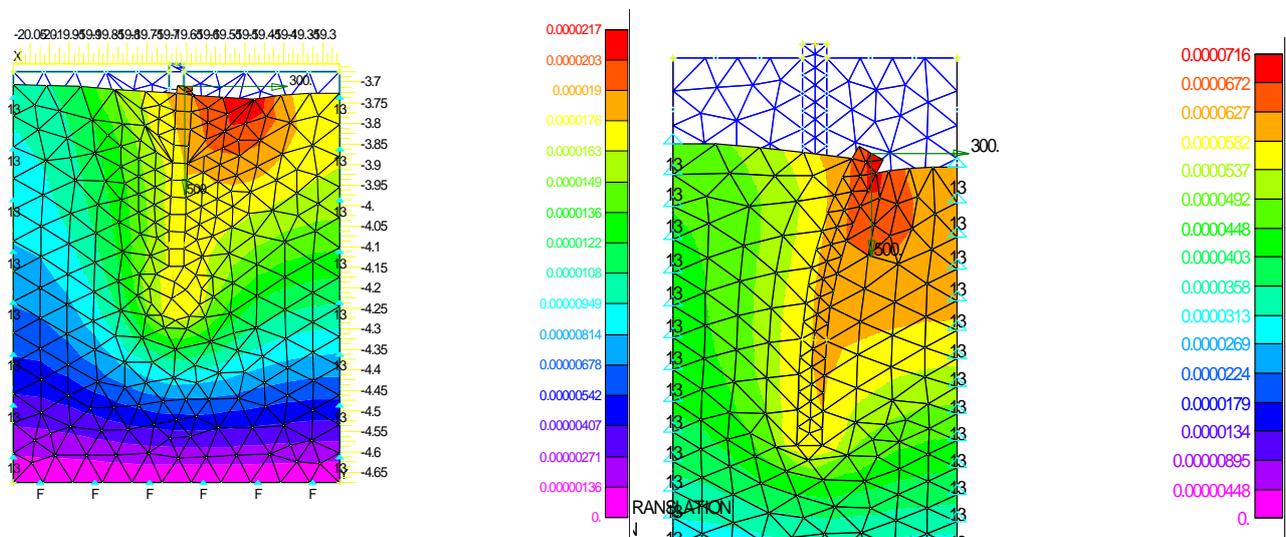


Рисунок 6 – Изополя перемещений сваи без уширений и сваи с совместным поверхностным и концевым уширениями и при действии горизонтальной нагрузки (300 Н) и вертикальной (500 Н)

Величина t определяется по таблице критических значений коэффициента Стьюдента (t -критерия) для различной доверительной вероятности p и числа степеней свободы f .

Изучаемой величиной в данном случае является смещение сваи от вертикального нагружения (V_v), тогда $\gamma = G/V_v$. Обработка результатов лабораторных экспериментальных исследований сваи с концевым и поверхностным уширениями сведена в таблицу 1.

Статистическая обработка результатов сведена в таблицы 2 и 3.

Таблица 1 – Перемещения сваи с концевым и поверхностным уширениями в лабораторных условиях

№ п/п	Тип загрузки (по горизонтали, Н / по вертикали, Н)	Перемещения сваи в верхней точке с концевым и поверхностным уширениями (Δ , 10^{-2} мм)	Перемещения базовой модели в верхней точке (Δ , 10^{-2} мм)
1	(100;280)	0.46	1.8
2	(150;300)	0.92	2.76
3	(200;350)	1.91	5.87
4	(400;550)	2.31	7,24

Таблица 2 – Пример статистической обработки результатов экспериментальных данных первого этапа нагружения

	P_1			P_2			P_3			P_4		
	V_i	$(V_i - \bar{V})$	$(V_i - \bar{V})^2$	V_i	$(V_i - \bar{V})$	$(V_i - \bar{V})^2$	V_i	$(V_i - \bar{V})$	$(V_i - \bar{V})^2$	V_i	$(V_i - \bar{V})$	$(V_i - \bar{V})^2$
1	0.5	0.034	0.0011	0.9	0.058	0.00336	1.94	0.03	0.0009	2.467	0.027	0.000729
2	0.52	0.014	0.000196	0.95	0.008	0.000064	1.88	0.003	0.00009	2.48	0.004	0.000016
3	0.54	0.006	0.000036	0.96	0.002	0.00004	1.93	0.02	0.0004	2.453	0.013	0.000169
4	0.55	0.016	0.000256	0.98	0.022	0.00048	1.9	0.01	0.0001	2.5	0.022	0.000484
5	0.56	0.026	0.000676	1	0.042	0.001764	1.9	0.01	0.0001	2.61	0.006	0.000036
	2.67		0.002264	4.79		0.0057	9.55		0.00159	12.51		0.001434

Таблица 3 – Статистическая обработка результатов экспериментальных данных нагрузок

\bar{V}	0.534	0.958	1.91	2.44
G^2	0.00056	0.0014	0.00056	0.0014
γ	0.044	0.039	0.046	0.032
t	2.14	2.14	2.14	2.14
Δ	0.042 < 0.05	0.036 < 0.05	0.046 < 0.05	0.032 < 0.05

Изучаемой величиной в данном случае является смещение сваи от горизонтального (V_h) и вертикального (V_v) смещения сваи у ее основания, тогда $\gamma = G/V_v$ и $\gamma = G/V_h$.

Статистическая обработка результатов экспериментальных данных показала погрешность измерений в лабораторных условиях < 0,05. Результаты можно оценить с большой точностью достоверными. В результате расчета сваи с совместными уширениями при нескольких нагружениях вертикальной и горизонтальной нагрузок получены ее перемещения и напряжения в грунте. Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета сваи без уширения и сваи с концевым и поверхностным уширениями

№ п/п	Тип загрузки (по горизонтали, Н; по вертикали, Н)	Свая без уширения (Δ , 10^{-2} мм; σ , кПа)	Свая с концевым и поверхностным уширениями (Δ , 10^{-2} мм; σ , кПа)
1	(100;280)	(3,64; 55,34)	(1,02; 26,31)
2	(200;350)	(4,95; 127,3)	(1,67; 35,04)
3	(300;500)	(6,55; 154,8)	(2,17; 38,77)

На рисунке 6 представлены изополя перемещений сваи без уширений и сваи с совместным поверхностным и концевым уширениями и при действии горизонтальной нагрузки 300 Н и вертикальной – 500 Н, что позволяет выполнить сравнительный анализ работы сваи с уширениями и базовой модели. Видно, что деформация системы «грунт-свая-уширения» в 3,5 раза меньше, чем системы «грунт-свая».

Сравнительный анализ расчета с помощью программы, основанной на методе конечных элементов базовой модели сваи и сваи с совместными уширениями позволяет сделать выводы, что эффективность второй конструкции подтверждается снижением деформаций в 3,3 раза, и напряжений в грунте в 5 раз. Применение исследуемой модели сваи при строительстве на структурно-неустойчивых основаниях и при значительных нагрузках, для которых предварительно необходимо проводить мероприятия, направленные на устранение отрицательных характеристик грунта, позволит значительно снизить осадку фундамента, сократить сроки возведения и затраты на производство работ нулевого цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленин, В.П. Итерационные методы расчета систем с внешними и внутренними односторонними связями: диссертация доктора технических наук: 05.23.17. – Волгоград, 2002. – 327 с.: ил. РГБ ОД, 7103-5/57.
2. Купчикова, Н.В. Исследование напряженно-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в структурно-неустойчивых основаниях: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.02 / Купчикова Наталья Викторовна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. – Москва, 2010. – 200 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/32.
3. Рычков, С.П. Моделирование конструкций в среде NASTRAN [Текст] / С.П. Рычков. – М.: NT Press, 2004.
4. Сапожников, А.И. Основы конструирования и обеспечения карсто-сейсмоустойчивости многоэтажных зданий [Текст] / А.И. Сапожников. – А.: АИСИ, 2001.
5. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст]. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

Купчикова Наталья Викторовна

ГАОУ АО ВПО «Астраханский инженерно-строительный институт»

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология, организация строительства и экспертиза, управление недвижимостью»

Тел.: +7 (8512) 25-00-91

E-mail: kupchikova79@mail.ru

N. KUPCHIKOVA

NUMERICAL STUDY OF THE SYSTEM «PILE FOUNDATION THE REINFORCING ELEMENT» FINITE ELEMENT TECHNIQUE

Abstract: This paper presents the results of experimental studies on the model of the pile with a terminal broadening formed by injecting grout into the soil surface and the broadening of the teams wedges. A comparative analysis of the experimental results and the results of numerical studies of the work of the "pile foundation - reinforcing elements" with the system of numerical study based on the finite element solutions in the prepost processor FEMAP solver with NE / NASTRAN.

Keywords: *pile foundation with end and broadening of the surface; the numerical study; experiment; finite element method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Alenin, V.P. Iteracionnye metody rascheta sistem s vneshnimi i vnutrennimi odносторонними svjazjami: dissertacija doktora tehničkih nauk: 05.23.17. – Volgograd, 2002. – 327 s.: il. RGB OD, 7103-5/57.
2. Kupchikova, N.V. Issledovanie naprjazhjonno-deformirovannogo sostojanija svajnyh fundamentov s koncevymi i poverhnostnymi ushirenijami v strukturno-neustojchivyh osnovanijah: dissertacija ... kandidata tehničkih nauk: 05.23.02 / Kupchikova Natal'ja Viktorovna; [Mesto zashhity: Mosk. gos. un-t putej soobshh. (MIIT) MPS RF]. – Moskva, 2010. – 200 s.: il. RGB OD, 61 11-5/32.
3. Rychkov, S.P. Modelirovanie konstrukcij v srede NASTRAN [Tekst] / S.P. Rychkov. – M.: NT Press, 2004.
4. Sapozhnikov, A.I. Osnovy konstruirovaniya i obespecheniya karsto-sejsmoustojchivosti mnogojetazhnyh zdaniy [Tekst] / A.I. Sapozhnikov. – A.: AISI, 2001.
5. Voznesenskij, V.A. Statisticheskie metody planirovaniya jeksperimenta v tehniko-jekonomičeskikh issledovanijah [Tekst]. – M.: Finansy i statistika, 1981. – 263 s.

Natalya Kupchikova

Astrakhan Institute of civil engineering

Candidate of technical sciences, associate professor, head of the department «Technology, organization of construction and evaluation, management of real estate»

Ph.: +7 (8512) 25-00-91

E-mail: kupchikova79@mail.ru

ТРАВУШ В.И., АНТОШКИН В.Д., ЕРОФЕЕВ В.Т.,
ГУДОЖНИКОВ С.С.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СБОРНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Рассмотрены вопросы конструктивно-технологического формообразования сферических оболочек на основе геодезической сети. Исследовано несколько конструктивно-технологических методов образования треугольных сетей на сфере, которые были названы «Транер». В каждой из них критерием оптимальности является минимальное число типоразмеров конструктивных деталей и минимальное число монтажных элементов купола, возможности укрупнительной сборки и предварительного напряжения.

Ключевые слова: сборная сферическая оболочка; конструктивно-технологическая форма; панель; правильный шестиугольник; разрезка; купол.

В отечественной практике куполостроения наибольшее применение получили сетчатые купола на основе сеток с треугольными ячейками, а также геодезические системы куполов, стержни которых являются ребрами многоугольников, вписанных в сферу, использующих разрезки М.С. Туполева, Г.Н. Павлова [1, 2]. При этом во всех конструктивных решениях куполов просматривается тенденция применения уже на стадии разрезки и формообразования этих покрытий эффективных технологических решений изготовления отдельных элементов, стендовой укрупнительной сборки сегментов куполов, возведения их с обеспечением заданной точности монтажа покрытия в целом или основных его несущих конструкций. Учитывая, что не все возможности разбиения сферы на панели или стержни еще исчерпаны и то, что преобладающее количество сетчатых куполов построено на сфере, дальнейшее рассмотрение вопросов формообразования сетчатых куполов нами проводилось, исходя из построений на сфере.

С учетом вышесказанного, предлагаемые авторами геометрические схемы членения сферической оболочки разработаны путем использования в качестве исходной основы двух сферических правильных треугольников (так называемых треугольников Мебиуса) – икосаэдрального и октаэдрального. Сферические части (многогранники геодезической или кристаллической разрезки) имеют оси симметрии (вращения и зеркально поворотные), поэтому для вариантов построения сферических сетей выполнялись разрезки только внутри сегментов граней, составляющих одну шестую часть грани (так называемый сферический треугольник Шварца) икосаэдра (внутренние углы в градусах 36-90-60).

Одним из критериев оптимальности разрезки является минимум типоразмеров основных составляющих оболочки. Кроме этого, для соответствующих условий могут быть и другие критерии, как, например, максимум числа однотипных монтажных элементов, возможности укрупнительной сборки или максимум эстетического качества по одному или нескольким эстетическим признакам при минимуме сборных деталей. Каждая разновидность разрезки, как геометрическая основа, имеет свои технологические и конструктивные возможности и будет оптимальна только для определенного вида куполов или оболочек. Отсюда следует, что должны быть предложены, рассчитаны и проработаны параметры нескольких типов разрезов, чтобы в конкретной проектной ситуации можно было выбирать тот вариант, который был бы оптимален для конкретного проектируемого здания или сооружения.

Нами предложены и исследованы несколько конструктивно-технологических методов образования треугольных сетей на сфере, которые даются здесь под названием «Транер». В каждой из них критерием оптимальности является минимальное число типоразмеров конструктивных деталей и минимальное число монтажных элементов купола, возможность укрупнительной сборки и предварительного напряжения.

Суть предложенных вариантов (рис. 1-3) разрезов «Транер» [3] заключается в том, что сборная сферическая оболочка монтируется из трех-, пяти-, шестиугольных панелей с углами, лежащими на сфере. Разнотипные марки таких панелей одинаковым образом расположены в пределах каждой треугольной грани правильного сферического 20-гранника (икосаэдра) и имеют на вершинах 20-гранника панели в виде правильных сферических пятиугольников.

В предлагаемом первом варианте разрезов сферической оболочки (рис. 1, а, б и 2) панели на центрах граней и на серединах сторон-ребер правильного сферического 20-гранника выполняются в виде правильного шестиугольника. В другом варианте (рис. 1, в, г и 3) на серединах сторон-ребер правильного сферического 20-гранника находятся узлы соединения по углам шестиугольных панелей. Кроме этого в пределах треугольных сферических сегментов, составляющих одну шестую часть грани сферического 20-гранника, и по их сторонам выполняются сферические или плоские шестиугольники-панели с центрами и углами, лежащими на сфере и описанными своими окружностями из соответствующих центров панелей. При этом смежные пяти- или шестиугольники-панели соединены между собой только в одном узле, являющимся одной из точек пересечения или касания окружностей, образующих эти сферические многоугольники-панели, а между каждыми смежными тремя такими панелями образуется треугольная панель. Все шестиугольные и пятиугольные панели для сравнения с существующими аналогами также разбиты на треугольные панели. В результате образуются сферические многогранники в виде треугольных сетей на сфере, которые образуют необходимые нам сочетания многоугольников (шестиугольников, пятиугольников и треугольников между ними).

На рисунках 1, а и б изображены сборные сферические оболочки в виде полного 960-гранника (из треугольников) и полного 2880-гранника (оба из треугольников) с правильными шестиугольными панелями над центрами граней O_0 правильного сферического 20-гранника, над серединами сторон-ребер O_2 расположены также правильные шестиугольные панели, на вершинах O_1 граней правильного сферического 20-гранника – правильные пятиугольные панели. 960-гранник получен делением (условно) ребер 240-гранника и добавлением новых ребер, соединяющих предыдущие в местах деления. Число ребер N последующих многогранников может быть определено из формулы $N = 240 n^2$ (где n – условное число членений ребер на подоснове в виде 240-гранника). После размещения окружностей, затем оптимизации параметров треугольной сети положение вершин многогранников (центров и углов многоугольников) будет совпадать с положением сторон треугольных сферических сегментов, составляющих одну шестую часть грани сферического 20-гранника только для тех многоугольников, центры которых на них расположены. Для остальных положение треугольников, их составляющих может быть немного смещено относительно геодезической сети. Это вызвано использованием дополнительных ограничений, которые позволяют значительно снизить число типоразмеров: равных радиусов окружностей, правильных шестиугольников, осей-меридианов в пределах треугольников Шварца, как осей симметрии.

На рисунках 1, в и г показаны сборные сферические оболочки в виде полного 720-гранника и полного 2160-гранника, где на серединах сторон-ребер правильного сферического 20-гранника находятся узлы соединения по углам шестиугольных панелей. Из множества решений выбрано оптимальное решение разрезки сферы и системы координат, исходя из критерия минимума типоразмеров элементов и сборных панелей. Число ребер N последующих многогранников может быть определено из формулы $N = 720 n^2$ (где n – условное число членений ребер на подоснове в виде 720-гранника).

В производном конструктивно-технологическом решении на тех же рисунках 1-3 показаны сборные сферические оболочки их сегменты, в которых изменяются формы сборных панелей и представлено так, что панели в виде указанных пяти- и шестиугольников выполняют в виде сферических или плоских кругов с точками соединения, лежащими на сфере, описанными своими радиусами из соответствующих центров панелей, причем смежные круги-панели также соединены между собой только в одном узле, являющемся одной из точек пересечения окружностей или в точке касания этих окружностей, образующих эти круги-панели. Между каждыми смежными такими тремя панелями всегда образуется остаточная панель с тремя уг-

лами и узлы соединения выполнены с устройством зазора между панелями-кругами, компенсирующим нахлест окружностей, с заполнением зазора вставками. Если панели-круги выполняются сферическими, то они могут соединяться внахлест, полностью или частично перекрывающая участки остаточных панелей сферы.

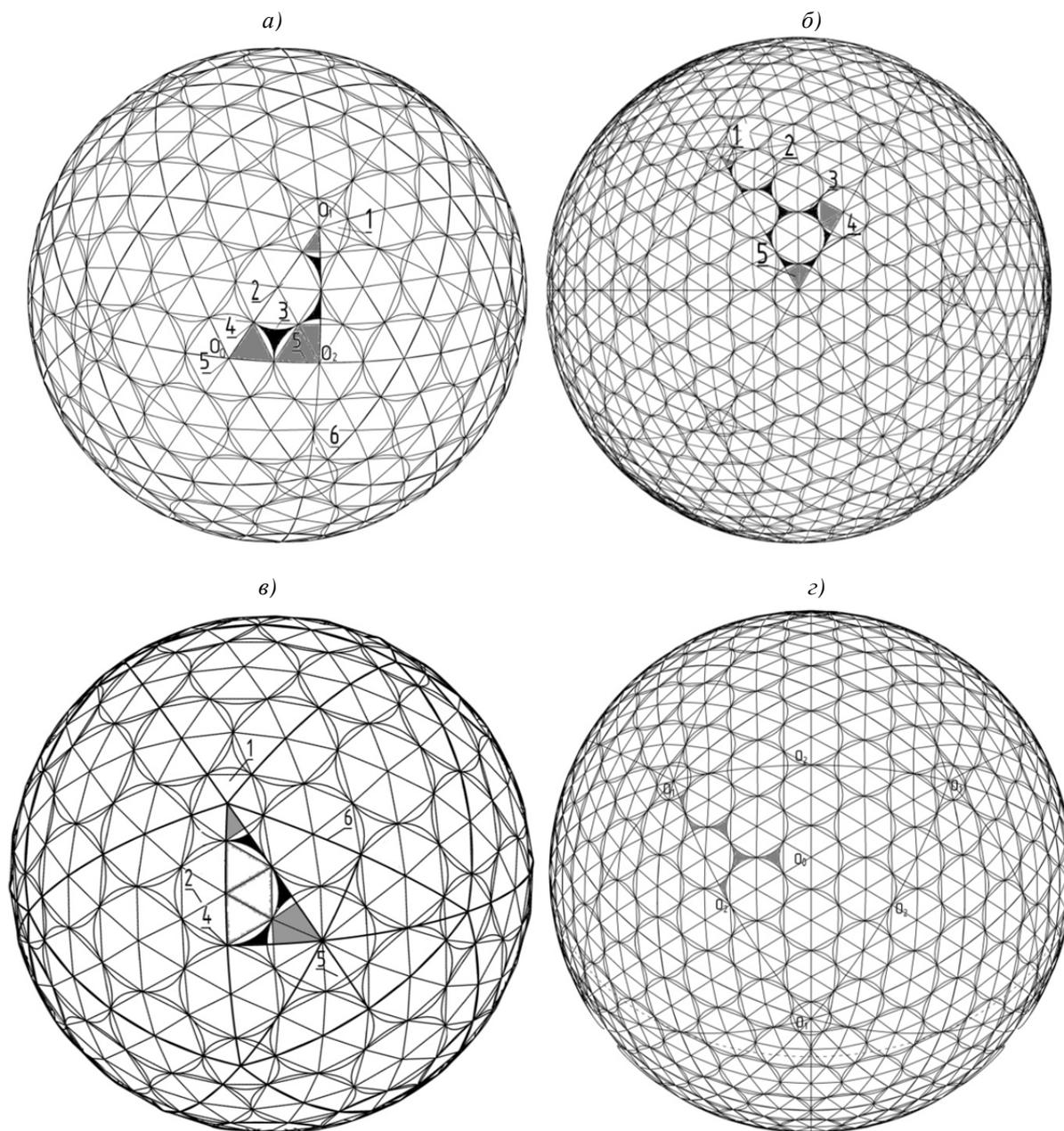


Рисунок 1 – Схемы разрезов сборной сферической оболочки на основе деления 240-гранника и 720-гранника (условно базовых): а – 960-гранник; б – 2880-гранник; в – собственно 720-гранник; з – 2160-гранник; 1 – панели в виде правильного плоского пятиугольника; 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы соединения панелей; 5 – панели в виде правильных плоских шестиугольников; O_o – центр грани икосаэдра

На рисунке 2, а показана на сферическом сегменте, составляющем одну шестую часть грани сферического 20-гранника, разрезка 240-гранника на сфере (начальная базовая разрезка на шестиугольники, пятиугольники и затем на треугольники), состоящего из ребер только 4-х типоразмеров или из двух правильных пятиугольной и шестиугольной панелей и одного типа треугольной панели-вставки; на рисунке 2, б показана разрезка 960-гранника на сфере, состоящего только из 8-ми ребер разной длины или из двух правильных пятиугольной и шести-

угольной панелей, одной неправильной шестиугольной панели и трех типов треугольных панелей-вставок; на рисунке 2, *в* показана разрезка 2160-гранника, состоящего только из 13-ти ребер разной длины или из двух типов правильных пятиугольной и шестиугольных панелей, трех неправильных шестиугольных панелей и пяти типов треугольных панелей-вставок (10 типоразмеров); на рисунке 2, *г* показана разрезка 3840-гранника. Для данных типов разрезов эффективные решения получены Р.Б. Фуллером (США), у которого число типов ребер M определяется по формуле $M = 2t$, где t – число членений ребер основы 60-гранника.

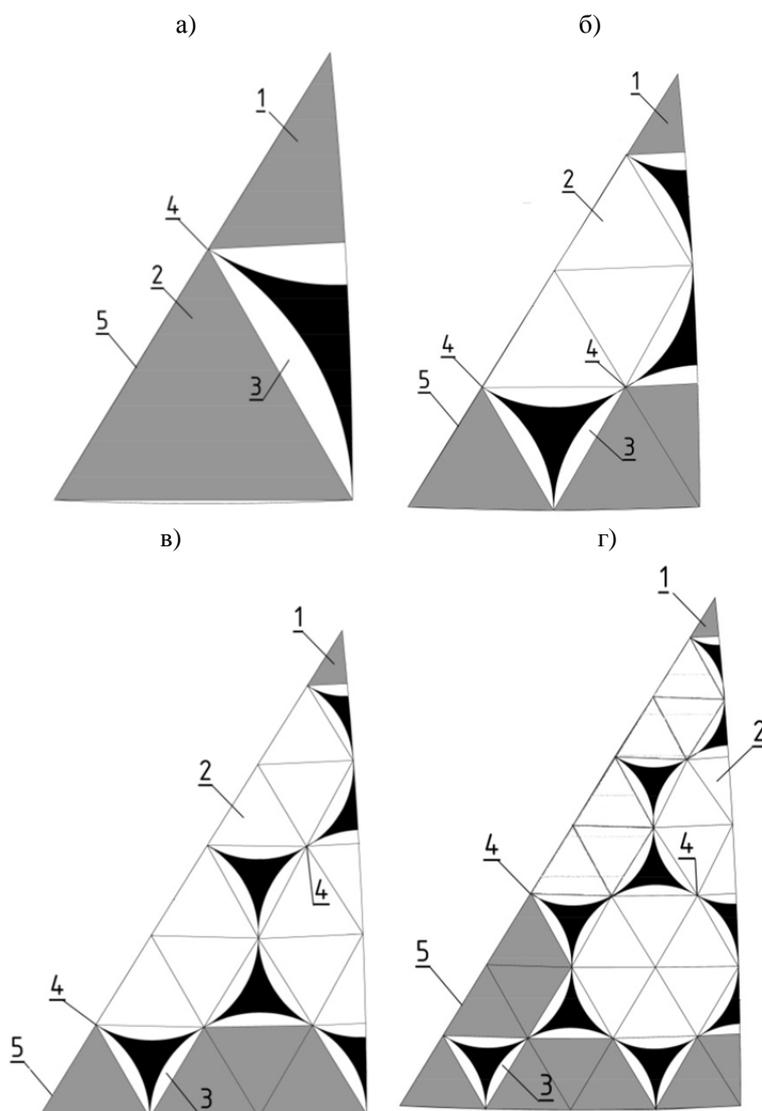


Рисунок 2 – Сегменты сборной сферической оболочки: а – 240-гранника; б – 960-гранника; в – 2160-гранника; г – 3840-гранник; 1 – панели в виде правильного плоского пятиугольника; 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы соединения панелей; 5 – панели в виде правильных плоских шестиугольников

На рисунке 3, *а* показана на сферическом сегменте, составляющем одну шестую часть грани сферического 20-гранника, разрезка 720-гранника на сфере (начальная базовая разрезка на шестиугольники, пятиугольники и затем на треугольники), состоящего из ребер только 7-и типоразмеров или из двух правильных пятиугольной и шестиугольной панелей, одной неправильной панели и одного типа треугольной панели-вставки; на рисунке 3, *б* показана разрезка 2880-гранника на сфере, состоящего из ребер только 17-ти типоразмеров или из трех правильных пятиугольной и шестиугольных панелей, четырех неправильных шестиугольных панелей и шести треугольных панелей-вставок (13 типоразмеров). Для этих разрезов эффективные ре-

шения получены М.С. Туполевым (СССР), у которого число типов ребер N определяется по формуле $N = n(n+1)3/2$, где n – число членений ребер основы 60-гранника.

