



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.
№6 (62) 2015
(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.

Заместитель главного редактора:

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

Редакция:

Бок Т. д.т.н., проф. (Германия)
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. мл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Рымшин В.И. мл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф. (Украина)
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
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:

Савин С.Ю. 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», 2014

Содержание

К 85 летию Брянского государственного инженерно-технологического университета!

Сохраняя и преумножая традиции российского инженерного образования! 3

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Мевлидинов З.А., Левкович Т.И., Панов Д.А., Сидорович А.С., Туров Д.С. Исследование прочности глинистых грунтов, укрепленных комплексно, для использования их при строительстве оснований автомобильных дорог 4

Моргунов М.В., Кожанова А.С., Винокуров Ю.Д. Экспериментальные исследования плит под распределенной нагрузкой 10

Окусок С.А. Расчет момента трещинообразования железобетонного элемента без предварительного напряжения арматуры на основании требований СП 63.13330.2012 14

Парфенов С.Г., Аветисян Л.А., Пронин А.А. К учету деформативных свойств бетона при расчете железобетонных конструкций в условиях высоких температур 21

Прокуров М.Ю., Киреев А.А. Математическая модель прогноза осадок центрально нагруженных ленточных фундаментов 26

Пятикрестовский К.П., Травуш В.И. Оценка методов определения критических напряжений и пределов за критической работы тонких фанерных обшивок при сдвиге 34

Радченко П.А., Батуев С.П., Плевков В.С., Радченко А.В. Моделирование разрушения железобетонных конструкций при ударных нагрузках 40

Сальников С.А., Колчунов В.И., Колчунов В.И. Методика расчета предельной нагрузки и координат образования пространственной трещины первого вида в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом 49

Семенов А.А., Маляренко А.А., Порываев И.А., Семенов С.А. Исследование моделей фланцевых соединений растянутых поясов металлических ферм в среде SCAD 57

Серпик И.Н., Балабин П.Ю. Снижение металлоемкости стальных рам без сокращения резерва несущей способности конструкций 66

Безопасность зданий и сооружений

Иващук О.А., Удовенко И.В. Формирование и развитие кадрового потенциала как основы создания новых технологий на стыке инженерно-строительных и компьютерных наук 75

Архитектура и градостроительство

Прокопишин Р.В. Возрождение усадьбы Алексея Толстого в селе Красный рог 82

Филопова Е.Р. Об актуальности применения резных поверхностей Монжа в архитектуре 91

Строительные материалы и технологии

Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Родин А.И. Биостойкие композиты на основе отходов стекла 96

Константинов И.С., Федоров С.С. Алгоритм управления системой многоконтурного теплоснабжения зданий и сооружений 107

Плотников В.В., Ботаговский М.В., Плотникова С.В. Ограждающие конструкции зданий с применением бесцементного пенобетона 112

Соломенцев А.Б., Мосюра Л.С. Реологические свойства дорожного битума с адгезионными добавками на основе азотсодержащих катионных ПАВ 120

Рецензия на книгу «Золотая пропорция и проблемы гармонии систем» 128



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

№6 (62) 2015
(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

Bock T. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)
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.
Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Sergeyчук O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)
Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
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:

Savin S.Yu. 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:
ПМ № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Ros-
sii» 86294

© State University ESPC, 2014

Contents

On the 85th anniversary of the Bryansk State Engineering Technological University!

Saving and enhancing traditions of the Russian engineering education! 3

Theory of engineering structures. Building units

- Mevludinov Z., Levkovich T, Panov D., Sidorovich A., Turov D.** Study of strength of fully improved clay soils for their use in the construction of highways basis 4
- Morgunov M., Kozhanova A., Vinokurov Yu.** Experimental studies of concrete plates loaded by distributed loading 10
- Okusok S.** Calculating the momentum of crackopening for reinforced concrete element without prestressing based on the equipments of sp 63.13330.2012 14
- Parphenov S., Avetisyan L., Pronin A.** On the assessment of concrete deformations in concrete structures calculation for high temperature conditions 21
- Prokurov M., Kireev A.** Mathematical model for forecast of settlements for centrally loaded strip foundations 26
- Pyatikrestovsky K., Travush V.** Assessment of methods of determining the critical stresses and the limits of supercritical work of thin plywood coverings under shear .. 34
- Radchenko P., Batuev S., Plevkov V., Radchenko A.** Modeling destruction of concrete structures under shock loads 40
- Salnikov A., Kolchunov V., Kolchunov V.I.** The method for determining the limit load and the formation coordinates of the first type spatial cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending 49
- Semenov A., Malyarenko A., Porivaev I., Semenov S.** Research of bolted flange joints models of stretched trusses elements in SCAD 57
- Serpik I., Balabin P.** Reduction in materials consumption of steel frames without drop in the reserve of structures bearing capacity 66

Building and structure safety

- Ivashchuk O., Udovenko I.** Formation and development of human resources as a basis of development of new technologies at the junction of engineering-building and computer sciences 75

Architecture and town-planning

- Prokopishin R.** The rebirth of the estate of Alexei Tolstoy in Krasny Rog village 82
- Filipova J.** About monge surface usage relevance in the architecture 91

Construction materials and technologies

- Erofeev V., Smirnova V., Bogatova S., Bogatov A., Kaznacheev S., Rodin A.** Bio-resistant building composites based on the glass wastes 96
- Konstantinov I., Fedorov S.** Algorithm of management of system of multicircuit heat supply of buildings and constructions 107
- Plotnikov V., Botagovskiy M., Plotnikova S.** Building envelope with the use of cement-free foam concrete 112
- Solomentsev A., Mosyura L.** Rheological properties of road bitumen adhesive additive based on nitrogen-containing cationic surfactant 120

- Review of the book "The golden proportion and harmony of systems problems"* 128

К 85 летию БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА!



Сохраняя и преумножая традиции российского инженерного образования!

Более двух столетий назад один из основателей Европейского инженерного образования Вильгельм Ф. Гумбольдт определил эту деятельность как «обучая – исследуй, исследуя – обучай». Это стало девизом подготовки инженеров во многих передовых странах Европы, в том числе и России, на многие десятилетия и определило высокий уровень инженерного профессионального образования страны и высокий уровень инженерного творчества российской и советских научных школ. Без сомнения, к этим достижениям причастны и научные разработки, выполненные учеными и выпускниками Брянского инженерно-технологического университета.

Отличительной особенностью вуза с момента его создания, несмотря на постоянные реформы в российском образовании и науке, было и остается высокопрофессиональная деятельность профессорско-преподавательского коллектива вуза, инженерных и научных кадров, способных «без разбега» работать в строительном, лесном, экологическом и транспортном комплексах региона и страны.

Научные достижения университета известны в России и во многих странах ближнего и дальнего зарубежья. Об этом свидетельствуют не только высокие правительственные награды вузу, но и широкие профессиональные связи ученых вуза с российскими и зарубежными научными и производственными организациями. Вуз имеет тесные научно-творческие связи с ближними вузами соседних регионов (Курск, Орел), открыв с ними объединенный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций по строительным специальностям. Вуз является соучредителем совместно издаваемых ведущих в стране научных журналов, развивает активные творческие связи с государственной академией архитектуры и строительных наук (РААСН), в работе которой участвуют и ученые БГИТУ, со многими НИИ строительной и других отраслей.

БГИТУ стал одним из создателей нового научного направления: биосферная совместимость- человек, регион, технологии, исследования по которому стали главным направлением недавно открытой научной специальности 05.2319 – Экологическая безопасность строительства городского хозяйства.

К своему 85-му юбилею в БГИТУ создан высокопрофессиональный профессорско-преподавательский коллектив, накоплены славные традиции подготовки кадров и научной деятельности. Университет уверенно стоит на пути дальнейшего развития и вселяет гордость за родной вуз у преподавателей и многих поколений его выпускников, успешно работающих во многих регионах нашей России и за рубежом. Редакционная коллегия журнала «Строительство и реконструкция» шлет свои поздравления и пожелания новых больших творческих успехов родному вузу.

**Главный редактор журнала
«Строительство и реконструкция»,
академик РААСН**

В.И. КОЛЧУНОВ

УДК 666.946.7

МЕВЛИДИНОВ З.А., ЛЕВКОВИЧ Т.И., ПАНОВ Д.А., СИДОРОВИЧ А.С., ТУРОВ Д.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ, УКРЕПЛЕННЫХ КОМПЛЕКСНО, ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Связные глинистые грунты в естественном виде непригодны для устройства дорожных одежд из-за низкой водоустойчивости. В сухом состоянии они обладают высокой прочностью и связностью, но почти полностью теряют их при водонасыщении.

Проведены исследования по укреплению глинистого грунта с числом пластичности $I_p = 25$ для последующего использования его при строительстве оснований автомобильных дорог с получением предела прочности на сжатие 8,0 МПа.

В качестве основного вяжущего был использован портландцемент марки 500. В качестве добавок использовали вначале 3% битумной эмульсии, затем 3% гашеной извести.

***Ключевые слова:** грунт, гранулометрический состав, физико-механические свойства, вяжущие, стабилизация, рецепт.*

Постановка проблемы

В структурах несвязных грунтов преобладают отдельные, несвязанные между собой частицы. В структурах связных грунтов преобладают грунтовые агрегаты. Размеры и прочность грунтовых агрегатов в значительной степени определяют свойства грунта. Создание новой структуры (цементогрунта, битумогрунта, битумоцементогрунта, известцецементогрунта) с заранее заданными свойствами достигают путём смешения в рационально подобранных соотношениях грунта, цемента и воды или битумной эмульсии (жидкого битума) с немедленным уплотнением полученной смеси и последующим выдерживанием в благоприятном тепло-влажностном режиме.

Проблема укрепления глинистых грунтов, превращения их в полноценный строительный материал имеет большое значение в дорожном строительстве.

Анализ достижений и публикаций

Анализируя опубликованный до настоящего времени научный материал по укреплению грунтов, изучая нормативную техническую документацию (СНиПы, ГОСТы, ВСН и другие рекомендации) [1...8], пришли к выводу, что у нас в стране и за рубежом разработано много методов укрепления грунтов для дорожного и аэродромного строительства.

Еще В. М. Безруковым в 20-ые годы прошлого столетия приведена классификация методов укрепления грунтов разных видов: связных и несвязных. Каждый из методов, имеет свои специфические особенности по эффективности воздействия на грунт различных видов вяжущих и используемых добавок, по условиям технологии производства работ по их укреплению, но материала по укреплению глин с числом пластичности $I_L=25$ найдено не было.

Цель и постановка задач исследования

Цель исследования – подобрать состав компонентов смеси при укреплении глинистого грунта доступными недорогими вяжущими и добавками, чтобы использовать полученную смесь при строительстве оснований автомобильных дорог.

Задачи исследования:

- Проанализировать поведение укрепленных глинистых грунтов при их твердении;
- Определить основные физико-механические характеристики грунта, доставленного строительной организацией ООО «Союз мастеров» со строительной площадки;
- Подобрать состав для укрепления доставленного грунта комплексным методом.
- Подготовить рекомендации по использованию укрепленного грунта при строительстве оснований автомобильных дорог с получением предела прочности на сжатие 8,0 МПа.

Исследовательская часть и обоснование полученных результатов

В период твердения укрепленной цементом грунтовой смеси возникают новообразования кристаллического характера, образующие разветвленный и водоустойчивый каркас, наличие которого преимущественно меняет первоначальную структуру грунта. Основным структурообразующим компонентом в цементогрунтовых смесях является цемент. Изменяя его дозировку, можно направленно изменить прочностные свойства и морозостойкость смеси. В естественном виде у грунтов промежутки между частицами обычно в большей или меньшей степени заполнены водой. Поэтому грунты представляют собой дисперсную систему, в которой вода является дисперсной фазой. Наличие в грунтах тонкодисперсных и коллоидных частиц ведёт к значительному увеличению суммарной поверхности раздела между твёрдой фазой и жидкой средой и, следовательно, к увеличению свободной поверхности энергии. При этом повышается физическая и химическая активность частиц и возрастает адсорбционная способность их поверхности. Свойства грунтов, как дисперсных систем, зависят не только от гранулометрического и минерального состава, но так же и от количества и размеров грунтовых агрегатов, в которых грунтовые частицы более или менее связаны между собой.

Кристаллизационные новообразования в виде разветвленного жёсткого каркаса пронизывают весь объём нового материала - цементогрунта. Наряду с кристаллизационной структурой в цементогрунте большой объём занимает и конденсационная структура, которая преобладает внутри крупных агрегатов. Поэтому, в целом, структуру цементогрунта следует считать конденсационно кристаллизационной.

Нами вначале для определения основных физико-механических характеристик грунта (плотности глинистого грунта лабораторным путём) был использован ускоренный метод с применением модифицированного плотномера-влажмера Ковалева (насыпная плотность влажного грунта равнялась $1,18 \text{ г/см}^3$, а сухого – $1,36 \text{ г/см}^3$). Затем определили плотность грунта методом режущего кольца весовым методом. Получили одинаковые результаты. Измеренная плотность глинистого грунта в естественном состоянии была равна $1,52 \text{ г/см}^3$. Помимо плотности были определены влажности (естественная, на границе раскатывания, на границе текучести и оптимальная), удельный вес, пористость, показатель текучести и т.д.

Для оценки качества основного вяжущего - портландцемента определяли следующие свойства: нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста, предел прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек, изготовленных из цементного раствора. Нормальная густота для портландцемента находится в пределах 21-27 %. Определили, что нормальная густота испытуемого цементного теста равна 26 %. Начало схватывания цемента должно наступить не ранее 45 минут, а конец не позднее 10 часов от начала затворения. Для данного образца цементного теста определили, что начало схватывания равно 60 минут, конец схватывания равен 8 часов.

Образцы изготавливали прессованием в жёстких металлических формах с двухсторонними вкладышами, при этом статическая нагрузка была выдержана ($30,0 \pm 0,5$) МПа и время её действия ($3 \pm 0,1$) мин. Такое изготовление образцов было принято согласно [1...3, 8].

Подбор состава проб осуществляли из цементогрунтовой смеси, изменяя ее состав. При этом расход портландцемента марки 500 назначили в пределах от 5% сверх массы грун-

та до 13%. Портландцемент соответствует ГОСТ 10178-85 [4]. Для комплексного укрепления были приняты следующие добавки:

а) битумная эмульсия в количестве 3% сверх массы грунта, она соответствует ГОСТ 11955-82 [5];

б) гашеная известь (пушонка) в количестве 3% сверх массы грунта согласно ГОСТ 9179-77 [6];

Вода использовалась для доведения укрепленного грунта до оптимальной влажности (ГОСТ 23732-2011) [7].

Твердение образцов после их изготовления вплоть до испытаний происходило в камере влажного хранения (в эксикаторе). Первые сутки образцы были погружены в воду на 1/3 своей высоты, затем во вторые сутки их полностью заливали водой для полного водонасыщения.

Возраст образцов к началу испытаний составлял 4, 5, 6 и 7 суток. Марочную прочность образцы должны были набрать в возрасте 28 суток при основном минеральном вяжущем 1-го вида (портландцементе) – ГОСТ 23558-94 [1, п.6.1].

Для приведения к марочной прочности использовались возрастные переводные коэффициенты. Для перевода цилиндрических образцов форм 7,14 см вводился поправочный коэффициент, равный 1,16.

Степень уплотнения слоя укрепленного грунта оценивали величиной коэффициента относительного уплотнения K_o , который определяли по формуле (1):

$$K_o = \rho_f / \rho_{ск}, \quad (1)$$

где ρ_f - фактическая плотность скелета образца уплотненного укрепленного грунта, г/см³; $\rho_{ско}$ - максимальная плотность скелета образца укрепленного грунта, полученная в лаборатории по ГОСТ 22733 [8], г/см³.

Предел прочности на сжатие определяли на гидравлическом прессе для образцов после твердения их в течение 4, 5, 6 и 7 суток во влажных условиях и переводили к 28 суткам, используя формулу (2):

$$R_n = R_{28} (lg_n / lg_{28}), \quad (2)$$

где R_{28} – предел прочности на сжатие образцов в возрасте 28 суток, МПа; R_n - предел прочности на сжатие образцов возраста n суток (n = 4, 5, 6, 7), МПа.

Полученные значения предела прочности при сжатии (R_4, R_5, R_6, R_7 и переводное вычисленное значение R_{28}) фиксировали в журнале испытаний. Результаты лабораторных испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты испытаний образцов из укрепленного грунта

Количество цемента М500, %	Предел прочности на сжатие образцов без добавок, МПа	Предел прочности на сжатие образцов с битумной эмульсией в количестве 3%, МПа	Предел прочности на сжатие образцов с гашеной известью в количестве 3%, МПа
4	1,65	2,30	2,60
5	2,54	2,60	3,34
6	3,90	2,89	3,95
7	5,16	3,14	4,63
8	5,5	3,32	6,25
9	5,52	3,53	8,46
10	5,70	3,55	8,85
11	5,66	3,59	8,37
12	4,90	3,50	6,58
13	3,99	3,44	4,94

Графики изменения прочности грунта в зависимости от количества вяжущего и вида добавок приведены на рисунке 1.

Строительство основания из цементогрунтовой смеси с добавлением битумной эмульсии или извести гашеной при смешении компонентов на дороге представляет собой III-ю группу работ.

В слоях дорожной одежды из цементогрунтов, укрепленных с добавкой битумной эмульсии, добавка обычно составляет 2...5% от массы смеси, в нашем случае принято 3%. Оптимальная влажность таких укрепленных грунтов определяется с учетом воды эмульсии.

За окончательный результат предела прочности на сжатие испытываемых образцов принимали среднее значение трех образцов, изготовленных из смеси одного состава.

Согласно заданию дорожно-строительной организации нами была рассчитана потребность в материалах. Норма расхода получена расчетом с использованием лабораторных и испытаний образцов укрепленного грунта.

Расчет объемов материалов произведен для слоя грунта толщиной $h_{ст}=0,35\text{м}$ в плотном теле на 1 м^2 согласно полученному рецепту.

Полученный рецепт укрепленного грунта включает в себя:

- грунт (глина полужирная, число пластичности - 25) - 100%;
- цемент (марки М500) – 9%;
- известь – 3%;
- вода - 10%. Средняя плотность укрепленного уплотненного грунта при этом составляет $2,065\text{т/м}^3$.

Коэффициент относительного уплотнения при насыпной плотности грунта $1,18\text{ г/см}^3$ равен: $K_o=2,065/1,18=1,76$.

Расход материалов на 1 м^3 укрепленного грунта:

- грунт (глина полужирная, число пластичности - 25) - 1692,62 кг;
- цемент (марки М500) – 152,34кг;
- известь – 50,78 кг;
- вода - 169,26 кг.

Расход материалов на 1 м^2 укрепленного грунта для слоя толщиной $0,35\text{м}$:

- грунт (глина полужирная, число пластичности - 25) - 592.42 кг;
- цемент (марки М500) – 53,32 кг;
- известь – 17.77 кг;
- вода – 59,24 кг.

Выводы

Проведенные лабораторные испытания образцов укрепленного грунта, обработанного только цементом (затем цементом плюс добавки), показали, что необходимую прочность, равную 8,0 МПа, можно достичь лишь при обработке глинистого грунта цементом в количе-

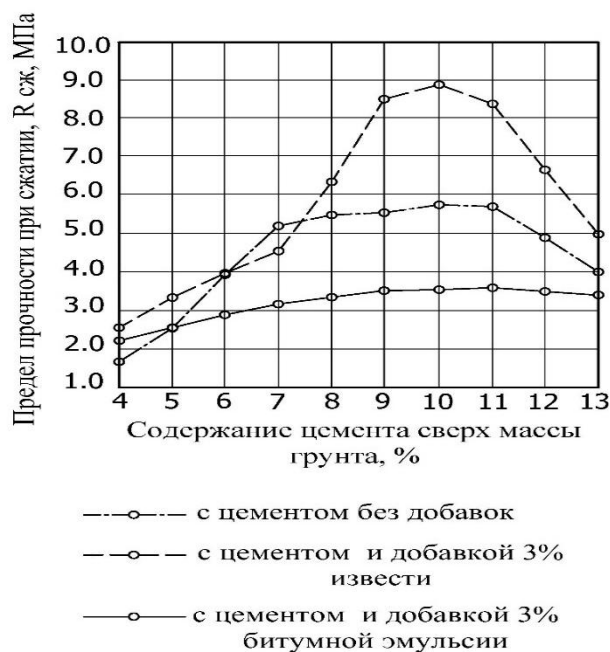


Рисунок 1 - Графики изменения прочности грунта в зависимости от количества вяжущего и вида добавок

стве 8,75% сверх массы грунта с добавкой гашеной извести в количестве 3%. Авторами данной работы было рекомендовано дорожной строительной организации применить для укрепления грунта 9% цемента сверх массы глинистого грунта и в качестве добавки использовать известь в количестве 3%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23558-94. Межгосударственный стандарт. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005. – 8 с.
2. ГОСТ 30491-2012. Международный стандарт. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005. – 30 с.
3. СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.1.1.01-2013. Стандарт организации. Правила по строительству оснований и покрытий дорожных одежд местных (сельских) автомобильных дорог Московской области с использованием укрепленных грунтов. - М.: МОСАВТОДОР, 2013. -75 с.
4. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). - Государственный комитет СССР по делам строительства, 1987. - 6 с.
5. ГОСТ Р 52128-2003. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия. – М.: Госстрой России, 2003. – 26 с.
6. ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия. - М.: Госстрой СССР, 1977. – 6 с.
7. ГОСТ 23732-2011. Межгосударственный стандарт. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2011. – 21 с.
8. ГОСТ 22733-2002. Международный стандарт. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М.: Госстрой РФ, 2002. – 13 с.

З.А. Мевлидинов

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры «Автомобильные дороги»,
E-mail: zelgedinm@yandex.ru

Т.И. Левкович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги»,
E-mail: tlevkovich@mail.ru

Д.А. Панов

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Магистр строительного факультета
swordblackblood@yandex.ru

А.С. Сидорович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Студент строительного факультета
E-mail: sidi.10@mail.ru

Д.С. Туров

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Магистр строительного факультета
E-mail: dinson2236@mail.ru

Z. MEVLIDINOV, T. LEVKOVICH, D. PANOV, A. SIDOROVICH, D. TUROV

STUDY OF STRENGTH OF FULLY IMPROVED CLAY SOILS FOR THEIR USE IN THE CONSTRUCTION OF HIGHWAYS BASIS

Cohesive clay soils in their natural form are not suitable for the installation of road pavements due to the low water resistance. In dry condition they have high strength and consistency, but almost completely lose them at water saturation.