Применяя каждый способ разбивки, можно поверхность шара расчленить на определенное число шестиугольных и треугольных ячеек, начиная с приведенных рядов многогранников (рис. 2 и 3). Совокупность разрезов, полученных путем применения данного способа разбивки с последующим делением, образует семейство или систему разрезов одного вида (например, $240 n^2$: 240, 960, 2160, 3860 и т.д.).

Для разработки алгоритма геометрического расчета разрезов, предлагаемых конструктивно-технологических систем, воспользуемся повторяемостью параметров сети на любом сферическом треугольнике Шварца (икосаэдра, октаэдра или тетраэдра) и, соответственно, на любом совместимом сферическом треугольнике или в сферическом секторе. При решении указанной проблемы предложены также автоматизированные средства в системах ArchiCAD, AutoCAD и LIRA 9.4, дополненных специальными программными элементами.

Проведем оптимизацию треугольной геометрической сети на сфере по критерию минимума типоразмеров элементов размещением правильных и неправильных шестиугольников (вписанных в окружности минимальных размеров) в совместимых сферических треугольниках, составляющих одну шестую часть грани сферического икосаэдра, показанных на рисунках 4-6. Используем кроме симметрии осей сторон совместимых сферических треугольников Шварца свойства симметрии главных линий (окружностей) сферы, а также возможности центральной симметрии окружностей.

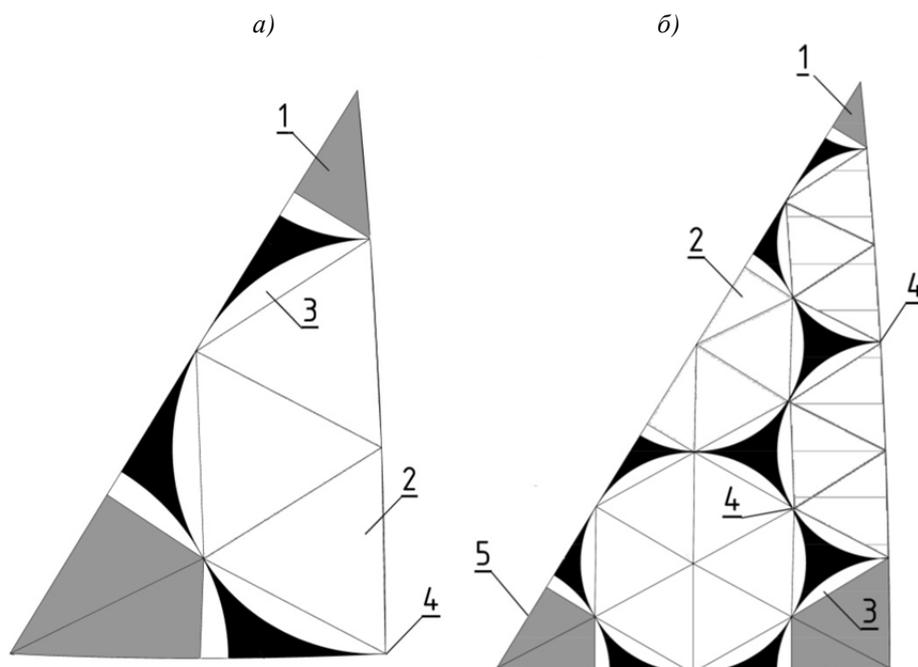


Рисунок 3 – Сегменты сборной сферической оболочки: а – 720-гранника; б – 2880-гранника; 1 – панели в виде правильного плоского пятиугольника; 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы соединения панелей; 5 – панели в виде правильных плоских шестиугольников

На рисунке 5, а, б показано расположение линии экватора 2 сферы по короткой стороне треугольника Шварца. Меридиональные оси – главные линии (окружности) 3 выполнены, соответственно, прямые углы к экватору 2.

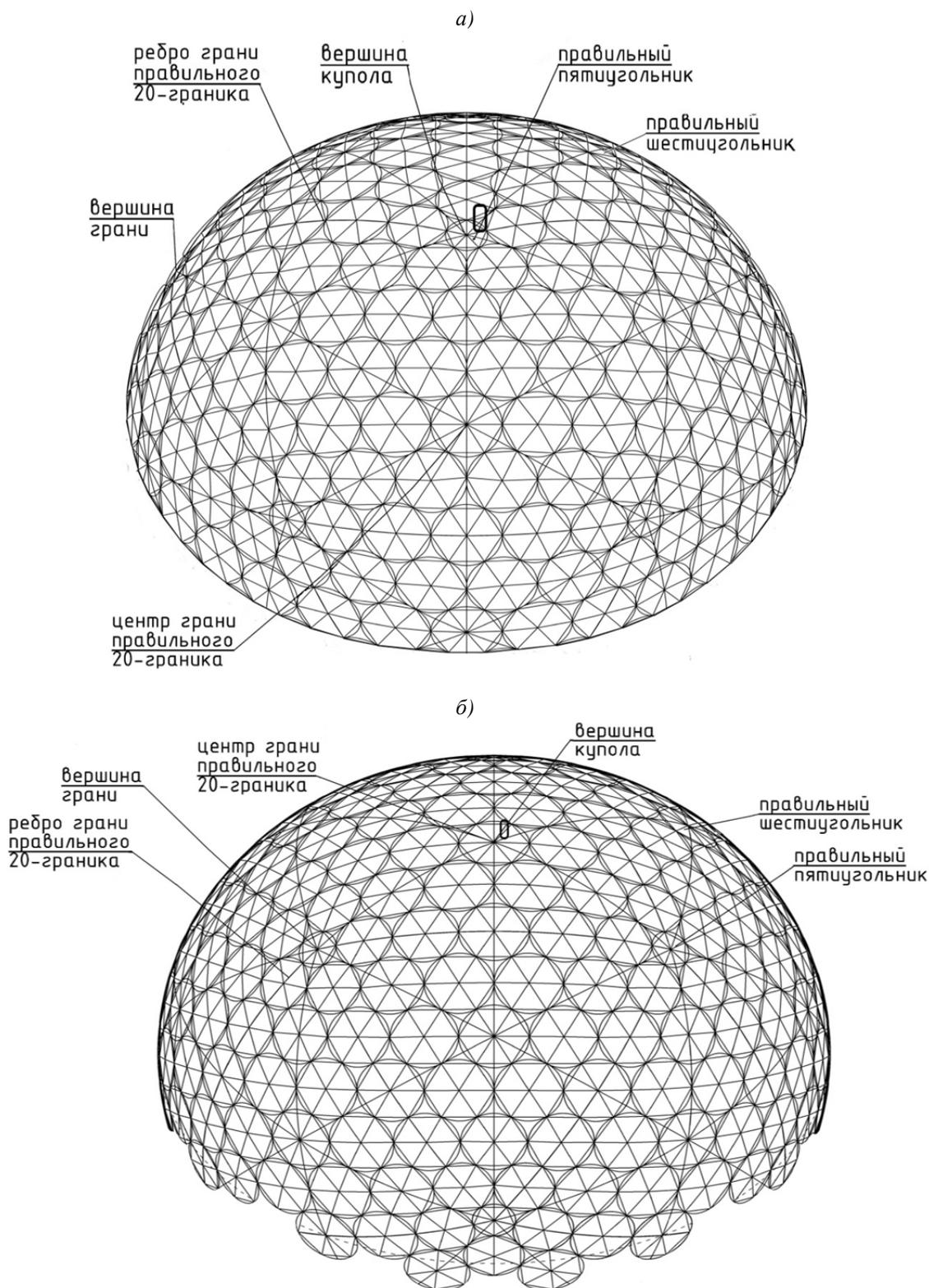


Рисунок 4 – Схема сборной оболочки с разрезкой 2880-гранника (O – вершина оболочки), состоящего из ребер 20-ти типоразмеров или из трех правильных пятиугольной и шестиугольных панелей, трех неправильных шестиугольных панелей и восьми треугольных панелей-вставок: а – оболочка с вершиной в виде правильной пятиугольной панели; б – оболочка с вершиной в виде правильной шестиугольной панели

С учетом ограничений в виде осей-сторон треугольника Шварца, а также необходимости размещения пятиугольника на вершинах граней икосаэдра, получим разрезку 2880-гранника на сфере, состоящего из ребер только 17-ти типоразмеров или из трех правильных

пятиугольной и шестиугольных панелей, четырех неправильных шестиугольных панелей и семи треугольных панелей-вставок (14 типоразмеров).

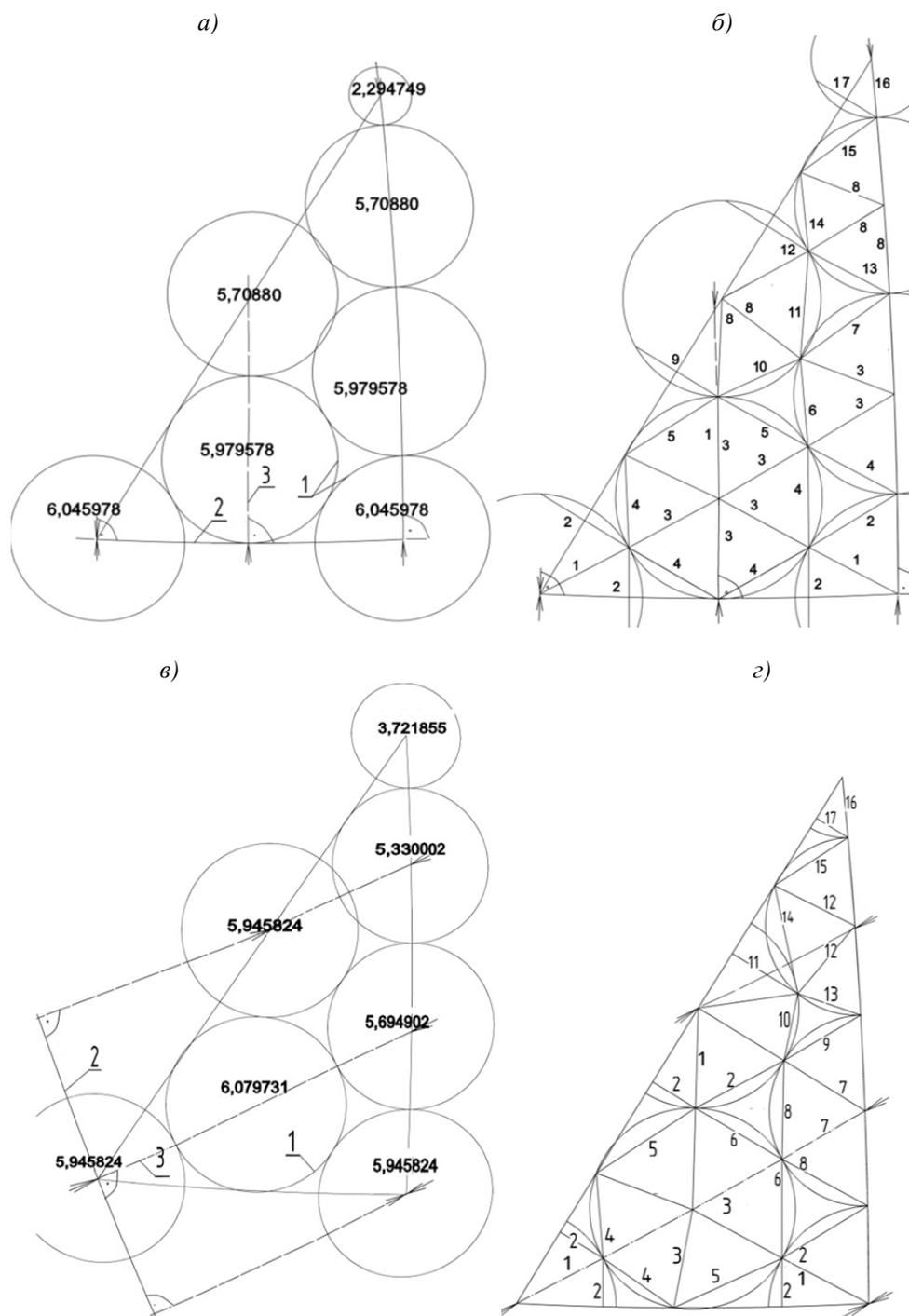


Рисунок 5 – Сегменты сборной сферической оболочки: а – 720-гранника; 1 – окружности описывающие пятиугольники и шестиугольники; 2 – линия экватора сферы; 3 – линии меридианов; б – 2880-гранника; цифрами пронумерованы ребра

На рисунке 5 в, г показано применение расположения линии экватора 2 сферы под наклоном 60° к короткой стороне треугольника Шварца в центре грани икосаэдра. С учетом ограничений получим оптимальную по критерию минимума типоразмеров разрезку 2880-гранника на сфере, состоящего из ребер только 17-ти типоразмеров или из трех правильных пятиугольной и шестиугольных панелей, четырех неправильных шестиугольных панелей и шести треугольных панелей-вставок (13 типоразмеров).

На рисунке 6 показано расположение линии экватора 2 сферы под наклоном 30° к короткой стороне треугольника Шварца в середине стороны-ребра грани икосаэдра. Меридианы 3 здесь будут располагаться с разным шагом, со смещением на длинной стороне треугольника Шварца для размещения трех равных окружностей 1 (радиус 1, табл. 1). Применяя методы оптимизации, с учетом ограничений получим более равномерную разрезку 2880-гранника на сфере, но состоящего из ребер 20-ти типоразмеров или из трех правильных пятиугольной и шестиугольных панелей, четырех неправильных шестиугольных панелей и восьми треугольных панелей-вставок (15 типоразмеров). В подобной разрезке М.С. Туполева 30 типоразмеров. Полярные углы радиусов окружностей 1 даны на рисунках 5 и 6 в градусах.

Длины ребер наиболее теоретически сложной разрезки оболочки «2880-гранника» (рис. 6, б) показаны в таблице 1. Координаты оболочки (рис. 4, а и 6, б) показаны в таблице 2.

Таблица 1 – Длины ребер 2880-гранника для диаметра 200 м

№ элемента по рис. 5, б	Длина (м)	№ элемента по рис. 5, б	Длина (м)	№ элемента по рис. 5, б	Длина (м)	№ элемента по рис. 5, б	Длина (м)
1	10,48946	6	10,26358	11	9,827022	16	9,780301
2	10,47502	7	11,25537	12	10,99763	17	8,120396
3	9,592746	8	9,037283	13	9,222872	18	9,314929
4	11,50103	9	10,41740	14	9,789259	19	6,139684
5	11,16431	10	10,03143	15	9,090033	20	7,214230

Таблица координат дана для «2880-гранника» – для купола со сферическим диаметром 200 м. Она позволяет вычертить основные архитектурно-строительные чертежи покрытия здания, монтажные схемы и их фрагменты в любом ракурсе, выполнить конструирование купола, а также все статические и динамические расчеты.

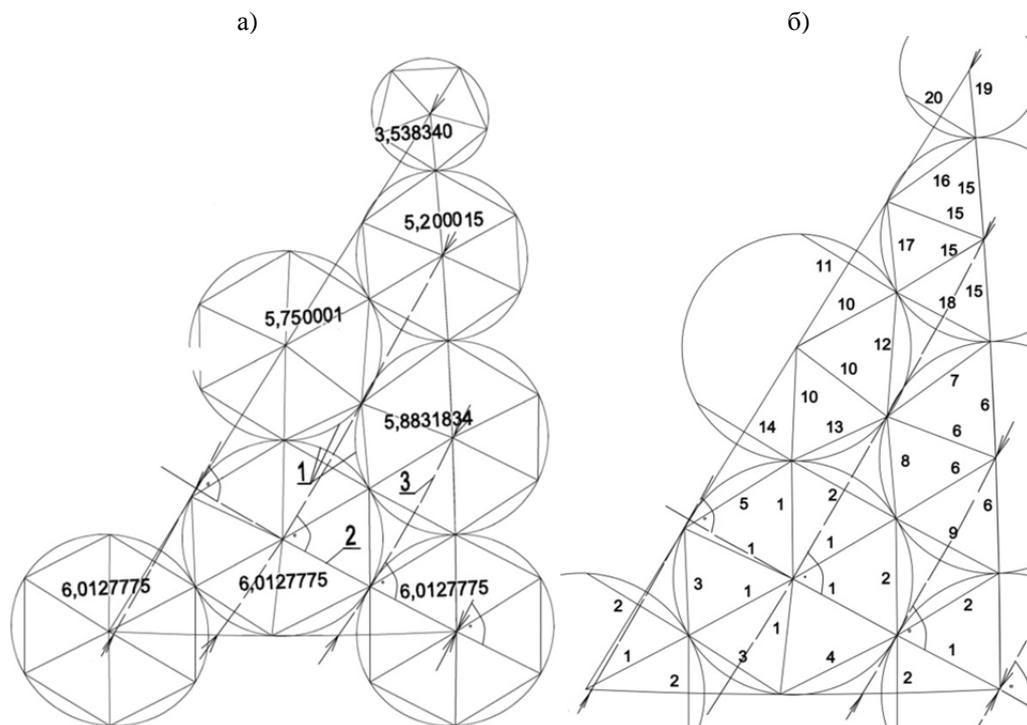


Рисунок 6 – Сегменты сборной сферической оболочки: а – 720-гранника; 1 – окружности описывающие пятиугольники и шестиугольники; 2 – линия экватора сферы; 3 – линии меридианов; б – 2880-гранника; цифрами пронумерованы ребра

Строительство и реконструкция

Таблица 2 – Координаты 2880-гранника для диаметра 200.0 м

№ узла	X (м)	Y (м)	Z (м)	№ узла	X (м)	Y (м)	Z (м)
1	0	0	0	41	-8.6713252	-35.969228	-7.096702
2	0	-10.475025	-0.550144	42	0.3938918	-40.544813	-8.5890433
3	9.0716375	-5.2375132	-0.5501441	43	8.3849063	-34.452933	-6.4976537
4	9.0716384	5.2375116	-0.5501440	44	17.588959	-30.464973	-6.3916992
5	0.0000018	10.4750251	-0.5501440	45	25.644660	-24.48801	-6.4976537
6	-9.0716367	5.2375146	-0.5501440	46	34.915882	-20.613529	-8.5890398
7	-9.0716376	-5.237513	-0.5501440	47	35.485911	-10.475028	-7.0966959
8	-8.5280531	-14.771022	-1.4652893	48	35.682219	-0.0000031	-6.5827679
9	-0.0000001	-20.834795	-2.1945230	49	35.485917	10.4750219	-7.0966977
10	8.5280528	-14.771022	-1.4652892	50	34.915894	20.6135228	-8.5890433
11	18.043461	-10.417399	-2.1945230	51	25.644665	24.4880055	-6.4976537
12	17.056107	-0.0000015	-1.4652893	52	17.588964	30.4649694	-6.3916992
13	18.043463	10.4173953	-2.194523	53	8.3849124	34.4529314	-6.4976537
14	8.5280554	14.7710203	-1.4652892	54	0.3938975	40.544815	-8.5890443
15	0.0000036	20.8347948	-2.194523	55	-8.6713141	35.9692206	-7.0966982
16	-8.5280554	14.7710207	-1.4652893	56	-17.841114	30.9017058	-6.5827679
17	-18.043463	10.4173955	-2.194523-0	57	-26.814599	25.4941892	-7.0966977
18	-17.056107	-0.0000013	-1.4652892	58	-35.309786	19.9312822	-8.5890433
19	-18.043461	-10.417398	-2.1945230	59	-34.029569	9.9649208	-6.4976537
20	-18.041539	-20.773839	-3.8597355	60	-35.17792	-0.0000027	-6.3916992
21	-8.9699018	-26.011352	-3.8597355	61	-34.029568	-9.964926	-6.4976537
22	0.2001596	-30.963451	-4.9146455	62	-35.309783	-19.931288	-8.5890433
23	9.1700613	-25.672273	-3.7875040	63	-35.296707	-29.825555	-11.3175397
24	17.647809	-20.777644	-3.7875040	64	-26.516019	-35.452069	-10.3336654
25	26.715054	-15.655071	-4.9146455	65	-17.444381	-40.689581	-10.3336654
26	27.011442	-5.2375147	-3.8597355	66	-8.1813328	-45.480623	-11.3175397
27	27.011443	5.2375099	-3.8597355	67	-0.403025	-49.674077	-13.2110397
28	26.715057	15.6550659	-4.9146455	68	9.454954	-44.693304	-11.044323
29	17.647812	20.7776406	-3.787504	69	17.331799	-39.846582	-9.9341428
30	9.1700658	25.6722713	-3.787504	70	25.84225	-34.933071	-9.9341428
31	0.200165	30.9634511	-4.9146455	71	33.978057	-30.534884	-11.044323
32	-8.9699058	26.0113502	-3.8597355	72	43.220506	-24.488014	-13.2110314
33	-18.041536	20.7738426	-3.8597355	73	43.478024	-15.655074	-11.317532
34	-26.915217	15.3083793	-4.9146455	74	43.960387	-5.2375183	-10.3336586
35	-26.817872	4.8946275	-3.7875040	75	43.96039	5.2375063	-10.3336594
36	-26.817871	-4.8946316	-3.7875040	76	43.478033	15.6550623	-11.3175347
37	-26.915214	-15.308383	-4.9146455	77	43.220521	24.4880018	-13.2110355
38	-26.814596	-25.494193	-7.0966977	78	33.978063	30.5348784	-11.044323
39	-17.841109	-30.901709	-6.5827679	79	25.842257	34.9330665	-9.9341428
40	-8.6713252	-35.969228	-7.0967020	80	17.331806	39.846579	-9.9341428
81	9.4549598	44.6933054	-11.0443246	126	-50.247364	-8.9196254	-14.0020774
82	-0.4030174	49.6740721	-13.2110368	127	-50.644053	-17.851937	-15.6407193
83	-8.1813241	45.4806159	-11.3175355	128	-51.031201	-27.458693	-18.5025355
84	-17.444371	40.6895727	-10.3336597	129	-50.886204	-36.792949	-22.1740845
85	-26.516016	35.4520556	-10.3336594	130	-42.458778	-43.998722	-20.8712148
86	-35.296705	29.8255423	-11.3175347	131	-34.304984	-48.942953	-19.8267166
87	-42.817498	25.1860587	-13.2110355	132	-25.233347	-54.180466	-19.8267166
88	-43.433015	14.1584166	-11.044323	133	-16.874619	-58.769742	-20.8712148
89	-43.174052	4.9135079	-9.9341428	134	-6.4205238	-62.46522	-22.1740845
90	-43.174052	-4.9135145	-9.9341428	135	1.7945249	-65.797659	-24.7175464
91	-43.433016	-14.158429	-11.0443254	136	10.945367	-60.735231	-21.3143554
92	-42.817499	-25.18607	-13.2110397	137	16.784127	-55.739324	-18.6893558
93	-43.487862	-33.767904	-16.522251	138	25.199407	-50.860889	-17.670419
94	-34.899169	-39.612343	-15.0711457	139	31.447093	-47.253773	-17.6704105
95	-26.488482	-45.879399	-15.185844	140	39.879583	-42.405147	-18.6893464
96	-16.855708	-50.029739	-15.0711457	141	47.125546	-39.846588	-21.3143452
97	-7.4999293	-54.545545	-16.522251	142	56.085161	-34.452943	-24.7175354
98	1.7356773	-57.923663	-18.5025355	143	57.306711	-25.672283	-22.174074
99	9.8617978	-52.785005	-15.6407193	144	59.333383	-14.771033	-20.8712049
100	17.399064	-47.975302	-14.0020759	145	59.538320	-5.2375240	-19.8267076

101	24.482619	-42.405144	-12.8082279	146	59.538323	5.2375008	-19.8267084
102	32.848296	-39.055685	-14.0020759	147	59.333392	14.7710095	-20.8712074
103	40.782234	-34.933074	-15.6407104	148	57.306727	25.672261	-22.1740783
104	49.295504	-30.464979	-18.5025258	149	56.085182	34.4529212	-24.7175412
105	50.987774	-20.777651	-16.5222419	150	47.125571	39.8465726	-21.3143519
106	51.754864	-10.417406	-15.0711373	151	39.879609	42.4051362	-18.6893535
107	52.976954	-0.0000092	-15.1858363	152	31.447122	47.2537672	-17.6704184
108	51.75487	10.4173881	-15.071139	153	25.199413	50.8608885	-17.6704209
109	50.987787	20.7776335	-16.5222453	154	16.784133	55.7393219	-18.6893557
110	49.295523	30.4649626	-18.5025309	155	10.945371	60.7352283	-21.314354
111	40.782255	34.9330634	-15.6407163	156	1.7945274	65.7976545	-24.717543
112	32.848303	39.0556788	-14.0020759	157	-6.4205202	62.4652146	-22.1740796
113	24.482627	42.4051395	-12.8082279	158	-16.874614	58.7697345	-20.8712082
114	17.399072	47.9752993	-14.0020759	159	-25.233341	54.1804565	-19.8267087
115	9.8618044	52.7850014	-15.6407181	160	-34.304978	48.9429427	-19.8267073
116	1.7356825	57.9236583	-18.5025324	161	-42.458775	43.9987111	-20.8712074
117	-7.4999232	54.5455389	-16.5222464	162	-50.886202	36.7929394	-22.1740783
118	-16.855701	50.0297312	-15.0711396	163	-57.879703	31.3447189	-24.7175412
119	-26.488479	45.8793866	-15.1858363	164	-58.070934	20.8886426	-21.3143519
120	-34.899167	39.6123308	-15.071139	165	-56.663733	13.3341737	-18.6893535
121	-43.487859	33.7678926	-16.5222453	166	-56.646525	3.6071106	-17.6704184
122	-51.031199	27.4586826	-18.5025309	167	-56.646525	-3.6071206	-17.670419
123	-50.644052	17.8519262	-15.6407163	168	-56.663733	-13.334184	-18.6893558
124	-50.247363	8.9196144	-14.0020759	169	-58.070936	-20.888652	-21.3143554
125	-48.965242	-0.0000037	-12.8082279	170	-57.879705	-31.344728	-24.7175464

На основе разбиения сферы с помощью сегментов, составляющих одну шестую часть грани (так называемых сферических треугольником Мебиуса) икосаэдра, составлены следующие три базовые системы, которые предоставляют два способа разбивки сферы:

- одноконтурная система из плоских или пространственных шести- и пятиугольников с треугольниками между ними (система «20П240», рис. 2);
- одноконтурная система из плоских или пространственных шести- и пятиугольников с треугольниками между ними («20П720», рис. 3);
- двухконтурная система, состоящая из пяти- и шестигранных пирамид, вершины которых соединены стержнями (система «20ППС», рис. 8, 9).

Для наглядности и оценки влияния точности изготовления элементов на форму купола была выполнена модель сборной сферической оболочки с разрезкой 1280-гранника на сфере из круговых панелей (рис. 7).



Рисунок 7 – Модель оболочки с разрезкой 1280-гранника на сфере

Классификация разрезов проведена путем буквенной индексации видов разрезов и цифрового обозначения отдельных типов разрезов внутри системы (см. рис. 1-7). Авторами приняты следующие обозначения для различения разрезов на сфере: разрезы на икосаэдральных треугольниках обозначаются цифрой 20, а также одной, двумя или тремя большими буквами («20П», «20ПП», «20ППС» и т.п.), что означает, соответственно, однопоясную, двухпоясную или пространственную стержневую системы.

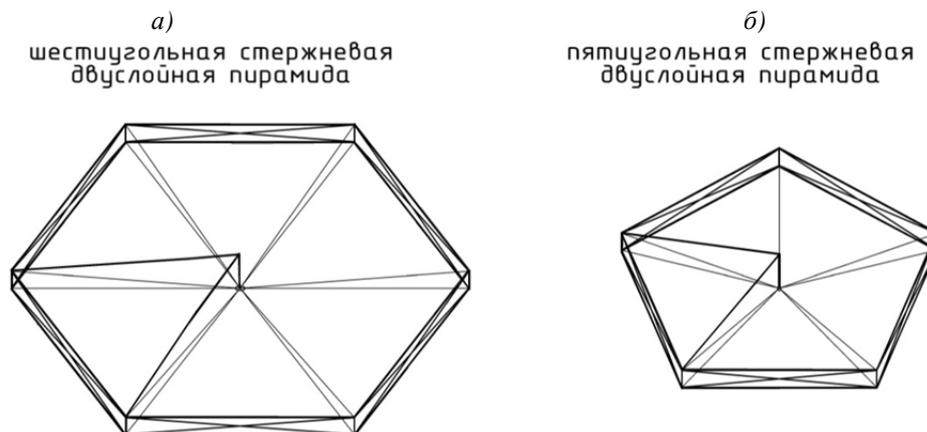


Рисунок 8 – Пирамидальные преднапряженные стержневые панели (толстыми линиями показаны сжатые или сжато-изгибаемые элементы) сборной сферической оболочки: а – шестиугольная двухуровневая; б – пятиугольная двухуровневая

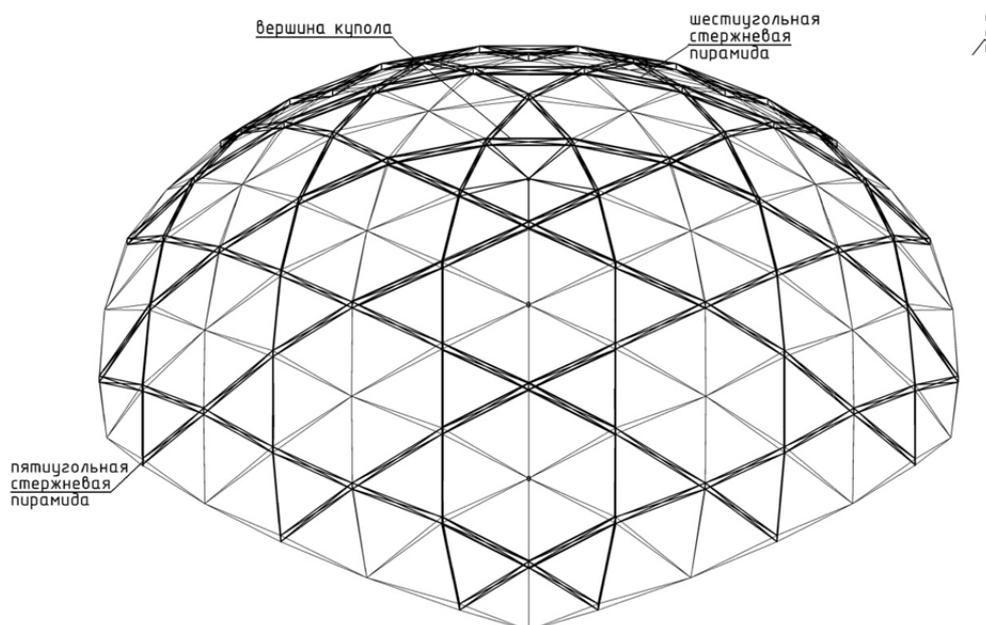


Рисунок 9 – Схема двухуровневой (двухслойной) разрезки сборной оболочки на основе 960-гранника

По приведенным рисункам и схемам можно получить визуальное представление о специфических строительных различиях существующих геодезических оболочек и предлагаемых конструктивно-технологических решений сферических оболочек, имеющих другие геометрические основы.

Выводы

Разработанные сборные сферические оболочки системы «Транер» могут применяться для покрытий зданий различного назначения, а также для устройства сферических отражате-

лей в зеркальных антеннах и концентраторах энергии. Предлагаемые методы оптимизации треугольной сети отражают развитие вычислительных средств. По сравнению с аналогами, эти оболочки имеют максимум однотипных монтажных элементов, возможности укрупнительной сборки и максимум эстетического качества при минимуме сборных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов, Г.Н. Композиционное формообразование кристаллических куполов и оболочек [Текст] / Г.Н. Павлов // Архитектура СССР. – 1977. – №7. – С. 32.
2. Туполев, М.С. Геометрия сборных сферических куполов [Текст] / М.С. Туполев // Архитектура СССР. – 1969. – №1. – С. 15.
3. Травуш, В.И. Современные конструктивно-технологические решения сферических оболочек [Текст] / В.И. Травуш, В.Д. Антошкин, В.Т. Ерофеев, С.С. Гудожников // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2012. – №6 (44) ноябрь-декабрь.

Травуш Владимир Ильич

РААСН, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, академик, вице-президент РААСН

E-mail: travush@mail.ru

Антошкин Василий Дмитриевич

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Архитектура»

E-mail: antovd@mail.ru

Ерофеев Владимир Трофимович

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Доктор технических наук, профессор, декан архитектурно-строительного факультета

E-mail: antovd@mail.ru

Гудожников Сергей Степанович

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Аспирант кафедры «Строительные материалы и технологии»

V. TRAVUSH, V. ANTOSHKIN, V. EROFEEV,
S. GUDOZHNIKOV

CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF SPHERICAL SHELLS

The problems of constructive and technology forming of spherical shells are based on geodetic network. Several design and technological methods of education triangular area networks, which have been called «Traner» are investigated. In each of these optimal criterion is the minimum number of standard sizes of structural components and the minimal number of components from the dome, the possibility of pre-assembly and pre-tension.

Keywords: team spherical shell; constructive and technological forms; panel; a regular hexagon; cutting the dome.

BIBLIOGRAPHY

1. Pavlov, G.N. Kompozicionnoe formoobrazovanie kristallicheskih kupolov i obolochek [Tekst] / G.N. Pavlov // Arhitektura SSSR. – 1977. – №7. – S. 32.
2. Tupolev, M.S. Geometrija sbornyh sfericheskikh kupolov [Tekst] / M.S. Tupolev // Arhitektura SSSR. – 1969. – №1. – S. 15.

3.Travush, V.I. Sovremennye konstruktivno-tehnologicheskie reshenija sfericheskikh obolochek [Tekst] / V.I. Travush, V.D. Antoshkin, V.T. Erofeev, S.S. Gudozhnikov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2012. – №6 (44) nojabr'-dekabr'.

Vladimir Travush

RAABS, Moscow

Doctor of technical sciences, professor, vice-president RAABS

E-mail: travush@mail.ru

Vasilij Antoshkin

Mordovian state university, Saransk

Candidate of technical sciences, associate professor, head of the department «Architecture»

E-mail: antovd@mail.ru

Vladimir Erofeev

Mordovian state university, Saransk

Doctor of technical sciences, professor, dean of the faculty of Architecture and Building.

E-mail: antovd@mail.ru

Sergei Gudozhnikov

Mordovian state university, Saransk

Postgraduate student of the department «Building materials and technologies»

ТУРКОВ А.В., МАКАРОВ А.А.

ПРОГИБЫ И ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК С РАЗЛИЧНЫМИ РАЗМЕРАМИ ЯЧЕЕК НА КВАДРАТНОМ ПЛАНЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СХЕМЫ ОПИРАНИЯ

Рассматривается взаимосвязь основной частоты свободных поперечных колебаний ω систем перекрестных балок с различными размерами ячеек на квадратном плане и их максимальных прогибов W_0 при действии равномерно распределенной нагрузки в зависимости от схемы опирания системы. Построены зависимости прогибов и частот поперечных колебаний в зависимости от соотношения количества опор по одной стороне конструкции к количеству контурных узлов по одной стороне. Показано, что изменения соотношения количества опор по одной стороне конструкции к количеству контурных узлов по этой же стороне существенно не влияет на динамические и жесткостные параметры, а также на коэффициент $K_{расч}$, если количество опор по одной стороне конструкции не менее трех.

Ключевые слова: система перекрестных балок; жесткость узловых соединений; частота собственных колебаний; максимальный прогиб; схема опирания.

Выявленная профессором В.И. Коробко зависимость для упругих изотропных пластин постоянной толщины и произвольной формы [1], которая гласит: вне зависимости от граничных условий произведение максимального прогиба W_0 от действия равномерно распределенной нагрузки q на квадрат основной частоты колебаний балки в ненагруженном состоянии ω с точностью до размерного множителя q/m есть величина постоянная, и соответствует закономерности:

$$W_0 \cdot \omega^2 = K \frac{q}{m}, \quad (1)$$

где m – равномерно распределенная по площади масса пластины.

В настоящем исследовании рассматривается влияние схемы опирания (количества опор) СПБ на динамические и жесткостные характеристики СПБ. В качестве расчетной была принята система перекрестных балок на квадратном плане 18×18 м. Размеры ячеек составляли от 1×1 м до 6×6 м.

Элементы СПБ между собой в узлах соединяются с помощью стальных уголков и стальных нагелей (болтов, шпилек). Схема узлов приведена на рисунке 1. По контуру система перекрестных балок опиралась сначала во всех контурных узлах на шарнирные опоры, затем через одну ячейку были установлены опоры, через две и т.д. до тех пор пока система стала опираться только в угловых узлах. Постоянная нагрузка принята от покрытия (клефанерная плита) $q_{покр} = 0,156$ кН/м² и от собственного веса системы перекрестных балок (сечение дощатоклеевых элементов системы принято постоянным $b \times h = 160 \times 1221$ мм) $q_{св} = 0,187$ кН/м². Снеговая расчетная равномерно распределенная нагрузка принималась $S_g = 1,8$ кН/м². Суммарная равномерно распределенная статическая нагрузка составила $q = 2,143$ кН/м². Для определения собственных частот колебаний в узлы системы прикладывались сосредоточенные грузы, интенсивность которых рассчитывалась по фактическому собственному весу конструкции и составил $G = 0,51$ кН. Модуль упругости древесины в расчетах принимался по нормам [2] $E = 10000$ МПа.

Соотношение жесткости вставки к жесткости элемента самой системы перекрестных балок принято постоянным $EI_{вст}/EI_{эл} = 0,03$.

При статическом расчете нагрузки были приложены в узлы. Исследования проводились методом конечных элементов. Расчет выполнялся в программном комплексе SCAD. В результате расчета определялся максимальный прогиб и основная частота поперечных колебаний

системы перекрестных балок. Результаты расчета конструкции с различными размерами ячеек представлены на рисунках 2, 3 и 4. Они представляют собой графики изменения прогибов и частот колебаний, а также коэффициента $K_{расч}$ в зависимости от соотношения количества опор по одной стороне конструкции к количеству контурных узлов по одной стороне (рис. 3, 4 и 5).

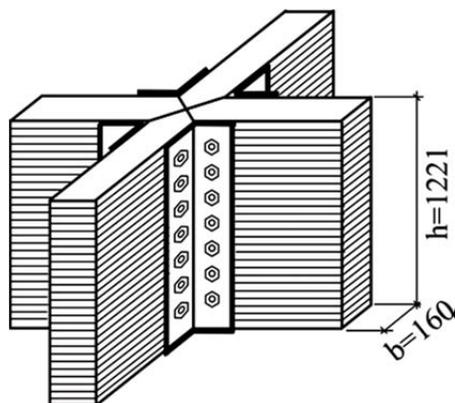


Рисунок 1 – Узел примыкания элементов

Отклонение расчетных значений коэффициента $K_{расч}$ от аналитического вычислялось по формуле:

$$\Delta = \frac{K_{аналит} - K_{расч}}{K_{аналит}} \cdot 100\%$$

и представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента $K_{расч}$ для различных размеров ячеек в зависимости от количества опор

Количество опор по одной стороне, включая углы конструкции	Размер ячейки						
	Отклонение $K_{расч}$ от $K_{аналит}$, в %						
	6×6 м	4,5×4,5 м	3,6×3,6 м	3×3 м	2×2 м	1,5×1,5 м	1×1 м
19	-	-	-	-	-	-	$\frac{1,591726}{-0,61}$
13	-	-	-	-	-	$\frac{1,586584}{-0,29}$	-
10	-	-	-	-	$\frac{1,537973}{2,78}$	-	$\frac{1,591327}{-0,59}$
7	-	-	-	$\frac{1,525687}{3,56}$	-	$\frac{1,586965}{-0,31}$	$\frac{1,590097}{-0,51}$
6	-	-	$\frac{1,399004}{11,57}$	-	-	-	-
5	-	$\frac{1,439575}{9,0}$	-	-	-	$\frac{1,586791}{-0,30}$	-
4	-	-	-	$\frac{1,462606}{7,55}$	$\frac{1,538862}{2,73}$	$\frac{1,587191}{-0,33}$	$\frac{1,589714}{-0,49}$
3	$\frac{1,087731}{31,24}$	$\frac{1,457789}{7,85}$	-	$\frac{1,472908}{6,86}$	-	$\frac{1,591787}{-0,61}$	$\frac{1,593542}{-0,73}$
2	$\frac{1,178572}{25,5}$	$\frac{1,22459}{22,59}$	$\frac{1,1826}{25,25}$	$\frac{1,128183}{28,69}$	$\frac{1,143859}{27,7}$	$\frac{1,130193}{28,56}$	$\frac{1,107642}{29,98}$

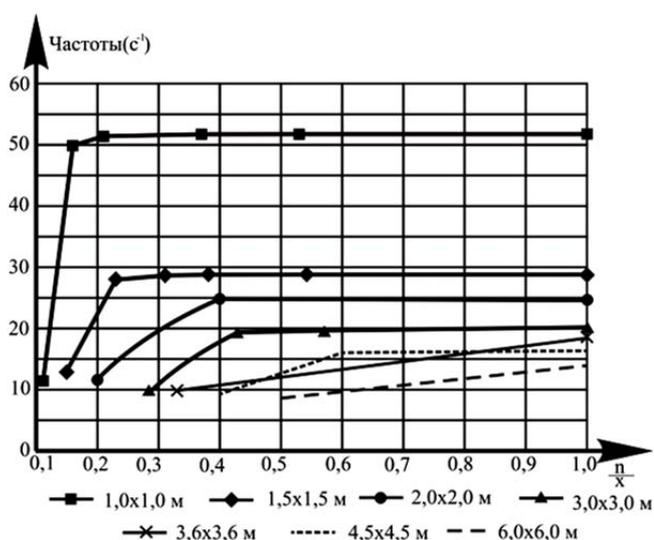


Рисунок 2 – Изменение частот собственных колебаний СПБ в зависимости от соотношения количества опор по одной стороне конструкции к количеству контурных узлов по одной стороне

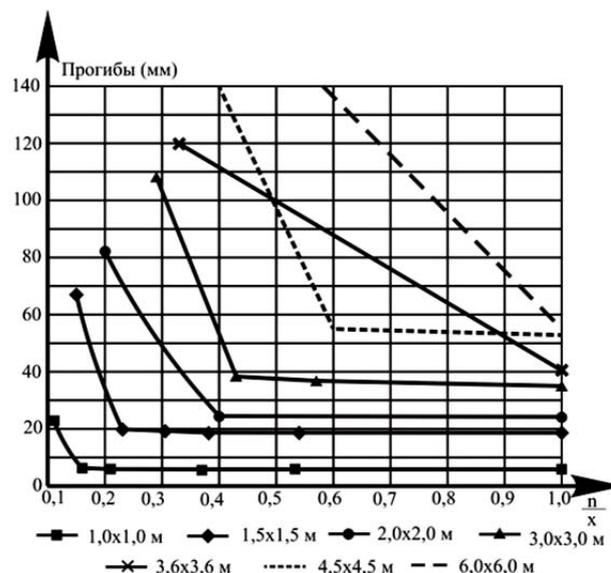


Рисунок 3 – Изменение прогибов в зависимости от соотношения количества опор по одной стороне конструкции к количеству контурных узлов по одной стороне

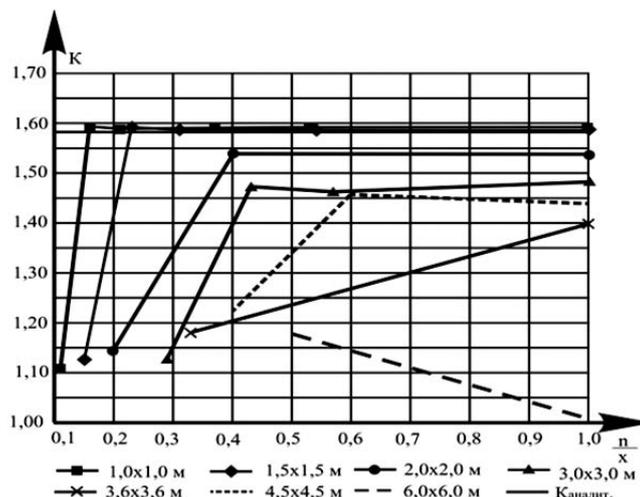


Рисунок 4 – Изменение коэффициента $K_{расч}$ в зависимости от соотношения количества опор по одной стороне конструкции к количеству контурных узлов по одной стороне

Принятые в графике обозначение: n – количество опор по одной стороне конструкции; x – количество контурных узлов по одной стороне.

Графики изменения частот собственных колебаний и прогибов показывают, что резкое изменение этих параметров происходит в каждом случае в разном диапазоне, это вызвано тем, что с увеличением размера ячейки количество контурных узлов изменяется от 4 до 19. Резкий скачок значений происходит во всех случаях, когда опоры остаются только по углам конструкции (2 опоры по одной стороне). В случае, когда по одной стороне находится 3 и более опор, в системах перекрестных балок динамические и жесткостные параметры практически не изменяются по сравнению с опиранием по всем контурным узлам.

Практически аналогично изменяется коэффициент $K_{расч}$, наиболее интенсивное его изменение также наблюдается в случае, когда система опирается по углам.

Заключение

При соотношении $n/x < 0,4$ (где n – количество опор по одной стороне конструкции; x – количество контурных узлов по одной стороне) коэффициент K с точностью до 2,73% соот-

ветствует аналитическому значению для квадратных изотропных пластин постоянной толщины. При больших соотношениях n/x коэффициент K перестает удовлетворять условию (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Об одной «замечательной» закономерности в теории упругих пластинок [Текст] / В.И. Коробко // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – №11. – С. 32-36.
2. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 66 с.

Турков Андрей Викторович

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»

Макаров Артем Алексеевич

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Аспирант

A. TURKOV, A. MAKAROV

DEFLECTIONS AND FREQUENCIES OF OWN FLUCTUATIONS OF SYSTEMS CROSS BEAMS WITH VARIOUS SIZES OF CELLS ON THE SQUARE PLAN DEPENDING ON bearing SCHEME

The relation of the fundamental frequency ω of free transverse vibrations of systems of cross beams with plates on the top belt with different mesh sizes on a square plan and the maximum deflection of the action W_0 evenly spread the load is depending on the circuit bearing system. Dependences of deflections and frequencies of cross fluctuations depending on a ratio of quantity of support on one party of a design to number of planimetric knots on one party are constructed. It is shown that changes of a ratio of quantity of support on one party of a design to number of planimetric knots on the same party, significantly doesn't influence dynamically and stiffness parameters, and also coefficient of K calculated, if quantity of support on one party of a design not less than three.

Keywords: cross-beams; the stiffness of joints for; own-frequency oscillations; the maximum deflection; scheme bearing.

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, V.I. Ob odnoj «zamechatel'noj» zakonovernosti v teorii uprugih plastinok [Tekst] / V.I. Korobko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. – 1989. – №11. – S. 32-36.
2. SNiP II-25-80. Derevjannye konstrukcii [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1982. – 66 s.

Andrey Turkov

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Urban construction and management»

Artem Makarov

State university – educational-science-production complex, Orel
Postgraduate student

УМНЯКОВА Н.П., АНДРЕЙЦЕВА К.С., СМИРНОВ В.А.

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ В УЗЛЕ СОПРЯЖЕНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ С МОНОЛИТНЫМИ МЕЖДУЭТАЖНЫМИ И БАЛКОННЫМИ ПЛИТАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕСУЩЕГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА ШЕКК ИЗОКОРБ

Рассмотрен новый метод расчета температуры в узле сопряжения наружной стены с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами. Произведен расчет трехмерных температурных полей конструкции исследуемого узла, определены удельные тепловые потоки для сопряжения конструкций с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб и для традиционного решения узла. Получены значения удельных тепловых потерь через теплотехнические неоднородности. Предложены новые формулы для вычисления температуры на внутренней поверхности в углу сопряжения междуэтажного перекрытия и наружной стены.

Ключевые слова: тепловая защита зданий; теплопотери; узел сопряжения стены с монолитными междуэтажными и балконными плитами; приведенное сопротивление теплопередаче; тепловые потоки; несущий теплоизоляционный элемент.

Повышение требований к уровню тепловой защиты стен привело к тому, что в современном строительстве возводятся здания преимущественно с трехслойными конструкциями наружных стен. Обладая высокими теплоизоляционными качествами по гладки, они имеют значительное количество металлических и бетонных теплопроводных включений, через которые происходит дополнительные теплопотери, вызывающие понижение температуры на внутренней поверхности ограждения.

В настоящее время в практике строительства широкое распространение получили здания с безригельным каркасом с монолитными междуэтажными перекрытиями, монолитными балконными плитами и трехслойными стенами с эффективным утеплителем.

Монолитные перекрытия с балконами являются мощными «мостиками холода», пересекающими теплоизоляционный контур оболочки здания. Устройство перфорационных отверстий в перекрытии, заполненных теплоизоляционным материалом, позволяют уменьшить теплопотери в узле опирания стены на монолитное перекрытие. Однако остаются армированные участки из тяжелого бетона между перфорационными отверстиями, которые выполняют несущую функцию, передавая нагрузку от балкона на перекрытие. Из-за этих бетонных «мостиков холода» теплотехническая однородность стен значительно уменьшается.

Кардинально новым решением узла сопряжения стены с монолитными междуэтажными и балконными плитами является использование в конструкции сопряжения несущего теплоизоляционного элемента, выпускаемого немецкой фирмой Шекк. Он состоит из эффективного теплоизоляционного материала NEOPOR®, через который проходят арматурные стержни из коррозионно-стойкой стали (коэффициент теплопроводности $\lambda = 17 \text{ Вт} / \text{м}^\circ\text{С}$) (рис. 1), работающие на растяжение и срез. Элемент содержит усовершенствованные опорные элементы из высокопрочного фибробетона в пластиковой несъемной опалубке, воспринимающие сжимающую нагрузку.

Несущий теплоизоляционный элемент Шекк Изокорб устанавливается в монолитный бетон и жестко соединяет монолитное междуэтажное перекрытие и монолитную балконную плиту. Кроме того, он выполняет и теплоизоляционную функцию. Установленный в области стыка балкона с наружной стеной, Шекк Изокорб отсекает железобетонную плиту междуэтажного перекрытия и создает замкнутый теплоизоляционный контур (рис. 2).

Эффективность несущего теплоизоляционного элемента в наружных ограждениях зданий и возможность его применения в климатических условиях РФ была изучена НИИСФ РААСН в ходе теоретических и экспериментальных исследований.