The research on improving clay soil with the index of plasticity $I_p = 25$ for its future use in the construction of highways basis with obtaining compressive strength of 8.0 MPa was carried out.

As the primary binder used was a Portland cement grade 500. As additives used the first 3% of bitumen emulsion, then 3% hydrated lime.

Key words: soil, granulometric composition, physical and mechanical properties, stabilization, formula.

BIBLIOGRAPHY

1. GOST 23558-94. Mezhdgosudarstvennyy standart. Smesi shchebenochno-graviyno-peschanye i grunty, obrabotannye neorganicheskimi vyazhushchimi materialami dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Tekhnicheskie usloviya [Tekst]. – M.: FGUP «Standartinform», 2005. – 8 s.
2. GOST 30491-2012. Mezhdunarodnyy standart. Smesi organomineral'nye i grunty, ukreplennye organicheskimi vyazhushchimi, dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Tekhnicheskie usloviya [Tekst]. – M.: FGUP «Standartinform», 2005. – 30 s.
3. STO 26233397 MOSA VTODOR.1.1.1.01-2013. Standart organizatsii. Pravila po stroitel'stvu osnovaniy i pokrytiy dorozhnykh odezhd mestnykh (sel'skikh) avtomobil'nykh dorog Moskovskoy oblasti s ispol'zovaniem ukreplennykh gruntov [Tekst]. - M.: MOSA VTODOR, 2013. - 75 s.
4. GOST 10178-85. Portlandsement i shlakoportlandsement. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami N 1, 2) [Tekst]. - Gosudarstvennyy komitet SSSR po delam stroitel'stva, 1987. - 6 s.
5. GOST R 52128-2003. Emul'sii bitumnye dorozhnye. Tekhnicheskie usloviya [Tekst]. – M.: Gosstroy Ros-sii, 2003. – 26 s.
6. GOST 9179-77. Izvest' stroitel'naya. Tekhnicheskie usloviya [Tekst]. - M.: Gosstroy SSSR, 1977. – 6 s.
7. GOST 23732-2011. Mezhdgosudarstvennyy standart. Voda dlya betonov i stroitel'nykh rastvorov. Tekhnicheskie usloviya [Tekst]. – M.: FGUP «Standartinform», 2011. – 21 s.
8. GOST 22733-2002. Mezhdunarodnyy standart. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya maksimal'noy plotnosti [Tekst]. – M.: Gosstroy RF, 2002. – 13 s.

Z. Mevlinov

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of "Highways"
E-mail: zelgedinm@yandex.ru

T. Levkovich

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Highways"
E-mail: tlevkovich@mail.ru

D. Panov

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Master of the Civil Engineering Faculty
E-mail: swordblackblood@yandex.ru

A. Sidorovich

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Student of the Civil Engineering Faculty
E-mail: sidi.10@mail.ru

D. Turov

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Master of the Civil Engineering Faculty
E-mail: dimson2236@mail.ru

МОРГУНОВ М.В., КОЖАНОВА А.С.,ВИНОКУРОВ Ю.Д.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПОД РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Проведены экспериментальные исследования прямоугольных железобетонных плит, опертых по четырем сторонам, находящихся под распределенной нагрузкой, при соотношении пролетов $l_2/l_1 < 2$. Найдена разрушающая нагрузка при заданных геометрических размерах и схеме армирования плиты. Определены деформации железобетонной плиты от равномерно распределенной нагрузки. Рассмотрены различные методы расчета железобетонных плит, опертых по контуру, по прочности и деформативности. Произведено сопоставление теоретических и экспериментальных данных.

Ключевые слова: железобетонная плита, прочность, максимальный прогиб, разрушающая нагрузка.

Существуют различные методики расчета железобетонных плит, находящихся под действием распределенной нагрузки, важно понимать, насколько каждый из них близок к практическим данным [1...4, 6].

Для экспериментальных исследований были запроектированы и изготовлены три железобетонные плиты размером 1080x680 мм (рис. 1, а). Армирование плит (рис. 1, б) принято в виде плоской сетки С-1 ячейкой 200x200 мм с рабочей арматурой диаметром 3 мм класса Вр-I (B500) $R_s=410$ МПа[5].

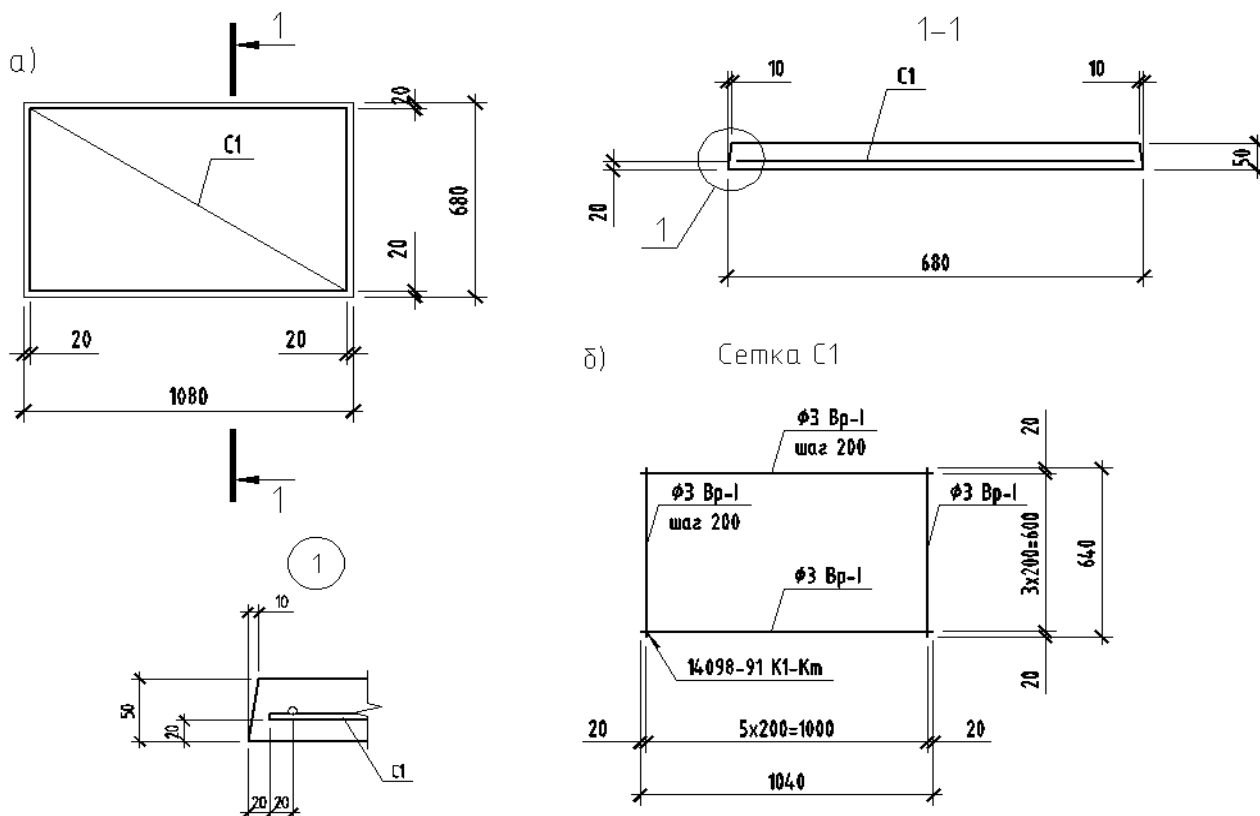


Рисунок 1 – Опытный образец: а - схема конструктивного решения, б- армирования

Параллельно с изготовлением основных образцов были изготовлены вспомогательные бетонные кубы размерами 150x150x150, предназначенные для получения фактических прочностных и деформативных характеристик бетона на момент проведения испытаний. Испытания вспомогательных образцов бетона проводили по методике ГОСТ 10180-90. В результате испытаний были определены основные характеристики бетонов. Для образцов с проектным классом бетона В40: $R_{bn}=29$ МПа, $R_b=22$ МПа, $R_{bt}=1,4$ МПа, $E_b=36,8 \cdot 10^3$ МПа.

Нагрузка на плиту прикладывалась ступенями с выдержкой в течение 10 минут на каждой ступени. При проведении испытаний измерялись и фиксировались следующие опытные величины: прогибы бетона плиты, значение текущей нагрузки. Измерение прогибов бетона производилось с использованием прогибомеров Максимова. Схема расстановки прогибомеров представлена на рисунке 2.

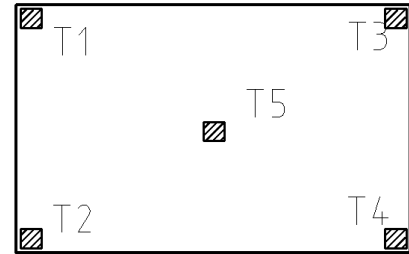


Рисунок 2 – Схема установки прогибомеров (Т) на опытной конструкции

В результате, в ходе испытаний установлена разрушающая нагрузка $q = 24,5$ кПа (рис. 3а).

Расчёт опытных конструкций железобетонных плит выполнялся в двух вариантах: 1) с учетом пространственной работы плиты; 2) численным методом с использованием программного комплекса Stark ES (рис.3б).

а)



б)

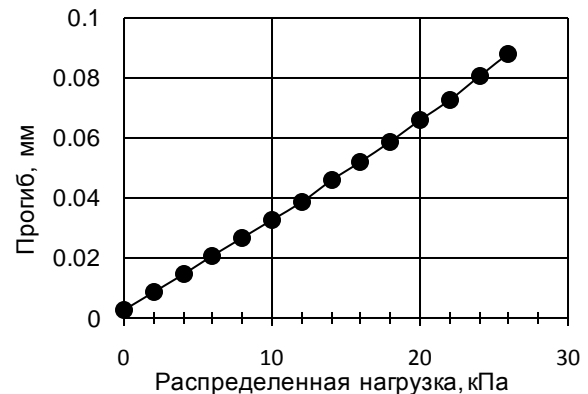


Рисунок 3 – График прогибов в центре плиты от нагрузки:

а - опытной конструкции, б- результаты вычислений в программном комплексе Stark ES

В плитах, свободно опертых по контуру (рис.4), с отношением пролетов $\lambda = l_2/l_1 \leq 3$ ($1,03/0,63=1,635$) при равномерно распределенной нагрузке q , разрушающая нагрузка определялась по формулам [5]:

$$q_1 \leq \frac{24 \cdot (\overline{M}_1 + \overline{M}_2)}{l_1^2 \cdot (3l_2 - l_1) \cdot \gamma_n}, \quad (1)$$

где \overline{M}_1 - предельный момент усилий в арматуре, пересекающей сечение, относительно приведенного центра тяжести сжатой зоны, определенного с учетом увеличения плеч сил за счет прогиба плиты;

\overline{M}_2 - предельный обобщенный момент усилий в арматуре;

l_1 и l_2 - соответственно короткий и длинный расчетные пролеты;

γ_n - коэффициент надежности по назначению .

$$q_2 \leq \frac{24 \cdot (\overline{M}_1 + \overline{M}_2)}{l_1^2 \cdot (3l_2 - l_1) \cdot K_{sp} \cdot \gamma_n}, \quad (2)$$

где \overline{M}_1 и \overline{M}_2 - предельные моменты усилий в арматуре;

K_{sp} - коэффициент, учитывающий влияние пространственной работы и концентрации арматуры в центре плит.

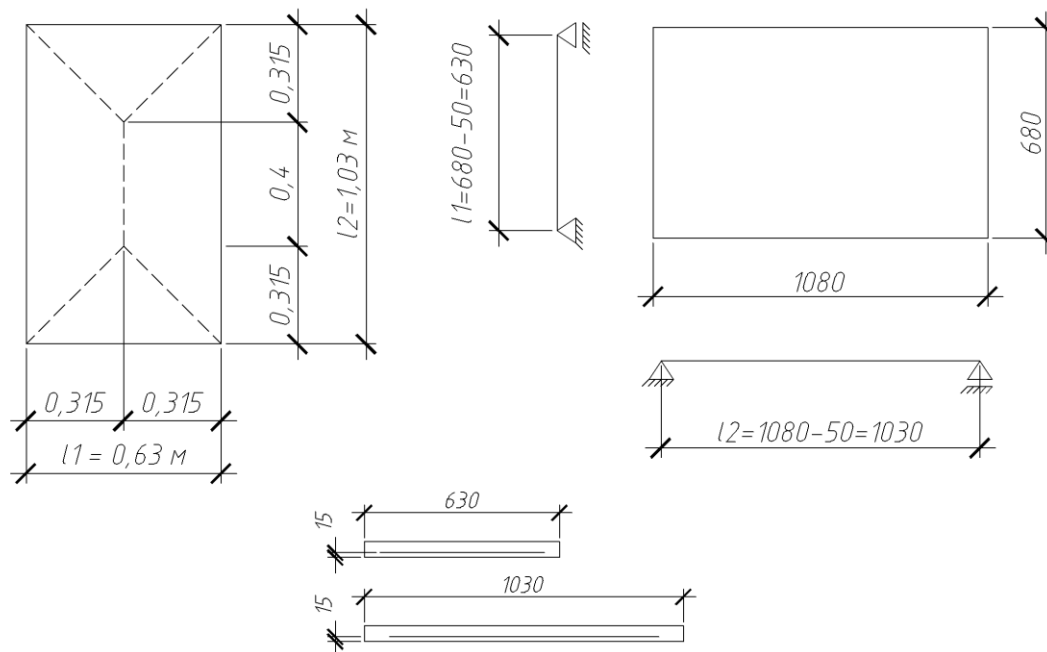


Рисунок 4 - Расчетная схема плиты

Подставив исходные данные, были получены следующие результаты: $q_1 = 23,9$ кПа, $q = 21,1$ кПа. Результаты вычислений в программном комплексе Stark ES представлены на рисунке 3, $q_{st} = 27$ кПа.

Анализ полученных данных позволяет заключить следующее. Наиболее близким к экспериментальным данным по эмпирическим зависимостям является первый вариант расчета запас прочности 2%. По второму варианту запас прочности составил 14%. Менее точные данные получены с помощью расчетного комплекса Stark ES.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян, А.Г. Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий. [Текст] / Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. // Промышленное и гражданское строительство. 2011. №3. с. 23-25.
2. Тамразян, А.Г. Расчет элементов конструкций при заданной надёжности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности. [Текст] / Тамразян А.Г. // Вестник МГСУ. 2012. №10. с. 109-115.
3. Тамразян, А.Г. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления. [Текст] / Тамразян А.Г., Дудина И.В. // Жилищное строительство. 2001. №3. с. 8.
4. Зырянов, В.С. Рекомендации по расчету и конструированию сборных сплошных плит перекрытий жилых и общественных зданий [Текст] / В.С. Зырянов - М.: ЦНИИЭП, 2005. - 92 с.
5. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 [Текст]. - М., 2013 - 119 с.
6. Зырянов, В. С. Пространственная работа железобетонных плит, опертых по контуру [Текст] / В.С. Зырянов - М.: ЦНИИЭП жилища, 2002. - 108 с.

М.В. Моргунов

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент кафедры строительные конструкции
E-mail: 5555@bk.ru

А.С. Кожанова

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
аспирант кафедры строительных конструкций
E-mail: parfenovaas@mail.ru

Ю.Д. Винокуров

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
аспирант кафедры строительных конструкций
E-mail: intel-vin@ya.ru

M. MORGUNOV, A. KOZHANOVA, Yu. VINOKUROV

**EXPERIMENTAL STUDIES OF CONCRETE PLATES
LOADED BY DISTRIBUTED LOADING**

Experimental studies of reinforced concrete rectangular slabs supported on four sides under distributed load at a ratio span $l_2/l_1 < 2$. Found breaking load for given dimensions and pattern of reinforcement plate. Determination of deformation of concrete slab uniformly distributed load. Various methods of calculation of reinforced concrete slabs supported on a loop, strength and deformability. Produced comparison of theoretical and experimental data.

Keywords: reinforced concrete slab, the strength, the maximum deflection, failure load.

BIBLIOGRAPHY

1. Tamrazyan, A.G. Metod poiska rezerva nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh plit perekrytiy. [Tekst]/Tamrazyan A.G., Filimonova E.A. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo.2011.№3.s.23-25.
2. Tamrazyan, A.G. Raschet elementov konstruksiy pri zadannoy nadezhnosti i normal'nom raspredelenii n a-gruzki i nesushchey sposobnosti. [Tekst]/ Tamrazyan A.G. Vestnik MGSU.2012.№10.s.109-115.
3. Tamrazyan, A.G. Obespechenie kachestva sbornykh zhelezobetonnykh konstruksiy na stadii izgotovleniya. [Tekst]/ Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Zhilishchnoe stroitel'stvo.2001. №3 .s.8.
4. Zyryanov, V.S. Rekomendatsii po raschetu i konstruirovaniyu sbornykh sploshnykh plit perekrytiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Tekst] / V.S. Zyryanov - M.: TsNIIEP, 2005. - 92 s.
5. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 52-01-2003 [Tekst]. - M., 2013 - 119 s.
6. Zyryanov, B. C. Prostranstvennaya rabota zhelezobetonnykh plit, opertykh po konturu [Tekst] / V.S. Zyryanov - M.: TsNIIEP zhilishcha, 2002.-108 s.

M. Morgunov

Bryansk state university of engineering and technology, Bryansk
Candidate of technical sciences, associated professor of the department of building constructions
E-mail: 5555@bk.ru

A. Kozhanova

Bryansk state university of engineering and technology, Bryansk
Postgraduate student of the department of building constructions
E-mail: parfenovaas@mail.ru

Yu. Vinokurov

Bryansk state university of engineering and technology, Bryansk
Postgraduate student of the department of building constructions
E-mail: intel-vin@ya.ru

ОКУСОК С.А.

РАСЧЕТ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ- НА ОСНОВАНИИ ТРЕБОВАНИЙ СП 63.13330.2012

В статье рассматриваются методы расчета величины момента трещинообразования в железобетонном элементе без предварительного напряжения арматуры. Значение момента трещинообразования является важной характеристикой железобетонного элемента. Поэтому важно иметь надежный метод для ее вычисления, дающий достоверный результат. Согласно действующему СП 63.13330.2012, расчет момента трещинообразования допускается проводить по двум методам. Это расчет с использованием упругопластического момента сопротивления сечения и расчет по нелинейной деформационной модели. Проведен сравнительный анализ значений моментов трещинообразования и значений сопутствующих параметров (высоты сжатой зоны, деформаций бетона и арматуры) вычисленных по различным методикам. При расчете по нелинейной деформационной модели использовались двух- и трехлинейные диаграммы состояния бетона с параметрами, рекомендованными СП 63.13330.2012. На основании анализа полученных результатов сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: момент трещинообразования, железобетонный элемент, упругопластический момент сопротивления сечения, нелинейная деформационная модель, диаграмма состояния бетона

В настоящее время в строительной отрасли широкое распространение получают методы расчета железобетонных конструкций, основанные на применении нелинейной деформационной модели железобетона.

Принятая в действующих нормах [1] методика расчета нормальных сечений на основе нелинейной деформационной модели обеспечивает единый подход к расчету железобетонных элементов по I и II группе предельных состояний.

Особое внимание следует уделить расчету трещиностойкости. Согласно действовавшим ранее нормам [2], момент трещинообразования M_{cr} определялся на основе общих правил сопротивления материалов с учетом упругопластического момента сопротивления сечения:

$$M_{cr} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} \pm M_{rp}. \quad (1)$$

Формула (1) практически без изменений была перенесена в действующие нормы [1].

Действующие нормы [1] оставляют за инженером выбор метода расчета момента трещинообразования M_{cr} . Возможен как расчет, основанный на использовании упругопластического момента сопротивления сечения, так и расчет по нелинейной деформационной модели. При расчете железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели, действующими нормами рекомендовано использование трехлинейной диаграммы состояния бетона. Кроме того, допускается использование двухлинейной диаграммы состояния, при упругой работе сжатого бетона.

Произведем сравнение результатов расчета M_{cr} по трем методам:

- с использованием упругопластического момента сопротивления сечения;
- по нелинейной деформационной модели с использованием двухлинейной диаграммы состояния бетона;
- по нелинейной деформационной модели с использованием трехлинейной диаграммы состояния бетона.

Расчеты будем выполнять для сечения, изображенного на рисунке 1. Расчетные характеристики сечения: бетон класса В20 ($R_{bt,ser} = R_{bt,n} = 1.35$ МПа, $R_{b,ser} = R_{b,n} = 15$ МПа, $E_b = 27500$ МПа), арматура горячекатаная из стали класса А800 ($R_{s,ser} = R_{s,n} = 800$ МПа, $E_s = 2.0 \cdot 10^5$ МПа), без предварительного напряжения.

Расчет момента трещинообразования M_{crc} с использованием упругопластического момента сопротивления сечения

В связи с тем, что арматура в рассматриваемом сечении принята без предварительного напряжения, значение момента трещинообразования вычисляется по формуле:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl}, \quad (2)$$

где W_{pl} - упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона.

$$W_{pl} = 1.3W_{red}, \quad (3)$$

где W_{red} - упругий момент сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне сечения.

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t}, \quad (4)$$

где I_{red} - момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести;

y_t - расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения.

Произведя необходимые вычисления, получим значение $M_{crc} = 5.867$ кНм.

Согласно правилам сопротивления материалов, нейтральная ось изгибаемого элемента проходит через его центр тяжести. Следовательно, высота сжатой зоны будет рассчитана как $x = h - y_t = 0.1794$ м.

Расчет момента трещинообразования M_{crc} по нелинейной деформационной модели с использованием двухлинейной диаграммы состояния бетона

Методика расчета момента трещинообразования M_{crc} по нелинейной деформационной модели приведена в следующем источнике [3]. Воспользуемся приведенной методикой расчета M_{crc} для сечения показанного на рисунке 1.

На рисунке 3 показана двухлинейная диаграмма для бетона кл. В20. Для удобства вычислений, эпюры деформаций ε и напряжений σ для рассматриваемого сечения приведены на рисунке 4.