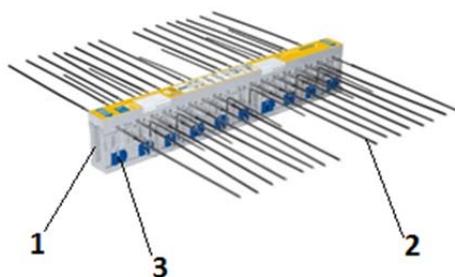


Рисунок 1 – Общий вид несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб; 1 – эффективный теплоизоляционный материал NEOPOR®; 2 – арматура из коррозионностойкой стали; 3 – опорные элементы из высокопрочного фибробетона в пластиковой несъемной опалубке

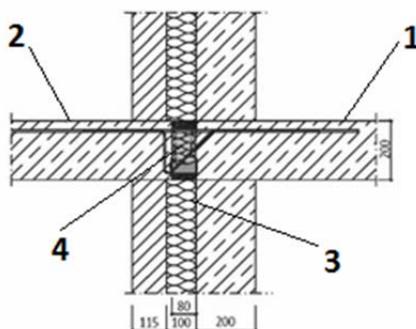


Рисунок 2 – Установка несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб в узел сопряжения монолитного междуэтажного перекрытия, балконной плиты и наружной стены; 1 – монолитная плита междуэтажного перекрытия; 2 – монолитная балконная плита; 3 – теплоизоляционный материал трехслойной стены; 4 – несущий теплоизоляционный элемент Шекк Изокорб

Исследования теплотехнических свойств экспериментальной наружной ограждающей конструкции проводились в климатических камерах НИИСФ в стационарных условиях при температуре воздуха в теплом отделении $t_{\text{в}} = +20^{\circ}\text{C}$, в холодном отделении $t_{\text{н}} = -8^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = -10^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = -20^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = -30^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = -38^{\circ}\text{C}$.

После выхода конструкции на стационарный режим велась запись показаний датчиков температуры в автоматическом режиме. После обработки массива данных были получены значения температуры на внутренних и наружных поверхностях конструкции (рис. 3).

Анализ полученных данных показал, что наиболее низкие температуры на внутренней поверхности конструкции наблюдаются в зоне угла примыкания междуэтажного перекрытия к наружной стене. Проведенные экспериментальные исследования показали, что при температуре внутреннего воздуха $+20^{\circ}\text{C}$ и температуре наружного воздуха -38°C наименьшая температура наблюдается в зоне «мостика холода» при традиционном решении сопряжения наружной стены, балконной плиты и междуэтажного перекрытия и составляет $\tau_{\text{в.угл}} = 11,4^{\circ}\text{C}$ и $\tau_{\text{в.угл}} = 11,62^{\circ}\text{C}$ соответственно в верхнем и нижнем углах конструкции; по центру утеплителя, соответственно, $\tau_{\text{в.угл}} = 14,12^{\circ}\text{C}$ и $\tau_{\text{в.угл}} = 14,1^{\circ}\text{C}$. В соответствии с нормами [1] разность между температурой на внутренней поверхности стены и температурой на внутренней поверхности наружного ограждения должна быть не более 4°C .

При расчетной температуре внутреннего воздуха $+20^{\circ}\text{C}$ температура поверхности должна быть не ниже $+16^{\circ}\text{C}$. Но в условиях эксперимента при $t_{\text{н}} = -38^{\circ}\text{C}$ величина температурного перепада составляет:

- при установке несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб $20 - 15,55 = 4,45^{\circ}\text{C}$ и $20 - 15,7 = 4,3^{\circ}\text{C}$;

- при наличии перфорации в перекрытии:

по центру «мостика холода» $20 - 11,4 = 8,6 > 4$ и $20 - 11,62 = 8,38 > 4^{\circ}\text{C}$;

по центру утеплителя $20 - 14,12 = 5,88 > 4$ и $20 - 14,1 = 5,9 > 4^{\circ}\text{C}$.

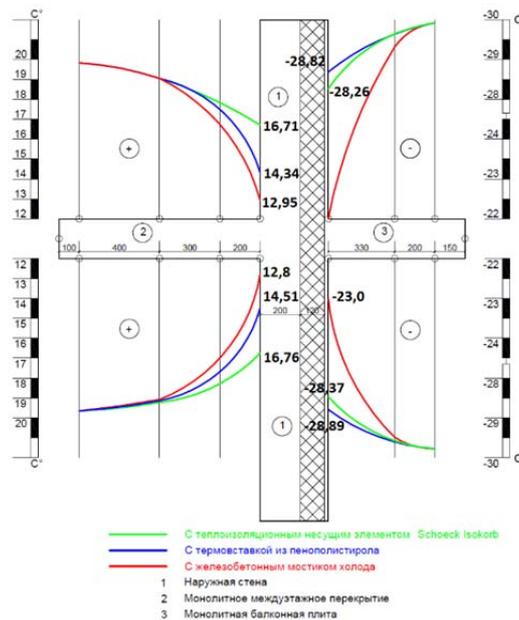
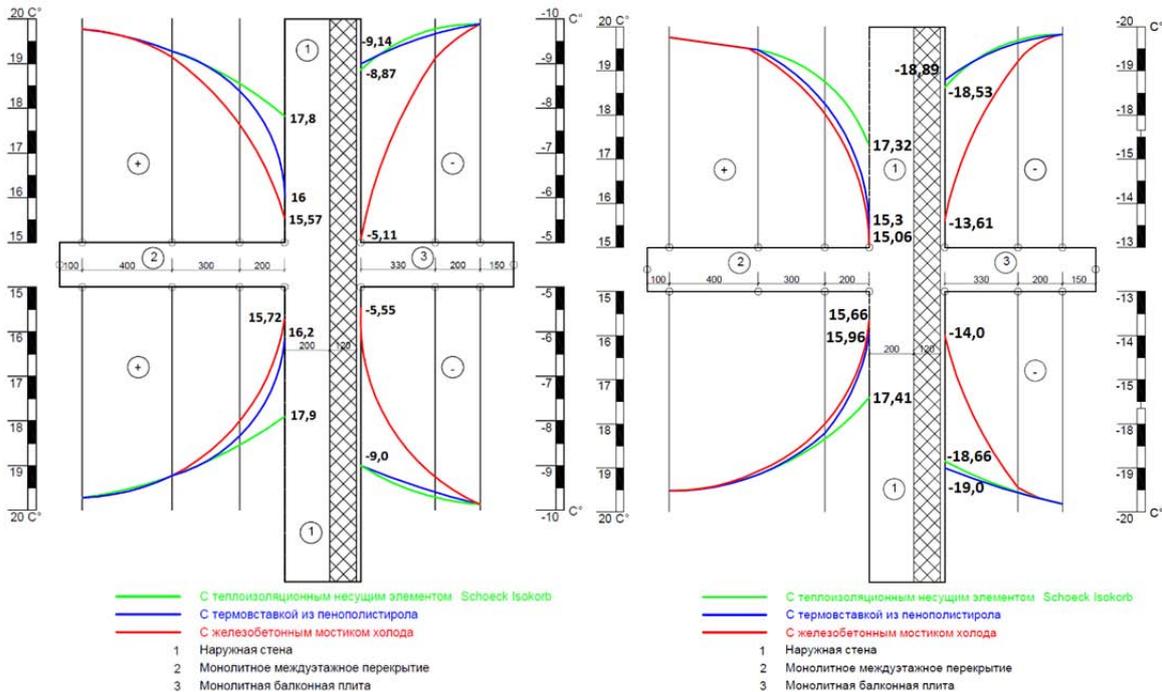


Рисунок 3 – Значения температур на поверхности конструкции

Испытания в климатических камерах [2, 3, 4] при всех режимах исследований показали, что при установке в узел сопряжения несущего теплоизоляционного элемента Шекк температура на внутренней поверхности наружного ограждения отвечает требованиям СП 50.13330.2012 и условиям недопущения образования конденсата. Наиболее высокие эксплуатационные характеристики имеет узел с применением несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб. При традиционном решении данного узла с перфорацией перекрытия нормативный температурный перепад между поверхностью наружного ограждения с внутренним воздухом в зоне узла пре-

вышает нормативную величину 4°C, при этом образование конденсата наступает при относительной влажности внутреннего воздуха 57% и более. Это может привести к образованию конденсата на внутренней поверхности данного узла в кухнях, санитарных узлах, ваннных комнатах и других, где расчетные значения относительной влажности превышают расчетное значение 55%, а также в случае недостаточного воздухообмена в помещениях.

Для оценки теплозащитных качеств узла сопряжения наружной стены с балконной плитой и монолитным междуэтажным перекрытием был произведен расчет трехмерных температурных полей этого узла при традиционном решении междуэтажного перекрытия с перфорацией и с использованием несущего теплоизоляционного элемента фирмы Шекк Изокорб.

Решение задачи стационарного теплообмена при наличии теплообмена с окружающей средой в трехмерной области производилось с помощью метода конечных элементов* (МКЭ) используя программный комплекс Nastran†. Решение задачи разбивалось на три этапа:

1. Построение геометрии расчетной модели, разбиение ее на сетку конечных элементов (КЭ) и задание граничных условий и температурных нагрузок.
2. Решение трехмерной задачи стационарного теплообмена.
3. Обработка и анализ результатов расчета.

Геометрия расчетной модели построена в соответствии с представленными заказчиком чертежами. В связи с высокой вычислительной сложностью разбиения цилиндрических поверхностей в программных комплексах МКЭ на сетку КЭ, в инженерной практике принято производить замену арматурных стержней круглого поперечного сечения эквивалентными по площади поперечного сечения прямоугольными в сечении стержнями. Общий вид узлов для традиционного решения балконов и балконов с элементом Шекк Изокорб представлен на рисунках 4, а и 4, б.

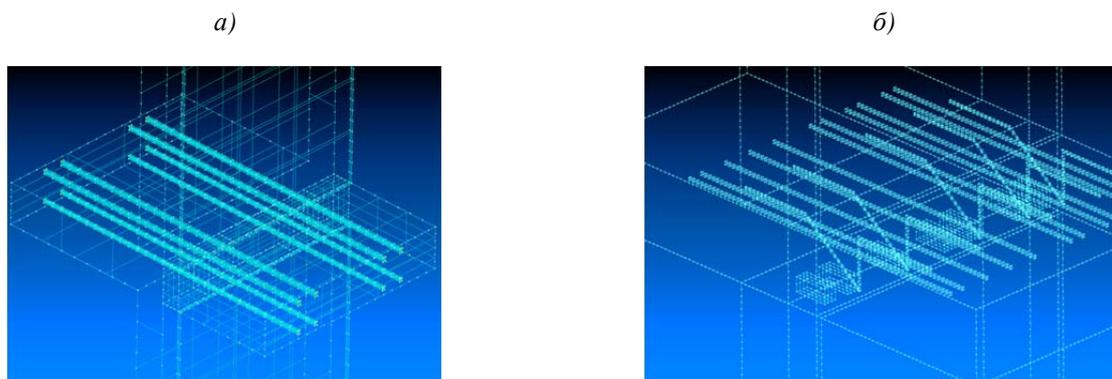


Рисунок 4 – Моделирование арматуры в узлах: а – традиционного решения балкона; б – балкона с применением элемента Шекк Изокорб

Численная модель состояла из набора геометрических примитивов, соответствующих каждому конструктивному элементу в конструкции балкона. Разбиение на сетку КЭ производилось для каждого примитива в отдельности с назначением характеристик материалов. Задание характеристик материалов производилось в соответствии с данными, представленными заказчиком. После разбиения всех примитивов на сетку КЭ производилась сшивка сеток с контролем качества сшивки, при необходимости производилось повторное переразбиение на сетку КЭ.

Разбиение модели на сетку КЭ для случаев традиционного утепления балконного стыка и утепление с применением элемента Шекк Изокорб представлено на рисунках 5, а и б.

Средний размер КЭ в модели рисунка 5, а составил 0,05 м, в модели рисунка 5, б – 0,016 м. Точность разбиения модели по результатам расчета оказалась достаточной для инженерных и научных расчетов. Общее количество конечных элементов и узлов в каждой из моделей представлено в таблице 1.

*Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов – М.: Мир, 1979.

†Nastran V9.1 Thermal Guide. MSC Software corp., 2007.

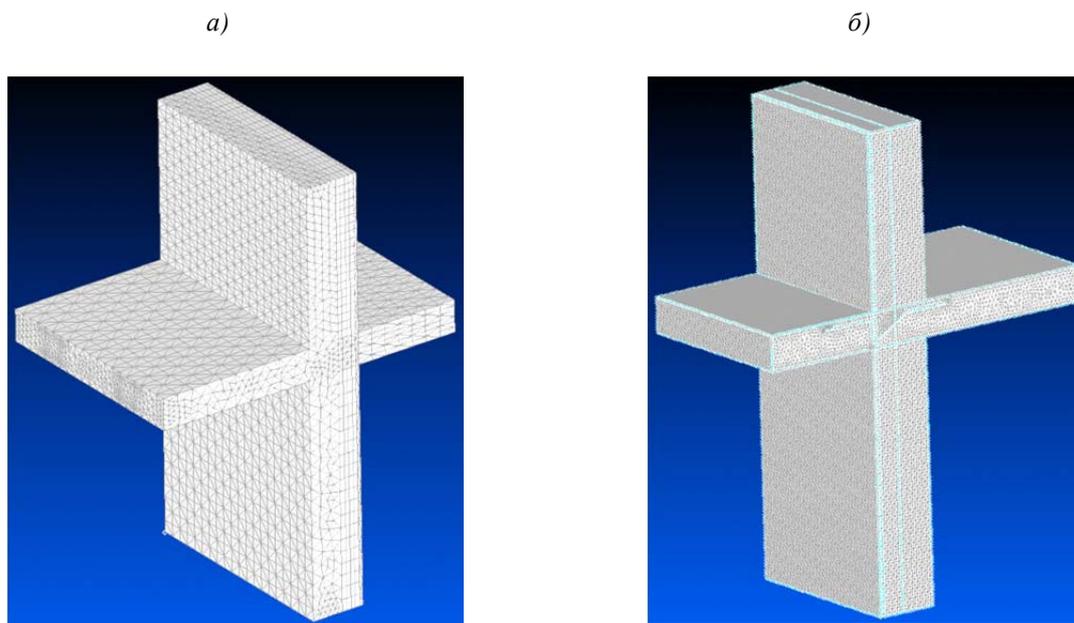


Рисунок 5 – Разбиение модели на сетку КЭ для: а – традиционного случая; б – утепления с применением элемента Шекк Изокорб

Таблица 1 – Количество узлов и КЭ в моделях

Модель	Общее число узлов	Общее число КЭ	Средний размер КЭ, м
Традиционное решение балкона	16692	98230	0,05
Балкон с применением элемента «Шекк»	2029133	2428085	0,016

Для решения задачи применялись 10-узловые тетраэдральные изопараметрические элементы STETRA, представленные на рисунке 6. Большое количество узлов в конечном элементе повышает точность получаемых результатов, а также позволяет произвести сшивку сеток в областях со сложной геометрией (наклонные стержни в элементе Шекк Изокорб, угловые зоны обеих моделей).

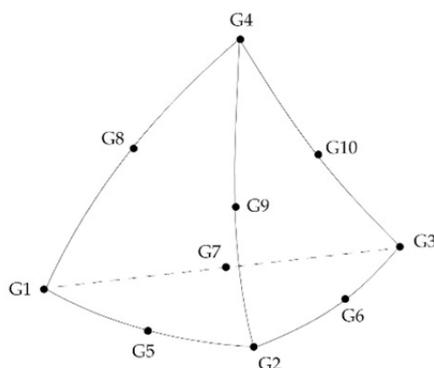


Рисунок 6 – Применяемые элементы STETRA

Для моделирования конвективного теплообмена с окружающей средой применялось нагружение типа «Convection» с параметрами в соответствии с таблицей 2.

Торцевые участки модели были свободны от температурного нагружения, что принимается как теплоизолированная поверхность. Для расчета тепловых потоков, проходящих через экспериментальную конструкцию, решалась трехмерная задача распространения тепловых потоков на основе уравнения теплопроводности Лапласа методом конечных элементов. Для узла сопряжения наружной стены с монолитными междуэтажными перекрытиями и балкон-

ной плитой при традиционном решении перекрытия с устройством перфорационных отверстий конструкция была разбита на сетку из 98230 конечных элементов, для узла с несущим теплоизоляционным элементом Шекк Изокорб – на 2428085 конечных элементов.

Таблица 2 – Коэффициенты теплообмена и температуры в моделях

	Наружная поверхность ограждения	Внутренняя поверхность ограждения
Температура среды	$-10^{\circ}\text{C}, -20^{\circ}\text{C}, -30^{\circ}\text{C}, -40^{\circ}\text{C}$	$+20^{\circ}\text{C}$
Коэффициент теплообмена	$23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{C}}$	$8,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{C}}$ (стена), $5,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{C}}$ (пол, потолок)

Решение трехмерной задачи стационарного теплообмена производилось с помощью решателя NastranSOL 101 «Steady-StateHeatTransfer».

На рисунках 7-9 представлены картины распределения тепловых потоков, проходящих через поверхность экспериментальной конструкции. Как видно из рисунков наибольшие величины тепловых потоков проходят через теплопроводные включения в зоне «мостиков холода». При этом следует отметить, что при понижении температуры наружного воздуха увеличивается влияние железобетонного теплопроводного включения на соседние зоны, в том числе на участок с перфорационными отверстиями, заполненными теплоизоляционным материалом. На рисунке 7 хорошо видно, что при температуре наружного воздуха -10°C в результате влияния железобетонного «мостика холода» доходит до центра перфорационного отверстия, однако площадь распространения зоны с повышенными тепловыми потерями относительно небольшая. При температуре наружного воздуха -30°C влияние железобетонного включения становится очень сильным (рис. 9), и значительные тепловые потоки, проходящие через всю зону примыкания наружной стены к монолитному перекрытию, уменьшаются незначительно к центру перфорационного отверстия.

При установке несущего теплоизоляционного элемента Шекк картина распространения тепловых потоков кардинально отличается. Повышенные величины тепловых потоков проходят через незначительную полосу поверхности, прилегающей к углу сопряжения. При этом величины тепловых потоков в 1,5-2, 5 раза меньше, чем при традиционном решении междуэтажного перекрытия (рис. 10).

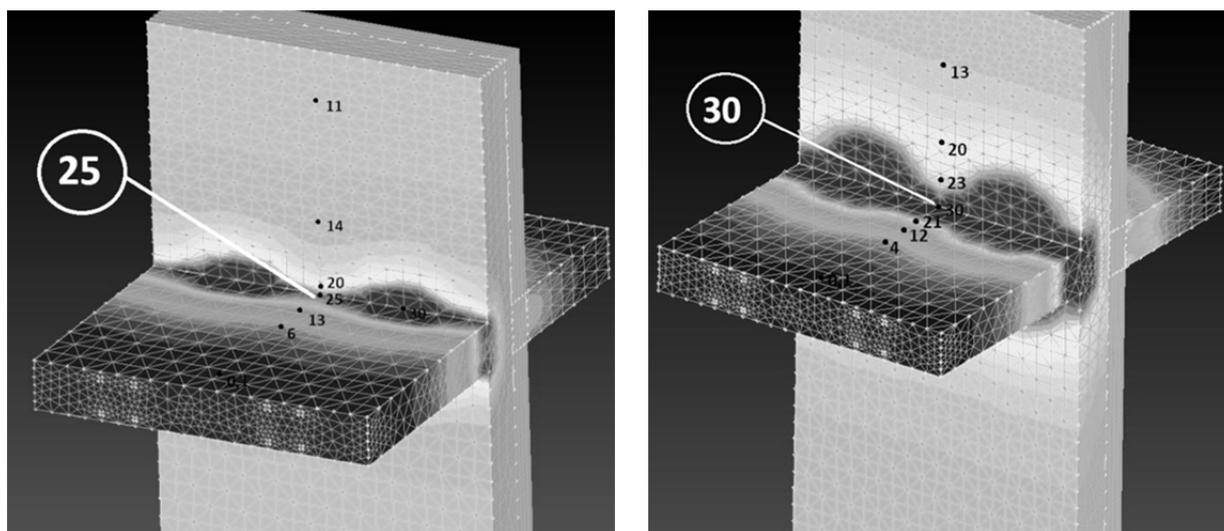


Рисунок 7 – Распределение тепловых потоков на поверхности экспериментальных конструкций традиционного решения узла при температуре внутреннего воздуха $+20^{\circ}\text{C}$, температуре наружного воздуха -10°C (слева), -20°C (справа). Верхняя часть узла

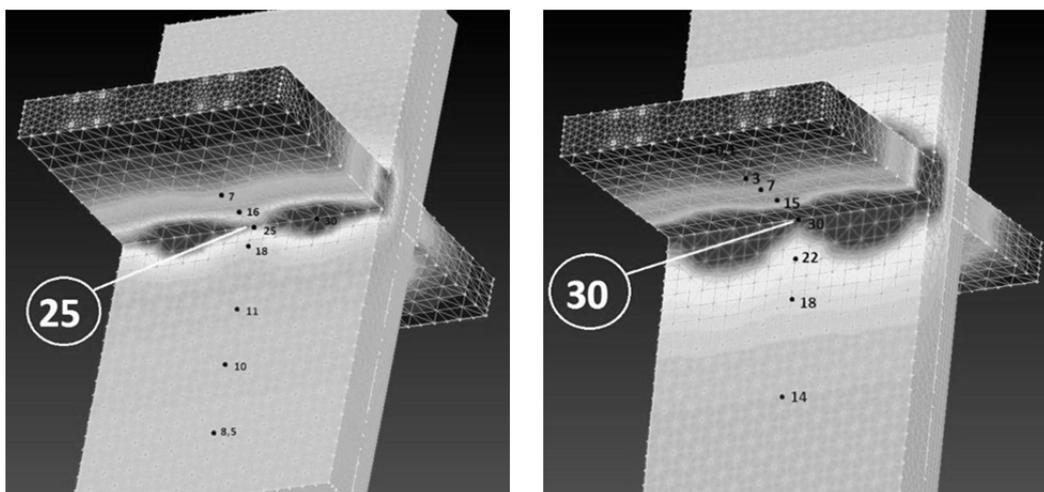


Рисунок 8 – Распределение тепловых потоков на поверхности экспериментальных конструкций традиционного решения узла при температуре внутреннего воздуха $+20^{\circ}\text{C}$, температуре наружного воздуха -10°C (слева), -20°C (справа). Нижняя часть узла

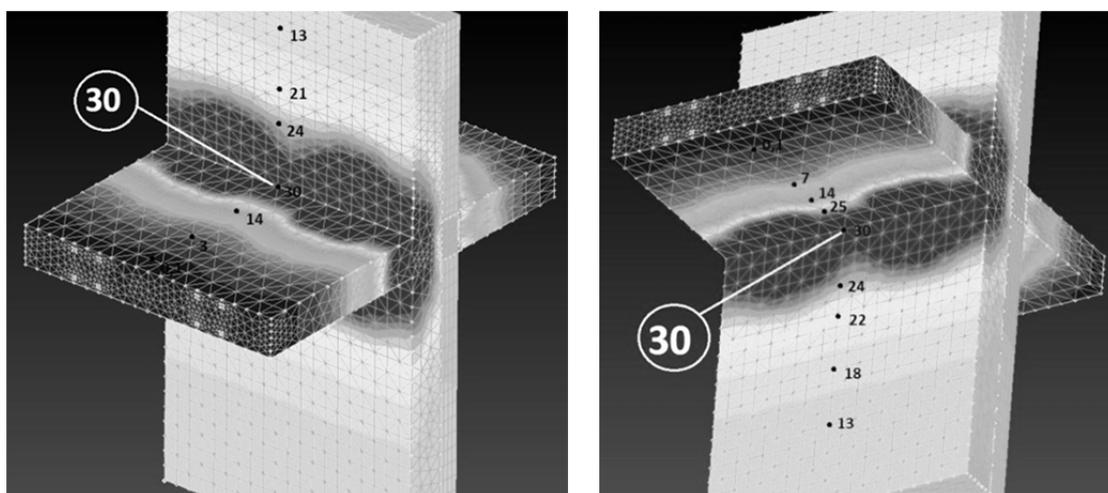


Рисунок 9 – Распределение тепловых потоков на поверхности экспериментальных конструкций традиционного решения узла при температуре внутреннего воздуха $+20^{\circ}\text{C}$, температуре наружного воздуха -30°C . Верхняя и нижняя части узла

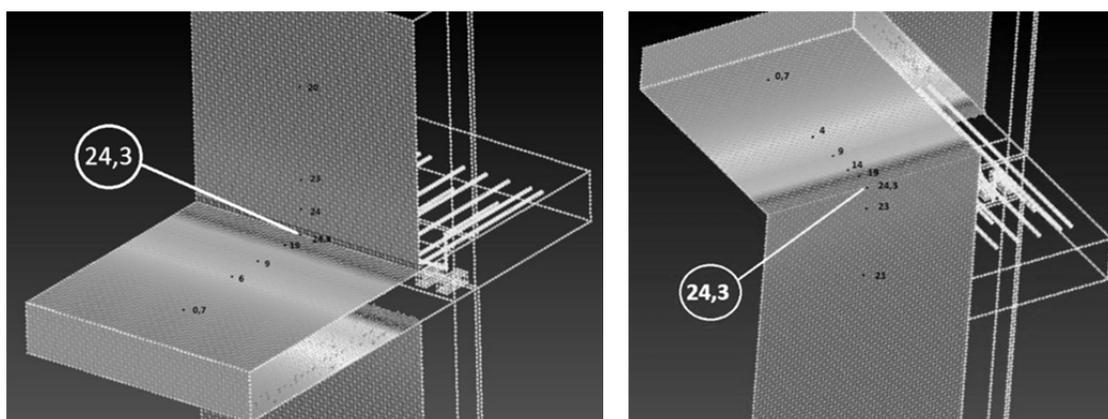


Рисунок 10 – Распределение тепловых потоков на поверхности исследуемой конструкции при традиционном решении узла сопряжения наружной стены с монолитным междуэтажным перекрытием и балконной плиты в сечении по теплоизоляционному элементу Шекк при $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{н} = -40^{\circ}\text{C}$ (верхняя и нижняя части узла)

Для оценки уровня тепловой защиты неоднородных конструкций было вычислено приведенное сопротивление теплопередаче в соответствии с методикой СП 50.133330.2013. для узла с традиционным решением междуэтажного перекрытия с устройством перфорационных отверстий в перекрытии и с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк. Величина удельного потока теплоты через линейный элемент определяется по формуле:

$$\Psi_i = \frac{\Delta Q_i}{t_B - t_H},$$

где ΔQ_i – дополнительный поток теплоты, обусловленный линейным элементом, приходящимся на 1 п.м. этого элемента, Вт/м, определяемый по формуле:

$$\Delta Q_i = Q_i^L - Q_i,$$

где Q_i^L – суммарный тепловой поток через стену с несущим теплоизоляционным элементом Шекк и плитой перекрытия, Вт; Q_i – тепловой поток через участок однородной стены той же площади, Вт.