Согласно рисунку 4, усилие в сжатом бетоне составит:

$$N_{b,сж} = \frac{1}{2} \cdot x \cdot \sigma_b \cdot b = \frac{1}{2} \cdot x \cdot 1.5 \frac{x}{0.35 - x} \cdot 0.15 = 0.1125 \frac{x^2}{0.35 - x}. \quad (5)$$

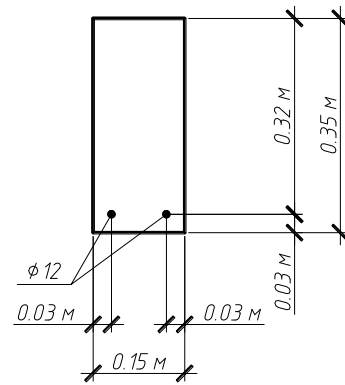


Рисунок 1 - Поперечное сечение железобетонного элемента

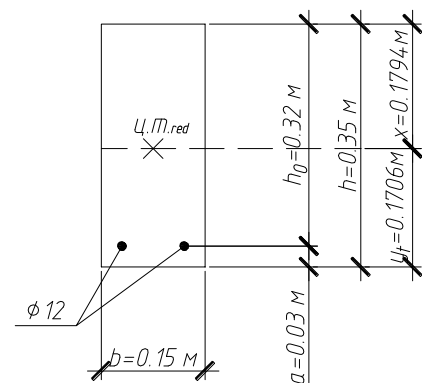


Рисунок 2 - К определению геометрических характеристик поперечного сечения

Усилия в растянутых бетоне и арматуре соответственно равны:

$$N_{b,расм} = \left(1.35 \cdot \frac{7}{15} \cdot (0.35 - x) + \frac{1}{2} \cdot 1.35 \cdot \frac{8}{15} \cdot (0.35 - x) \right) \cdot b = 0.1485(0.35 - x), \quad (6)$$

$$N_{s,расм} = \sigma_s \cdot A_s = 30 \cdot \frac{(0.32 - x)}{(0.35 - x)} \cdot 2.26 \cdot 10^{-4} = 6.78 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(0.32 - x)}{(0.35 - x)}. \quad (7)$$

С учетом выражений (5) – (7), уравнение равновесия приобретает вид:

$$0.1125 \frac{x^2}{0.35 - x} = 0.1485(0.35 - x) + 6.78 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(0.32 - x)}{(0.35 - x)}. \quad (8)$$

Решив уравнение (8), получаем значение высоты сжатой зоны $x=0.1965$ м. Результаты расчета приведены на рисунке 4.

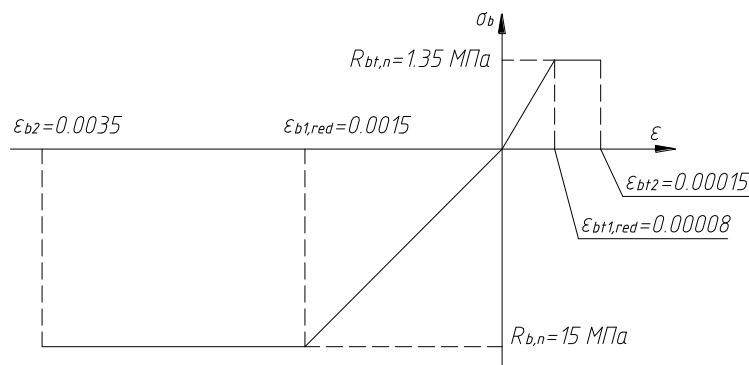


Рисунок 3 - Двухлинейная диаграмма состояния бетона кл. В20 при растяжении и сжатии

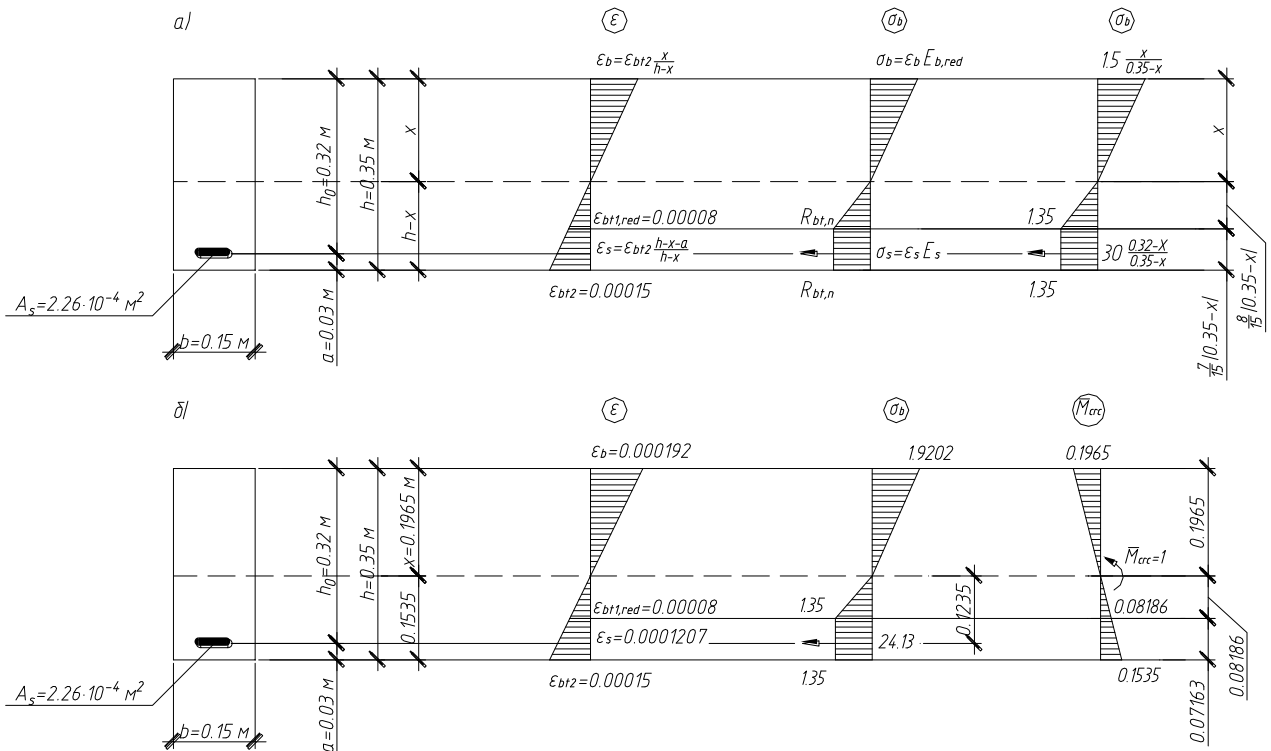


Рисунок 4 - К определению момента трещинообразования M_{cr} по нелинейной деформационной модели с использованием двухлинейной диаграммы состояния бетона:
а) эпюры деформаций и напряжений; б) результаты расчета

Для определения M_{crc} , вычислим момент внутренних сил сечения относительно нейтральной оси. Значение момента $M_{crc,s}$ от усилия в растянутой арматуре составит:

$$M_{crc,s} = \sigma_s \cdot A_s \cdot (h - x - a) = 0.6375 \text{ кНм}. \quad (9)$$

Значение момента $M_{crc,b}$ от усилий в сжатом и растянутом бетоне вычислим путем перемножения эпюр усилий в сжатой и растянутой зонах сечения и эпюры единичного момента \bar{M}_{crc} :

$$M_{crc,b} = \sum \int N_b \cdot \bar{M}_{crc} dh = 5.865 \text{ кНм}. \quad (10)$$

Таким образом, значение M_{crc} составит:

$$M_{crc} = M_{crc,s} + M_{crc,b} = 0.6375 + 5.865 = 6.5025 \text{ кНм}. \quad (11)$$

Расчет момента трещинообразования M_{crc} по нелинейной деформационной модели с использованием трехлинейной диаграммы состояния бетона

Методика расчета момента трещинообразования M_{crc} по нелинейной деформационной модели с использованием трехлинейной диаграммы состояния бетона аналогична методике расчета с использованием двухлинейной диаграммы, рассмотренной выше.

На рисунке 5 показана трехлинейная диаграмма для бетона кл. В20. Для удобства вычислений, эпюры деформаций ε и напряжений σ для рассматриваемого сечения приведены на рисунке 6.

Согласно рисунку 6, усилие в сжатом бетоне составит:

$$N_{b,сж} = \frac{1}{2} \cdot x \cdot \sigma_b \cdot b = \frac{1}{2} \cdot x \cdot 4.125 \frac{x}{0.35 - x} \cdot 0.15 = 0.3093 \frac{x^2}{0.35 - x}. \quad (12)$$

Усилия в растянутом бетоне и арматуре соответственно равны:

$$N_{b,раст} = \left(0.81 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2.945}{15} (0.35 - x) + \frac{0.81 + 1.35}{2} \cdot \frac{7.055}{15} \cdot (0.35 - x) + 1.35 \cdot \frac{5}{15} \cdot (0.35 - x) \right) \cdot b = 0.1556(0.35 - x) \quad (13)$$

$$N_{s,раст} = \sigma_s \cdot A_s = 30 \cdot \frac{(0.32 - x)}{(0.35 - x)} \cdot 2.26 \cdot 10^{-4} = 6.78 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(0.32 - x)}{(0.35 - x)}. \quad (14)$$

С учетом значений выражений (1) - (3), уравнение равновесия приобретает следующий вид:

$$0.3093 \frac{x^2}{0.35 - x} = 0.1556(0.35 - x) + 6.78 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(0.32 - x)}{(0.35 - x)}. \quad (15)$$

Решив уравнение (15), получаем значение высоты сжатой зоны $x = 0.1525$ м. Результаты расчета приведены на рисунке 6.

Для определения M_{crc} , вычислим момент внутренних сил сечения относительно нейтральной оси. Значение момента $M_{crc,s}$ от усилия в растянутой арматуре составит:

$$M_{crc,s} = \sigma_s \cdot A_s \cdot (h - x - a) = 0.963 \text{ кНм}. \quad (16)$$

Значение момента $M_{crc,b}$ от усилий в сжатом и растянутом бетоне вычислим путем перемножения эпюр усилий в сжатой и растянутой зонах сечения и эпюры единичного момента \bar{M}_{crc}

$$M_{crc,b} = \sum \int N_b \cdot \bar{M}_{crc} dh = 7.261 \text{ кНм}. \quad (17)$$

Таким образом, значение M_{crc} составит:

$$M_{crc} = M_{crc,s} + M_{crc,b} = 0.963 + 7.261 = 8.224 \text{ кНм.} \quad (18)$$

Для удобства сопоставления полученных результатов представим их в таблице 1.

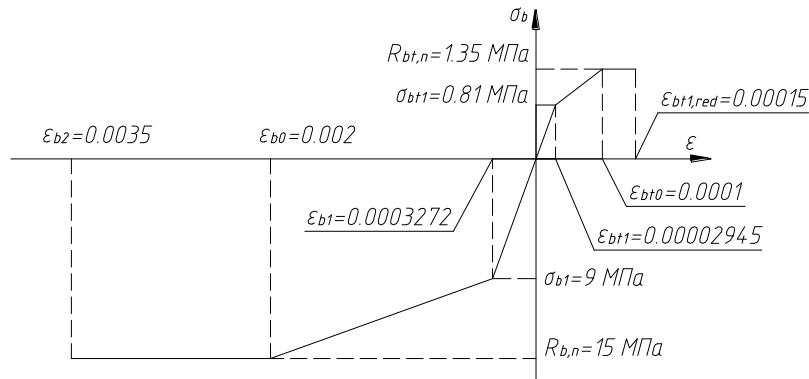


Рисунок 5 - Трехлинейная диаграмма состояния бетона кл. В20 при растяжении и сжатии

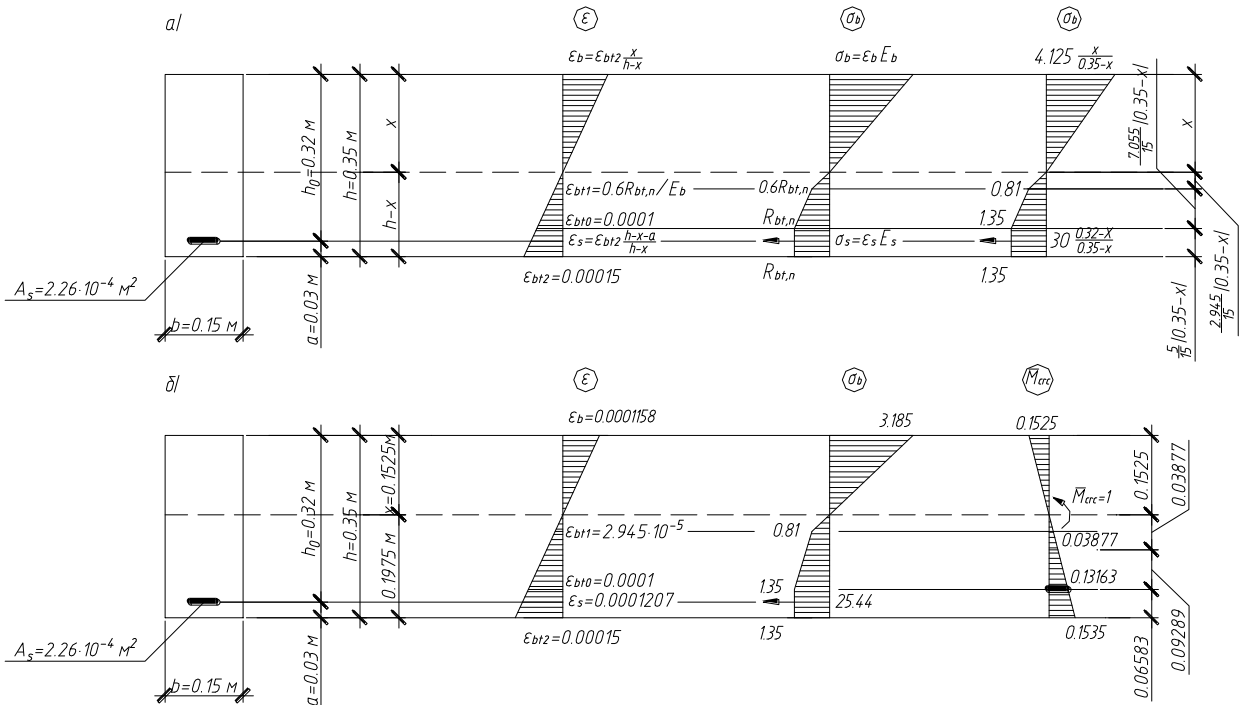


Рисунок 6 - К определению момента трещинообразования M_{crc} по нелинейной деформационной модели с использованием трехлинейной диаграммы состояния бетона:
а) эпюры деформаций и напряжений; б) результаты расчета

Таблица 1 - Результаты расчета момента трещинообразования

Метод расчета	Значение M_{crc} , кНм	Высота сжатой зоны x , м	Деформация бетона сжатой зоны ϵ_b	Напряжение в бетоне сжатой зоны σ_b , МПа	Напряжение в арматурных стержнях σ_s , МПа
с использование упругопластического момента сопротивления сечения	5.867	0.1794	-	-	-

по НДМ (двухлинейная диаграмма состояния бетона)	6.538	0.1965	$19.2 \cdot 10^{-5}$	1.9202	24.13
по НДМ (трехлинейная диаграмма состояния бетона)	8.224	0.1525	$11.58 \cdot 10^{-5}$	3.185	25.44

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Значения момента трещинообразования M_{crc} , вычисленные по нелинейной деформационной модели, превышают значение M_{crc} , вычисленное с использованием упругопластического момента сопротивления сечения. Расхождения составляют 11.4% и 40.1% при использовании двухлинейной и трехлинейной диаграмм соответственно.

Согласно действующим нормам [1], при расчете упругопластического момента сопротивления следует использовать коэффициент, учитывающий влияние неупругих деформаций бетона, равным 1.3 (см. формулу (3)). В источниках [4...6] значение данного коэффициента принято равным 1.75. При использовании увеличенного коэффициента, значение M_{crc} , вычисленное по формуле (2), будет близким к значению M_{crc} , вычисленным по НДМ с использованием трехлинейной диаграммы состояния бетона.

2. Значения момента трещинообразования M_{crc} , вычисленные по нелинейной деформационной модели с использованием двухлинейной и трехлинейной диаграмм бетона различаются на 25.7%. Это связано с необоснованным использованием приведенного модуля упругости бетона $E_{b,red}$ для вычисления характеристик сжатой зоны, при использовании двухлинейной диаграммы деформирования бетона. В отличие от бетона растянутой зоны, в бетоне сжатой зоны не возникают пластические деформации, следовательно в расчете необходимо использовать начальный модуль упругости E_b .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Введ. 2013-01-01, изд. официальное. – М.: Минрегион России, 2013. – 155 с.
2. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.
3. Кодыш Э.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности трещиностойкости и деформациям. Монография [Текст]. / Э.Н. Кодыш, И.К. Никитин, Н.Н. Трекин. – М.: Издательство АСВ, 2011. – С 210-213.
4. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс. Учеб. для ВУЗов. 5-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1991. – С 207-208.
5. Улицкий, И.И. Железобетонные конструкции (расчет и конструирование). Изд. 3-е., перераб. о доп. [Текст] / И.И. Улицкий, С.А. Ривкин, М.В. Самолетов, А.А. Дыхновичный, М.М. Френкель, В.И. Кретов – Киев.: Будівельник, 1972. – С 188-193.
6. Голышев А.Б. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие [Текст] / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук и др.; Под ред. А.Б. Голышева – Киев.: Будівельник, 1985. – С 171-172.

С.А. Окусок

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск

Аспирант кафедры «Строительные конструкции»

E-mail: OkusokSA@mail.ru

S. OKUSOK

CALCULATING THE MOMENTUM OF CRACK OPENING FOR REINFORCED CONCRETE ELEMENT WITHOUT PRESTRESSING BASED ON THE REQUIREMENTS OF SP 63.13330.2012

This article discusses methods for calculating the value of the momentum of crackopening in reinforced concrete elements without prestressing reinforcement. The value of the momentum of crackopening is important characteristic of the concrete element. It is therefore important to have a reliable method to calculate it, which gives a reliable result. According to the current SP 63.13330.2012, calculating the momentum of crackopening allowed to produce by two methods. This calculation using elastoplastic momentum of resistance and calculation of non-linear deformation model. A comparative analysis of the values of momentum of crackopening and the values related parameters (height of the compression zone, the deformation of concrete and reinforcement), calculated by different methods. The calculation of non-linear deformation model used two- and three-line diagrams state concrete with parameters recommended by SP 63.13330.2012. Based on the analysis of the results appropriate conclusions.

Keywords: *momentum of crackopening, reinforced concrete element , elastoplastic momentum of resistance, nonlinear deformation model, diagram of the concrete*

BIBLIOGRAPHY

1. SP 63.13330.2012 Betonnie izhelezobetonnie konstrukticii.Osnovniepolozhenia[Tekst]. Aktualizirovannaya-redakciaSNiP52-01-2003. Vved.2013-01-01, izd.oficialnoe. – M.:MinregionRossii, 2013. – 155 s.
2. SNiP 2.03.01-84* Betonnie izhelezobetonnie konstrukticii [Tekst]. – M.:CITPGosstroyaSSSR, 1985. – 79 s.
3. KodishE.N. Raschet zhelezobetonnih konstruktciy iz tyazhologo betona po procnosty, treschinostoykosty i deformatciyam. Monographia.[Tekst]/ E.N. Kodish, I.K.Nikitin, N.N. Trekin. – M.: IzdatelstvoASV, 2011. – S 210-213.
4. Baykov V.N.Zhelezobetonnie konstrukticii. Obschiykurs.Ucheb.dlya VUZov.5-eizd.,pererabidop.[Tekst]/V.NBaykov, E.E. Sigalov. – M.:Stroyizdat, 1991. – S 207-208.
5. UlitckiyI.I. Zhelezobetonnie konstrukticii (raschet i konstruirovaniye).Izd. 3-e., pererabidop.[Tekst]/ I.I. Ulitckiy, S.A. Rivkin, M.V. Samoletov, A.A. Dikhnovichniy, M.M. Frenkel, V.II. Kretov – Kiyev.: Budivelnik, 1972. – S 188-193.
6. GolishevA.B. Proektirovaniye zhelezobetonnih konstruktciy. Spravochnoe posobie [Tekst]/ A.B. Golishev, V.Y. Bachinskiy, V.P. Polischukidr.; Podred.A.B. Golisheva– Kiyev.: Budivelnik, 1985. – S 171-172.

S. Okusok

Bryansk state university of engineering and technolodgi, Bryansk

Postgraduate student

E-mail:OkusokSA@mail.ru

ПАРФЕНОВ С.Г., АВETИСЯН Л.А., ПРОНИН А.А.

К УЧЕТУ ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Приведены исследования влияния высоких температур на деформативные свойства бетона для выявления функциональной зависимости упругих характеристик бетона от температуры и получения уравнений, учитывающих деформации ползучести при высоких температурах. На основании результатов экспериментальных исследований деформативных свойств бетона при высоких температурах ($T > 100^\circ\text{C}$) построены функции модуля упругости и меры ползучести бетона. Получены реологические соотношения, описывающие деформативный процесс бетона при высоких температурах, пригодные для решения инженерных задач.

Ключевые слова: деформативные свойства бетона, ползучесть, модуль упругости, высокая температура.

Правильный учет свойств материалов и проектирование строительных конструкций, которые могли бы успешно функционировать при высоких температурах, является одной из наиболее актуальных и трудных задач. Трудность усугубляется тем, что при таких уровнях температур прочностные характеристики материалов являются убывающими функциями температуры, а значительные градиенты температурного поля вызывают большие температурные напряжения, которые нередко представляют собой важный фактор, определяющий прочность и долговечность сооружения.

Высокотемпературное воздействие существенно влияет на деформативные характеристики строительных материалов, а наличие температурного градиента превращает их в термически неоднородные. Снижение модуля упругости с ростом температуры непосредственно уменьшает жесткость конструкции, что может спровоцировать большие термоупругие деформации и привести к качественному перераспределению усилий и напряжений в элементах конструкций. Температура является одним из основных факторов, определяющих реологические свойства материалов [5].