По результатам анализа распределения плотностей тепловых потоков, проходящих через расчетный участок стены, получены величины удельных потоков теплоты Ψ_i :

- для узла с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб:

$$\text{при } t_B = +8^\circ\text{C}, t_H = -16^\circ\text{C} - \Psi_1 = 0,167 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}};$$

$$\text{при } t_B = +20^\circ\text{C}, t_H = -10^\circ\text{C} - \Psi_2 = 0,163 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}};$$

$$\text{при } t_B = +20^\circ\text{C}, t_H = -20^\circ\text{C} - \Psi_3 = 0,163 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}};$$

$$\text{при } t_B = +20^\circ\text{C}, t_H = -30^\circ\text{C} - \Psi_3 = 0,163 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}};$$

$$\text{при } t_B = +20^\circ\text{C}, t_H = -40^\circ\text{C} - \Psi_3 = 0,163 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}};$$

- для узла с традиционным решением узла сопряжения с устройством перфорации в монолитном междуэтажном перекрытии: $\Psi = 0,315 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}}$.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче узла конструкции в соответствии с методикой [1] проведен по формуле:

$$R_0^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{yc}} + \Psi \cdot l},$$

где l – длина линейной теплотехнической неоднородности, приходящейся на 1 м² выделенной ограждающей конструкции, $\frac{\text{м}}{\text{м}^2}$; где R_0^{yc} – сопротивление теплопередачи по глади стены, $\frac{\text{м}^2\text{C}}{\text{Вт}}$.

Для фрагмента экспериментальной конструкции с несущим теплоизоляционным элементом Шекк Изокорб составило:

$$R_0^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_{усл}} + \Psi \cdot l} = \frac{1}{\frac{1}{2,68} + 0,16 \cdot 0,37} = \frac{1}{0,373 + 0,059} = \frac{1}{0,432} = 2,314 \frac{\text{м}^2\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Для фрагмента экспериментальной конструкции с традиционным решением междуэтажного перекрытия с перфорацией:

$$R_0^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R^{усл}} + \Psi \cdot l} = \frac{1}{\frac{1}{2,68} + 0,315 \cdot 0,37} = \frac{1}{0,373 + 0,1165} = \frac{1}{0,4895} = 2,04 \frac{M^2 \cdot C}{Bm}.$$

Таким образом установлено, что при использовании несущего теплоизоляционного элемента происходит повышение температуры на внутренней поверхности в зоне узла сопряжения на 2-4°C и снижение величины тепловых потерь на 12% по сравнению с традиционным решением перекрытия с устройством перфорационных отверстий.

Анализ результатов этих комплексных теплотехнических исследований по распределению температур и тепловых потоков по поверхности ограждения в зоне исследуемого узла сопряжения позволил получить после аппроксимации ряд эмпирических формул, полезных для инженеров, занимающихся проектированием гражданских зданий в регионах с низкими отрицательными расчетными температурами наружного воздуха. Предложенные формулы позволяют, не пользуясь громоздкими и сложными расчетами двухмерных или трехмерных температурных полей, и тепловых потоков, получить теплозащитную характеристику конструктивного узла сопряжения с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб для различных температур наружного воздуха.

Одним из параметров, определяющих тепловую защиту ограждения и влияние теплотехнических неоднородностей различных узлов на уровень теплозащиты ограждения, являются удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность ψ в ограждающей конструкции. Предлагаемые зависимости позволяют определить величину ψ по температуре на внутренней поверхности по глади стены t_g , температуре внутреннего воздуха t_n и наружного воздуха t_H по следующей формуле:

$$\psi = \frac{3,92 \cdot e^{0,0122 \cdot \frac{t_g - t_H}{\tau_g - [-0,076 \cdot (t_g - t_H) + 20,3]}}}{t_g - t_H} \quad \text{или} \quad (1)$$

$$\psi = \frac{3,92 \cdot \exp \left\{ 0,0122 + \frac{t_g - t_H}{\tau_g - [-0,076 \cdot (t_g - t_H) + 20,3]} \right\}}{t_g - t_H}, \quad (1')$$

где τ_g – температура на внутренней поверхности по глади стены, определяется по формуле:

$$\tau_g = t_g - \frac{t_g - t_H}{\alpha_g \cdot R_0}, \quad \text{где } R_0 \text{ – сопротивление теплопередаче по глади стены, } \frac{M^2 \cdot C}{Bm}; \alpha_g \text{ – ко-}$$

эффициент теплообмена у внутренней поверхности стены, $\frac{Bm}{M^2 \cdot C}$.

Проведем расчет величины удельных потерь теплоты через линейную теплотехническую неоднородность ψ исследуемого узла сопряжения с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб и получим следующие значения:

$$\text{- при } t_g = 20^\circ C \text{ и } t_H = -20^\circ C, \psi = 0,166 \frac{Bm}{M};$$

$$\text{- при } t_g = 20^\circ C \text{ и } t_H = -40^\circ C, \psi = 0,168 \frac{Bm}{M}.$$

Сравнивая расчетные значения $\psi = 0,166 \div 0,168 \frac{Bm}{M}$ с результатами, полученными по

формуле (1) на основе экспериментальных данных $\psi = 0,163 \frac{Bm}{M}$, оцениваем, что расхождения составляют 1,8-2,9%.

Одним из требований актуализированной редакции СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» к уровню тепловой защиты наружных ограждений является отсутствие условий

для образования конденсата на внутренней поверхности наружных ограждений. Учитывая, что современные ограждения являются многослойными конструкциями с большим количеством теплопроводных включений, определить температуру на их внутренней поверхности в зоне «мостиков холода» можно только на основе расчетов двумерных и трехмерных температурных полей, что требует наличия у проектировщиков необходимых компьютерных программ и соответствующих навыков по проведению расчетов. В связи с этим, авторами разработана методика расчета температуры на внутренней поверхности ограждения в узле сопряжения с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб.

В соответствии с современными нормами для жилых зданий расчетная температура воздуха в помещении принимается 20°C , а расчетная относительная влажность воздуха 55% . При этих параметрах температура образования конденсата (точка росы) составляет $\tau_p = 10,7^{\circ}\text{C}$. Поэтому при проектировании узловых соединений для оценки рассматриваемой конструкции надо знать температуры на внутренней поверхности узла сопряжения наружной стены с монолитным междуэтажным перекрытием и балконной плитой. Минимальная температура в зоне этого узла должна быть выше точки росы. Значения точки росы в зависимости от влажности воздуха приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Значения точки росы в зависимости от температуры и влажности.

Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Точка росы, $^{\circ}\text{C}$, при относительной влажности воздуха, %								
	40	45	50	55	60	65	70	75	80
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64	10,59
16	2,41	4,08	5,6	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57	12,56
18	4,2	5,9	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51	14,5
20	6,0	7,72	9,28	10,69	12,0	13,22	14,38	15,44	16,44
22	7,69	9,52	11,12	12,56	13,88	15,12	16,28	17,37	18,38
24	9,57	11,34	12,94	14,41	15,76	17,02	18,19	19,3	20,35
26	10,46	12,75	13,86	15,34	16,7	17,97	19,15	20,26	21,32

Предложенная авторами формула (1) позволяют определить температуру на внутренней поверхности в конструктивном узле с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб на грани междуэтажного перекрытия и наружной стены с балконной плитой, не прибегая к расчету температурных полей, и оценить соответствие данного конструктивного решения нормативным требованиям СП 50.13330 2012.

Температуру на грани внутреннего угла между междуэтажным перекрытием и наружной стеной τ_{yz} с учетом величины удельных тепловых потерь через линейную теплотехническую неоднородность ψ , температуры на внутренней поверхности по глади стены τ_g , температуры внутреннего воздуха t_g и наружного воздуха t_n определим по формуле:

$$\tau_{yz} = \tau_g - \frac{1,28(t_g - t_n)}{[\psi(t_g - t_n)]^{1,949}} \quad (2)$$

В формулу (2) подставляем численные значения $\psi = 0,167 \frac{\text{Bm}}{\text{м}}$, $t_g = 20^{\circ}\text{C}$, $t_n = -30^{\circ}\text{C}$, $\tau_g = 17,7^{\circ}\text{C}$ и получаем температуру на грани внутреннего угла, равную $\tau_{yz} = 16,5^{\circ}\text{C}$. На основе экспериментальных данных $\tau_{yz} = 16,7^{\circ}\text{C}$. Разность составляет $0,2^{\circ}\text{C}$ или $1,2\%$.

Подставляя в формулу (2) значения $\psi = 0,167 \frac{\text{Bm}}{\text{м}}$, $t_g = 20^{\circ}\text{C}$, $t_n = -40^{\circ}\text{C}$, $\tau_g = 16,5^{\circ}\text{C}$ и получаем температуру на грани внутреннего угла, равную $\tau_{yz} = 15,55^{\circ}\text{C}$. На основе экспериментальных данных $\tau_{yz} = 15,5^{\circ}\text{C}$.

Температуру на грани внутреннего угла между междуэтажным перекрытием и наружной стеной τ_{yz} можно вычислить с учетом приведенного сопротивления теплопередаче стены R_0^{np} с узлом сопряжения, сопротивления теплопередачи по глади стены R_0^{yc} , протяженности линейной неоднородности l , температуры внутреннего воздуха t_e и наружного воздуха t_n по следующей формуле:

$$\tau_{yz} = t_e - \frac{1,28(t_e - t_n)}{\left[\frac{1}{l} \cdot \left(\frac{1}{R_0^{np}} - \frac{1}{R_0^{yc}} \right) \right]^{1,949} \cdot (t_e - t_n)} \quad (3)$$

Проведем расчет температуры на грани внутреннего угла исследуемого сопряжения по формуле (3). Подставляя численные значения $t_e = 20^\circ\text{C}$, $t_n = -30^\circ\text{C}$, $\tau_e = 17,7^\circ\text{C}$,

$R_0^{np} = 2,31 \frac{\text{M}^2 \cdot \text{C}}{\text{Bm}}$, $R_0^{yc} = 2,68 \frac{\text{M}^2 \cdot \text{C}}{\text{Bm}}$ и $l = 0,37 \frac{\text{M}}{\text{M}^2}$, получаем расчетным путем значение температуры на внутренней грани угла $\tau_{yz} = 16,58^\circ\text{C}$. На основе экспериментальных данных

$\tau_{yz} = 16,7^\circ\text{C}$. При значениях значения $t_e = 20^\circ\text{C}$, $t_n = -40^\circ\text{C}$, $\tau_e = 16,5^\circ\text{C}$, $R_0^{np} = 2,3 \frac{\text{M}^2 \cdot \text{C}}{\text{Bm}}$,

$R_0^{yc} = 2,68 \frac{\text{M}^2 \cdot \text{C}}{\text{Bm}}$ и $l = 0,37 \frac{\text{M}}{\text{M}^2}$, значение температуры на внутренней грани угла составляет $\tau_{yz} = 15,56^\circ\text{C}$. На основе экспериментальных данных $\tau_{yz} = 15,5^\circ\text{C}$.

Таким образом, разработанная авторами методика и формула для определения теплозащитных свойств узлов сопряжений наружных стен с монолитными междуэтажными и балконными плитами с использованием несущего теплоизоляционного элемента Шекк Изокорб позволяют, не производя трудоемких расчетов двухмерных или трехмерных температурных полей, а также теплотехнических экспериментальных исследований в климатических камерах, определить тепловые характеристики конструкции в широком диапазоне отрицательных температур наружного воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий [Текст]. – М., 2012.
2. Умнякова, Н.П. Новое конструктивное решение сопряжения наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами [Текст] / Н.П. Умнякова, К.С. Андрейцева, В.А. Смирнов и др. // Строительные материалы. – 2013. – №6. – С. 28-31.
3. Умнякова, Н.П. Повышение энергоэффективности зданий за счет повышения теплотехнической однородности наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами [Текст] / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, П.Б. Белогуров, К.С. Андрейцева // Строительные материалы. – 2012. – №6. – С. 18-21.
4. Умнякова, Н.П. Теплотехнические исследования теплоизоляционного несущего элемента Schoeck Isokorb в сопряжении наружных стен с монолитными междуэтажными и балконными перекрытиями [Текст] / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, К.С. Андрейцева, В.А. Смирнов // Экологическая безопасность и энергосбережение в строительстве. Материалы международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 48-57.

Умнякова Нина Павловна

Научный исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва
Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора
Тел.: +7 (495) 691 87-80
E-mail: n.umniakova@mail.ru

Андрейцева Кристина Сергеевна

Научный исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва
Тел.: +7 925 99 888 00
E-mail: 9259988800@mail.ru

Смирнов Владимир Александрович

Научный исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва

Младший научный сотрудник

Тел.: +7 916 974 56 08

E-mail: belohvost@list.ru

N. UMNIAKOVA, K. ANDREYTSEVA, V. S MIRNOV

**THE ENGINEERING METHOD OF CALCULATING
THE TEMPERATURE IN THE OUTER WALL, MONOLITHIC
FLOOR AND BALCONY SLAB INTERFACE WITH
USE OF LOAD-BEARING HEAT-INSULATING ELEMENT
SHOECK ISOKORB**

A new solution of the wall, monolithic floor and the balcony slab interface is considered. The new method of calculating the temperature in the outer wall, monolithic floor and balcony slab interface. The three-dimensional temperature fields were calculated, the specific heat flow for were obtained in two cases: with use of load-bearing heat-insulating element Shoeck Isokorb and for traditional solution of this node. The specific heat loss through the heat engineering discontinuities were received. The new equations for calculating the temperature on the border of the inner corner between the floor and outer wall were stated.

Keywords: *thermal protection of buildings; heat loss; the wall; monolithic floor and the balcony slab interface; reduced total thermal resistance; heat flow; load-bearing heat-insulating element.*

BIBLIOGRAPHY

1. SP 50.13330.2012. Teplovaja zashhita zdaniy [Tekst]. – M., 2012.
2. Umnjakova, N.P. Novoe konstruktivnoe reshenie soprjazhenija naruzhnyh sten s monolitnymi mezhdujetazhnymi perekrytijami i balkonnymi plitami [Tekst] / N.P. Umnjakova, K.S. Andrejceva, V.A. Smirnov i dr. // Stroitel'nye materialy. – 2013. – №6. – S. 28-31.
3. Umnjakova, N.P. Povyshenie jenergojektivnosti zdaniy za schet povyshenija teplotehnicheskoj odnorodnosti naruzhnyh sten v zone soprjazhenija s balkonnymi plitami [Tekst] / N.P. Umnjakova, T.S. Egorova, P.B. Belogurov, K.S. Andrejceva // Stroitel'nye materialy. – 2012. – №6. – S. 18-21.
4. Umnjakova, N.P. Teplotehnicheskie issledovanija teploizoljacionnogo nesushhego jelementa Schoeck Isokorb v soprjazhenii naruzhnyh sten s monolitnymi mezhdujetazhnymi i balkonnymi perekrytijami [Tekst] / N.P. Umnjakova, T.S. Egorova, K.S. Andrejceva, V.A. Smirnov // Jekologicheskaja bezopasnost' i jenergosberezhenie v stroitel'stve. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – 2013. – S. 48-57.

Nina Umnjakova

Research institute of building physics RAABS, Moscow

Candidate of technical sciences, associate professor, deputy director

Ph.: +7 (495) 691 87-80

E-mail: n.umniakova@mail.ru

Kristina Andreytseva

Research institute of building physics RAABS, Moscow

Engineer

Ph.: +7 925 99 888 00

E-mail: 9259988800@mail.ru

Vladimir Smirnov

Research institute of building physics RAABS, Moscow

Junior researcher

Ph.: +7 916 974 56 08

E-mail: belohvost@list.ru

УДК 619

РИМШИН В.И., ИВАНОВ В.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ РОССИИ ТРЕБУЮТ НОВОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

Актуальность статьи продиктована назревшими проблемами в области градостроительства, связанными с необходимостью разработки нормативной базы, адаптированной к особенностям застройки малых городов России. Проблема раскрывается на примере анализа градостроительной ситуации, сложившейся в Смоленской, Владимирской и других областях. Отдельно рассматривается вопрос о моногородах, судьба которых неразрывно связана с территориальным развитием страны. Рассмотрена специфика проведения инженерных изысканий при инвентаризации городской застройки и особенности функционирования жилищно-коммунального комплекса малых городов. Перечисленные проблемы находят свое отражение в научно-исследовательских и дипломных работах, проводимых институтом жилищно-коммунального комплекса МГСУ. Конкретным примером служит ряд проектов, выполненных на материале города Гагарин Смоленской области по заданию администрации города. Проблема раскрывается на примере градостроительной ситуации, сложившейся в малых и моногородах Смоленской и Владимирской области. Проведенный анализ застройки позволил сформировать определенную тактику и стратегию проведения проектных работ по планировке и благоустройству территории малых городов.

Ключевые слова: проблема; исследования; зонирование; планировка; благоустройство.

Малые города всегда играли большую роль в становлении и развитии Российского государства. Еще в Древней Руси была сформирована сравнительно обширная сеть малых городов. На территории Северо-Восточной, Центральной, Юго-Западной Руси – это Ростов (862 г.), Ярославль (1010-1071 гг.), Владимир (1108 г.), Тверь (12 в.), Тула (1146 г.), Елец (1148 г.), Серпухов (12 в.), Гжатск (17 в.) и др. [8].

В наше время Малый город – город с численностью населения до 50 тыс. человек (см. Градостроительный кодекс РФ, ст. 5, п. 3.) [1] На настоящий момент в России насчитывается свыше 780 малых городов с численностью населения до 50 тыс. жителей. Они составляют 3/4 всех российских городов или 1/4 всех городских поселений, включая поселки городского типа. Распределение городов по Федеральным округам России представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение городов по федеральным округам России.

Федеральный округ	Города-миллионеры	Крупнейшие (500 тыс. – 1 млн.)	Крупные (250 тыс. – 500 тыс.)	Большие (100 тыс. – 250 тыс.)	Средние (50 тыс. – 100 тыс.)	Малые (до 50 тыс.)	Итого
Дальневосточный		2	2	6	6	50	66
Приволжский	5	7	4	18	34	130	198
Северо-Западный	1		6	4	13	121	145
Северо-кавказский		1	3	9	8	35	56
Сибирский	3	5	2	12	19	89	130
Уральский	2	1	5	8	17	82	115
Центральный	2	4	11	24	41	228	310
Южный	2	2	3	10	17	45	79
Итого	15	23	36	91	155	780	1099
Общее население	29 203 641	14 755 936	12 151 540	14 102 291	10 859 025	16 451 590	97 524 023

Таким образом, можно считать, что, малые города оказывают определенное влияние на политику территориально-пространственного развития и расселения, которая становится все более острой потребностью устойчивого развития России, одновременно осуществляя экономическую и социокультурную взаимосвязь сельской местности с крупными городами. В мае 2011 года институт ЕврАзЭС представил на рассмотрение Доктрину развития малых городов, наукоградов и моногородов России. В самом общем виде она изложена в книге В. Тамака «Модернизация – 2012. Концепции модернизации» [3].

Организация системы расселения, развитие сети городов, прежде всего малых, можно поставить как одну из основных задач в современной градостроительной политике. Безусловно, одним из главенствующих ресурсов государства является территория. При этом одним из основных средств закрепления и освоения территории служат города. Отсутствие поступательного движения в развитии городов влечет за собой отток населения с этих территорий. Почти тысяча малых городов России, каждый из которых с окружающим его административным районом по самому своему положению является стратегическим позиционным районом, опорной крепостью по удержанию территориального пространства России. Поэтому процветание малых городов и означает процветание и развитие всей России.

В малых городах проживает около 16 млн. человек. В большинстве своем они являются районными центрами, в зонах влияния которых проживает еще около 10 млн. человек. Поэтому малые города являются не только экономическими, но и социально-культурными центрами для 1/5 населения страны. Несмотря на значительную дифференциацию по определенным параметрам, многие малые города – это наши исторические корни, имеющие давние и во многом сохранившиеся историко-культурные традиции. Не случайно более половины малых городов имеют государственный статус «исторических». Особое место занимают малые города федерального подчинения или «города без истории», не являющиеся районными центрами и существующие лишь в границах города. Это исключительно новообразования советского периода, имеющие оборонное значение. Большая их часть переходит в категорию наукоградов. В настоящее время значительная их часть открыта и занята поисками своего места на рынке труда и услуг. Те же «социалистические города», связанные с оборонной промышленностью, которые сравнительно давно, несколько десятков лет тому назад вышли из закрытой зоны и стали районными центрами, ныне успешно развиваются (малые города Подмосковья, особенно Ступино, Дубна, Обнинск). В них создаются благоприятные предпосылки и перспективы полноценного развития образовательного комплекса, включая высшее образование [4].

Как уже отмечалось ранее, город живет за счет использования ресурсов окружающей территории и обслуживания ее потребностей. Естественное положение города-центра – транспортный узел, охватывающий «подшефную» территорию. С окрестными поселениями город связан регулярными автобусными маршрутами, перевозки по которым заметно варьируются в различное время. Характерная черта планировки таких городов состоит в том, что главные улицы служат продолжением сходящихся к городу дорог и ведут прямо к центру, наиболее представительной части города. У одних городов функции административного центра являются основными. Другие выполняют их в дополнение к основной деятельности. Так город Курчатов в Курской области, прежде всего, центр атомной энергетики, Ковдор на Кольском полуострове – центр добычи и обогащения железной руды, Бологое – крупный железнодорожный узел на трассе Москва – Санкт-Петербург, но все эти три города также и районные центры [2].

Не следует забывать об одноотраслевых центрах, сложившихся возле крупного предприятия. Подобных городков, живущих одной фабрикой, особенно много в Московской, Ивановской, Владимирской областях. Отдельные их аналоги встречаются и вне Центральной России, например Красавино в Вологодской области или Сурск в Пензенской. Планировка такого города предельно проста: одна промышленная зона, один центр, обычно расположенный рядом с проходной предприятия-кормильца [5].

Таблица 2 – Процентное соотношение райцентров в экономических районах

Экономические районы	Доля малых городов райцентров(%)
Северный	72,4
Северо-Западный	64,4
Центральный	74,1
Волго-Вятский	95,5
Центрально-Черноземный	88,9
Поволжский	88,3
Северо-Кавказский	78,0
Уральский	59,3
Запвдно-Сибирский	57,0
Восточно-Сибирский	60,4
Дальневосточный	66,2
ВСЕГО	71,0

По характеру экономической базы малые города можно разделить на основные группы:

- города с относительно развитой экономической базой (53% малых городов России);
- города с относительно небольшой экономической базой (на их долю приходится около 40% всех малых городов России);
- города с относительно развитыми промышленными, промышленно-транспортными функциями (3%);
- города с преобладанием функций по социально-культурному обслуживанию прилегающих территорий (30%);
- города с выраженными сельскохозяйственными функциями (5%);
- города с выраженными рекреационными функциями (2%).

В отдельную группу объединены города всех других функциональных типов, составляющие около 7% всех малых городов России. Это города-новостройки, центры науки и т.д.

В особо тяжелой ситуации оказались так называемые монопрофильные города, градобразующая база которых представлена одним предприятием или несколькими предприятиями аналогичного профиля. К числу таких городов относится большинство малых городов России. Одной из важнейших особенностей России является резкая поляризация возможностей развития – на одном полюсе находятся большие города (на 31 наиболее крупный город приходится 1% всех городских поселений и 34% городского населения), а на другом – малые, средние города и поселки городского типа (соответственно почти 95% всех городских поселений и 38% населения) [7].

Таким образом, следует констатировать, что в силу специфики малых городов общие негативные для страны процессы здесь проявляются наиболее остро. Между тем, если большие города вместе с агломерациями представляют собой рассеянные по территории урбанизированные ядра и их влияние распространяется лишь на 0,7% территории России, то небольшие городские поселения являются преобладающей формой городского расселения во всех регионах России и под их влиянием находятся практически все населенные пункты (более 150 тыс.).

Очень важной для малых городов является проблема низкого качества городской среды. И, как следствие, процесс депопуляции – за 6 лет численность населения малых городов, несмотря на увеличение их количества на 16, сократилась на 438,9 тыс. чел. Средняя численность малых городов снизилась с 22574 чел. до 21557 чел., т.е. города потеряли в среднем более чем по тысяче жителей [2].

Депопуляция свидетельствует о ряде нерешенных проблем. Наиболее заметно она проявляется в малых городах со смертностью, превышающей рождаемость в среднем в два раза,

глубоко дотационным бюджетом, муниципальными и социальными стандартами существенно ниже, чем в других категориях городов. Градообразующая база, как правило, разрушена, компенсирующие производства не созданы. Отсюда безработица и низкий уровень доходов населения. И то, что малые города смогли в тяжелейших условиях сохранить население свидетельствует, что само их существование – объективная необходимость, связанная с особенностями процесса урбанизации на территории России. Эти города еще очень долго могут находиться в состоянии так называемой агрессивной стабилизации, порождая социальные проблемы, а страна будет и дальше терять значительную часть экономического и трудового потенциала [6].

Хотя в настоящее время происходит процесс трансформации социально-экономических функций малых городов, важнейшие все-таки продолжают выполняться: 58% их выполняют агропромышленную функцию, 75% – промышленную, 70% – транспортную, 32% – рекреационную, 21% малых городов обслуживают крупные города. Достаточно подробно рассмотренный социально-экономический аспект существования малых городов, безусловно, не является единственным градообразующим фактором [9]. Для современного градостроительства характерен территориальный рост городских поселений, сопровождаемый развитием и усложнением транспортной и инженерной инфраструктуры. Освоением подземного пространства и уплотнением застройки, что вызывает возрастающие технологические нагрузки на территорию, а, следовательно, изменение ее инженерно-строительных свойств.

Следовательно, градостроительные решения, принятые на основе только социально-градостроительных и технико-экономических требований, приходят в противоречие с природной средой, для которой они устанавливаются.

В результате возникает парадокс: создание более совершенной и комфортной среды обитания людей (в соответствии с намеченными требованиями жизнеобеспечения города) создают дополнительные нагрузки на территорию, сокращают ее территориальный ресурс.

Возникает необходимость введения регламентов и режимов использования, т.е. установления порядка в градостроительной деятельности [9].

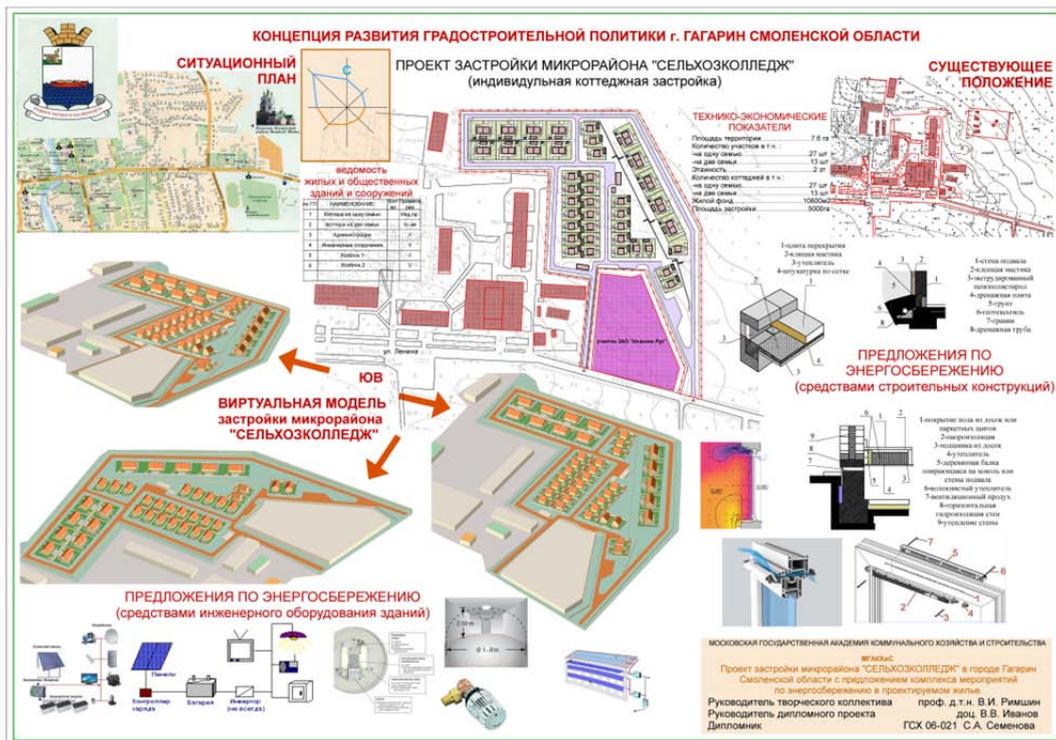
Одной из основных задач вводимых регламентов и режимов должна сводиться не только к формированию современных условий использования территориального ресурса, но и к обоснованному их прогнозу. А, следовательно, при архитектурно-планировочной реконструкции территории, с существенным изменением прежней планировочной структуры, практически всегда встает последовательная цепь из мероприятий по инженерной защите территории, комплексному инженерному благоустройству и вопросам транспорта.

Возникает необходимость в формировании местной нормативной базы градостроительного проектирования, осуществляемой в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции объектов капитального строительства [12], [8].

Примером возникновения подобной проблемы может служить опыт города Гагарин. Расположенный в Смоленской области на берегах реки Гжать и сформированный к настоящему моменту производственной базой и объектом историко-культурного наследия (мемориальный комплекс первого космонавта Ю.А. Гагарина) город проводит активную градостроительную политику. Администрацией города и проектным институтом «Гагаринпроект» ведутся работы в части реконструкции существующей застройки и нового проектирования. Проведены проектные работы по реконструкции территории городского парка.

Существующие на настоящий момент нормы градостроительного проектирования не всегда позволяют решить поставленные задачи, а формирование местной нормативной базы градостроительного проектирования позволит проводить анализ ресурсного потенциала территории во всех его аспектах. Объективным механизмом формирования местной нормативной базы градостроительного проектирования муниципальных образований являются правила землепользования и застройки [1].

спективного развития городов [1]. Актуальны вопросы демографической емкости, как предела численности населения на единице площади, емкости среды как предела, который может выдержать природная среда без потери устойчивости к внешним воздействиям, емкость территории- как способность местности определенной площади абсорбировать чужеродные внешние воздействия на природу без изменения ее состояния и сохранения живучести геосферы. Важным условием является устойчивое экологическое равновесие, сохранение репродуктивности естественных ресурсов в элементах геосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере и биосфере. Одним из способов сохранения экологического равновесия является создание биоэкономических территориальных систем (БТС), в которых зоны интенсивного хозяйственного развития с большими антропогенными нагрузками сочетают с накопителями природных ресурсов – компенсационными и буферными зонами, гарантирующими сохранение экологического равновесия на перспективу [11].



Острой проблемой в условиях России является транспортно-коммуникационная отдаленность значительной части малых городов от основных центров социально-экономической активности. 75% малых городов расположены на расстоянии свыше 80 км от областных центров, в том числе 10% – свыше 500 км; более 20% городов удалены от железных дорог, а около 10% не имеют постоянных выходов на автодороги с твердым покрытием; менее 40% городов имеют обеспеченность телефонами, близкую к нормативной; в зоне неуверенного приема телевидения до сих пор находится 5% городов [10].

Глубоки и актуальны проблемы городского хозяйства. Речь идет не просто об улучшении состояния отрасли, а о сохранении инфраструктуры городского жизнеобеспечения. Для большинства малых российских городов состояние жилищно-коммунального хозяйства – критический фактор их развития. Часто расходы на жилищно-коммунальное хозяйство являются основной статьей городских бюджетных расходов. Начиная с середины 90-х годов, проблематика жилищно-коммунальной сферы становится главной темой в политической жизни десятков малых и средних городов, главным политическим лозунгом во время местных предвыборных кампаний.

Кризисное состояние жилищно-коммунального комплекса обусловлено неэффективной системой управления, хронической дотационностью, высокими затратами, отсутствием экономических стимулов для снижения издержек, связанных с оказанием жилищных и коммунальных услуг, неразвитостью конкурентной среды. Как следствие, для ЖКК в целом харак-

терна неэффективная работа предприятий, высокая степень износа основных фондов, большие потери энергии, воды и других ресурсов. Содержание этого комплекса в его нынешнем виде непосильно как для потребителей жилищно-коммунальных услуг, так и для бюджетной сферы.

Состояние жилищно-коммунального хозяйства и инженерного оборудования, как правило, не соответствует санитарно-гигиеническим нормам проживания. Обеспеченность всеми видами благоустройства в малых городах не превышает обычно 60%, а твердое покрытие имеют лишь половина улиц и дорог. В этой ситуации недопустим курс российских элит на дальнейшую гиперцентрализацию и без того гиперцентрализованной Москвы и выстраивание экономики исключительно через механический раковый рост десятка российских мегаполисов за счет малых и средних городов.

В целом необходимо полностью отказаться от мегаполисной урбанизации, когда все население страны принуждается к стремлению в «города-миллионники». Следующим шагом должно стать проектирование на базе малых городов 1000 новых обновленных хайтековых городов, использующих уникальные традиции каждого малого города – их строительство должно вестись на основе усадебно-ландшафтной урбанизации с наличием всех необходимых для качественной жизни инфраструктур и условий XXI века [3].

Перспективы развития малых городов – ключ к природным богатствам России, которые потенциально оцениваются в 350 трлн. долларов. Текущая рыночная стоимость крупнейших компаний России – 1 трлн. долларов. Чтобы эти богатства обрели свою рыночную стоимость, необходимо обеспечить их доступность и вовлечение в мировой хозяйственный оборот. Перспективы развития малых городов России связаны с развитием инфраструктуры [8].

Роль малых городов как фундамента развития промышленной сферы деятельности возрастает ежегодно. Организация качественных изменений, состоящих в переводе производственных мощностей из больших городов в малые, позволит увеличить производственный потенциал последних и создать благоприятный инвестиционный климат. Развитие промышленности и инфраструктуры городов позволит достичь повышения жизненного уровня населения, выйти из критического положения малым городам и вновь приобрести статус культурного и промышленного центра района. Кроме того, имеющееся историческое наследие, напоминающее о традициях и обычаях малых городов в период становления и развития Российского государства, не может быть потеряно, а наоборот, возрождение к нему интереса привлечет внимание людей из больших городов, что также повлияет на возрождение и дальнейшее развитие малых городов. Переход на принципы саморазвития: самоуправления и самофинансирования – главные составляющие системы сохранения и восстановления малых городов нашей страны [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации (действующая редакция от 01.09.2013) [Текст].
2. Институт ЕврАзЭС «Доктрина развития малых городов, наукоградов и моногородов России» [Текст], 2011.
3. Тамак, В. Модернизация-2012. Концепции модернизации [Текст]. – 2012.
4. Режим доступа: russia.clow.
5. Программа «Возрождение и развитие малых городов России», 1998.
6. Режим доступа: www.econom.nsc/eco.
7. Программа «Малые города России», 2003.
8. Римшин, В.И. «К вопросу обустройства Малых городов России» [Текст] / В.И. Римшин, В.В. Иванов // Вестник Волгоградского Государственного архитектурно-строительного университета. – Вып. 31(50). – 2013.
9. Климов, Д.В. «Формирование местной нормативной базы градостроительного проектирования» Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году [Текст] // Сборник научных трудов. – Волгоград ВолгГАСУ, 2013.
10. Малоян, Г.А. «К проблемам функционально-планировочного формирования крупных городов-центров агломераций» Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году [Текст] / Г.А. Малоян // Сборник научных трудов. – Волгоград ВолгГАСУ, 2013.
11. Дергтярев, Б.М. «К вопросу о сохранении территориального ресурса городов» Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году [Текст] / Б.М. Дергтярев // Сборник научных трудов. – Волгоград ВолгГАСУ, 2013.

Римшин Владимир Иванович

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», г. Москва
Доктор технических наук, профессор

Иванов Владимир Владимирович

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», г. Москва
Доцент
E-mail: GDSH_faculty@rambler.ru

V. RIMSHIN, V. IVANOV

**DEVELOPMENT PERSPECTIVES ON RUSSIA'S
SMALL TOWNS DEMAND NEW NORMATIVE BASE**

Topicality of the article is dictated by current problems in city construction area; these problems are connected with the necessity of creating a normative base which would be adapted to the constructive peculiarities of Russia's small towns. The problem is demonstrated by the analysis of the situation with city construction in Smolenskaya, Vladimirskaya and other regions. The problem of monocities is dealt with separately, as the destiny of these cities lies with the territorial development of the country. The peculiarities of engineering works during the inventory-making of city construction and the peculiarities of functioning of housing-communal complex in small towns also come under consideration. The mentioned problems are considered in scientific research and student papers written in the Institute of Housing-Communal Complex of MGSU. The concrete example is set by the projects, made on the material of Gagarin town (Smolenskaya region) on the order of town administration. The problem is demonstrated by the situation with city construction in towns and monocities of Smolenskaya, Vladimirskaya and other regions. The analysis of housing enabled us to form the tactics and strategy of project works on the planning and improvement of the territory of small towns.

Keywords: *problem; researches; zone-apportionment; city planning; improvement.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii (dejstvujushhaja redakcija ot 01.09.2013) [Tekst].
2. Institut EvrAzJeS «Doktrina razvitija malyh gorodov, naukogradov i monogorodov Rossii» [Tekst], 2011.
3. Tamak, V. Modernizacija-2012. Konceptii modernizacii [Tekst]. – 2012.
4. Rezhim dostupa: russia.clow.
5. Programma «Vozrozhdenie i razvitie malyh gorodov Rossii», 1998.
6. Rezhim dostupa: www.econom.nsc/eco.
7. Programma «Malye goroda Rossii», 2003.
8. Rimshin, V.I. «K voprosu obustrojstva Malyh gorodov Rossii» [Tekst] / V.I. Rimshin, V.V. Ivanov // Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – Vyp. 31(50). – 2013.
9. Klimov, D.V. Formirovanie mestnoj normativnoj bazy gradostroitel'nogo proektirovanija» Fundamental'nye issledovanija RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitija arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2012 godu [Tekst] // Sbornik nauchnyh trudov. – Volgograd VolgGASU, 2013.
10. Malojan, G.A. «K problemam funkcional'no-planirovochnogo formirovanija krupnyh gorodov-centrov aglomeracij» Fundamental'nye issledovanija RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitija arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2012 godu [Tekst] / G.A. Malojan // Sbornik nauchnyh trudov. – Volgograd VolgGASU, 2013.
11. Dergtjarev, B.M. «K voprosu o sohranении territorial'nogo resursa gorodov» Fundamental'nye issledovanija RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitija arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2012 godu [Tekst] / B.M. Dergtjarev // Sbornik nauchnyh trudov. – Volgograd VolgGASU, 2013.

Vladimir Rimshin

Moscow state construction university, Moscow
Doctor of technical sciences, professor

Vladimir Ivanov

Moscow state construction university, Moscow
Associate professor
E-mail: GDSH_faculty@rambler.ru

СМОЛЯГО Г.А., ДРОНОВА А.В.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАЛОЭТАЖНЫХ «ПАССИВНЫХ» ДОМОВ

Рассмотрены принципы формирования понятия «пассивный» дом. Предложено конструктивное решение малоэтажных «пассивных» домов с каркасом из монолитного керамзитобетона и стенами из монолитного пенобетона в несъемной опалубке из стружечно-цементной плиты (СЦП), в котором оптимально разграничиваются несущие и ограждающие функции конструктивных элементов.

Ключевые слова: малоэтажное строительство; «пассивные» дома; конструкции стен; каркас; бетоны.

Учитывая ограниченность глобальных энергоресурсов, проблема их разумного потребления – одна из наиболее актуальных на сегодняшний день. Комплекс мероприятий, направленных на решение этой задачи, заключается в создании конструктивных решений зданий, в которых достаточно малы расходы на отопление, что практически делает их энергонезависимыми. Такие дома получили название «пассивные», а точнее – «энергопассивные». Их теплотери составляют 15-25 кВт/м² в год (для сравнения, в кирпичных домах 70-х, 80-х годов – 250-350 кВт/м² в год), а потребность в незначительном отоплении дома возникает только при отрицательных температурах наружного воздуха.

Интерес к экологическому жилью и энергосберегающим технологиям в настоящее время постепенно растет и не только по причине изменения отношения к экологии. По статистике оправданное применение современных технологий позволяет в 2-3 раза сократить эксплуатационные расходы. В связи с этим, вопрос строительства энергоэффективных зданий в России становится одним из ключевых.

К основным принципам «пассивного» дома можно отнести:

- усиленные герметизация и теплоизоляция ограждающих конструкций (в 2-3 раза превышающие сегодняшние нормативы);
- использование эффекта аккумуляции тепла, солнечной энергии, энергии земли;
- использование приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла и очисткой входящего воздуха, применение энергоэффективных архитектурно-планировочных решений (выбор энергоэффективной формы дома, энергетически рациональная ориентация дома по частям света и розе ветров, энергетически рациональное расположение буферных зон) и т.д.

С точки зрения строительства главной составляющей для пассивного дома является качественная наружная теплоизоляционная оболочка. Применяемая теплоизоляция должна обладать высокими теплотехническими характеристиками и укладываться без зазоров вокруг всего здания. В настоящее время практически все крупные европейские производители теплоизоляционных материалов разработали отдельные концепции или решения для «пассивных» домов, расположенных в климатических условиях Германии, Австрии, Швейцарии и Скандинавии.

В частности, все применяемые сегодня стандартные решения несущих и ограждающих конструкций зданий в Германии адаптированы для «пассивного» дома с увеличением толщины слоя утеплителя. В уже построенных домах мы можем видеть такие решения, как, например, многослойные наружные стены, несущий слой которых выполнен из монолитного бетона, кладки из кирпича или мелких блоков, сборные строительные элементы из легких бетонов, сборные железобетонные элементы, деревянные конструкции (классические или с использованием легких балок), несъемная опалубка, металлические конструкции и полупрозрачные элементы.

По данным [1] дополнительные затраты на строительство «пассивного» дома окупаются через 5-7 лет, соответственно материалы несущих конструкций и, в особенности, теплоизоляция должны отвечать современным требованиям и иметь срок службы более 25 лет. В настоящее время широко распространенными утеплителями являются минераловатные плиты и экструзионный пенополистирол. Относительно пенополистирола (ППС) нужно отметить, что в момент испытаний после изготовления он обладает хорошими теплоизоляционными свойствами. Однако противоречивые данные натуральных наблюдений за поведением разных видов пенополистирола не позволяют в настоящее время с допустимой степенью риска прогнозировать достижение в период эксплуатации «порога накоплений» его дефектов, способных вызвать нарушение работоспособного состояния конструкций на его основе и комфортного микроклимата помещений, включая экологическую безопасность [2].

Следует также отметить, что долговечность большинства утеплителей существенно меньше, чем каменной кладки или железобетона. Гарантированный срок службы большинства отечественных и зарубежных утеплителей составляет 15-25 лет, что потребует в процессе эксплуатации дополнительного утепления наружных стен или полной замены используемого утеплителя.

С этой позиции каркасные системы, в которых оптимально разграничиваются несущие и ограждающие функции конструктивных элементов, являются наиболее рациональными. В таких системах в наибольшей степени используется эффект пространственной работы здания, способствующий повышению его жесткости и конструктивной безопасности, а также срок службы утеплителя (пенобетон) приближается по своему значению к сроку службы основных несущих конструкций.

Использование монолитных каркасных конструктивных систем приводит к существенному снижению материалоемкости на 20-30% по сравнению с полносборным и кирпичным строительством, а, следовательно, и стоимости строительства. При использовании каркасных систем открываются широкие возможности по разработке концептуальных принципов поэтапного строительства дома с выполнением пристроек и надстроек второго или мансардного этажей, что достаточно актуально в настоящее время [3]. Каркасная конструктивная система здания предполагает фундаменты в виде ростверков по сваям или столбчатым фундаментам, что заметно снижает материальные и трудовые затраты на их возведение.

В последнее время просматривается тенденция строительства одноэтажных индивидуальных жилых домов. Безусловно, в общем объеме строительства их доля пока невелика. Общеизвестны как «плюсы», так и «минусы» домов в одном и двух уровнях.

При возведении одноэтажного дома застройщик руководствуется функциональной расположенностью всех помещений на одном уровне, что достаточно удобно и практично. Однако, при возведении такого дома, даже площадью 150-200 м², остается неиспользованной большая площадь чердака, увеличивается площадь застройки, повышается материалоемкость конструкций и элементов крыши. Возведение индивидуального дома в двух уровнях (двухэтажного или с мансардой) представляется предпочтительнее по ряду причин. На первом этаже размещаются все необходимые для проживания помещения, а второй уровень используется для проживания детей или размещения гостей. При необходимости всегда можно законсервировать помещения второго уровня, а, следовательно, и сократить коммунальные расходы. Уменьшается площадь застройки, сокращаются затраты на возведение чердака.

Немаловажным вопросом является наличие или отсутствие подвала под домом. Устройство подвала, как правило, связано с использованием ленточного фундамента из сборных блоков и применением перекрытий из сборных железобетонных плит, что приводит к повышению трудоемкости, материалоемкости и стоимости строительства. Функционально помещение подвала редко используется более чем на 50%. Строительство дома без подвала позволяет отказаться от использования ленточных фундаментов и перейти к менее материалоемким и более экономичным по стоимости в 2-2,5 раза свайным фундаментам из буронабивных свай с ленточным ростверком.

Определенную нишу на рынке индивидуальных жилых домов занимают дома с использованием блоков из автоклавных ячеистых бетонов, производство которых ежегодно постоянно увеличивается. С позиции создания комфортных условий для проживания такие стены благодаря своим показателям, в т.ч. и паропроницаемости, имеют явное преимущество. Для обеспечения пространственной жесткости в зданиях со стенами из ячеистых блоков необходимо предусматривать железобетонные или армоцементные пояса, в крайнем случае – армированную кирпичную кладку под плитами перекрытий. Такая конструктивная система без устройства вышеперечисленных конструктивных решений чувствительна к возможным неравномерным осадкам оснований, способствующим образованию трещин вследствие деформативности ячеистых бетонов.

В предлагаемой нами конструктивной системе в качестве несущих элементов каркаса использованы колонны и ригели, изготавливаемые из монолитного керамзитобетона марки по плотности D1600 в несъемной опалубке из стружечно-цементных плит (СЦП, рис. 1).

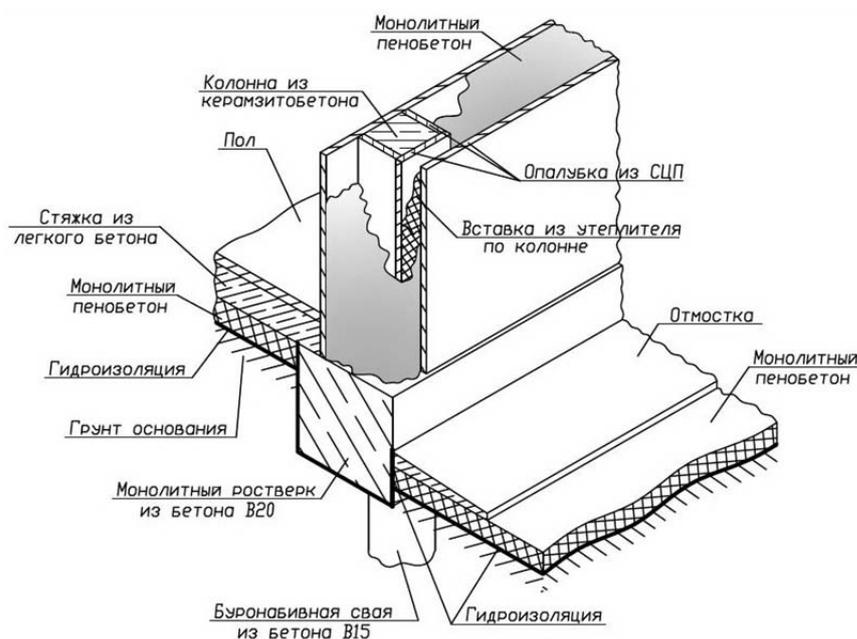


Рисунок 1 – Конструктивное решение вертикальных несущих элементов

Проектирование несущих конструкций, ригелей и колонн производится для каждого конкретного объекта с использованием различных программных комплексов.

Выполненными расчетами установлено, что при шаге поперечных рам 3,0-4,5 м будет достаточным сечение колонн из керамзитобетона класса по прочности на сжатие В20 с размерами 200×200 мм, сечение ригелей – 200×300 мм.

Применение керамзитобетона может реально обеспечить большие объемы малоэтажного строительства, увеличить пролеты и этажность зданий, укрупнить монтажные элементы, использовать более простые с меньшей грузоподъемностью механизмы для монтажа, повысить производительность труда и качество строительства, снизить стоимость, тем более что керамзит доступен по цене и выпускается во многих регионах страны. Керамзит является экологически чистым материалом: на протяжении всего периода эксплуатации и даже в условиях пожара полностью отсутствует вредное газовыделение; это обусловлено самой технологией получения керамзита – высокотемпературным обжигом глинистого сырья. Другое важное преимущество керамзита и керамзитобетона – высокая огнестойкость и длительное сохранение конструкционной прочности в условиях пожара, что обеспечивает безопасность людей в экстремальных ситуациях.

Современный зарубежный и отечественный опыт комплексного использования легких бетонов на пористых заполнителях типа керамзита при строительстве, особенно высотных зданий, обеспечивает заметное снижение материалоемкости и затрат на фундаменты, эконо-

мию арматуры и сокращение стоимости строительства на 13-15%. Представляется целесообразным ввиду небольшого расхода керамзитобетона на изготовление несущих конструкций (10-12 м³) изготавливать его на строительной площадке, что будет способствовать существенному уменьшению его стоимости.

Стена с использованием СЦП в качестве несъемной опалубки и пенобетона как эффективного утеплителя обладает высокими теплоизолирующими свойствами. Проведенный теплотехнический расчет стены для «пассивного» дома показал, что принятая конструкция полностью обеспечивает тепловую защиту здания – приведенное сопротивление теплопередаче стены соответствует минимальным требованиям показателей для Европы $R_{норм}=6,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Минимальная толщина стены составит 700 мм, что сопоставимо с толщинами существующих решений стен «пассивных» домов (рис. 2).

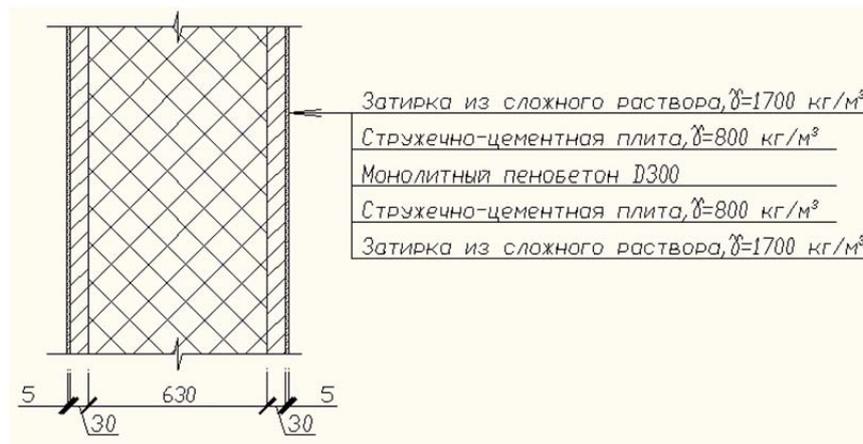


Рисунок 2 – Конструктивное решение стен

Применение метода несъемной опалубки обеспечивает качественно новый уровень строительства благодаря следующим преимуществам:

- более чем в 1,5 раза сокращается время строительства по сравнению с традиционными методами;
- за счет использования современных облегченных материалов, в частности, пенобетона, снижается нагрузка на нижерасположенные конструкции и в целом на здание;
- уменьшается процент ручной работы – только 15% веса стройматериалов переносится и укладывается вручную, остальные 85% доставляет бетонорастворонасос и другие механизмы;
- обеспечивается экологическая чистота и высокая паропроницаемость стен, отсутствуют неблагоприятные воздействия на окружающую среду.