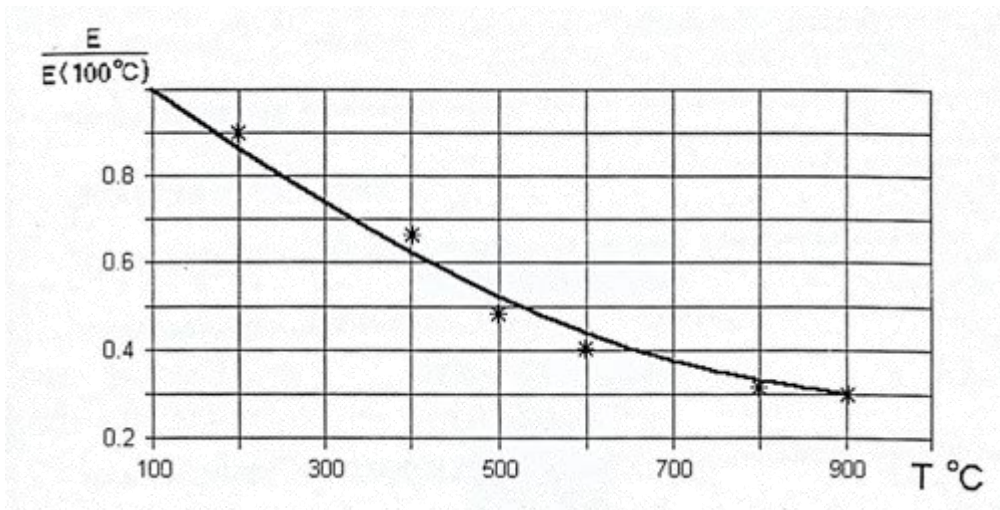
Бетон, который при нормальных температурах имеет свойство убывающей во времени ползучести, при высоких температурах проявляет деформативные свойства, присущие металлам [3]. Деформации ползучести во времени развиваются неограниченно и могут привести к разрушению как бетонных, так и железобетонных элементов строительных сооружений.

Деформативные свойства бетона, как наследственно упругого тела, достаточно корректно описываются известными соотношениями Маслова-Аругюняна. Предложенные Н.Х. Аругюняном [1] функции, аппроксимирующие модуль упругости и меру ползучести бетона учитывают возраст бетона в момент нагружения и позволяют получать близкую к действительности картину напряженно-деформированного состояния бетонных сооружений или их элементов.

Рассмотрим график зависимости модуля упругости бетона от температуры, полученный экспериментальным путем [4] и представленный на рисунке 1.

Нами предлагается экспоненциальная функция, которая позволит без существенного снижения точности аппроксимации, упростить дальнейшие математические выкладки

$$E = E_1 e^{-\lambda T} . \quad (1)$$

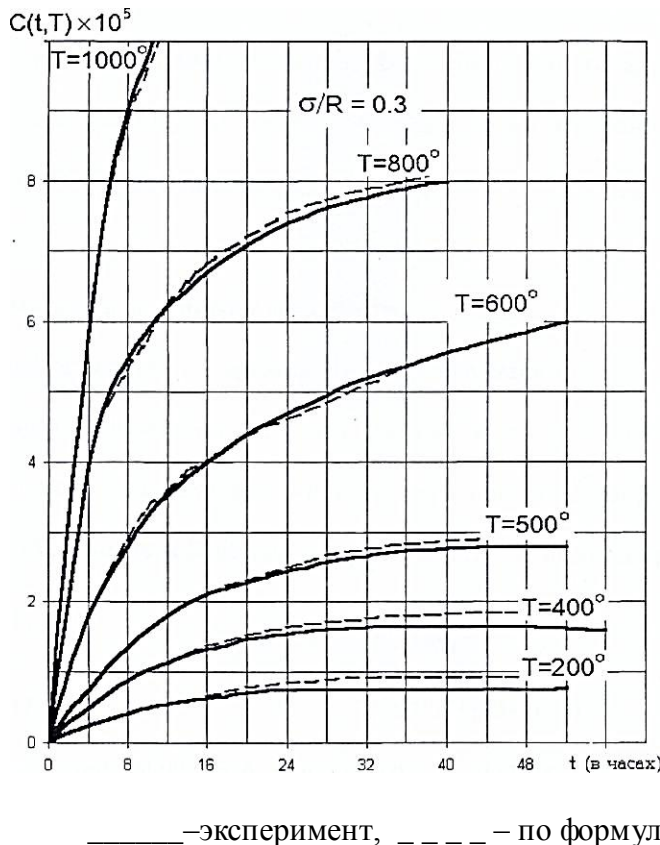


* – экспериментальные данные

Рисунок 1 – Температурная зависимость модуля упругости бетона от температуры, полученная

Из условия минимизации среднеквадратичной ошибки определяем постоянные аппроксимации $E_1 = 2,326 \cdot 10^4$ МПа; $\lambda_1 = 0,00151$.

На рисунке 1 приведен график аппроксимирующей функции. Максимальное отклонение от экспериментальных результатов составляет 3,8%, что вполне допустимо для инженерных расчетов.



— эксперимент, - - - - по формуле

Рисунок 2 – Кривые ползучести бетона для напряжений $\sigma/R = 0,3$

Наиболее полные экспериментальные исследования ползучести бетона при температурах выше 100°C приведены в работах [6-9]. В данных работах определены и построены графики изменения во времени деформации ползучести бетона в зависимости от продолжительности действия нагрузки, от относительных напряжений σ/R (R – предел прочности бетона) и от температуры. С начала и до конца опытов напряжения и температура испытываемых образцов оставались постоянными. Полученные кривые ползучести для напряжений $\sigma/R = 0,3$ приведены на рисунке 2.

Приведенные кривые ползучести показывают, что при сравнительно низких температурах скорость деформации ползучести в течение времени затухает, однако продолжительность экспериментов не позволяет подтвердить, что она стремится к нулю. Для более высоких температур деформация ползучести бетона со временем может увеличиваться беспредельно, то есть по характеру протекания деформации ползучести, бетон становится весьма близким к металлам.

Аппроксимировать полученные экспериментальные зависимости единым аналитическим выражением для ядра ползучести, охватывающего весь интервал изменения температуры ($100^{\circ}\text{C} \div 1000^{\circ}\text{C}$), затруднительно.

Так как наша цель заключается в исследовании высокотемпературных задач термползучести, мы выбираем аналитическое выражение меры ползучести бетона, которая наилучшим образом описывает ползучесть бетона при средних температурах, допуская небольшие погрешности для температур ниже 300°C и выше 800°C [10]:

$$\varepsilon(T, t, \sigma) = \frac{\sigma}{E(T)} + f(\sigma) \cdot C(t, T), \quad (2)$$

$$C(t, T) = C_0(1 - e^{-\gamma t})e^{\delta_1 T}, \quad (3)$$

где $C_0 = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}^{-1}$; $\gamma = 0,032 \text{ 1/час}$; $\delta_1 = 0,0036 \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$.

При определении параметров ползучести принято, что кривые ползучести подобны, а влияние возраста бетона на модуль упругости-деформации ползучести не учитывается, так как при высоких температурах играет второстепенную роль [2].

На основании тех же экспериментов построен график функции $f(\sigma)$ (рисунок 3). Представленный график показывает, что для напряжений $\sigma/R \leq 0,6$ с достаточно высокой точностью функцию $f(\sigma)$ можно принимать линейной.

Учитывая, что коэффициент температурного расширения бетона при высоких температурах меняется незначительно и принимая принцип суперпозиции по времени, приведем основные реологические соотношения для бетона, когда модуль упругости и мера ползучести являются функциями температуры

$$\varepsilon_{ij} = \alpha_0 T(I, s, t) + \frac{(1 - \nu)\sigma_{ij}(t) - \nu S(t)\delta_{ij}}{E(T)} + \int_0^t \frac{(1 + \nu)\sigma_{ij}(\tau) - \nu S(\tau)\delta_{ij}}{E(T)} \cdot K(t - \tau, T) \alpha \cdot \tau, \quad (4)$$

где $S = \sum_t \sigma_{ij}$, $K(t - \tau, T) = E(T) \frac{\partial}{\partial \tau} \cdot C(t - \tau, T)$,

α_0 - усредненный коэффициент расширения бетона.

Функции модуля упругости и меры ползучести соответствуют выражениям (1) и (3).

В заключении следует указать, что данные функции, описывающие деформативные свойства бетонов при высоких температурах, могут быть успешно использованы для решения различных инженерных задач.

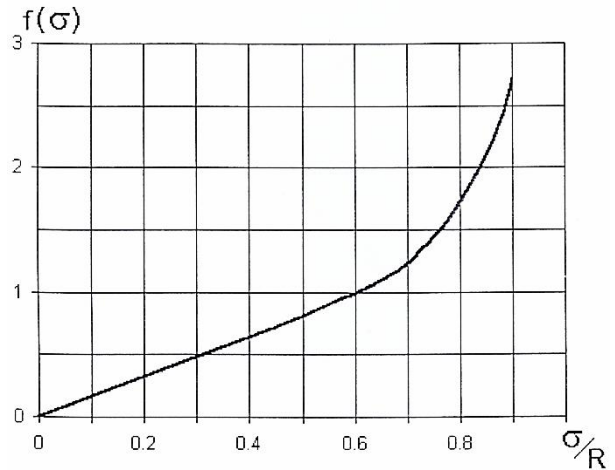


Рисунок 3 – График функции $f(\sigma)$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнян, Н.Х. Расчет строительных конструкций с учетом ползучести [Текст] / Н.Х. Арутюнян, А.А. Зевин – М.: Стройиздат. – 1988. – 257 с.
2. Галустов, К.З. Нелинейная теория ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций [Текст] / К.З. Галустов – М.: Физматгиз. – 2006.
3. Гениев, Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона [Текст] / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин - М.: Стройиздат. – 1974. - 316 с.
4. Тамразян, А.Г. Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий [Текст] / А.Г. Тамразян // Жилищное строительство. – 2005. - №1. – С. 7.

5. Тамразян, А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня [Текст] / А.Г. Тамразян // Вестник МГСУ. – 2011. - №1-2. – С. 193-196.
6. Тамразян, А.Г. Экспериментальные исследования внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременных динамических нагрузениях в условиях огневых воздействий [Текст] / А.Г. Тамразян, Л.А. Аветисян // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. - №4. – С. 24-28.
7. Аветисян, Л.А. К определению несущей способности внецентренно сжатых железобетонных колонн при динамических нагрузениях в условиях огневых воздействий [Текст] / Л.А. Аветисян, А.Г. Тамразян // В сборнике: Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. Сборник материалов Международной научной конференции. – 2015. - С. 119-124.
8. Тамразян, А.Г. К учету коэффициента динамического упрочнения при расчете железобетонных колонн в условиях огневых воздействий [Текст] / А.Г. Тамразян, Л.А. Аветисян // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. - №9 (92). – С. 133-138.
9. Тамразян, А.Г. Расчет внецентренно сжатых железобетонных элементов при динамическом нагружении в условиях огневых воздействий [Текст] / А.Г. Тамразян // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. - №3. – С. 29-35.
10. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns [Текст] / A. Tamrazyan // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Т. 475476. – С. 1563-1566.

С.Г. Парфенов

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных конструкций
E-mail: parfenovsk@mail.ru

Л.А. Аветисян

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет», г. Москва
Ст. преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций
E-mail: gbk@mgsu.ru

А.А. Пронин

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Магистрант кафедры строительных конструкций
E-mail: andreypro48@yandex.ru

S. PARCHENOV, L. AVETISYAN, A. PRONIN

**ON THE ASSESSMENT OF CONCRETE DEFORMATIONS
IN CONCRETE STRUCTURES CALCULATION
FOR HIGH TEMPERATURE CONDITIONS**

Presents studies of the effect of high temperatures on the deformation properties of concrete to identify the functional dependence of the concrete elastic properties to temperature and obtain the equations that take into account the creep deformation at high temperatures. Based on the results of experimental studies of deformation properties of concrete at high temperatures ($T > 100^{\circ}\text{C}$) features of elastic module and creep of concrete measure are built. Obtained rheological relations that describe the process of concrete deformation at high temperatures, suitable for solving engineering problems.

Keywords: deformation properties of concrete, creep, elastic module, high temperature.

BIBLIOGRAPHY

1. Arutyunyan, N.H. Calculation of constructions taking into account creep [Text] / N.H. Arutyunyan, A.A. Zevin – M.:Stroyizdat. –1988. – 257 p.
2. Galustov, K.Z. Nonlinear theory of concrete creep and calculation of reinforced concrete structures [Text] / K.Z. Galustov.-M.: Physmathgys. – 2006.

3. Geniev, G.A. The theory of plasticity of concrete and reinforced concrete [Text] / G.A. Geniev, V.N. Kis-syuk, G.A. Tyupin.- M.: Stroyizdat. – 1974. – 316 p.
4. Tamrazyan, A.G. Fire and impact durability of bearing reinforced concrete structures of tall buildings [Text] / A.G. Tamrazyan // Homebuilding. – 2005. - №1. – P. 7.
5. Tamrazyan, A.Г. Dynamic stability of compressed concrete element as a viscoelastic rod [Text] / A.G. Tamrazyan // VestnikMGSU. – 2011. - №1-2. – P. 193-196.
6. Tamrazyan, A.Г. Experimental researches eccentrically compressed concrete elements in the short-term dynamic weight in conditions of the fire effects [Text] / A.Г. Tamrazyan, L.A. Avetisyan // Industrialandcivilconstructing. – 2014. - №4. – P. 24-28.
7. Avetisyan, L.A. To the determination of the bearing capacity of eccentrically compressed reinforced concrete columns in dynamic weight in conditions of the fire effects [Text] / L.A. Avetisyan, A.Г. Tamrazyan // Intodigest: Integration, partnership and innovation in construction science and education. Digest of materials International science conference. – 2015. - P. 119-124.
8. Tamrazyan, A.Г. By accounting for the dynamic hardening factor in the calculation of reinforced concrete columns in conditions of the fire effects [Text] / A.Г. Tamrazyan, L.A. Avetisyan // VestnikIrkutskStateTechnicalUniversity. – 2014. - №9 (92). – P. 133-138.
9. Tamrazyan, A.Г. Calculation eccentrically compressed reinforced concrete elements in the short-term dynamic weight in conditions of the fire effects [Текст] / A.Г. Tamrazyan // Industrialandcivilconstructing. – 2015. - №3. – P. 29-35.
10. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns [Текст] / A. Tamrazyan // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Т. 475476. – С. 1563-1566.

S. Parfenov

Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk
Candidate of technical science, professor, head of department building constructions
E-mail: parfenovsk@mail.ru

L. Avetisyan

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
Senior lecturer of department reinforced concrete and rock
E-mail: gbk@mgsu.ru

A. Pronin

Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk
Master student of department building constructions
E-mail: andreipro48@yandex.ru

ПРОКУРОВ М.Ю., КИРЕЕВ А.А.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ОСАДОК ЦЕНТРАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

В статье рассматривается математическая модель прогноза осадок центрально нагруженных ленточных фундаментов, основывающаяся на использовании метода конечных разностей в плоской задаче оценки напряжённо-деформированного состояния грунта. Реализация данной модели при ступенчатом нагружении основания позволяет установить зависимость его конечных осадок, определённых с учётом нелинейных физико-механических характеристик грунта, от величины давления под подошвой фундамента. Приведен пример использования разработанной модели и устанавливаемой нелинейной зависимости для определения рациональной ширины проектируемого ленточного фундамента.

Ключевые слова: ленточные фундаменты, осадка основания, метод конечных разностей, математическая модель.

В настоящее время известны ряд расчётных методов прогнозирования величин конечных осадок грунтовых оснований. Существующие универсальные программные комплексы, имеющие широкое распространение и известность, решают эту задачу, как правило, путём конечно-элементного моделирования. Однако их практическое применение при оценке деформированного состояния грунтового основания оказывается достаточно трудоёмким и предполагает наличие определённого уровня квалификации пользователя программного продукта. Поставленная задача существенно усложняется при учёте нелинейных свойств деформирования грунтового основания. Также представляется затруднительной реализация обратной проектной задачи по назначению размеров фундамента для принятой величины возможной осадки грунтового основания, проявляющего нелинейные свойства.

Для расширения возможностей автоматизированного проектирования при обосновании габаритных размеров конструкций фундаментов представляется актуальной разработка специализированного программного обеспечения, включающего адаптированную математическую модель прогноза осадок грунтовых оснований. В качестве расчётного метода принят метод конечных разностей (МКР), формализация которого отличается относительной простотой.

Рассмотрим математическую модель деформирования однородного основания для центрально нагруженного ленточного фундамента, относящуюся к случаю плоского напряжённо-деформированного состояния грунта (рисунок 1).

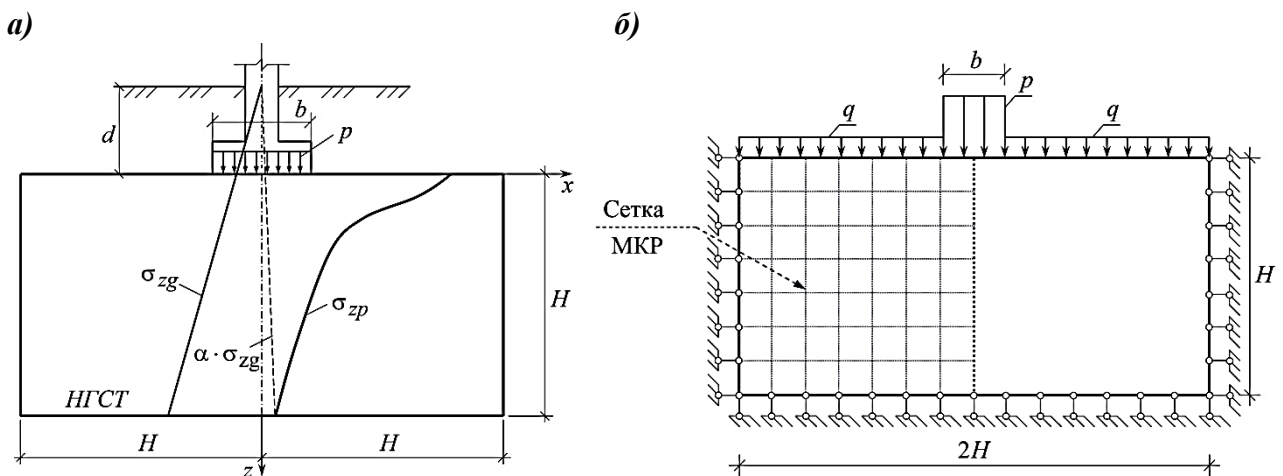


Рисунок 1 – Грунтовое основание центрально нагруженного ленточного фундамента: а) определение границ плоской области грунтового основания; б) расчётная схема

Рассматривается ленточный фундамент с глубиной заложения d и шириной подошвы b , по которой на основание передаётся равномерно распределённая нагрузка p , представляющая собой сумму полезной нагрузки и веса грунта на обрезах фундамента. Вне подошвы фундамента основание воспринимает равномерно распределённую нагрузку q – вес грунта засыпки. Массив грунта рассматривается в виде прямоугольной плоской области со сторонами H и $2H$, где H – нижняя граница сжимаемой толщи (НГСТ), определяемая согласно [1].

При построении математической модели учитывается симметрия, отражающая особенности деформирования грунта в рассматриваемой задаче.

Для расчёта плоской области используется бигармоническое уравнение плоской задачи теории упругости относительно функции напряжений Эйри [2]:

$$\nabla^4 \varphi = \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \cdot \partial z^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial z^4} = 0. \quad (1)$$

Сетка узлов, накладываемая на расчётную область, приведена на рисунке 2. Выражения вида (1), записанные для каждого внутреннего узла сетки, сводятся к системе линейных алгебраических уравнений с помощью бигармонического конечно-разностного оператора Лапласа (рисунок 3).

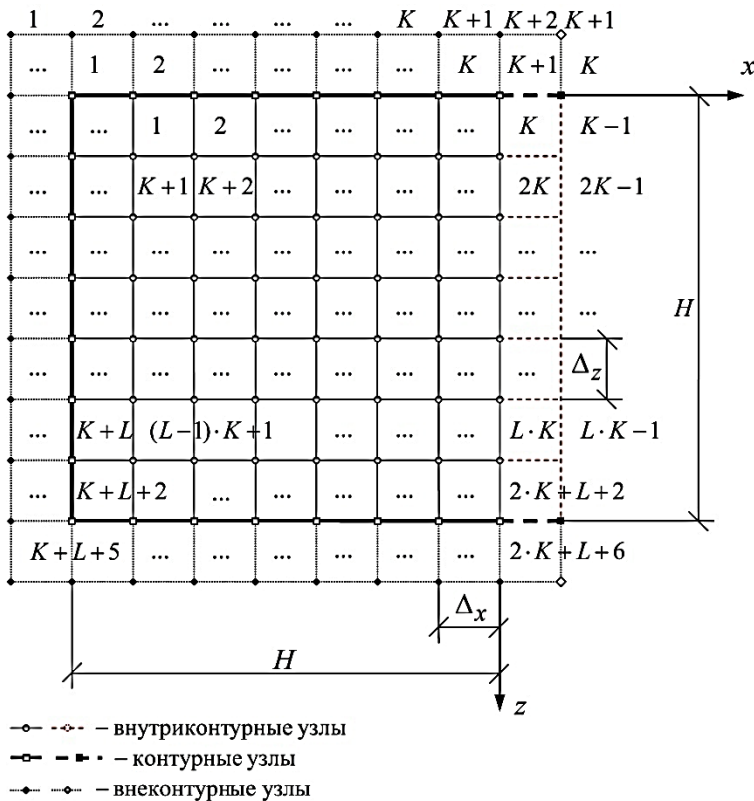


Рисунок 2 – Сетка МКР с нумерацией внутриконтурных, контурных и внеконтурных узлов

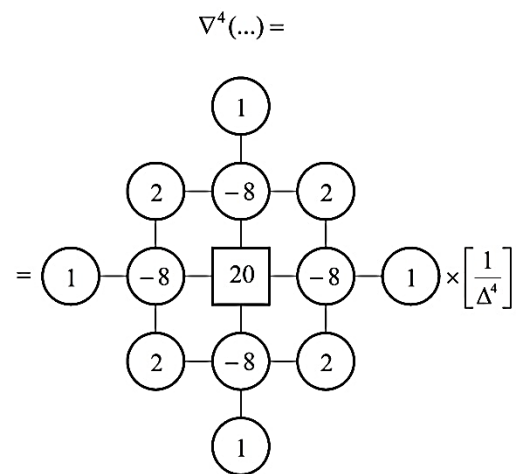


Рисунок 3 – Бигармонический оператор Лапласа

Общее количество внутриконтурных узлов сетки составляет $K \cdot L$, контурных – $(2K+L+2)$, внеконтурных – $-(2K+L+6)$, где K и L – число внутренних узлов сетки по принятым ортогональным осям. Указанные значения L и K приняты здесь как независимые переменные для дальнейшего распространения математической модели на задачи несимметричного деформирования грунтового основания.

Если при наложении бигармонического оператора захватываются узлы, лежащие на контуре выделенной расчётной области, то значения функции Эйри в них принимаются следующими:

$$\varphi_{i \text{ конт}} = M_i,$$

где M_i – изгибающий момент в i -том узле плоской контурной рамы, составленной из стержневых элементов, расположенных по контуру расчётной области.