Нами проведен сравнительный анализ удельных прямых затрат на строительство трех вариантов конструктивного решения вертикальных элементов «пассивного» дома, а именно:

- 1) монолитный каркас из керамзитобетона со стенами из пенобетона марки по плотности D300 в несъемной опалубке из СЦП толщиной 700 мм;
- 2) многослойные несущие стены из керамического кирпича (утеплитель – пенополистирол) с общей толщиной 740 мм;
- 3) стены из газосиликатных блоков D400 толщиной 910 мм и монолитным железобетонным поясом в уровне перекрытия (толщина стен вариантов обоснована теплотехническим расчетом при $R_0=6,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

Установлено, что стоимость возведения каркаса и стен по 1-му варианту в 1,23 раза выгоднее 2-го варианта и в 1,15 раза – третьего. Это объясняется разницей в стоимости самих материалов, работ по возведению, требуемой отделкой (стены в несъемной опалубке, как уже отмечалось выше, не требуют мокрых процессов при отделке), снижением нагрузки на фундаменты, и, следовательно, снижением их стоимости и продолжительности строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елохов, А.Е. Общие принципы проектирования и строительства пассивного дома [Текст] / А.Е. Елохов // СтройПРОФИль. – 2010. – №2-1. – С. 34-35.
2. Сахаров, Г.П. Материалы для энергосберегающих ограждающих конструкций зданий [Текст] / Г.П. Сахаров // Бетон и железобетон – пути развития. Научные труды 2-ой Всероссийской международной конференции по бетону и железобетону, Москва, 5-9 сентября 2005 г. / НИИЖБ. – Москва, 2005. – Том 4. – С. 257.
3. Смоляго, Г.А. Разработка конструктивных систем индивидуальных жилых домов с использованием ячеистых бетонов [Текст] / Г.А. Смоляго // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №8. – С. 42.

Смоляго Геннадий Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

Дронова Александра Васильевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Начертательная геометрия и графика»
E-mail: dav0212@yandex.ru

G. SMOLJAGO, A. DRONOVA

ENSURING ECOLOGICAL SAFETY AT CONSTRUCTION OF LOW «PASSIVE» HOUSES

The principles of formation of the concept «passive» house are considered. The constructive decision of low-town «passive» houses with a frame from monolithic claydite-concrete and walls from monolithic foam concrete in a fixed timbering from a chip-cement slab where bearing and protecting functions of constructive elements are optimum differentiated is offered.

Keywords: low-town building; «passive» house; designs of walls; a frame; concretes.

BIBLIOGRAPHY

1. Elohov, A.E. Obshhie principy proektirovaniya i stroitel'stva passivnogo doma [Tekst] / A.E. Elohov // Stro-jPROFIL'. – 2010. – №2-1. – S. 34-35.
2. Saharov, G.P. Materialy dlja jenergoberegajushhih ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy [Tekst] / G.P. Saharov // Beton i zhelezobeton – puti razvitija. Nauchnye trudy 2-oj Vserossijskoj mezhdunarodnoj konferencii po betonu i zhelezobetonu, Moskva, 5-9 sentjabrja 2005 g. / NIIZhB. – Moskva, 2005. – Tom 4. – S. 257.
3. Smoljago, G.A. Razrabotka konstruktivnyh sistem individual'nyh zhilyh domov s ispol'zovaniem jacheistyh betonov [Tekst] / G.A. Smoljago // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2007. – №8. – S. 42.

Gennady Smoljago

Belgorod state technological University in the name of V.G. Shukhov, Belgorod
Doctor of technical sciences, professor of the department «Industrial and civil construction»

Alexandra Dronova

Belgorod state technological University in the name of V.G. Shukhov, Belgorod
Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department of descriptive geometry and graphics»
E-mail: dav0212@yandex.ru

УДК 691:697.112.3

ОПАРИНА Л.А., ЗАЯНЧУКОВСКАЯ Н.В., ЛЫКОВА И.Н.

СОЗДАНИЕ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье обоснована актуальность и необходимость выбора строительных материалов в процессе проектирования нового строительства или реконструкции зданий с точки зрения не только их надежности, но и энергоемкости. При этом необходимо учитывать энергозатраты на производство ремонтных работ, замену материалов в течение жизненного цикла зданий и энергозатраты на их утилизацию или рециклинг. Подобный выбор может быть осуществлен только посредством использования реляционной базы данных по энергоемкости строительных материалов, так как применение реляционных баз данных позволяет обеспечить непрерывность процессов обеспечения энергоэффективности, на что направлены все действенные стандарты, программы и руководства в области менеджмента энергоэффективности, а также экологического менеджмента. Авторы предлагают структуру реляционной базы данных энергоемкости основных строительных материалов.

***Ключевые слова:** реляционная база данных; данные; энергоемкость; энергопотребление; строительные материалы; жизненный цикл; устойчивое развитие.*

В настоящее время перед обществом остро стоит глобальная экологическая проблема, стратегия решения которой была принята правительствами более чем 170 стран мира на Всемирной конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.). Согласно этой стратегии современное общество должно развиваться в соответствии с принципами устойчивого развития (sustainable development), основными из которых являются:

- улучшение условий жизни человека в условиях воздействия на окружающую среду в пределах хозяйственной емкости биосферы;
- удовлетворение потребностей в настоящем без ущерба для будущих поколений.

Архитектурно-строительная наука, как основа создания среды жизнедеятельности, также должна учитывать эти принципы. Мировые тенденции направлены на строительство и реконструкцию зданий, потребляющих наименьшее количество ресурсов при сохранении долговечности, надежности, комфортного микроклимата. Это «зеленые», энергоэффективные здания, представляющие собой синтез архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерных решений, обеспечивающих необходимый потребительский уровень комфортности при нормативных или меньших затратах на энергоресурсы [1]. Повышение энергоэффективности существующих и строящихся зданий является первоочередной задачей архитектурно-строительной науки.

Повышение энергоэффективности зданий неизбежно связано с энергосберегающими технологиями. Зарубежными учеными доказано, что строительная отрасль является крупнейшим потребителем энергии, причем проблема энергоэффективности касается не только будущих, но и существующих зданий [2]. Решение данной проблемы невозможно без снижения ресурсо- и энергопотребления зданиями при сохранении надежности, долговечности, комфортности. По данным зарубежных ученых производство строительных материалов, строительство и эксплуатация зданий потребляют около 48% мировых энергоресурсов. Актуальность данной проблемы связана не только с политикой энергосбережения, но и с мировой проблемой глобального потепления климата, так как более 10% всех выбросов парниковых газов в мире происходит при строительстве и эксплуатации зданий. Также значительные энергозатраты необходимы для сноса здания после его вывода из эксплуатации, а также на утилизацию или рециклинг строительных материалов.

Проблемы повышения энергоэффективности зданий связаны, в первую очередь с общей высокой энергоемкостью российской экономики, ориентацией при проектировании зданий в основном на экономию тепловой энергии на их отопление без учета суммарных удельных энергозатрат на строительство, в том числе и на производство строительных материалов.

При проектировании зданий одним из критериев оценки проектных решений, в том числе и по выбору строительного материала, наряду с критериями экологической безопасности, должны служить совокупные удельные энергозатраты на строительство здания, его эксплуатацию (отопление, ремонт и т.п.) за весь расчетный срок службы этого здания и дальнейшую утилизацию. При этом необходимо учитывать то, что экономия от выбора наиболее теплосберегающего строительного материала в итоге за весь жизненный цикл здания при коротком сроке службы будет меньше, чем при выборе менее теплосберегающего, но при этом менее энергоемкого в производстве и более экологичного, и с большим сроком службы в течение жизненного цикла.

Очевидно, что важную роль в процессе принятия проектных решений в сфере строительства и реконструкции зданий играет информационная поддержка, основанная на достоверной и актуальной информации об энергоэффективности строительных материалов и технологий. В настоящее время не существует единого информационного ресурса, содержащего все необходимые данные об энергозатратах на производство, эксплуатацию и утилизацию строительных материалов.

Поиск необходимых данных об энергоемкости строительных материалов затруднен, так как они, как правило, приведены в различных источниках, научно-технической и методической литературе, а также в проспектах производителей. Эти данные разрозненны, кроме того, показатели энергоемкости производства не связаны с эксплуатационными характеристиками материалов, показателями срока службы, ремонтпригодности и утилизации строительных материалов, содержатся в разных источниках. Очевидно, установление такой информационной связи необходимо при выборе материалов, так как экономический эффект от экономии тепловой энергии при применении энергоемких утеплителей в период эксплуатации здания может быть меньше, чем при возведении здания из традиционных, не менее энергоемких и более надежных и экологичных материалов со значительным сроком службы, отвечающим принципам устойчивого развития.

В настоящей работе сделана попытка создания информационного ресурса – базы данных, содержащей максимальное количество сведений по энергоэффективности строительных материалов, применяемых для строительства и отделки зданий.

Проектирование базы данных энергоэффективности строительных материалов осуществлялось на основе следующих положений.

1. База данных является предметной БД. Предмет описания – строительные материалы.
2. База данных содержит максимальное число данных по энергоемкости материала, эксплуатационные характеристики (теплопроводность, срок службы и др.), способность к рециклингу.
3. Поскольку все данные относятся к одному предмету, то для компьютерной реализации БД выбрана реляционная модель, наиболее распространенная и используемая в СУБД, поддерживающая тип отношений «один к одному».
4. Для удобства поиска строительные материалы разделены на группы:
 - конструкционные (металлы, бетоны, керамика, дерево и др.);
 - теплоизоляционные (пенополистирол, минеральная вата и др.).
5. База данных должна быть открытой, то есть в процессе практического использования может изменяться ее структура (добавляться поля, дополнительные признаки и т.п.). Предлагается следующая структура БД.

Источниками для создания базы данных строительных материалов служит научно-техническая, а также методическая литература, справочники строительных материалов. В качестве методической литературы можно указать:

- методические рекомендации по экономическому обоснованию применения конструктивных элементов и технологий, обеспечивающих повышение эффективности инвестиций за счет снижения эксплуатационных затрат, повышения долговечности зданий и сооружений, сокращения продолжительности строительства и других эффективных решений при повышении единовременных затрат при проектировании и строительстве и одновременном росте сметной стоимости. МРР-3.2.23-97.

- технические рекомендации по установлению долговечности (срока службы) строительных материалов и изделий. ТР 165-05 (ГУП «НИИМОССТРОЙ», 2005).

Таблица 1 – Основные поля реляционной базы данных энергоемкости строительных материалов

Группа материалов							
Наименование материала, код материала							
Энергоемкость при производстве							
Энергоемкость при строительстве							
Энергоемкость при эксплуатации							
Энергоемкость при демонтаже материала							
Энергоемкость при утилизации (рециклинге) материала							
Теплопроводность							
Срок службы							
Количество ремонтов (замены)							
Способность к рециклингу							

Отдельным источником информации является сайт Росстата, где приведены данные об удельном расходе условного топлива на производство отдельных видов продукции и работ (килограммов на тонну).

В настоящее время в Ивановском государственном политехническом университете ведется научно-исследовательская работа по созданию базы данных строительных материалов в MS Access, которую предполагается разместить на сайте ИВГПУ для доступа зарегистрированных пользователей: проектировщиков, инженеров-строителей, конструкторов, научных работников организаций архитектурно-строительного профиля и коммерческих проектных организаций.

Использование данного информационного ресурса позволит проектировщикам, строителям, экономистам разрабатывать и внедрять в проекты строительства и реконструкции зданий строительные материалы с наименьшей энергоемкостью без потери надежности и комфортности. На основе данных базы можно осуществлять имитационное моделирование жизненного цикла зданий [4], производить расчет интегрального показателя энергоэффективности зданий. Предлагаемая реляционная база данных имеет важное научное, экономическое и экологическое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опарина, Л.А. Определение понятия «энергоэффективное здание» [Текст] / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2010. – №8. – С. 2-4.
2. Ehsan Asadia, Manuel Gameiro da Silva, Carlos Henggeler Antunes, Luns Dias. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. Energy and Buildings. 2012. no. 44. pp. 81-87.
3. Алоян, Р.М. Интегральный показатель энергоэффективности как основа организационного механизма строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий [Текст] / Р.М. Алоян, А.Б. Петрухин, Л.А. Опарина, М.В. Ставрава // Жилищное строительство. – 2012. – №3. – С. 46-48.
4. Опарина, Л.А. Имитационное моделирование энергопотребления зданиями в течение жизненного цикла на основе аппарата стохастических агрегативных систем [Текст] / Л.А. Опарина // Жилищное строительство. – 2013. – №8.

Опарина Людмила Анатольевна

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново
Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация, экономика и управление производством»
E-mail: l.a.oparina@gmail.com

Заянчук Наталья Вячеславовна

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация, экономика и управление производством»
E-mail: zanataly@mail.ru

Лыкова Ирина Николаевна

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново
Магистрант кафедры «Организация, экономика и управление производством»
E-mail: maffanya666@mail.ru

L. OPARINA, N. ZAYANCHUKOVSKAYA, I. LYKOVA

**CREATING A RELATIONAL DATABASE IN THE ENERGY
INTENSITY OF BUILDING MATERIALS**

In the article the urgency and necessity of the choice of building materials in the design of new construction or renovation of buildings in terms of not only their reliability, but also energy consumption. It is necessary to take into account the energy used to produce repairs, replacement of these materials during the life cycle of buildings and energy on their disposal or recycling. This choice can only be achieved through the use of a relational database on energy consumption of building materials as well as the use of re-relational database enables continuous processes for energy efficiency, which are aimed at all effective standards, programs and leadership in the field of energy management and environmental management. The authors suggest the structure of a relational database of energy consumption of basic building materials.

Keywords: a relational database; data; energy; power; building materials; life cycle; sustainable development.

BIBLIOGRAPHY

1. Oparina, L.A. Opredelenie ponjatija «jenergojeffektivnoe zdanie» [Tekst] / L.A. Oparina // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2010. – №8. – S. 2-4.
2. Ehsan Asadia, Manuel Gameiro da Silva, Carlos Henggeler Antunes, Luns Dias. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. Energy and Buildings. 2012. no. 44. pp. 81-87.
3. Alojjan, R.M. Integral'nyj pokazatel' jenergojeffektivnosti kak osnova organizacionnogo mehanizma stroitel'stva i jekspluatacii jenergojeffektivnyh zdaniy [Tekst] / R.M. Alojjan, A.B. Petruhin, L.A. Oparina, M.V. Stavrova // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2012. – №3. – S. 46-48.
4. Oparina, L.A. Imitacionnoe modelirovanie jenergotreblenija zdaniyami v techenie zhiznennogo cikla na osnove apparata stohasticheskikh agregativnyh sistem [Tekst] / L.A. Oparina // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2013. – №8.

Lyudmila Oparina

Ivanovo state polytechnic university, Ivanovo
Candidate of economic sciences, associate professor of the department «Organization, the economy and control of production»
E-mail: l.a.oparina@gmail.com

Natalia Zayanchukovskaya

Ivanovo state polytechnic university, Ivanovo
Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Organization, the economy and control of production»
E-mail: zanataly@mail.ru

Irina Lykova

Ivanovo state polytechnic university, Ivanovo
Graduate student of the department «Organization, Economics and production management»
E-mail: maffanya666@mail.ru

ПИЧУГИН И.Л., ЛУКИНОВ В.А.

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

В статье проведен анализ существующих локальных методик оценки эффективности систем управления в теплоснабжении. Предложена методика определения комплексного идентификатора оценки, как в целом системы, так и отдельных ее блоков. Обосновано использование комплексной методики для оценки эффективности системы энергоменеджмента, а также для корректировки вектора ее развития.

Ключевые слова: энергоменеджмент; эффективность; мониторинг; оценка эффективности; комплексная эффективность.

В статье [1] нами была предложена модель энергоменеджмента, содержащая несколько дополнительных компонентов и блоков, носящая циклический характер, а также предусматривающая использование ГИС-технологий. Это предоставляет новые возможности для развития методики оценки эффективности ее функционирования.

В настоящее время оценка эффективности осуществляется, как правило, по одному из множества подходов, т.е. достаточно односторонне. Появившиеся в последнее время методики комплексной оценки теплоснабжения по интегральному показателю [3] просты и удобны, но могут использоваться в качестве одного из аспектов оценки эффективности проекта.

С помощью интеграции предложенной нами системы энергоменеджмента на базе ГИС-платформы создаются возможности для сбора более полной информации на основе непрерывного комплексного мониторинга всей системы управления. Учитывая сказанное, нами в этой работе предлагается методика для определения относительного комплексного индикатора, с помощью которого уже на этапе экспертной оценки может формироваться матрица решений и производиться корректировка вектора развития системы управления теплоснабжением, что будет способствовать повышению эффективности ее функционирования. Сущность методики заключается в следующем.

На этапе формирования энергетической политики и планирования разрабатывается перечень подсистем, подлежащих дальнейшему мониторингованию. Применительно к каждой подсистеме вводится соответствующая шкала оценки, ориентированная на учет множества параметров, получаемых в результате непрерывного комплексного мониторинга. В итоге выводится уникальный идентификатор эффективности, в соответствии с которым производится корректировка системы.

Подсистемы выбирают в строгом соответствии с нуждами проекта и вектором его развития, а также энергетической политикой и энергопланированием. Для большинства проектов по внедрению системы управления регионального уровня в отрасли теплоснабжения наибольший интерес представляют следующие подсистемы (блоки): социальная, техническая, экономическая, экологическая, образовательная, административная.

Параметры для мониторинга и оценки эффективности формируются на втором подэтапе подготовительного этапа организации системы энергоменеджмента. Получив аналитические данные, необходимо организовать параметрический мониторинг. На следующем подэтапе при формировании энергополитики и долгосрочной стратегии параметры корректируются и утверждаются. Весь комплекс параметров в достаточной степени ситуативен, количество оценочных шкал может варьироваться в зависимости от особенностей проекта.

При оценке эффективности функционирования социальной подсистемы основная информация поступает в режиме онлайн от потребителей тепла. Учитываются следующие показатели: оценки качества теплоснабжения пользователями, выставляемые в онлайн, отзывы и жалобы. Ключевым аспектом при использовании такого показателя как жалоб и отзывы кли-

ентов является устранение причин жалобы в срок. Для более комфортного понимая потребителями оценки в онлайн-системе адаптированы к балльной градации системы образования – от единицы до пяти баллов. Такая оценка качества теплоснабжения применялась нами в авторском анкетировании и показала себя оптимальной в отзывах респондентов. За возможность такой оценки в режиме онлайн на соответствующем сайте системы высказалось абсолютное большинство респондентов, что показывает актуальность и своевременность применения предлагаемой методики. Индекс подсистеме присваивается в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Индекс эффективности подсистемы

Индекс эффективности подсистемы	Балльный показатель
A	4-5
B	3-4
C	2-3
D	1-2
E	0-1

Расчет балльного показателя осуществляется по формуле:

$$\bar{B}_i = \frac{\sum_{i=1}^n B_{ij}}{n} * k,$$

где B_i – средняя балльная оценка от пользователей; B_{ij} – балльная оценка пользователя; n – количество оценок (пользователей давших оценку); k – коэффициент удовлетворения жалоб.

Коэффициент удовлетворения жалоб рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{N_{уд.}}{N_{общ.}},$$

где $N_{уд.}$ – количество удовлетворенных претензий; $N_{общ.}$ – общее количество претензий.

На наш взгляд социальная эффективность теплоснабжения может адекватно оцениваться только при своевременном оперативном реагировании на жалобы потребителей.

Оценка системы энергоменеджмента невозможна без квалифицированной оценки экономической составляющей проекта. Оценку экономического блока предлагается производить по динамике основных показателей по сравнению с отчетным периодом. Необходимость учета динамики обуславливается цикличностью модели.

Группа показателей, которые следует включить в оценку экономической составляющей проекта, может варьироваться в зависимости от целей и исходных данных. Ими могут быть: изменение рентабельности и себестоимости, чистая прибыль, процент освоения инвестиций, относительная и абсолютная экономия и др. В соответствии с приводимой методикой оценка экономической эффективности осуществляется по балльному показателю, который рассчитывается на основе сравнительного подхода. Показатели предлагается сравнивать с аналогами на уровне Федерального округа, затем необходимо выводить средний балл, предварительно используя интерполяцию. При использовании этой методики в качестве объекта для сравнения необходимо представлять прогнозируемые показатели на этапе планирования [1].

$$B_{ij} = 1 + (5 - 1) * \left(\frac{N_{ij} - N_{худ.j}}{N_{луч.j} - N_{худ.j}} \right),$$

где B_{ij} – балльная оценка анализируемого j -го показателя для i -ой группы факторов; N_{ij} – значение анализируемого j -го показателя для i -ой группы факторов в натуральных единицах измерения; $N_{худ.j}$ – худшее значение анализируемого j -го показателя отобранное экспертным путем в натуральных единицах измерения; $N_{луч.j}$ – лучшее значение анализируемого j -го показателя отобранное экспертным путем в натуральных единицах измерения.

После расчета балльной оценки для каждого отобранного показателя производится расчет среднего показателя.

$$\bar{B}_i = \frac{\sum_{j=1}^n B_{ij}}{n},$$

где B_i – средняя балльная оценка анализируемых j -х показателей для i -ой группы факторов; B_{ij} – балльная оценка анализируемого j -го показателя для i -ой группы факторов; n – количество j -х показателей для i -ой группы факторов в натуральных единицах измерения.

В соответствии с полученным комплексным показателем экономической эффективности осуществляется градация на индексы, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Индекс эффективности экономического блока	Комплексный показатель экономической эффективности в динамике
А	B_5 (наилучший показатель)
В	B_4
С	B_3
Д	B_2
Е	B_1 (наихудший показатель)

Существующие методики оценки технической составляющей теплоснабжения сводятся в основном к методике расчета коэффициента энергетической эффективности системы теплоснабжения [5], которая базируется на учете комплекса параметров. Данная методика расчета позволяет учесть множество нюансов и применяется при составлении энергетического паспорта объекта. Некоторые авторы предлагают оценку энергоэффективности, например, зданий через КПД различных схем теплоснабжения [4]. Приводятся десять классов энергоэффективности в соответствии с приведенным КПД здания. Данная классификация перекликается с международной градацией по классам энергоэффективности зданий.

Оценку технической подсистемы нами предлагается осуществлять на основе использования комплексного коэффициента полезного действия K_o , который определяется по формуле:

$$K_o = K_u * K_m * K_n,$$

где K_o – общий КПД всей подсистемы; K_u – КПД источника тепла; K_m – КПД теплопередающей системы; K_n – КПД потребителя тепла.

Применяя данную методику для оценки технической подсистемы, становится возможным присвоение индексов в соответствии с комплексным КПД системы теплоснабжения, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Индекс эффективности технической подсистемы	Комплексный показатель системы K_o , (%)
А	80-100
В	60-80
С	40-60
Д	20-40
Е	0-20

В настоящее время все большую актуальность приобретают проблемы изменения климата. При оценке влияния предлагаемой системы энергоменеджмента на экологию предлагается воспользоваться методикой серии стандартов ISO 14000 [2]. Внедрение стандарта ISO 14001 состоит из нескольких основных этапов: планирование, действие, проверка, корректировка. Вводятся критерии, по которым будет осуществляться мониторинг. Для оценки экологической эффективности внедряемой системы управления, необходимо отслеживать ряд экологических параметров. Одним из вариантов комплексной оценки экологической составляющей предлагается расчет суммарного показателя X_{sum} по отобранным экологическим критериям [7]. Зависимость присвоения индекса от суммарного показателя приведена в таблице 4:

$$X_{sum} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i k_i,$$

где n – число покомпонентных нормативов; x_i – норматив состояния компонента (в относительных величинах); k_i – весовой коэффициент норматива.

Таблица 4

Индекс эффективности экологической подсистемы	Суммарный показатель по отобранным экологическим критериям X_{sum}
A	X_1 (наилучший показатель)
B	X_2
C	X_3
D	X_4
E	X_5 (наихудший показатель)

Включение образовательного блока является необходимым, поскольку успешное внедрение системы энергоменеджмента существенно зависит от уровня квалификации и эффективности работы персонала. Оценку предлагается производить через показатели результативности сотрудников и показатели эффективности обучения. Оценка показателя эффективности обучения проводится по нескольким основным критериям [8; 9]:

- 1) Удовлетворенность обучающегося;
- 2) Эффективность усовершенствований, предложенных сотрудником после прохождения обучения;
- 3) Эффективность преподавателя;
- 4) Эффективность курса;
- 5) Эффективность планирования обучения;
- 6) Эффективность организации обучения.

Каждый критерий определяется путем соответствующего анкетирования методом балльных оценок, затем по критериям присваиваются коэффициенты весомости, и производится сводный расчет комплексного показателя эффективности и результативности обучения X . Присвоение индекса эффективности образовательного блока приведено в таблице 5.

Таблица 5

Индекс эффективности образовательного блока	Комплексный показатель эффективности и результативности обучения
A	X1(наилучший показатель)
B	X2
C	X3
D	X4
E	X5 (наихудший показатель)

На основании комплексного показателя эффективности и результативности обучения осуществляется градация образовательного блока.

На заключительном этапе выводится общая эффективность проекта в соответствии с уникальным идентификатором. Составляется матрица по каждому идентификатору и в итоге сводится в общую таблицу принятия решения. Матрица по индексам в общем виде представлена в таблице 6.

Таблица 6

Варианты решений	Индекс блока
$V1$	$Y1$
$V2$	$Y2$
$V3$	$Y3$
$V4$	$Y4$
...	...
Vn	Yn

Цель этапа принятия решений – приведение показателей к индексу А. Каждому варианту решений присваивается балльный показатель Y, базирующийся на стратегическом планировании и прогнозировании, на основе которого принимается решение по развитию блока.