Для внеконтурных узлов сетки значения функции Эйри определяются следующим выражением:

$$\varphi_{i \text{ внеконт}} = \varphi_i + 2 \cdot \Delta \cdot N_i,$$

где φ_i – значение функции Эйри в ближайшем внутриконтурном узле, Δ – шаг сетки в направлении перпендикулярном соответствующему элементу контурной рамы, N_i – значение продольной силы в её i -том узле.

Уравнение для i -того внутриконтурного узла принимает следующий вид:

$$\nabla^4 \varphi_i = 20 \cdot \varphi_i - 8 \cdot (\varphi_{i-1} + \varphi_{i+K} + \varphi_{i+1} + \varphi_{i-K}) + 2 \cdot (\varphi_{i-K-1} + \varphi_{i+K-1} + \varphi_{i+K+1} + \varphi_{i-K+1}) + (\varphi_{i-2} + \varphi_{i+2 \cdot K} + \varphi_{i+2} + \varphi_{i-2 \cdot K}) = 0. \quad (2)$$

$$R^* = \begin{bmatrix} ABCD \dots \dots \dots D \\ BABCD \dots \dots \dots D \\ CBABCD \dots \dots \dots D \\ DCBABC \dots \dots \dots D \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ D \dots \dots \dots DCBA \end{bmatrix} \quad L$$

Рисунок 4 – Структура матрицы R^*

В матричной форме записи система линейных алгебраических уравнений порядком $K \cdot L$ определяется выражением:

$$R \cdot \vec{\varphi} = \vec{G}. \quad (3)$$

Формирование системы (3) в автоматизированном режиме осуществляется согласно следующему алгоритму.

1) При развертывании оператора Лапласа формируется исходная матрица $R^* = \{r_{ij}^*\}$, $i = \overline{1, K \cdot L}$,

$j = \overline{1, K \cdot L}$, имеющая диагональную симметрию (рисунок 4). Размерность матрицы соответствует порядку

системы решаемых уравнений. Данная квазиматрица имеет ленточную структуру, состоящую в общем случае из 4-х типов повторяющихся блоков-матриц, каждый из которых представляет собой квадратную матрицу размером $K \cdot K$. Общее число блоков, составляющих исходную матрицу, составляет $L \cdot L$.

Блок A – представляет собой 5-ти диагональную матрицу, у которой на главной диагонали стоят элементы со значением 20, на первой побочной диагонали –8, на второй побочной диагонали 1, остальные элементы имеют нулевые значения. Блок B – 3-х диагональная матрица с элементами –8 на главной диагонали и 2 на побочных. Структура указанных блоков представлена на рисунке 5.

$$A = \begin{bmatrix} 20 & -8 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ -8 & 20 & -8 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & -8 & 20 & -8 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -8 & 20 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 20 \end{bmatrix} \quad K$$

$$B = \begin{bmatrix} -8 & 2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 2 & -8 & 2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 2 & -8 & 2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -8 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -8 \end{bmatrix} \quad K$$

Рисунок 5 – Структура блоков A и B

Блок S является единичной матрицей. Блок D – нулевая матрица.

Структура матриц-блоков постоянна, поскольку определена коэффициентами бигармонического оператора Лапласа.

2) Матрица R образуется из матрицы R^* путём поправки диагональных элементов в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Поправка диагональных элементов матрицы R^* с учётом граничных условий плоской области

Номер внутриконтурного узла сетки	Скорректированное значение элемента матрицы R
1, $K-1$, $(L-1) \cdot K+1$, $L \cdot K-1$	$r^*_{i,j}+2$
2, 3, ..., $K-2$, K	$r^*_{i,j}+1$
$(L-1) \cdot K+2$, $(L-1) \cdot K+3$, ..., $L \cdot K-2$, $L \cdot K$	
$K+1$, $2 \cdot K+1$, ..., $(L-2) \cdot K+1$	
$2 \cdot K-1$, $3 \cdot K-1$, ..., $(L-1) \cdot K-1$	

3) Вектор \vec{G} формируется путём переноса в правую часть уравнения (2) слагаемых, несодержащих неизвестных членов. Особенностью вектора правой части системы (3) является то, что его элементы имеют отличные от нуля значения при наложении бигармонического оператора на внутриконтурные узлы I-го и II-го рядов сетки МКР, считая от кромки рассматриваемой области. Для упрощения формализации вектора \vec{G} , учитывая структуру бигармонического оператора, принято минимальное количество узлов $K_{min}=L_{min}=5$. Данное ограничение позволяет выделить в структуре ортогональной сетки внутриконтурные узлы, специфичные при образовании вектора свободных членов. Фрагмент сетки МКР показан на рисунке 6.

Вектор свободных членов первоначально задается как нулевой, с последующей корректировкой значений отдельных элементов. Корректировка осуществляется путём косвенного учёта приложенной нагрузки в соответствии с векторами изгибающих моментов $\vec{M} = \{m_i\}, i = \overline{1, 2K + 2L + 4}$ и продольных сил $\vec{N} = \{n_i\}, i = \overline{1, 2K + 2L + 12}$, определённых для узлов рассматриваемой контурной рамы. Корректировка нулевых элементов вектора правой части системы уравнений (3) приведена в таблице 2.

Решение системы (3) определяет числовое поле значений функции Эйри $\varphi_{i,j}$, от которых, с помощью соответствующих конечно-разностных операторов, осуществляется переход к напряжениям:

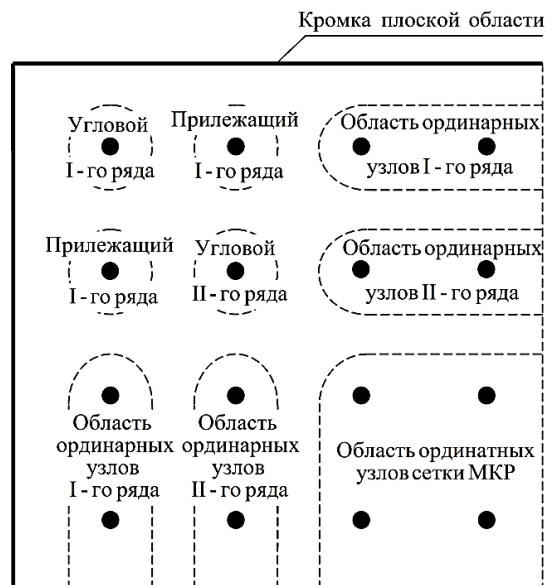


Рисунок 6 – Области внутриконтурных узлов фрагмента сетки МКР, специфичные для значений вектора свободных членов

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}, \quad \sigma_z = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}.$$

Таблица 2– Корректировка нулевых значений элементов вектора свободных членов, учитывающая нагрузку на рассматриваемую плоскую область деформирования грунта

Номер внутриконтурного узла сетки	Скорректированное значение элемента вектора свободных членов
I. При наложении бигармонического оператора на узлы I-го внутриконтурного ряда сетки МКР	
а) на угловые узлы	
1	$-8 \cdot m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot \Delta \cdot n$
K	$-8 \cdot m_K + 4 \cdot m_{K-1}$
$(L-1) \cdot K + 1$	$2 \cdot \Delta \cdot n$
б) на прилежащие углы	
$2, K-1$	$-8 \cdot m_i + 2 \cdot (m_{i-1} + m_{i+1})$
$K+1$	$m_1 + 2 \cdot \Delta \cdot n$
$2K$	m_{i-K}
$(L-2) \cdot K + 1$	$2 \cdot \Delta \cdot n$
в) на обычные узлы	
3, 4, ..., $K-2$	$-8 \cdot m_i + 2 \cdot (m_{i-1} + m_{i+1})$
$2K+1, 3K+1, \dots, (L-3) \cdot K + 1$	$2 \cdot \Delta \cdot n$
II. При наложении бигармонического оператора на узлы II-го внутриконтурного ряда сетки МКР	
а) на угловые узлы	
$K+2, 2K-1$	m_{i-K}
б) на обычные узлы	
$K+3, K+4, \dots, 2K-2$	m_{i-K}

Осадка фундамента вычисляется по средствам нахождения перемещений в каждом узле плоской области по вертикальной оси, проходящей через центр фундамента. Перемещения ε_z в каждой точке находятся по формуле:

$$\varepsilon_{z,i} = \frac{1}{E_i} (\sigma_{z,i} - \nu \cdot \sigma_{x,i}).$$

где ν – коэффициент Пуассона грунта основания.

При реализации нелинейной задачи итерационные значения модуля деформации E определяются с помощью принятых графиков зависимостей деформаций от напряжений $\varepsilon_m = f(\sigma_m)$. Графики в виде нелинейных зависимостей, а также в виде 2-х или 3-х линейных диаграмм строятся на основе лабораторных испытаний грунтов основания.

Величина конечной осадки фундамента определяется следующим выражением:

$$s = \sum_{i=1}^L \beta_i \cdot \varepsilon_{z,i} \cdot \Delta_i,$$

где β_i – коэффициент бокового обжатия, определяемый по методике, предложенной в [3].

Общий алгоритм расчёта конечной осадки приведен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Общий алгоритм расчёта конечной осадки по МКР

Реализация описанной математической модели при последовательном ступенчатом нагружении основания с учётом нелинейных графиков изменения физико-механических характеристик грунта позволяет установить зависимость величины осадки основания от давления, действующего под подошвой фундамента $s = f(p)$. Эта зависимость представляет собой нелинейную модель деформирования грунтового основания.

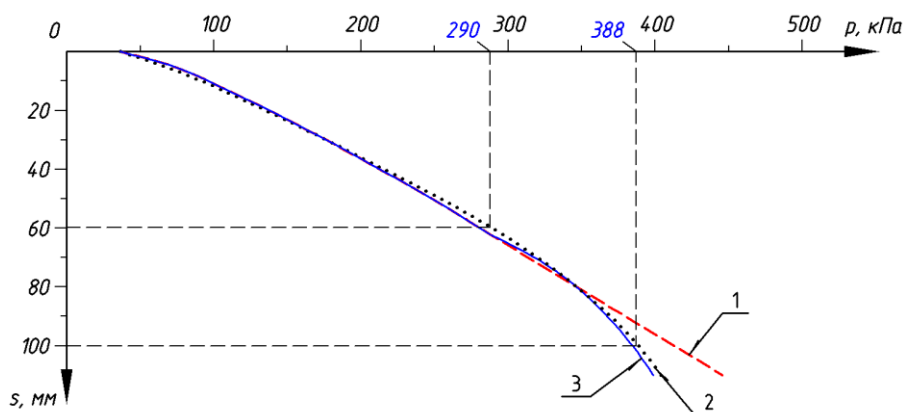
Зависимость $s = f(p)$ позволяет определить требуемое значение ширины подошвы ленточного фундамента, соответствующее назначаемой величине возможной осадки грунтового основания. При этом полученное проектное решение, выходящее за пределы упругой работы основания, будет характеризоваться меньшим расходом материалов на устройство фундамента по сравнению с решением, соответствующем линейной модели деформирования. Таким образом, реализация предложенной математической модели в САПР позволит решить важную инженерную задачу. Проиллюстрируем сказанное следующим примером.

Пример. Рассматривается ленточный фундамент со следующими параметрами: ширина подошвы фундамента $b = 2$ м, глубина заложения $d = 2$ м, нагрузка, приложенная к плоскости подошвы $F_v = 580$ кН. Под фундаментом залегают однородные тугопластичные суглинки, имеющие следующие характеристики: удельный вес $\gamma = 18$ кН/м³, расчётное сопро-

тивление грунта $R = 290 \text{ кН/м}^2$, угол внутреннего трения $\varphi_{II} = 20^\circ$, коэффициент сцепления $c_{II} = 20 \text{ кПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,35$, модуль деформации $E = 11 \text{ МПа}$.

Первоначальный расчёт конечной осадки выполнен по линейной модели деформирования грунта при ограничении давления под подошвой фундамента величиной $p = R$. При этом осадка по методу послойного суммирования (МПС), рекомендованному к применению [1], составила 62,2 мм. Осадка, полученная с использованием разработанной математической модели по МКР, в данном случае составила 59,7 мм, что показывает приемлемую точность расчёта с расхождением 4 %.

Последующие определения осадок в линейной и нелинейной постановке проводились при ступенчатом нагружении фундамента нагрузкой, равной весу грунта засыпки. При этом были получены графики зависимостей $s = f(p)$, приведенные на рисунке 8.



1 – МПС, 2 – МКР, 3 – метод М.В. Малышева

Рисунок 8 – Зависимости $s = f(p)$, полученные различными методами

Линия 1, соответствующая МПС, при значениях давления под подошвой фундамента $p > R$ построена условно, без учёта нелинейного деформирования грунта, лежащего в его основании.

Линия 2 построена по результатам нелинейного расчёта, выполненного с использованием предложенной математической модели. Полученную нелинейную зависимость можно использовать для корректировки ширины подошвы рассматриваемого ленточного фундамента с целью получения обоснованного проектного решения. При предельной допускаемой нормами осадке $s_u = 100 \text{ мм}$ требуемая ширина составит $b = F_v / p = 580 / 388 \approx 1,5 \text{ м}$. Таким образом, учёт нелинейной работы грунтового основания позволит получить экономию в расходе материалов на устройство фундамента до 25 % относительно первоначально варианта при $b = 2 \text{ м}$.

В качестве подтверждения адекватности разработанной математической модели был выполнен нелинейный расчёт осадок по методу М.В. Малышева [4], результаты которого отражает линия 3. Известно, что данный метод даёт заниженные значения осадок относительно экспериментальных данных, с заметным увеличением расхождения значений при $p \rightarrow p_{np}$. Как видно из рисунка 8, линия 2 в области нелинейной работы основания лежит правее линии 3, что позволяет рассчитывать на меньшую погрешность в определении осадок.

Рассмотрение более сложных случаев деформирования грунтовых оснований, связанных с их неоднородностью и внецентренным приложением нагрузки планируется рассмотреть в последующих публикациях.

Выводы:

1. Разработана математическая модель прогноза осадок центрально нагруженных ленточных фундаментов на основе МКР для использования в специализированной САПР.
2. Численными исследованиями установлено, что решение, полученное по предложенной математической модели с учётом нелинейных свойств грунтового основания облада-

ет достаточной точностью при оценке конечных осадок основания при давлениях, превышающих расчётное сопротивление грунта.

3. Рассмотрен пример использования разработанной математической модели для получения рационального проектного решения конструкции центрально загруженного ленточного фундамента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* [Текст]; введ. 20.05.2011. – М.: Минрегион России, 2011. – 162 с.
2. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности: учеб. для строит. спец. вузов [Текст] / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.
3. Федоровский, В.Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит [Текст] / В.Г. Федоровский, С.Г. Безволев// ОФМГ. - 2000. - № 4. - С. 10-18.
4. Малышев, М. В. Прочность грунтов и устойчивость оснований и сооружений [Текст] / М. В. Малышев. - М.: Стройиздат, 1994. - 228 с.

М.Ю. Прокуров

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: m.prokuroff@mail.ru

А.А. Киреев

ФГБОУ «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск
Аспирант
E-mail: and19-90@mail.ru

M. PROKUROV, A. KIREEV

MATHEMATICAL MODEL FOR FORECAST OF SETTLEMENTS FOR CENTRALLY LOADED STRIP FOUNDATIONS

The mathematical model for forecast of settlements for centrally loaded strip foundations is considered in the article. She is based on using finite-difference method in the plane problem of estimating the stress-strain state of the soil. Implementation of this model with stepwise loading of the base allows to establish the relation of its finite settlements from pressure size's under the sole foundation. The base settlement is determined with account nonlinear physical-mechanical characteristics of the soil. An example of using the developed model and establish nonlinear relation for determining rational width of the design strip foundation is given.

Keywords: strip foundations, base settlement, finite-difference method, mathematical model.

BIBLIOGRAPHY

1. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83* [Tekst]; vved. 20.05.2011. – М.: Minregion Rossii, 2011. – 162 s.
2. Aleksandrov, A. V. Osnovy teoriy uprugosti i plastichnosti: ucheb. dlya stroit. spets. vuzov [Tekst] / A. V. Aleksandrov, V. D. Potapov. – М.: Vyssh. shk., 1990. – 400 s.
3. Fedorovskiy, V.G. Prognoz osadok fundamentov melkogo zalozheniya i vyibor modeli osnovaniya dlya rascheta plit [Tekst] / V.G. Fedorovskiy, S.G. Bezvolev// OFMG. - 2000. - № 4. - S. 10-18.
4. Malyishev, M. V. Prochnost' gruntov i ustoychivost' osnovaniy i sooruzheniy [Tekst] / M. V. Malyishev. - М.: Stroyizdat, 1994. - 228 s.

M. Prokurov

Bryansk state engineering and technological university, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Building constructions»
E-mail: m.prokuroff@mail.ru

A. Kireev

Bryansk state engineering and technological university, Bryansk
Post-graduate student
E-mail: and19-90@mail.ru

ОЦЕНКИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И ПРЕДЕЛОВ ЗАКРИТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ТОНКИХ ФАНЕРНЫХ ОБШИВОК ПРИ СДВИГЕ

Даются оценки определения критических напряжений и закритической работы тонких фанерных обшивок каркаса пространственных конструкций из древесины. Обшивки в таких конструкциях находятся в сложном напряженном состоянии от действия сдвига с обжатием. Экспериментально при испытаниях крупномасштабных моделей установлено, что при местной потере устойчивости обшивок с проявлением критических напряжений сдвига несущая способность конструкции не исчерпывается до достижения внешней нагрузкой почти 3-х кратной величины по отношению к расчетной. Ранее подобные явления использовались при проектировании авиационных конструкций, например, в ЦАГИ. Результаты этих исследований сопоставляются с данными, полученными авторами статьи. Иерархическая схема исследований моделей позволяет проводить всесторонний анализ НДС модели и получить надежные данные.

Ключевые слова: тонкие фанерные обшивки, сдвиг, критические напряжения, оценка закритической работы

Статья является продолжением работы [1] по экспериментальному определению возможностей запроектной работы тонких фанерных обшивок, жестко закрепленных по всему контуру к каркасу из клееной или цельной древесины, в составе пространственных конструкций. Были испытаны крупномасштабные модели шатрового покрытия и транспортной галереи. Исследования пространственных конструкций позволяют получить отчетливую картину нелинейной работы элементов конструкций, находящихся в сложном напряженном состоянии, при различных нагрузках: кратковременных, длительных, несимметричных. Выявились значительные резервы прочности обшивок при их работе в условиях местной потери устойчивости с образованием «диагонально растянутого поля» Г. Вагнера [2], когда обшивки не разрушаются до 3-х кратной расчетной нагрузки на оболочку. При этом при снятии или уменьшении нагрузки следы местной потери устойчивости исчезают. Использование этого важного свойства может привести к существенной экономии материалов или к повышению конструктивной безопасности сооружений. Полученные результаты могут быть использованы, например, при проектировании стеновых панелей многоэтажных зданий, где увеличиваются объемы применения плит с фанерными или пластмассовыми обшивками.

Указанные вопросы ранее рассматривались при проектировании авиационных конструкций.

В статье приводятся оценки местной потери устойчивости и прочности обшивок при закритической работе, результаты сопоставляются с оценками из литературных источников. Рассматриваются новые эффекты работы обшивок панелей, характерные для строительных конструкций [3, 4, 6, 8].

Характер волнообразования обшивки, наличие в диагональных направлениях значительных растягивающих напряжений – признаки, указывающие на то, что на боковой поверхности оболочки подобно балкам с тонкой стенкой под действием сдвиговой нагрузки образуется поле диагональных растяжений [2, 3, 4, 5]. Согласно теории «диагонально растянутого поля» в ортогонально подкреплённой обшивке, нагруженной сдвигающими усилиями параллельно краям, в результате образования и развития поля выпучин происходит перераспределение усилий между обшивкой и подкрепляющими рёбрами. Часть напряжений сдвига переходит в систему напряжений, состоящую из диагональных растяжений в обшивке и сжатия в продольных подкреплениях, при этом вертикальная составляющая усилий, действующая

щих в обшивке, возникающая из-за наличия у выпучин кривизны, нагружает подкрепляющие ребра изгибающими усилиями. Для количественной оценки степени перераспределения усилий в элементах оболочки воспользуемся коэффициентами, приведёнными в книге Г.Хертеля [4]. В таблице 1 приняты следующие геометрические размеры оболочки и упругие характеристики обшивки:

$$\begin{array}{ll}
 R = 98,8 \text{ см}; & l = 600 \text{ см}; \\
 \delta = 0,4 \text{ см}; & \delta / R = 4 \cdot 10^{-3}; \\
 v = 36,6 \text{ см}; & a = 64,0 \text{ см}; \\
 E_{90^\circ} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ МПа}; & \\
 G = 0,75 \cdot 10^3 \text{ МПа}. &
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 R = 40,0 \text{ см}; & l = 250 \text{ см}; \\
 \delta = 0,25 \text{ см}; & \delta / R = 6 \cdot 10^{-3}; \\
 v = 20,0 \text{ см}; & a = 45,0 \text{ см}; \\
 E_{90^\circ} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ МПа}; & \\
 G = 0,893 \cdot 10^3 \text{ МПа}. &
 \end{array}$$

Экспериментально установлено, что при нагрузке 77,6 кН или 1,05 $P_{расч.}$ в опорных отсеках на боковых участках оболочки происходит местная потеря устойчивости обшивки от сдвигающих усилий. На поверхности обшивки возникает картина деформаций, подобная диагонально растянутому полю в балках Г.Вагнера [2] (в пределах ячейки между продольными ребрами образуется диагональная складка, совпадающая с направлением главных растягивающих напряжений (рис. 1). По результатам серии загрузений модели, в ходе которых контролировали момент потери устойчивости и форму деформированной поверхности обшивки, получена величина критических напряжений сдвига $\tau_{кр} = 1,6$ МПа. Показано, что нашим экспериментам на модели и экспериментальным данным, полученным А.Ю.Ромашевским и А.Ф.Зотовым в ЦАГИ [6], лучше соответствуют теоретические зависимости для гладкой замкнутой круговой цилиндрической оболочки при чистом сдвиге (по Kromm) (табл. 1, п. 4), где коэффициент устойчивости K_R определяется по графикам в зависимости от отношения сторон плана оболочки и условий опирания. Остальные обозначения очевидны. Наши экспериментальные результаты $\tau_{кр}^T = 1,6$ МПа, теоретические по (4) $\tau_{кр}^m = 1,595$ МПа при $K_R = 0,77$.