На завершающем этапе из локальных решений по блокам выводится комплексное решение и вносятся соответствующие корректировки в функционирование системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукинов, В.А. Региональная модель энергоменеджмента [Текст] / В.А. Лукинов, И.Л. Пичугин // Недвижимость: экономика, управление. – М. – 2013. – №1.
2. ISO 14001:2004 «Environmental management systems».
3. Колыхаева, Ю.А. Комплексная оценка эффективности функционирования системы теплоснабжения [Текст] / Ю.А. Колыхаева, К.Э. Филюшина // Проблемы современной экономики. – 2012. – №1 (41). – С. 322-325.
4. Шомов, П.А. Методологические подходы к определению первоочередных инвестиций в энергосбережение в системах теплоснабжения [Текст]: электронный ресурс URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/563>.
5. ТСН 23-329-2002 Орловской области [Текст].
6. Еремкин А.И., Зиганшин М.Г., Дмитриев А.В. Комплексные показатели совершенства очистки воздуха и производственных выбросов при наличии «парниковых газов» [Текст]: электронный ресурс URL: http://www.rusnauka.com/8_NIT_2008/Tethis/Stroitelstvo/27647.doc.htm.
7. Петров, К.М. Общая геоэкология [Текст] / К.М. Петров. – СПб, 2004.
8. Ветлужских, Е. Справочник по управлению персоналом [Текст], 2005. – №2.
9. Электронный ресурс URL: <http://www.pro-personal.ru/journal/423/131330>.

Пичугин И.Л.

ФБГОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», Москва
Аспирант

Лукинов В.А.

ФБГОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», Москва
Доктор экономических наук

I. PICHUGIN, V. LUKINOV

DEVELOPMENT OF EVALUATION METHODS IN ENERGY MANAGEMENT FOR HEAT SUPPLY SYSTEMS

In the article there is an analysis of existing methods of evaluating the effectiveness of local heat supply management system. The technique of determining the identity of complex evaluation sys-

tem as a whole and its individual units. Justified the use of a comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of the energy management system, as well as to adjust the vector of its development.

Keywords: *energy management; effectiveness; monitoring; evaluation of the effectiveness; comprehensive effectiveness.*

BIBLIOGRAPHY

1. Lukinov, V.A. Regional'naja model' jenergomenedzhmenta [Tekst] / V.A. Lukinov, I.L. Pichugin // *Nedvizhimost': jekonomika, upravlenie*. – M. – 2013. – №1.
2. ISO 14001:2004 «Environmental management systems».
3. Kolyhaeva, Ju.A. Kompleksnaja ocenka jeffektivnosti funkcionirovanija sistemy teplosnabzhenija [Tekst] / Ju.A. Kolyhaeva, K.Je. Filjushina // *Problemy sovremennoj jekonomiki*. – 2012. – №1 (41). – S. 322-325.
4. Shomov, P.A. Metodologicheskie podhody k opredeleniju pervoocherednyh investij v jenergosberezhenie v sistemah teplosnabzhenija [Tekst]: jelektronnyj resurs URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/563>.
5. TSN 23-329-2002 Orlovskoj oblasti [Tekst].
6. Eremkin A.I., Ziganshin M.G., Dmitriev A.V. Kompleksnye pokazateli sovershenstva oчитki vozduha i proizvodstvennyh vybrosov pri nalichii «parnikovyh gazov» [Tekst]: jelektronnyj resurs URL: http://www.rusnauka.com/8_NIT_2008/Tethis/Stroitelstvo/27647.doc.htm.
7. Petrov, K.M. Obshhaja geojekologija [Tekst] / K.M. Petrov. – SPb, 2004.
8. Vetluzhskih, E. Spravochnik po upravleniju personalom [Tekst], 2005. – №2.
9. Jelektronnyj resurs URL: <http://www.pro-personal.ru/journal/423/131330>.

I. Pichugin

Moscow state construction university, Moscow
Postgraduate student

V. Lukinov

Moscow state construction university, Moscow
Doctor of economic sciences

СОЛОМЕНЦЕВ А.Б., КУЛИКОВА А.В.

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОРОЖНОГО БИТУМА С КОМПОЗИЦИЕЙ ДОБАВОК РАЗЛИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Определена динамическая вязкость дорожного битума с добавкой УНИРЕМ-001 и добавкой Секабаз РТ 945 при температурах от 160°С до 60°С. Установлено, что выдерживание битума с УНИРЕМ-001 от 30 до 90 минут при 160°С приводит к увеличению вязкости системы. Введение в битум с УНИРЕМ-001 добавки Секабаз РТ 945 при 0,5% от массы битума приводит к увеличению динамической вязкости, а при 1,0 и 2,0% – к снижению ее.

Ключевые слова: добавка УНИРЕМ-001; добавка для теплого асфальтобетона Секабаз РТ 945; динамическая вязкость дорожного битума с добавками; разрушение структуры.

В настоящее время в европейских странах применяются теплые асфальтобетонные смеси на основе вязких дорожных битумов с добавками, которые позволяют производить уплотнение при пониженных температурах [1, 2].

Реологические свойства добавок для теплого асфальтобетона и свойства дорожного битума с добавками были изучены авторами ранее [3] с помощью ротационного вискозиметра BROOKFIELD RVDV-II+PRO. Для исследования использовался дорожный битум БНД 60/90 Московского НПЗ.

Показатели свойств композиционного материала УНИРЕМ-001 [4] на основе активного резинового порошка приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели свойств композиционного материала УНИРЕМ-001 на основе активного резинового порошка

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Норма по СТО 61595504-002-2010	Фактические показатели
1	Размер частиц, мм	Остаток на сите 0,9 мм, не более 2%	0,86
2	Индекс агломерации, баллы	Не менее 8	8
3	Насыпная плотность, г/см ³	0,47±0,05	0,47
4	Влажность, %	Не более 8%	2,1

Смешивание добавки УНИРЕМ-001 с битумом проводилось при температуре 160°С в лабораторной мешалке для приготовления жидких смесей МЛ-2-01 в течение трех минут для однородного распределения частиц добавки в битуме. Расход добавки составлял 10% от массы битума и был выбран исходя из рекомендаций производителя УНИРЕМ-001 [4].

При введении в расплавленный битум с температурой 160°С и выше многокомпонентной порошковой добавки УНИРЕМ-001 на основе резинового порошка и распределении ее в битуме происходит взаимодействие компонентов добавки и компонентов битума между собой. Ввиду того, что частицы активного резинового порошка являются, по меньшей мере, трехкомпонентными, т.е. состоят из каучука, сажи и масла, они неактивно взаимодействуют с компонентами битума. Для активации взаимодействий на границе раздела «битум – поверхность резиновой частицы» вводится гелеобразующий адгезионный агент или инициатор гелеобразования [5], который способствует возникновению более активных крупных битумных частиц, увеличению сольватных оболочек вокруг них, что приводит к образованию более прочных сольватных оболочек на поверхности раздела битума – резиновые частицы. Введение сшивающего или структурирующего агента также инициирует процессы структурообразования и улучшения адгезионных связей битум – резиновая частица, т.к. после

распределения смолы в виде порошка начинаются процессы полимеризации, образуются точечные очаги новообразований, которые также изменяют растворяющую способность дисперсионной среды в битуме, изменяются размеры битумных частиц, образуются конденсированные структуры из компонентов битума и продуктов полимеризации. Для улучшения смачивания поверхности резиновых частиц путем его раскисления вводится метасиликат Са игольчатой структуры (микроволластонит). Обладая после раскисления большим сродством к резиновым поверхностям масляные компоненты битума должны более активно проникать вглубь резиновых частиц, тем самым способствуя их набуханию.

Введение 10% добавки УНИРЕМ-001 в битум приводит к увеличению его динамической вязкости (рис. 1). При температуре 160°C динамическая вязкость увеличивается более чем в полтора раза, при 100°C – в 3,7 раза, при 60°C – в 2,9 раза.

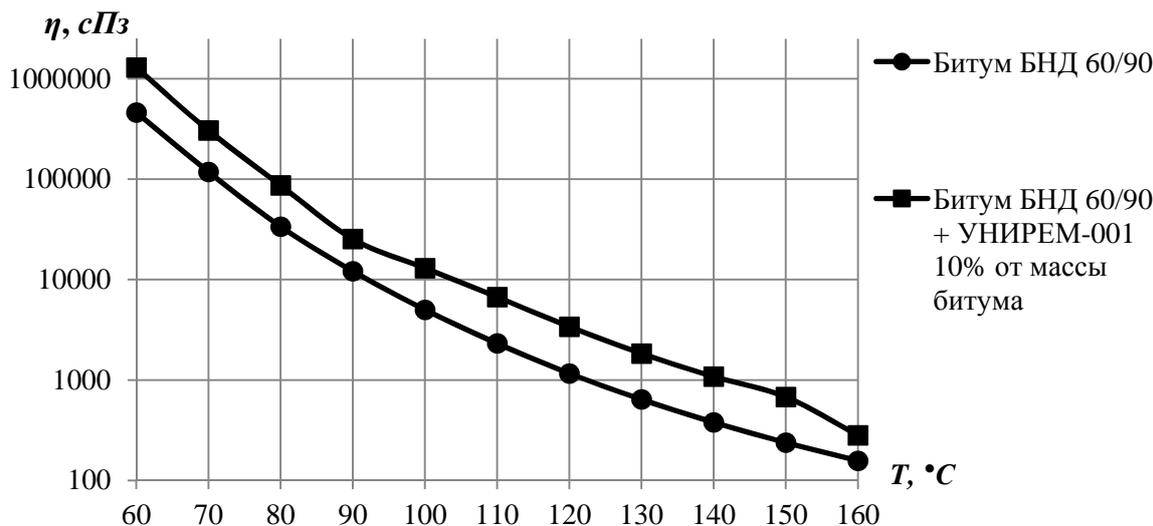


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости η битума БНД 60/90 и битума с добавкой УНИРЕМ-001 от температуры T

*Примечание: вертикальный масштаб принят логарифмическим с основанием 10.

Снижение динамической вязкости битума с УНИРЕМ-001 при увеличении скорости сдвигового деформирования при 160°C свидетельствует о том, что дисперсная система битум-резиновые частицы является структурированной, структура которой разрушается при увеличении скорости сдвига (рис. 2).

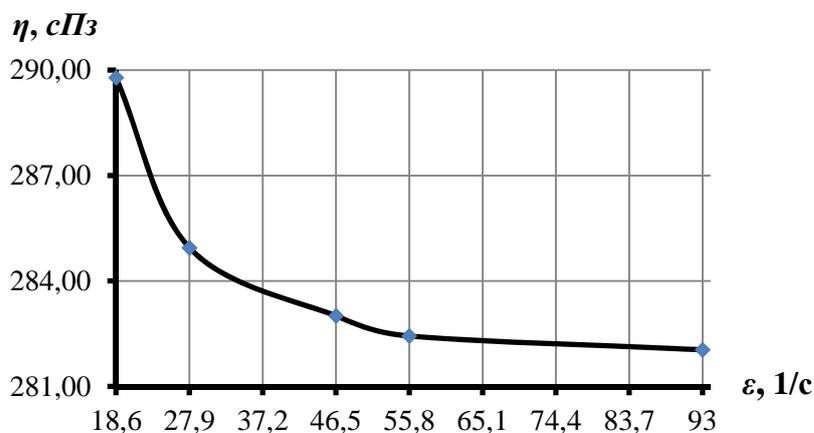


Рисунок 2 – Зависимость динамической вязкости η битума БНД 60/90 с добавкой УНИРЕМ-001 от скорости сдвига ϵ при температуре 160°C

Наличие в составе УНИРЕМ-001 инициатора гелеобразования и структурообразующего агента объясняет явление увеличения динамической вязкости при выдерживании битума с добавкой от 30 до 90 минут перед определением вязкости (табл. 2).

Таблица 2 – Динамическая вязкость битума с добавкой УНИРЕМ-001 при разном времени выдерживания при 160°С

№ п/п	Время выдерживания битума при температуре 160°С, мин.	Динамическая вязкость, сПз
1	0	271,7
2	30	282,0
3	60	291,9
4	90	299,6

Добавка для теплого асфальтобетона Секабаз РТ 945 вводилась в готовую смесь битума с добавкой УНИРЕМ-001 в лабораторный смеситель для приготовления полимерно-битумных вяжущих при 160°С и перемешивалась с битумом 3 минуты для однородного распределения добавок в смеси. Расход добавки Секабаз РТ 945 составлял 0,5; 1,0 и 2,0% от массы битума. Анализ полученных значений динамической вязкости битума с добавками УНИРЕМ-001 и Секабаз РТ 945 (табл. 3, рис. 2-4) позволяет выделить три температурные зоны по влиянию добавки Секабаз РТ 945 на изменение динамической вязкости. В первой зоне при температуре 160°С введение Секабаз РТ 945 приводит к увеличению динамической вязкости битума с УНИРЕМ-001 с увеличением содержания Секабаз РТ 945 (рис. 3). В этой зоне эффект добавки Секабаз РТ 945 перекрывается процессами образования структуры компонентов добавки УНИРЕМ-001.

Во второй температурной зоне $T=150-110^{\circ}\text{C}$ с увеличением расхода добавки Секабаз РТ 945 не отмечается существенного изменения динамической вязкости битума с УНИРЕМ-001.

В третьей температурной зоне 100-60°С отмечается снижение динамической вязкости битума с УНИРЕМ-001 при увеличении расхода добавки Секабаз РТ 945 (рис. 4-5). При расходе добавки Секабаз РТ 945 0,5% от массы битума отмечается незначительное при 100°С и значительное при 60°С увеличение динамической вязкости.

Таблица 3 – Значения динамической вязкости битума с добавками УНИРЕМ-001 и с Секабаз РТ 945

№ п/п	Вид материала	Динамическая вязкость материала, сРз, при заданной температуре, °С										
		160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
1	Битум БНД 60/90	157	238	379	642	1162	2320	5012	12135	33710	118329	461089
2	Вяжущее (битум БНД 60/90 + УНИРЕМ-001 10% от массы битума)	282	678	1084	1838	3395	6717	13000	25373	86800	306000	1294667
3	Вяжущее + Секабаз РТ 945 0,5% от массы битума	372	700	1200	1918	3457	6895	13932	37054	111667	385920	1688000
4	Вяжущее + Секабаз РТ 945 1% от массы битума	401	644	1082	1862	3421	6959	11153	27573	78600	268933	1126667
5	Вяжущее + Секабаз РТ 945 2% от массы битума	413	639	1076	1840	3283	5990	8440	21200	59733	196000	798800

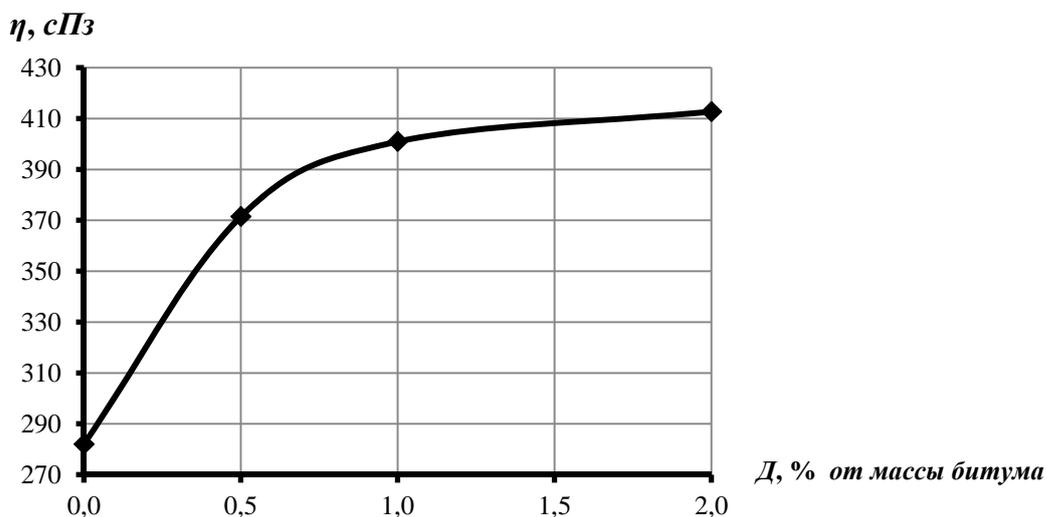


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости η битума с УНИРЕМ-001 от содержания D добавки Секабаз РТ 945 при температуре 160°C

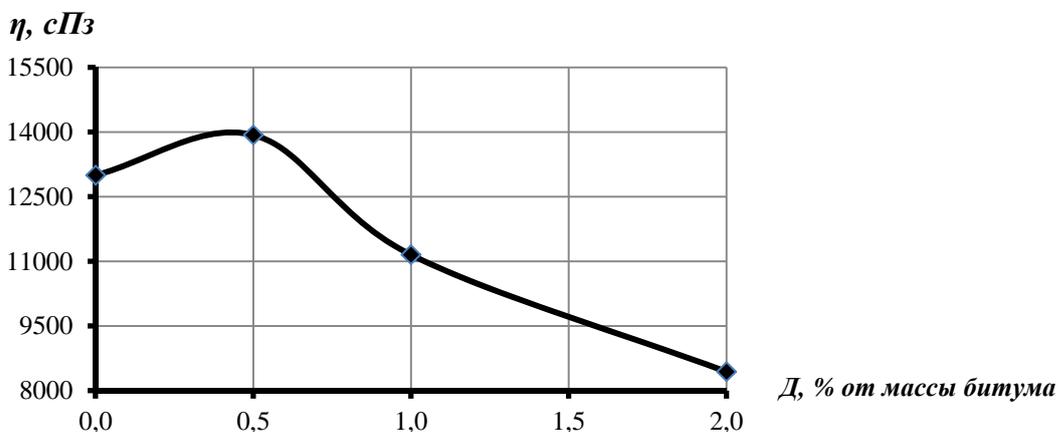


Рисунок 4 – Зависимость динамической вязкости η битума с УНИРЕМ-001 от содержания D добавки Секабаз РТ 945 при температуре 100°C

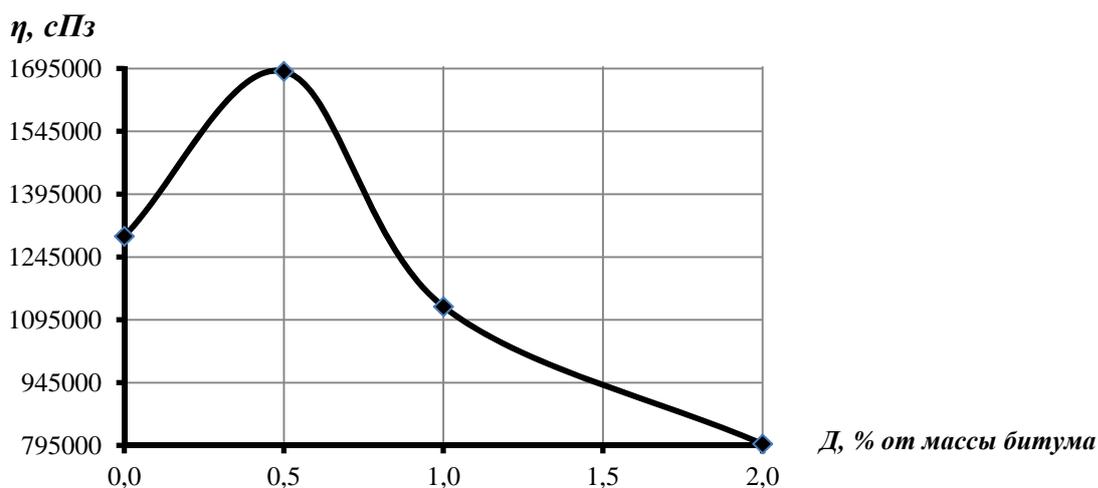


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости η битума с УНИРЕМ-001 от содержания D добавки Секабаз РТ 945 при температуре 60°C

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что процессы, происходящие в дисперсной системе битум-УНИРЕМ-001, носят сложный характер. Следует учитывать также

взаимодействие добавки Секабаз РТ 945 с компонентами дисперсной системы. Оценка целесообразности использования добавки УНИРЕМ-001 в асфальтобетонных смесях, укладываемых при пониженных температурах, требует проведения дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев, В.А. V конгресс «Евроасфальт-Евробитум» [Текст] / В.А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – №4. – С. 40-41.
2. Соломенцев, А.Б. Уплотняемость щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей с различными добавками при пониженных температурах [Текст] / А.Б. Соломенцев, А.В. Куликова // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2012. – №6 (44). – С. 102-108.
3. Куликова, А.В. Реологические свойства дорожного битума с добавками для теплого асфальтобетона [Текст] / А.В. Куликова, А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2013. – №2 (46). – С. 104-111.
4. СТО 61595504-002-2010. Материал композиционный «УНИРЕМ-001» на основе активного резинового порошка. Технические условия [Текст].
5. Пат. 2377262 РФ, МПК C08L17/00, C08J11/06, C04B26/26. Модифицирующая композиция для асфальтобетонных смесей и способ получения модифицированной асфальтобетонной смеси / Р.А. Горелик, В.Н. Балыбердин, Б.М. Слепая, М.И. Лернер и др. – Оpubл. 27.12.2009.

Соломенцев Александр Борисович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 47-51-93
E-mail: absolomentsev@mail.ru

Куликова Анастасия Владимировна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Студент пятого курса специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы»
Тел.: +7 (953) 610 58 57
E-mail: AnastKulikova@mail.ru

A. SOLOMENTSEV, A. KULIKOVA

REOLOGICAL PROPERTIES OF BITUMEN WITH ADDITIVES COMPOSITION OF VARIOUS FUNCTIONALITY

Determine the dynamic viscosity of the bitumen additive Unirem-001 and Cecabase RT 945 additive at temperatures between 160° C and 60° C. Found that aging bitumen Unirem-001 from 30 to 90 minutes at 160° C increases the viscosity of the system. Introduction into the bitumen with additives Unirem-001 Cecabase RT 945 at 0.5% by weight of the bitumen leads to an increase in dynamic viscosity, and at 1.0 and 2.0% - to decrease it.

Keywords: additive UNIREM-001; an additive for warm asphalt Cecabase RT 945; the dynamic viscosity of the bitumen with additives; the destruction of the structure.

BIBLIOGRAPHY

1. Zolotarev, V.A. V kongress «Evroasfal't-Evrobitum» [Tekst] / V.A. Zolotarev // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli. – 2012. – №4. – S. 40-41.
2. Solomencev, A.B. Uplotnjaemost' shhebenochno-mastichnyh asfal'tobetonnyh smesej s razlichnymi dobavkami pri ponizhennyh temperaturah [Tekst] / A.B. Solomencev, A.V. Kulikova // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet-UNPK, 2012. – №6 (44). – S. 102-108.

3. Kulikova, A.V. Reologicheskie svojstva dorozhnogo bituma s dobavkami dlja teplogo asfal'tobetona [Tekst] / A.V. Kulikova, A.B. Solomencev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet-UNPK. – 2013. – №2 (46). – S. 104-111.

4. STO 61595504-002-2010. Material kompozicionnyj «UNIREM-001» na osnove aktivnogo rezinovogo poroshka. Tehnicheskie uslovija [Tekst].

5. Pat. 2377262 RF, MPK S08L17/00, C08J11/06, C04B26/26. Modificirujushhaja kompozicija dlja asfal'tobetonnyh smesej i sposob poluchenija modificirovannoj asfal'tobetonnoj smesi / R.A. Gorelik, V.N. Balyberdin, B.M. Slepaja, M.I. Lerner i dr. – Opubl. 27.12.2009.

Alexandr Solomentsev

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Construction of highways»

Ph.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: absolomentsev@mail.ru

Anastasia Kulikova

State university – educational-science-production complex, Orel

Student of the 5-th class specialty 270205 «Highways and airfields»

Ph.: +7 (953) 610-58-57

E-mail: AnastKulikova@mail.ru

РЕЦЕНЗИЯ

на монографию

«Модель деформирования железобетона в приращениях
и расчет балок-стенок и изгибаемых плит с трещинами»

авторы: Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, А.Н. Петров, С.Н. Палювина.

Издательство Петрозаводского государственного университета, Петрозаводск, 2013. – 156 с.

Монография подготовлена коллективом специалистов в области механики железобетона на основе новых результатов их исследований по развитию методов расчета железобетонных конструкций. Необходимость издания монографии обусловлена актуальностью рассматриваемых авторами задач, новизной и практической значимостью полученных результатов.

В монографии исследован комплекс достаточно сложных задач нелинейного расчета железобетонных конструкций. Рациональный путь решения этих задач построен с применением предложенного авторами нового подхода, в основе которого – модель деформирования железобетона с трещинами в конечных приращениях. Такой подход позволяет существенно сократить затраты времени при расчете конструкций с учетом физической нелинейности. Именно такие расчеты позволяют проследить всю историю напряженно-деформированного состояния конструкции: от начала воздействия до полного исчерпания несущей способности. При этом расчет выполняется с применением современных численных методов и конечно-элементных компьютерных программ. Предложенные авторами монографии решения вносят существенный вклад в развитие методов конечно-элементного расчета железобетонных конструкций с учетом трещинообразования и других факторов физической нелинейности. Кроме того, возможность моделирования всего жизненного цикла конструкции (включая разрушение) открывает новые возможности в прогнозировании поведения зданий и сооружений в условиях аварийных и чрезвычайных ситуаций. Тем самым вносится вклад в повышение надежности и живучести зданий и сооружений. В работе приводятся примеры расчета по предлагаемой модели железобетонных балок-стенок и изгибаемых плит. Приводится сравнение полученных результатов с экспериментальными данными и результатами расчетов других авторов.

Монография будет полезна студентам старших курсов строительных вузов, аспирантам, преподавателям и специалистам, область деятельности которых связана с расчетом и проектированием железобетонных конструкций.

Академик РААСН, д.т.н., проф.



В.И. Колчунов

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unprk.ru

Адрес учредителя журнала

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 20.11.2013 г.

Формат 70×108 1/16. Печ. л. 6,0.

Тираж 400 экз.

Заказ № 138/13П2

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.