Достаточно близкие результаты получаются по оценкам, предложенным Я.И.Секерж-Зеньковичем [3] для анизотропной пластинки, опертой по четырем сторонам ($\tau_{кр}^m = 1,78$ МПа), используемые С.Г.Лехницким [7] $\tau_{кр} = 10^4 (\delta/a)^2 K$. (табл. 1, п.3) Результаты сравнений, подтверждают правомерность использования формул (2), (3) для определения критических напряжений обшивок других конструкций, когда при выпучивании обшивки силовое сопротивление ее не исчерпывается.

Авторы исследований авиационных конструкций сводят расчет за критической работы обшивок к определению коэффициентов превышения средних напряжений перед разрушением над критическими, коэффициентов распределения усилий на диагональные растяжение и сжатие и вычислению редуцированных коэффициентов ϕ включения обшивок в работу с ребрами. Сопоставим такие расчеты для конструкций шатровой оболочки и замкнутой цилиндрической оболочки. Справа от этих формул указаны значения параметров соответственно для первой и второй исследуемых оболочек, вычисленные при нагрузке 0,85 от разрушающей.

Редуцированный коэффициент для пластины при осевом сжатии определяется по формуле, предложенной Маргерром

$$\phi_\sigma = \sqrt{\frac{\sigma_{кр}}{\sigma}}; \sqrt{\frac{\sigma_{кр}}{\sigma}} \text{ или } \phi_\sigma = 0.81 \sqrt{\frac{\sigma_{кр}}{\sigma}} + 0.19; \quad 0,7; \quad 0,75. \quad (1)$$

Для деформаций сдвига, превышающих критические, характерно перераспределение усилий с обшивки на ребра в виде диагональных растяжений и сжатия поперечного направления.

Таблица 1 – Значения критических напряжений сдвига в обшивке

Теоретические оценки критических напряжений сдвига	По результатам загрузки модели		По результатам экспериментов Ромашевского А.Ю., Зотова А.Ф. [6]	
	экспериментальные	Теоретические	экспериментальные	теоретические
1	2	3	4	5
1. Полуэмпирическая зависимость для подкреплённых оболочек (по Авдоницу А.С.[8])	$\tau_{кр} = 0,1E \cdot \frac{\delta}{R} + 5E \left(\frac{\delta}{\epsilon}\right)^2$			
	$\tau_{кр}^3 = 1,6МПа$	$\tau_{кр}^T = 5,01МПа$	$\tau_{кр}^3 = 3,4МПа$	$\tau_{кр}^T = 1,11МПа$
2. Для защемлённой по контуру цилиндрической панели, при $\mu = 0,3$ [9]	$\tau_{кр} = 0,1E \cdot \frac{\delta}{R} + 7,5E \left(\frac{\delta}{\epsilon}\right)^2$			
	$\tau_{кр}^3 = 1,6МПа$	$\tau_{кр}^T = 6,86МПа$	$\tau_{кр}^3 = 3,4МПа$	$\tau_{кр}^T = 14,2МПа$
3. Для пластинки из фанеры, все стороны которой опёрты и волокна рубашки параллельны длинным сторонам (по Сежерж-Зеньковичу Я.И.) [3]	$\tau_{кр} = K_R \cdot E \frac{\sigma}{R} \sqrt{\frac{\sqrt{R\sigma}}{l}}; \quad c = \frac{a}{b} > 1$			
	$\tau_{кр}^3 = 1,6МПа$	$c = 1,85;$ $K = 14,98;$ $\tau_{кр}^T = 1,78МПа$	$\tau_{кр}^3 = 3,4МПа$	$c = 2,25;$ $K = 12,93;$ $\tau_{кр}^T = 2,02МПа$
4. Для гладкой замкнутой круговой цилиндрической оболочки при чистом сдвиге (по Kromm [4])	$\tau_{кр} = 10^4 \cdot \left(\frac{\delta}{\epsilon}\right)^2 \cdot K, \quad c = \frac{a}{\epsilon} > 1$			
	$\tau_{кр}^3 = 1,6МПа$	$\frac{l}{\sqrt{R \cdot \delta}} \cdot \frac{\delta}{R} = 0,4;$ $K_R = 0,77;$ $\tau_{кр}^T = 1,595МПа$	$\tau_{кр}^3 = 3,4МПа$	$\frac{l}{\sqrt{R \cdot \delta}} \cdot \frac{\delta}{R} = 0,5;$ $K_R = 0,75;$ $\tau_{кр}^T = 4,16МПа$
5. Для шарнирно опёртой цилиндрической панели при чистом сдвиге (по Kromm [4])	$\tau_{кр} = K_R \cdot E \cdot \left(\frac{\delta}{\epsilon}\right)^2, \quad 0 < \frac{\epsilon}{a} < 1; \quad K_R = 3.62\sqrt{3.17 + 0.41\omega}; \quad \sqrt[4]{\omega} = 0,58 \frac{\epsilon}{\sqrt{R \cdot \delta}}$			
	$\tau_{кр}^3 = 1,6МПа$	$\sqrt[4]{\omega} = 3,37;$ $K_R = 9,9;$ $\tau_{кр}^T = 5,89МПа$	$\tau_{кр}^3 = 3,4МПа$	$\sqrt[4]{\omega} = 3,67;$ $K_R = 10,74;$ $\tau_{кр}^T = 13,2МПа$

Редукционный коэффициент для сечений обшивок определяется по формуле:

$$\varphi_{\tau} = 1 - K; \quad 0,68; \quad 0,75. \quad (2)$$

где K – коэффициент распределения (формула Куна)

$$K = \text{th}(0.5 \lg \xi); \quad 0,32; \quad 0,25. \quad (3)$$

$$\xi_1 = \frac{\tau_{cp}}{\tau_{кр}} \geq 1; \quad 4,78; \quad 3,27. \quad (4)$$

τ_{cp} – среднее напряжение сдвига в послекритической стадии.

При совместном действии сдвигающих и сжимающих усилий, превышающих критические, обобщенный редуцированный коэффициент ($\varphi_{об}$) определяется соотношением:

$$\varphi_{об} = \varphi_{\tau} * \varphi_{\sigma} \quad ; \quad 0,51; \quad 0,56.$$

Видим, что несмотря на несколько различный характер волнообразования значения обобщенных редуцированных коэффициентов отличаются мало. Поэтому для анализа явлений, связанных с местной потерей устойчивости обшивок, можно применить единый подход.

В частности, анализ экспериментальных результатов потери местной устойчивости фанерных обшивок на моделях шатровой оболочки и транспортной галереи показал возможности аппроксимации картины волнообразования в ячейках обшивок между ребрами тремя полуволнами, направленными вдоль диагонали ячейки (рис.1,б). Максимальная глубина вмятины в обоих случаях составляет около 10 мм, при этом экспериментально полученные значения $E = 9 * 10^4$ МПа, толщины обшивок $h = 0,4$ см, радиус кривизны вмятины $R = 83,6$ см. Имея геометрические параметры вмятин оказалось возможным определить напряжения отрыва обшивок от ребер для новой проявившейся в экспериментах картины разрушения.

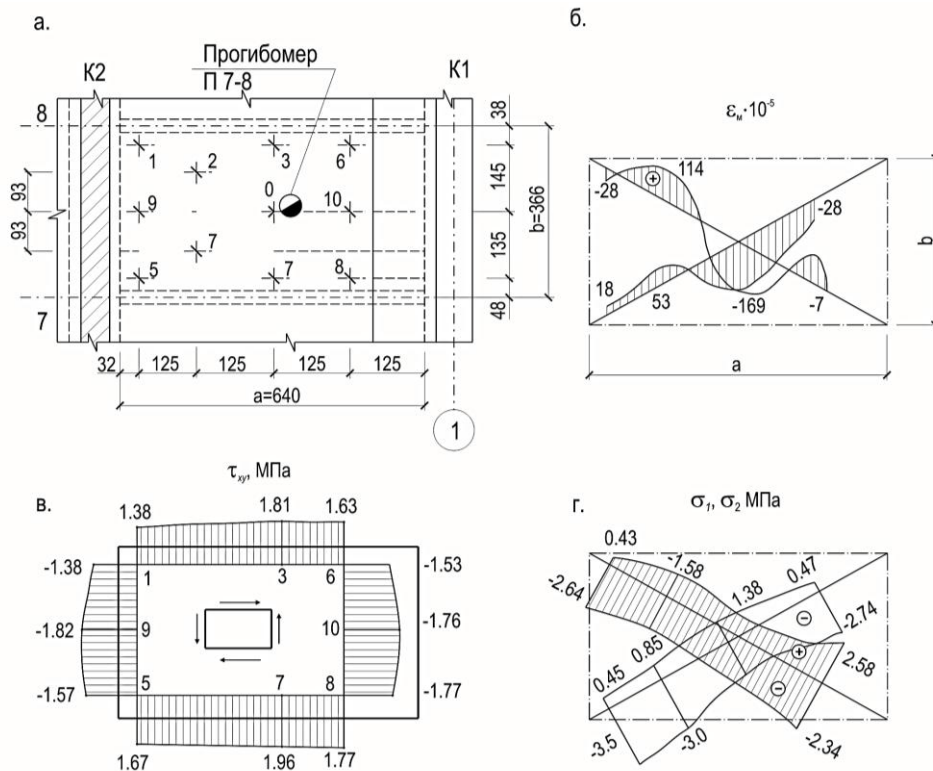


Рис. 1. К анализу местной потери устойчивости в приопорной зоне оболочки (а), максимальные перемещения при потере устойчивости обшивки (б), распределение касательных напряжений (в), экстремальных нормальных напряжений (г) в обшивке панели 7 – 8 в послекритическом состоянии.

С использованием выражения для определения поперечных растягивающих усилий при изгибе [10].

$$\sigma_R = \frac{3M}{2Rbh}. \quad (5)$$

путем замены $M = \frac{EI}{R}$, получена формула для искомых напряжений отрыва обшивок в зависимости только от геометрических параметров.

$$\sigma_R = \frac{3EJ}{R^2bh}. \quad (6)$$

Подстановка в (6) экспериментально полученных величин $E = 9 \cdot 10^4$ МПа; $R = 83,6$ см, $h = 0,4$ см дает значение $\sigma_R = 0,51$ МПа, хорошо совпадающее со средним значением прочно-сти при растяжении фанеры поперек волокон $0,35-0,5$ МПа, определенных А.С.Фрейдиным и -К.Т.Вуба.

Эти результаты могут быть использованы для проектирования панелей с фанерными обшивками, для оболочек различных типов и жилых домов.

Приведённые оценки показывают, что при нагрузке далеко закритической в обшивке преобладают «эффективные напряжения сдвига», которые составляют 75% от действующих по контуру панели касательных напряжений, а в результате перераспределения усилий лишь 25% напряжений приходится на долю диагональных растяжений в обшивке и сжатие в продольных подкреплениях панели. В предельном состоянии в отсеке 8 после разрушения обшивки от растяжения поперёк волокон наружных шпонов (первичная деформация разрушения) поперечная сила передавалась только через продольные рёбра, в результате в стрингерах произошло хрупкое разрушение – скалывание древесины вдоль волокон (вторичная деформация разрушения) при небольшой величине нормальных напряжений сжатия

$$\sigma_{сжп} = -1,3 \text{ МПа.}$$

Выводы

При наиболее приемлемых размерах ячеек между ребрами, диктуемых размерами листов фанеры толщина должна быть меньше $8 \dots 10$ мм.

Можно избежать деформаций местной потери устойчивости путем увеличения толщины обшивок. Это приводит к перерасходу материалов, удорожанию конструкций, а в ряде случаев и усложнению креплений обшивок к каркасу. Наоборот, учет нелинейных деформаций панелей должен стимулировать проектировщиков к разработке более совершенных способов крепления элементов, особенно с применением новых видов клеев.

Имеются нерешенные вопросы программирования с учетом местной потери устойчивости обшивок, т.к. существующие программные комплексы, как правило, не распознают наступления критической нагрузки в рассматриваемых условиях.

Работа программистов в этом направлении может привести к разработке новых подходов к расчету и созданию более совершенных теоретических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятикрестовский, К.П. Экспериментальные исследования характера НДС фанерных обшивок в составе пространственных конструкций [Текст] / В.И. Травуш, К.П. Пятикрестовский // Строительство и реконструкция. – 2015 – №4
2. Вагнер, Г.О. Балка с весьма тонкой стенкой [Текст] / Г.О. Вагнер // Сб. переводов ЦАГИ под ред. А.А. Уманского и П.М. Знаменского. – 1937 – С. 58-117.
3. Секерж-Зенькович, Я.И. К расчету устойчивости листа фанеры, как анизотропной пластины [Текст] / Я.И. Секерж-Зенькович // «Труды ЦАГИ». – 1931г. – № 76
4. Хертель, Г. Тонкостенные конструкции [Текст] / Г. Хертель. – М.: Машиностроение, 1965 – 527с.
5. Пятикрестовский, К.П. Исследования совместной работы обшивок и каркаса замкнутой цилиндрической оболочки из клееной древесины и фанеры [Текст] / К.П. Пятикрестовский, О.Г. Черных // Строительная механика и расчет сооружений. – 2007 – №6 – С.73-80.
6. Ромашевский, А.Ю. Экспериментальное исследование деревянных фюзеляжей [Текст] / А.Ю. Ромашевский, А.Ф. Зотов // Технические отчеты ЦАГИ. – 1941. – № 1. – С.4-39.
7. Лехницкий, С.Г. Анизотропные пластинки [Текст] / С.Г. Лехницкий. – М.: Гостехтеоретиздат, 1957 – 463с.
8. Авдонин, А.С. Прикладные методы расчета оболочек и тонкостенных конструкций [Текст] / А.С. Авдонин – М.: Машиностроение, 1969 – 402с.
9. Рудых, Г.Н. Формулы для расчета устойчивости каркасированной цилиндрической круговой оболочки при осевом сжатии и распределенном по боковой поверхности давлении [Текст] / Г.Н. Рудых, В.Т. Соколова // Труды ЦАГИ. – 1970 – Вып. 1176 – С. 1-38.
10. Справочное руководство по древесине [Текст] / перевод с английского Я.П.Горелика, Т.В.Михайловой. – М.: Лесная промышленность, 1979 – 544с.

К.П.Пятикрестовский

АО «НИИЦ «Строительство», ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко
Доктор технических наук, профессор
E-mail: stroymex@list.ru

В.И.Травуш

Российская академия архитектуры и строительных наук, г. Москва
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор
E-mail: travush@mail.ru

K. PYATIKRESTOVSKY, V. TRAVUSH

ASSESSMENT OF METHODS OF DETERMINING THE CRITICAL STRESSES AND THE LIMITS OF SUPERCRITICAL WORK OF THIN PLYWOOD COVERINGS UNDER SHEAR

Estimates of determining the critical stresses and supercritical work of thin plywood frame coverings of spatial wood structures are given. Coverings of such structures are subjected complex stress state of the shift and compression. It was revealed in testing large-scale models, that the local buckling of the coverings, when critical shear stresses appears, the bearing capability of construction is not exhausted until the external load exceed the calculated bearing capability almost three times. Previously, such properties were used in the designing of aircraft structures, for example, in Central Aerohydrodynamic Institute. The results of these studies were compared with data that were obtained by the authors. The hierarchical scheme of model researchs allows to analyse stress-strain states of model complexly and obtain reliable data.

Keywords: thin plywood coverings, shear, critical stresses, assessment of supercritical work of coverings

BIBLIOGRAPHY

1. Pyatikrestovskiy, K.P. Eksperimental'nyye issledovaniya kharaktera NDS fanernykh obshivok v so-stave prostranstvennykh konstruksiy [Tekst] / V.I. Travush, K.P. Pyatikrestovskiy // Stroitel'stvo i rekon-struksiya. – 2015 – №4.
2. Vagner, G.O. Balka s ves'ma tonkoy stenкой [Tekst] / G.O. Vagner // Sb. perevodov TSAGI pod red. A.A. Umanskogo i P.M. Znamenskogo. – 1937 – S. 58-117.
3. Sekerzh-Zen'kovich, YA.I. K raschetu ustoychivosti lista fanery, kak anizotropnoy plastiny [Tekst] / YA.I. Sekerzh-Zen'kovich // «Trudy TSA GI». – 1931g. – № 76.
4. Khertel'. G. Tonkostennyye konstruksii [Tekst] / G. Khertel'. – M.: Mashinostroyeniye. 1965 – 527 s.
5. Pyatikrestovskiy, K.P. Issledovaniya sovmestnoy raboty obshivok i karkasa zamknutoy tsilindricheskov obolochki iz klevenoy drevesiny i fanery [Tekst] / K.P. Pyatikrestovskiy, O.G. Chernykh // Stroitel'naya me-khanika i raschet sooruzheniy. – 2007 – №6 – S.73-80.
6. Romashevskiy, A.YU. Eksperimental'noye issledovaniye derevnykh fyuzelyazhey [Tekst] / A.YU. Roma-shevskiy. A.F. Zotov // Tekhnicheskive otchetv TSA GI. – 1941.– № 1. – S.4-39.
7. Lekhnitskiy, S.G. Anizotropnyye plastinki [Tekst] / S.G. Lekhnitskiy. – M.: Gostekhoretizdat, 1957 – 463s.
8. Avdonin, A.S. Prikladnyye metody rascheta obolochek i tonkostemykh konstruksiy [Tekst] / A.S. Avdonin – M.: Mashinostroyeniye, 1969 – 402s.
9. Rudvkh. G.N. Formuly dlva rascheta ustoychivosti karkasirovannov tsilindricheskov krugovov obo-lochki pri osevom szhatii i raspredelennom po bokovoy poverkhnosti davlenii [Tekst] / G.N. Rudykh, V.T. Soko-lova // Trudy TSA GI. – 1970 – Vyp. 1176 – S. 1-38.
10. Spravochnoye rukovodstvo po drevesine [Tekst] / perevod s angliyskogo YA.P.Gorelika, T.V.Mikhaylovoy. – M.: Lesnaya promyshlennost', 1979 – 544s.

К. Пятикрестовский

Central research Institute of building structures named after V.A. Kucherenko, Moscow
Doctor of technical sciences
E-mail: stroymex@list.ru

V. Travush

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow
RAACS academician, doctor of technical sciences, professor
E-mail: travush@mail.ru

РАДЧЕНКО П.А., БАТУЕВС.П., ПЛЕВКОВВ.С., РАДЧЕНКОА.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЗКАХ

В работе представлены результаты экспериментального и численного моделирования колонн, балок и оболочечной конструкции при динамических нагрузках. Была разработана и реализована программа экспериментальных и численных исследований. На базе модифицированного метода конечных элементов предложена модель и создана методика расчета конструкций со сложной внутренней структурой. Определены особенности деформирования, выявлены схемы трещинообразования и разрушения конструкций и их элементов. Приведено сравнение экспериментальных и численных результатов.

Ключевые слова: численное моделирование, метод конечных элементов, железобетон, прочность

Основные уравнения математической модели

Для численных исследований был использован метод конечных элементов [1]. Численное моделирование позволило изучить динамику разрушения образцов в процессе нагружения.

В численной конечно-элементной модели на свободных поверхностях принимались граничные условия с отсутствием касательных и нормальных напряжений, на контактных поверхностях – условия скольжения без трения. При моделировании поведения металлических образцов использовалась упругопластическая модель, а для описания бетона и фибробетона – упруго-хрупкая модель.

Система уравнений, описывающих нестационарные адиабатные движения сжимаемой среды в произвольной системе координат ($i=1,2,3$), включает следующие уравнения:

- неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \vec{v} = 0,$$

- движения

$$\rho a^k = \nabla_i \sigma^{ki} + F^k,$$

- энергии

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\rho} \sigma^{ij} e_{ij}.$$

Здесь ρ – плотность среды; \vec{v} – вектор скорости; a^k – компоненты вектора ускорения; F^k – компоненты вектора массовых сил; σ^{ij} – контравариантные компоненты симметричного тензора напряжений; E – удельная внутренняя энергия; e_{ij} – компоненты симметричного тензора скоростей деформаций:

Поведение изотропных металлических материалов рассматривается в рамках упругопластической модели.

Тензор напряжений представляется в виде суммы девиаторной S^{ki} и шаровой части P

$$\sigma^{ki} = -P \delta_{ki} + S^{ki},$$

где δ_{ij} – символ Кронеккера;

Давление в материале рассчитывалось по уравнению Ми-Грюнайзена как функция удельной внутренней энергии E и плотности ρ :

$$P = \sum_{n=1}^3 K_n \left(\frac{V_0}{V} - 1 \right)^n + K_0 \rho E,$$

где, K_0, K_1, K_2, K_3 – константы материала.

Соотношения, связывающие компоненты тензора напряжений и тензора скоростей деформаций до разрушения для ортотропного тела можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_{11}}{dt} &= C_{11}e_{11} + C_{12}e_{22} + C_{13}e_{33}, & \frac{d\sigma_{12}}{dt} &= C_{44}e_{12}, \\ \frac{d\sigma_{22}}{dt} &= C_{12}e_{11} + C_{22}e_{22} + C_{23}e_{33}, & \frac{d\sigma_{13}}{dt} &= C_{66}e_{13}, \\ \frac{d\sigma_{33}}{dt} &= C_{13}e_{11} + C_{23}e_{22} + C_{33}e_{33}, & \frac{d\sigma_{23}}{dt} &= C_{55}e_{23}, \end{aligned}$$

где C_{ij} – упругие постоянные.

Для критерия разрушения материала образца используется критерий Хоффмана [2]. Этот критерий позволяет использовать различные прочностные характеристики материала на сжатие и растяжение, и, выраженный через скалярные функции компонент тензора напряжений, выглядит следующим образом:

$$f(\sigma) = C_1(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + C_2(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + C_3(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + C_4\sigma_{11} + C_5\sigma_{22} + C_6\sigma_{33} + C_7\sigma_{12}^2 + C_8\sigma_{23}^2 + C_9\sigma_{31}^2 \geq 1,$$

где C_i – константы материала.

Предполагается, что разрушение анизотропных материалов в условиях интенсивных динамических нагрузок происходит следующим образом [3-4]:

1. если критерий прочности нарушается в условиях сжатия ($e_{kk} \leq 0$), то материал теряет анизотропные свойства, а его поведение описывается гидродинамической моделью, при этом материал сохраняет прочность только на сжатие; тензор напряжений становится в этом случае шаровым $\sigma = -P$ и его значение находится из следующего соотношения:

$$P = \left[\exp \left(4b \frac{V_0 - V}{V_0} \right) - 1 \right] \frac{\rho_0 c_0^2}{4b},$$

где ρ_0 – начальная плотность, c_0 и b – коэффициенты ударной адиабаты $D = c_0 + bu_m$, u_m – массовая скорость, V_0 и V – начальный и текущий удельные объемы.

2. если критерий прочности нарушается в условиях растяжения ($e_{kk} > 0$), то материал считается полностью разрушенным, и компоненты тензора напряжений полагаются равными нулю ($\sigma_{ij} = 0$).

При численных расчетах применялись авторские программные комплексы [5, 6].

Исследование работы стыков железобетонных колонн

Исследование работы стыков железобетонных колонн в последнее время становится все более актуальным, так как при возведении железобетонных каркасов многоэтажных жилых и гражданских зданий часто встречаются дефекты и ошибки, которые, снижая несущую способность колонн и их стыков, могут привести к отказу отдельных конструкций здания или здания в целом [7].

Для выявления работы стыков железобетонных колонн, усиленных металлическими обоймами, а так же для получения величин разрушающих нагрузок и характера их разрушения при кратковременных динамических нагрузках, была разработана программа экспери-

ментальных и численных исследований, которая включала в себя три серии образцов. Каждая серия состояла из пяти образцов, выполненных в масштабе 1:4 к натурным колоннам, с варьированием наличия стыка, армирования в стыке и внешнего усиления в виде металлических элементов. При этом принималась следующая маркировка экспериментальных образцов: K_{δ} – образец без стыка; $СК_{\delta}$ – образец со стыком, при наличии сеток в уровне стыка; $СКД_{\delta}$ – образец со стыком, без сеток в уровне стыка; $СКМ_{\delta}$ – образец со стыком, при наличии сеток в уровне стыка и усиленный металлической обоймой; $СКМД_{\delta}$ – образец со стыком без сеток в уровне стыка и усиленный металлической обоймой. Все экспериментальные образцы армировались пространственными вязаными каркасами. Рабочая арматура была выполнена в виде 8 стержней диаметром 8 мм класса А-III (А-400). Косвенное армирование (хомуты и сетки) выполнено из проволоки Вр-I (В500) диаметром 3 мм. Для предотвращения локальных разрушений в приопорных зонах устанавливается косвенное армирование в виде 5 сеток с шагом 20 мм. При стыке железобетонных колонн без дефекта ($СК_{\delta}$, $СКД_{\delta}$) в зоне стыка было установлено пять сеток с шагом 20 мм. При стыке колонн с дефектом ($СКД_{\delta}$, $СКМД_{\delta}$) сетки в зоне стыка отсутствовали. Все опытные образцы были изготовлены из бетона, который соответствовал классу В20.

Для получения информации о поведении элементов использовалась запатентованная копровая установка с системой измерительных приборов лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» [8], которая позволяет создавать кратковременную динамическую нагрузку на испытываемый железобетонный элемент.

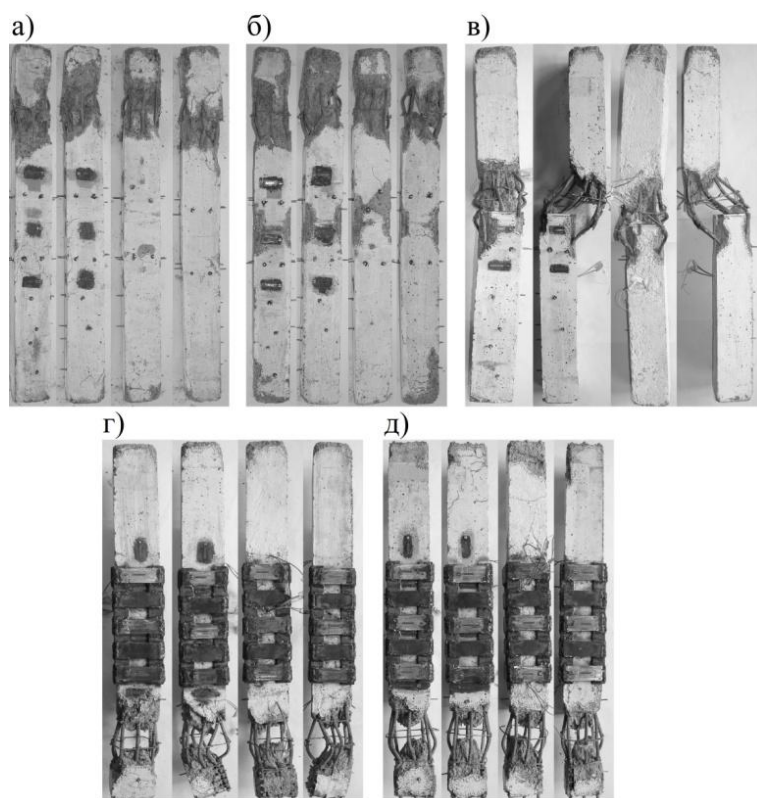


Рисунок 1 – Характер разрушения экспериментальных образцов: а – образец K_{δ} ; б – образец $СК_{\delta}$; в – образец $СКД_{\delta}$; г – образец $СКМ_{\delta}$; д – образец $СКМД_{\delta}$

Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить характер деформирования и трещинообразования железобетонных колонн и их стыков (рис. 1) при динамическом воздействии, а также определить величины разрушающих нагрузок для экспериментальных образцов, которые составили: для образца K_{δ} – 305,0 кН; для образца $СК_{\delta}$ – 253,0 кН; для образца $СКД_{\delta}$ – 104,4 кН; для образца с $СКМ_{\delta}$ – 371,6 кН; для образца $СКМД_{\delta}$ – 326,5 кН.

Кроме экспериментальных исследований работы стыков железобетонных колонн были выполнены численные расчеты их динамического деформирования. Образцы при численном моделировании полностью соответствовали образцам экспериментальных исследований.

Численные расчеты позволили выявить схемы трещинообразования экспериментальных образцов в разные промежутки времени (рис. 2), которые имеют хорошую сходимость с экспериментальными исследованиями.

Анализ результатов экспериментальных и численных исследований образцов при динамическом воздействии показал надежность усиления железобетонных колонн и их стыков. Повышение несущей способности за счет металлической обоймы составило до 40 % при испытании образца СКМ_д в сравнении с образцом СК_д и более, чем в три раза при испытании образца СКМД_д в сравнении с образцом СКД_д. При этом усиление металлической обоймой позволило увеличить несущую способность образца со стыком СКМД_д, имеющего дефект, по сравнению с образцом СК_д на 29 %.

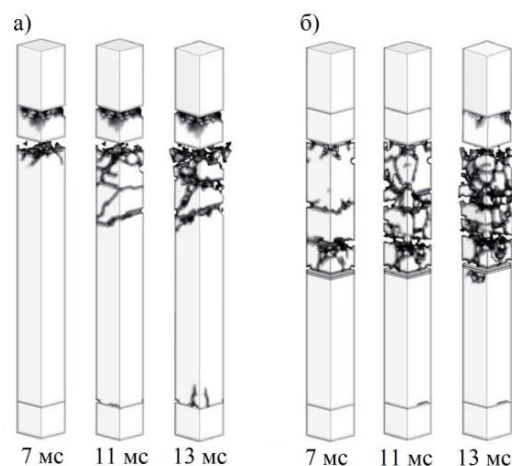


Рисунок 2 – Общий вид разрушения экспериментального образца во времени при численном эксперименте: а - без стыка (колонна); б – проектный стык колонн без усиления

Разрушение железобетонных балок при динамическом нагружении

Целью экспериментальных исследований слоистых балок является определение особенностей их деформирования, выявление схем трещинообразования и разрушения железобетонных элементов слоистой структуры в условиях кратковременного динамического нагружения. Экспериментальные балки состоят из трех разных армированных слоев по высоте сечения: фибробетон – бетон – фибробетон. Испытания слоистых балок производилось на однократное кратковременное динамическое воздействие на копровой установке с разрушением экспериментальной балки.

Длина экспериментальных балок составляла 2200 мм с расчетным пролетом – 2000 мм. Размеры поперечного сечения всех широких балок были приняты 220*150 мм. Каждая балка состояла из трех слоев: нижний и верхний слои, толщиной каждый по 20 мм выполнены из армированы углеродофибробетона, а средний слой, толщиной 110 мм из железобетона. Коэффициенты армирования слоев фибробетона балок углеродной фиброй был принят равным 0,2 % от массы вяжущего.

Армирование балок стержневой арматурой выполнено симметричным в виде каркаса и сеток, которые приняты вязанными. Пространственный арматурный каркас состоит из продольной рабочей арматуры 8Ø10 А400, связанной при помощи хомутов из проволоки Ø4В500.

В середине толщины верхнего и нижнего фибробетонных слоев экспериментальных балок располагается вязаная сетка, состоящая из проволоки Ø4 В500 с шагом 66мм в обоих направлениях.

Балка устанавливалась на динамометрические опоры, позволяющие фиксировать величину опорных реакций при динамическом испытании. Кратковременная динамическая нагрузка на балку создавалась при помощи падающего груза, весом 450 кг с высоты 700 мм. В результате динамического испытания балка была разрушена по нормальному сечению с образованием трещин в зоне чистого изгиба разрушением сжатой зоны бетона. Разрушающая динамическая нагрузка для балки составила $F_{u,d}=120$ кН.

Анализ схем трещинообразования и разрушения (рис. 3) слоистой балки показал, что они разрушаются вследствие образования и дальнейшего раскрытия по высоте нормальных трещин с разрушением сжатой зоны бетона.

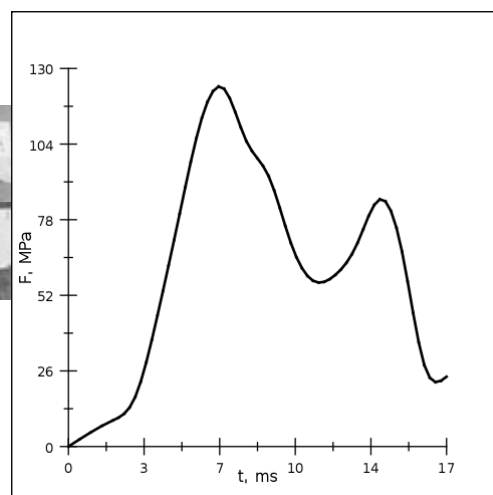
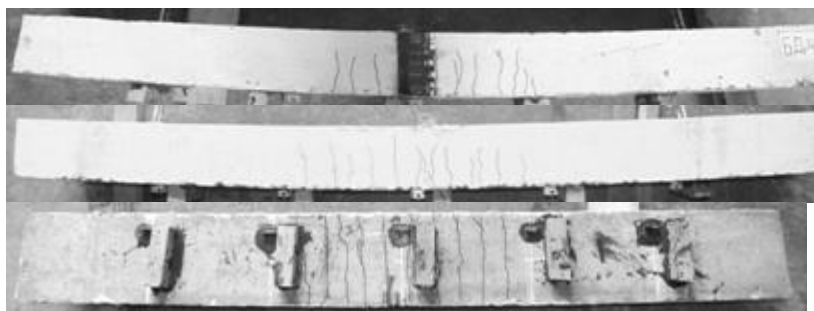


Рисунок 3 – Схемы трещинообразования и разрушения балки, испытанной при кратковременном динамическом нагружении

Рисунок 4 – Зависимость нагрузки от времени

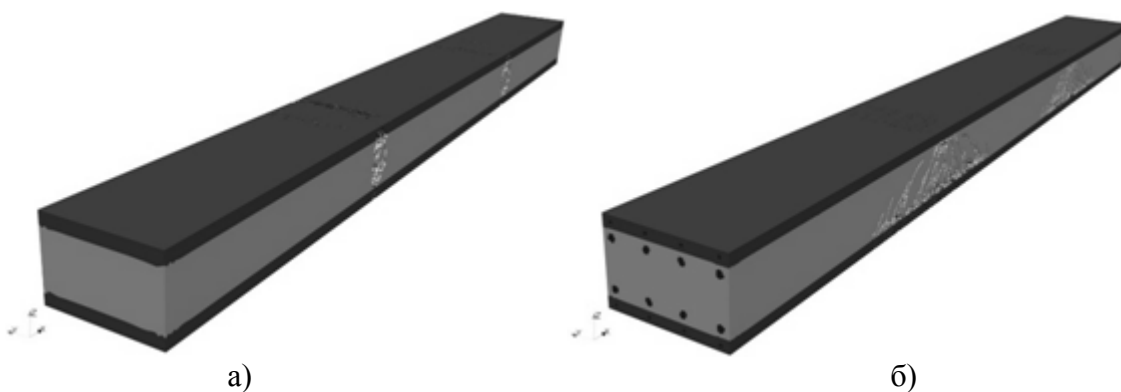


Рисунок 5 – Разрушение балки без армирования (а) и балки с арматурой (б). $t=3$ мс.

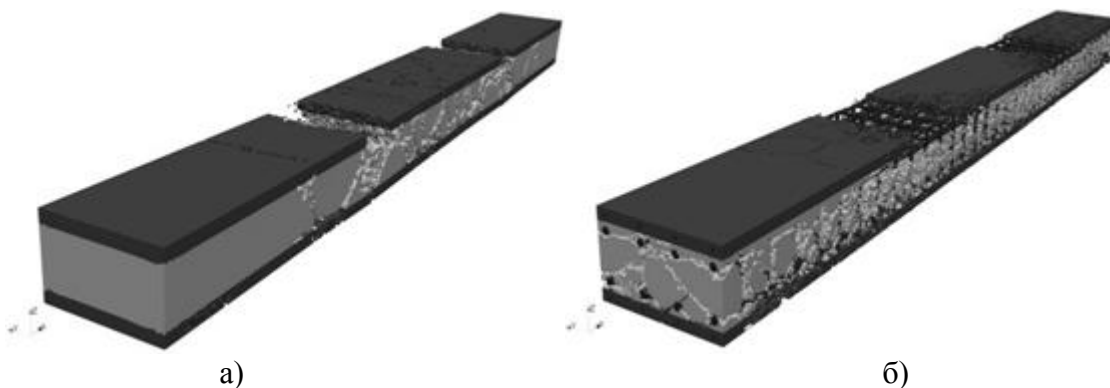


Рисунок 6 – Разрушение балки без армирования (а) и балки с арматурой (б). $t=6$ мс.

При численном моделировании условия нагружения, геометрические размеры балки и схема ее армирования соответствуют параметрам эксперимента, описанного выше. На рис. 4 приведена зависимость прилагаемой нагрузки от времени, полученная из эксперимента.

Для отработки расчетной схемы и оценки влияния армирования на разрушение балки параллельно проводились исследования поведения балки без арматуры. Схема нагружения неармированной балки была аналогична схеме нагружения армированной балке (рис. 4). На рис. 5 – рис. 6 представлены расчетные распределения зон разрушения в балке без арматуры (а) и в армированной балке (б) в различные моменты времени. Картина разрушения в этих балках существенно различается. В армированной балке зоны разрушения (трещины) рас-

пределяется практически вдоль всей балки и уровень разрушения в них меньше, чем в зонах разрушения в неармированной балке. В балке без арматуры с течением времени развиваются магистральные трещины, приводящие к ее фрагментации (рис. 6а). Наличие арматуры обеспечивает распределение напряжений по всей балке. В этом случае высокий уровень разрушающих напряжений локализован в областях, прилегающих к армирующим элементам.

Максимальные значения напряжений в армированной балке реализуются в стальной арматуре и в прилегающем к ней слою бетона. В результате чего наблюдается разрушение бетона в области его контакта с армирующими элементами. Образование трещин в этой контактной области приводит к релаксации напряжений в остальном слое бетона.

Моделирование разрушения защитной оболочки

В работе представлены и результаты численного моделирования взаимодействия самолета Boeing 747-400 с защитной оболочкой атомной станции (АС). Оболочка имела сложную многослойную сотовую структуру, состоящую из слоев бетона и фибробетона, скрепленных со стальными фермами. Условия взаимодействия самолета с оболочкой соответствовали параметрам, приведенным в [9].

Верхняя и нижняя крышки оболочки представляют собой трехслойную конструкцию. Материал верхнего слоя фибробетон (толщина – 50 мм), материал среднего слоя бетон (толщина 200 мм) и материал нижнего слоя – фибробетон (толщина – 50 мм). В данном случае, из-за сложной геометрии конструкции, армирующие элементы явно не выделялись, их наличие учитывалось через эффективные модули, свойства усреднялись по объему. На рис. 7 приведена структура сотовой конструкции оболочки, материал – фибробетон. В целом оболочка состоит из восьми сегментов, между которыми расположены стальные фермы.

Контактное воздействие на оболочку в расчетах заменялось импульсом в соответствии со схемой, приведенной в [9]. Направление импульса соответствовало падению самолета под углом 10 градусов к горизонту. Области приложения импульса приведены на рис. 8. Область, нагружаемая фюзеляжем и крыльями обозначена темно-серым цветом. Максимальное значение импульса – 250 МН. Распределение нагрузки по пятну удара в зависимости от времени приведено на (рис. 9).

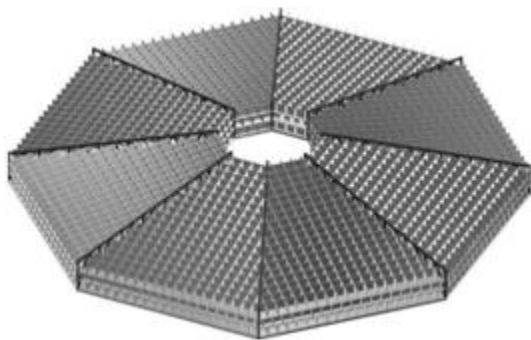


Рисунок 7-- Внутренняя сотовая структура оболочки

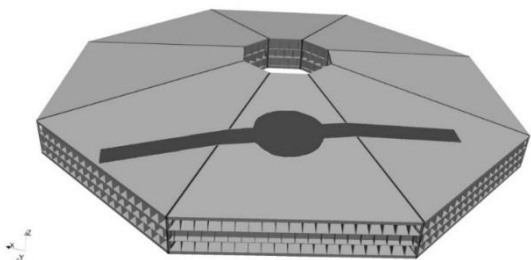


Рисунок 8 –Место приложения импульса

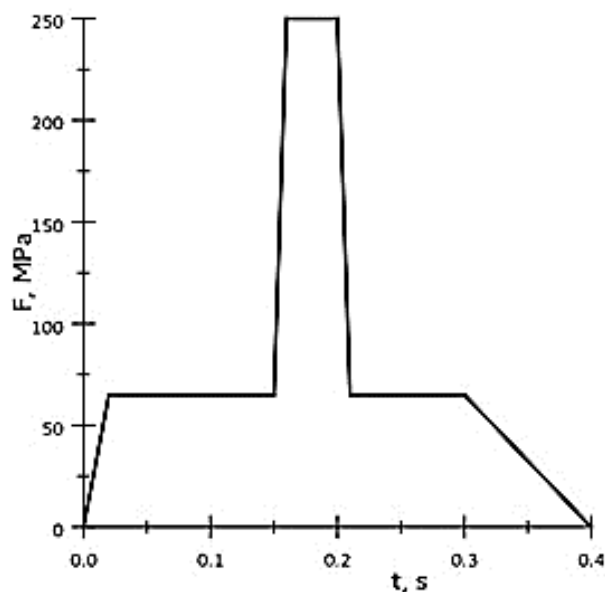


Рисунок 9 – Зависимость нагрузки от времени

В рамках поставленной задачи были проведены численные исследования динамики НДС и разрушения защитной оболочки при импульсном воздействии.

Анализ НДС показывает, что область растягивающих напряжений формируется по периметру зоны приложения импульса и внутри оболочки на свободных поверхностях сотовой структуры, это приводит к разрушению сотовой структуры оболочки. Растягивающие напряжения возникают в результате выхода волны сжатия на свободные поверхности сот, от которых они отражаются волнами разгрузки. Наличие свободных поверхностей внутри оболочки с одной стороны понижает уровень сжимающих напряжений, но с другой стороны приводит к формированию областей растяжений, в которых инициируется разрушение сотовой структуры, зарождаются трещины.

Динамику разрушения оболочки можно проследить по рис. 10, где в различные моменты времени приведены зоны разрушения, возникающие на лицевой поверхности оболочки. Разрушения возникают непосредственно в области приложения импульса, и, в результате действия растягивающих напряжений, возникают трещины по периметру приложения нагрузки, которые с течением времени распространяются по поверхности оболочки.

Разрушение оболочки по толщине иллюстрирует рис. 11, где в последовательные моменты времени приведено поперечное сечение оболочки по срединной поверхности, проходящей через зоны приложения импульса. Вначале наблюдается разрушение в круговой зоне приложения импульса от фюзеляжа самолета, а затем в областях приложения импульсов от крыльев.

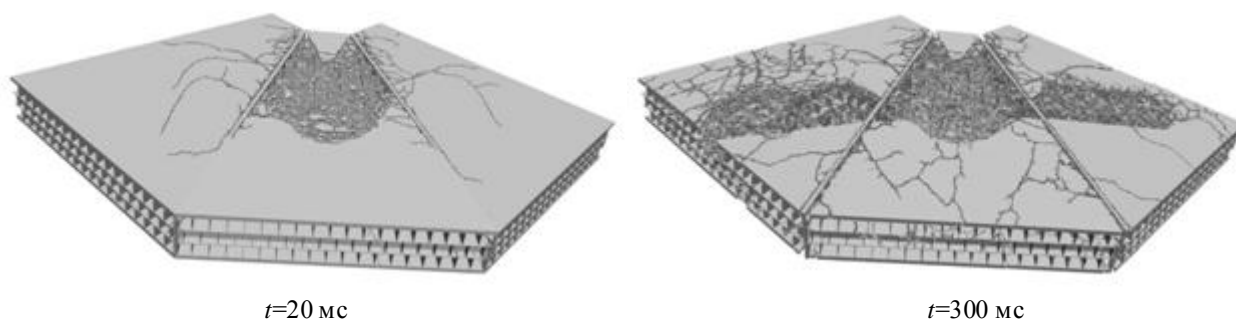


Рисунок10 - Разрушение оболочки. Вид сверху.

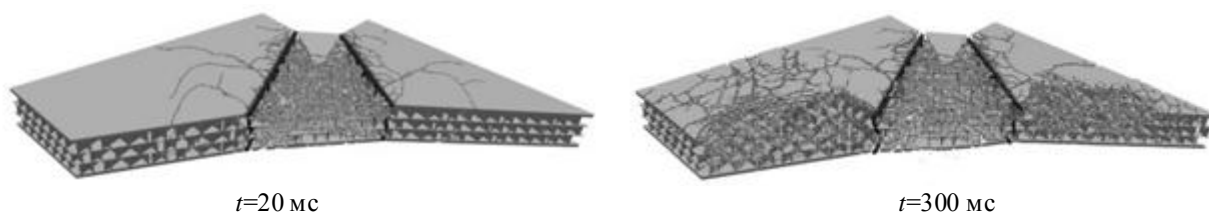


Рисунок11- Разрушение оболочки. Поперечное сечение.

Заключение

В результате проведенных численных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В рамках феноменологического подхода механики сплошной среды предложена модель и создана методика расчета конструкций со сложной внутренней структурой при интенсивных динамических нагрузках. Методика реализована в полной трехмерной постановке на базе модифицированного метода конечных элементов.

2. На основе разработанной методики, можно проводить широкопараметрические численные эксперименты по выбору оптимальных конструктивных решений.

3. Численно исследована динамика напряженно-деформированного состояния и разрушения защитной оболочки АС с сотовой внутренней структурой при импульсном воздействии.

4. Установлено, что разрушение сотовой структуры инициируется в областях действия растягивающих напряжений, которые возникают в момент выходы волны сжатия на свободные поверхности сот. С течением времени происходит дальнейшее развитие возникших разрушений в результате действия импульсной нагрузки. В верхней и нижней крышке оболочки за счет растягивающих напряжений возникают трещины, распространяющиеся в радиальных направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Johnson, G.R. High velocity impact calculations in three dimension // J. Appl. Mech. – 1977. – Vol. 44. – No. 1. – P. 95-100.
2. Ву, Э.М. Феноменологические критерии разрушения анизотропных сред. Механика композиционных материалов [Текст] / Под ред. А.А. Ильюшина и Б.Е. Победри. – М.: Мир, 1978. – С. 401-491.
3. Радченко, А.В. Модель поведения хрупких анизотропных материалов при динамических нагрузках и ее приложения [Текст] / А.В. Радченко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2003. – № 2. – С. 179-193.
4. Radchenko, A. V. Numerical modeling of development of fracture in anisotropic composite materials at low-velocity loading [Text] / A.V. Radchenko, P.A. Radchenko // Journal of Materials Science. – 2011. – V. 46.- № 8. –P. 2720-2725.
5. Свидетельство № 2011615952 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчет напряженно-деформированного состояния и разрушения анизотропных материалов при динамических нагрузках в трехмерной постановке / А.В. Радченко, С.В. Кобенко, П.А. Радченко; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20 июля 2011 г.
6. Свидетельство № 2014614671 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Трехмерное моделирование деформации и разрушения гетерогенных материалов и конструкций при динамических нагрузках (EFES 1.0) / П.А. Радченко, С.П. Батуев, А.В. Радченко; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 06 мая 2014 г.
7. Методика и результаты экспериментальных исследований стыков железобетонных колонн, усиленных металлическими элементами / Том. Гос. Архит.-строит. Ун-т; Плевков В.С., Балдин И.В., Гончаров М.Е., Максимов В.Б., Ботьева И.А. -Томск, 2010 - 43с.-Библиогр.: 10 назв.-Рус.-Деп. ВИНТИ РАН 25.01.2010, № 25-В2010.
8. Патент РФ на изобретение № 2401424 МПК G01N 3/30 (2006/01). Стенд для испытания железобетонных элементов на кратковременное динамическое сжатие / В.С. Плевков, Г.И. Однокопылов, И.В. Балдин, Д.Ю. Саркисов, М.Е. Гончаров, П.В. Дзюба; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ» - 2009131954/28 заявл. 24.08.2009; опубл. 10.10.2010 Бюл. № 28.
9. Birbraer, A.N. Extreme Actions on Structures [Text] / A.N. Birbraer, A.J. Roleder. – Saint-Petersburg: Saint-Petersburg Politechn. University, 2009.

П.А. Радченко

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики
E-mail: radchenko@live.ru

С.П. Батуев

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск
Ассистент кафедры прикладной математики

В.С. Плевков

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск
Доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций
E-mail: pvs@mail.tomsknet.ru

А.В. Радченко

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск
Доктор технических наук, профессор кафедры геоинформатики и кадастра

P. RADCHENKO, S. BATUEV, V. PLEVKOV, A. RADCHENKO

MODELING DESTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES UNDER SHOK LOADS

The paper presents the results of experimental and numerical modeling of columns, beams and shell structure under dynamic loads. Program of experimental and numerical studies is developed and implemented. On the basis of the modified finite element method the model and the method of analysis of structures with complex internal structure are proposed. The features of deformation are determined; scheme of cracking and fracture of structures and their elements are revealed. A comparison of numerical and experimental results are shown.

Keywords: numerical modeling, finite element method, reinforced concrete, strength

BIBLIOGRAPHY

1. Johnson, G.R. High velocity impact calculations in three dimension // J. Appl. Mech. – 1977. – Vol. 44. – No. 1. – P. 95-100.
2. Vu, E.M. Fenomenologicheskiye kriterii razrusheniya anizotropnykh sred. Mekhanika kompozitsionnykh materialov [Tekst] / Pod red. A.A. Il'yushina i B. Ye. Pobedri. – M.: Mir, 1978. – S. 401-491.
3. Radchenko, A.V. Model' povedeniya khrupkikh anizotropnykh materialov pri dinamicheskikh nagruzkakh i yeye prilozheniya [Tekst] / A.V. Radchenko // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2003. – № 2. – S. 179-193.
4. Radchenko, A. V. Numerical modeling of development of fracture in anisotropic composite materials at low-velocity loading [Text] / A.V. Radchenko, P.A. Radchenko // Journal of Materials Science. – 2011. – V. 46.- № 8. – P. 2720-2725.
5. Svidetel'stvo № 2011615952 o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM. Raschet naprya-zhenno-deformirovannogo sostoyaniya i razrusheniya anizotropnykh materialov pri dinamicheskikh nagruzkakh v trekhmernoy postanovke / A.V. Radchenko, S.V. Kobenko, P.A. Radchenko; zaregistrirvano v Reyestre programm dlya EVM 20 iyulya 2011 g.
6. Svidetel'stvo № 2014614671 o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM. Trekhmernoye modelirovaniye deformatsii i razrusheniya geterogennykh materialov i konstruksiv pri dinamicheskikh nagruzkakh (EFES 1.0) / P.A. Radchenko, S.P. Batuyev, A.V. Radchenko; zaregistrirvano v Reyestre programm dlya EVM 06 maya 2014 g.
7. Metodika i rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy stykov zhelezobetonnykh kolonn, usilen'nykh metallicheskiimi elementami / Tom. Gos. Arkhit.-stroit. Un-t; Plevkov V.S., Baldin I.V., Goncharov M.Ye., Maksimov V.B., Bot'yeva I.A. - Tomsk, 2010 - 43s. - Bibliogr.: 10 nazv.-Rus.-Dep. VINITI RAN 25.01.2010, № 25-V2010.
8. Patent RF na izobreteniye № 2401424 MPK G01N 3/30 (2006/01). Stend dlya ispytaniya zhelezobetonnnykh elementov na kratkovremennoye dinamicheskoye szhatiye / V.S. Plevkov, G.I. Odnokopylov, I.V. Baldin, D.YU. Sarkisov, M.Ye. Goncharov, P.V. Dzyuba; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «TGASU» - 2009131954/28 zayavl. 24.08.2009; opubl. 10.10.2010 Byul. № 28.
9. Birbraer, A.N. Extreme Actions on Structures [Text] / A.N. Birbraer, A.J. Roleder. – Saint-Petersburg: Saint-Petersburg Politechn. University, 2009.

PA Radchenko

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the department of Applied Mathematics
E-mail: radchenko@live.ru

S. Batuev

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk
Assistant Professor, Department of Applied Mathematics

V. Plevkov

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk
Doctor of Technical Sciences, Professor of reinforced concrete and masonry structures department
E-mail: pvs@mail.tomsknet.ru

A. Radchenko

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk
Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the department of Geoinformation and Cadastre

САЛЬНИКОВА.С., КОЛЧУНОВВ.И., КОЛЧУНОВВл. И.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И КООРДИНАТ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРЕЩИНЫ ПЕРВОГО ВИДА В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ

Предложен метод расчета минимальной нагрузки и координат образования пространственной трещины первого вида в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом, базирующийся на рабочих предположениях и построенных уравнениях.

Трещины первого вида, пересекают продольную и поперечную арматуру, которые образуются на нижней или боковой грани при главных деформациях удлинения, превышающих предельные. При этом в качестве условия образования пространственных трещин при кручении с изгибом принято достижение главными деформациями удлинения бетона своих предельных значений (эти значения рассматриваются как занормированные параметры).

Физическая интерпретация полученного решения состоит в том, что оно позволяет отыскивать минимальное обобщенную нагрузку, которая соответствует образованию первой пространственной трещины на нижней или боковой грани и соответствующие абсциссы точек их образования.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, сопротивление кручению с изгибом, трещинообразование, первый вид пространственных трещин, методика расчета.

Расчет железобетонных конструкций при кручении с изгибом остается одной из наиболее сложных и недостаточно изученных задач теории железобетона. В тоже время практическая необходимость такого расчета при проектировании различных видов железобетонных конструкций становится все более востребованной поскольку область применения таких конструкций существенно расширяется.

Принимая во внимание актуальность и практическую потребность в разработке расчетных моделей сопротивления железобетонных конструкций зданий и сооружений при кручении с изгибом, в работах [1–2] были предложены рабочие предположения и расчетная модель образования пространственных трещин первого вида в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом. Основные из них базируются на том, что образование первой пространственной трещины происходит в точке A_2 (рис. 1 и 2) абсцисса которой и минимальная обобщенная нагрузка, выраженная в виде $R_{sup,cr}$, отыскивается из условия экстремума функции многих переменных. При этом в качестве критерия образования пространственной трещины принимается условие достижения главными деформациями удлинения бетона ε_{bt} своих предельных значений $\varepsilon_{bt,ul}$ [3].

В развитие этих исследований опираясь на разрешающие уравнения, полученные в работе [2], можно построить обобщенную функцию напряженного состояния $F(R_{sup}, \sigma_z, \sigma_x, \tau_{zx}, \tau_t, x, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5)$, с помощью которой предоставляется возможность определения минимального значения обобщенной нагрузки и координат образования первой пространственной трещины.

Сопротивление стержневого железобетонного элемента образованию первой пространственной трещины первого вида на его нижней грани (рис. 1, а) с учетом функциональных изменений- эпюр внутренних усилий M_t, M и Q_y – (рис. 1, б–г) при кручении с изгибом, осуществляется на основании следующих уравнений.

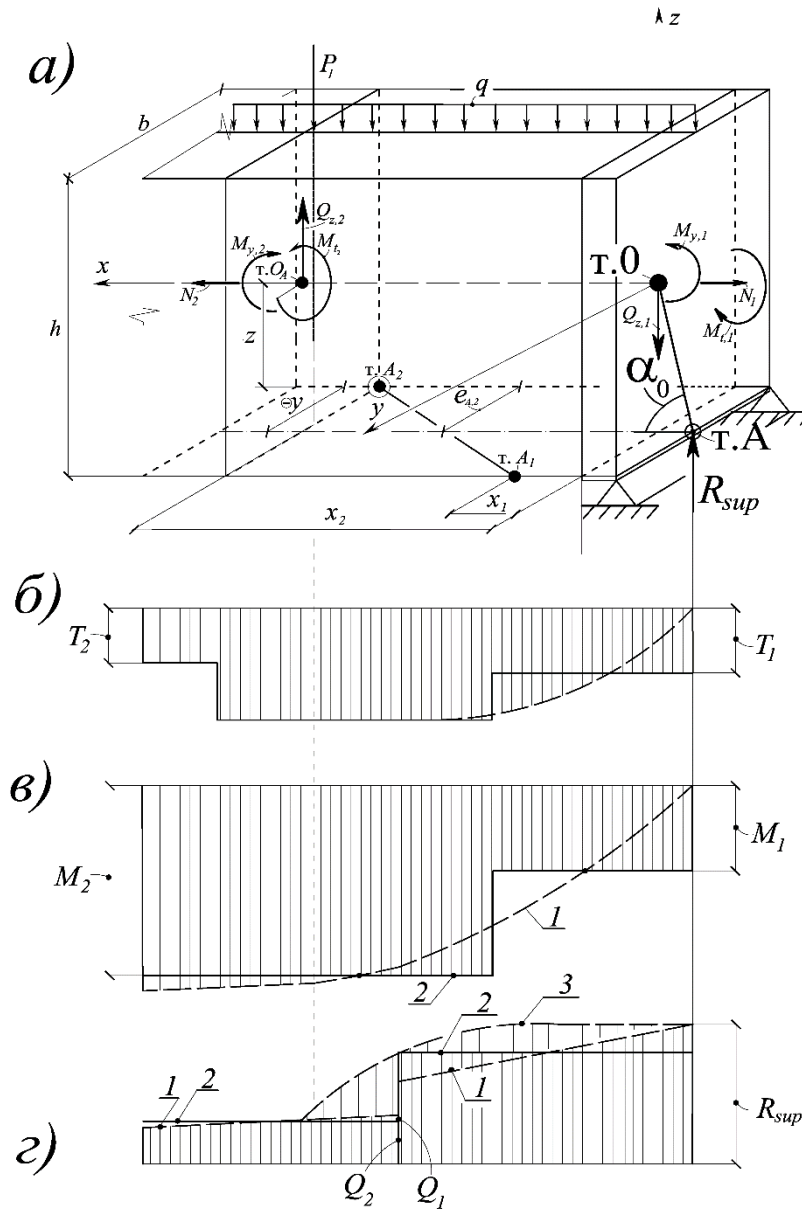


Рисунок 1– Расчетная схема к образованию пространственных трещин первого вида (случай 1): а – схема усилий и система координат к образованию первой пространственной трещины; б, в, г – эпюры M_t , M и Q_y соответственно; 1 – действительная эпюра; 2 – принимаемая для расчета; 3 – эпюра поперечных сил от местного поля касательных напряжений

1. Уравнения связи между нормальными напряжениями σ_x и внешней нагрузкой, выраженной через опорную реакцию R_{sup} , в виде обобщенной нагрузки в момент образования пространственных трещин, определяемого из формулы механики твердого деформируемого тела для нормальных напряжений в поперечном сечении, расположенном на расстоянии X от опоры, записанных с учетом продольной силы N , включающей усилия предварительного напряжения, изгибающего момента $R_{sup} \cdot x$ от внешних сил и изгибающего момента $P_0 \cdot e_{0,p}$ от усилия предварительного напряжения, а также с учетом местных воздействий $\frac{R_{sup}}{b \cdot h} \cdot \varphi_x$

(параметр φ_x по своему физическому смыслу и обозначению соответствуют нормам [4]).

Из этого уравнения находим неизвестное R_{sup} :

$$R_{sup} = \frac{\sigma_x \cdot A_{red} \cdot I_{red} - N \cdot I_{red} \mp P_0 \cdot e_{0,p} \cdot A_{red} \cdot (-0,5h)}{\pm x \cdot (-0,5h) \cdot A_{red} + \varphi_x \cdot I_{red}}. \quad (1)$$

2. Уравнения для определения касательных напряжений кручения τ_t [5, 6] в поперечном сечении, расположенном на расстоянии x от опоры:

$$\tau_t = \frac{M_t}{I_t} \sqrt{z^2 + y^2}. \quad (2)$$

В рассматриваемом случае, $y = -0,5b$, $z = -0,5h$, тогда

$$\tau_t = \frac{M_t}{2I_t} \sqrt{b^2 + h^2}, \quad (3)$$

3. Уравнения для определения касательных напряжений τ_{zx} в поперечном сечении, расположенном на расстоянии X от опоры:

$$\tau_{zx} = \tau_2 + (\tau_1 - \tau_2) \cdot \frac{h - z_d - h'_f - (-0,5h)}{h - z_d - h'_f} + \tau_{zx,loc}, \quad (4)$$

где z_d – расстояние от центра тяжести сечения до нижней грани).

При этом уравнения связи между касательными напряжениями в поперечном сечении железобетонного стержня и обобщенной нагрузкой учитывают поперечную силу не только от опорной реакции (с учетом местных напряжений), но и от отгибаемых стержней.

Из зависимости (4) находится неизвестное τ_{zx}

$$\tau_{zx} = (R_{sup} - Q_{inc}) (-0,5h \cdot B_2 - B_1) - \frac{R_{sup}}{A_{red}} \cdot \varphi_{zx}, \quad (5)$$

где

$$B_1 = \frac{S_{n,ax}}{I_{red} \cdot b}; \quad B_2 = \frac{1}{I_{red} \cdot b \cdot (h - z_d - h'_f)} \quad (\text{в тавровом сечении полка сверху});$$

$$B_2 = \frac{1}{I_{red} \cdot b \cdot (z_d - h'_f)} \quad (\text{в тавровом сечении полка снизу}).$$

Для прямоугольных сечений параметр h'_f принимается равным $\frac{1}{3}(h - z_d)$, а параметр

h_f принимается равным $\frac{1}{3}z_d$.

4. Уравнения связи внешней нагрузки (выраженной через опорную реакцию R_{sup}) и нормальными напряжениями σ_z в точке, с координатами в которой они определяются, записанного с учетом местных полей от опорной реакции и сосредоточенной силы, а также с учетом предварительного напряжения в хомутах и отгибах, –

$$\sigma_z = \frac{R_{sup}}{A_{red}} \cdot (\varphi_z + k \cdot \varphi_{2,z}) + B_3, \quad (6)$$

где $B_3 = \frac{\sigma_{sw,p} \cdot A_{sw,p}}{s_{sw,p} \cdot b} + \frac{\sigma_{inc,p} \cdot A_{inc,p}}{s_{inc,p} \cdot b} \cdot \sin \theta$.

5. Используя условия образования пространственных трещин при кручении с изгибом, когда главные деформации удлинения бетона равны $\varepsilon_{bt,ul}$ и располагая зависимостью:

$$\varepsilon^3 - S_1 \varepsilon^2 - S_2 \varepsilon - S_3 = 0, \quad (7)$$

где S_1, S_2, S_3 – первый, второй и третий инварианты деформированного состояния, получим:

$$\varepsilon_x = \frac{\gamma_{xz}^2 (\varepsilon_y - \varepsilon_{bt,ul}) - \gamma_{xz} \gamma_{xy} \gamma_{zy} + 4\varepsilon_{bt,ul}^3 - 4\varepsilon_{bt,ul}^2 (\varepsilon_y + \varepsilon_z) + \varepsilon_{bt,ul} (4\varepsilon_z \varepsilon_y - \gamma_{xy}^2 - \gamma_{zy}^2) + \varepsilon_z \cdot \gamma_{xy}^2}{4(\varepsilon_z \varepsilon_{bt,ul} - \varepsilon_{bt,ul}^2 + \varepsilon_y \varepsilon_{bt,ul} - \varepsilon_y \varepsilon_z + \gamma_{zy}^2)}. \quad (8)$$

Тогда, принимая во внимание, что для рассматриваемой задачи $\sigma_y = 0, \tau_{yz} = 0$; $\tau_{yx} = \tau_{xy} = \tau_t$; $\varepsilon_y = -\frac{\mu}{E}(\sigma_x + \sigma_z)$; $\varepsilon_x = \frac{1}{E}[\sigma_x + \sigma_{x,d} - \mu\sigma_z]$; $\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu\sigma_x]$, $\gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}(1+\mu)}{E}$, $\gamma_{yz} = 0$, $\gamma_{xy} = \frac{\tau_t(1+\mu)}{E}$, а также учитывая деформации, связанные сдвигами поперечного сечения $\varepsilon_{x,d}$ на основании уравнения (8) можно записать:

$$\varepsilon_x = \frac{\gamma_{xz}^2 (\varepsilon_y - \varepsilon_{bt,ul}) + 4\varepsilon_{bt,ul}^3 - 4\varepsilon_{bt,ul}^2 (\varepsilon_y + \varepsilon_z) + \varepsilon_{bt,ul} (4\varepsilon_z \varepsilon_y - \gamma_{xy}^2) + \varepsilon_z \cdot \gamma_{xy}^2}{4(\varepsilon_z \varepsilon_{bt,ul} - \varepsilon_{bt,ul}^2 + \varepsilon_y \varepsilon_{bt,ul} - \varepsilon_y \varepsilon_z)}, \quad (9)$$

где, в соответствии с работой [2], $\varepsilon_{x,d} = \frac{w}{x}$; $w = \frac{M_t}{G \cdot I_t} \cdot f(x, z)$: Принимая во внимание работы [5, 6] можно записать $f(x, z) = \beta_t \cdot x \cdot z$; $\beta_t = \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2}$, $\sigma_{x,d} = \varepsilon_{x,d} \cdot E$.

Располагая значениями деформаций ε_x , находим неизвестное в рассматриваемой задаче напряжение σ_x :

$$\sigma_x = \varepsilon_x E - \sigma_{x,d} + \mu\sigma_z. \quad (10)$$

Используя полученные уравнения и соотношения между изгибающим (M_{bend}) и крутящим моментом $M_{bend} / M_t = \eta$, составим обобщенную функцию многих переменных F :

$$\begin{aligned} F(R_{sup}, \sigma_z, \sigma_x, \tau_{zx}, \tau_t, x, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) = \\ = \frac{\sigma_x \cdot A_{red} \cdot I_{red} - N \cdot I_{red} \mp P_0 \cdot e_{0,p} \cdot A_{red} \cdot (-0,5h)}{\pm x \cdot (-0,5h) \cdot A_{red} + \varphi_x \cdot I_{red}} + \\ + \left[\sigma_z - \left(\frac{R_{sup}}{A_{red}} \cdot (\varphi_z + k \cdot \varphi_{2,z}) + B_3 \right) \right] \lambda_1 + \left[\sigma_x - (\varepsilon_x E - \sigma_{x,d} + \mu\sigma_z) \right] \lambda_2 + \\ + \left[\tau_{zx} - \left((R_{sup} - Q_{inc}) (-0,5h \cdot B_2 - B_1) - \frac{R_{sup}}{A_{red}} \cdot \varphi_{zx} \right) \right] \lambda_3 + \left[\tau_t - \frac{M_t}{2I_t} \sqrt{b^2 + h^2} \right] \lambda_4 + \\ + \left[R_{sup} - \frac{\sigma_x \cdot A_{red} \cdot I_{red} - N \cdot I_{red} \mp P_0 \cdot e_{0,p} \cdot A_{red} \cdot (-0,5h)}{\pm x \cdot (-0,5h) \cdot A_{red} + \varphi_x \cdot I_{red}} \right] \lambda_5. \quad (11) \end{aligned}$$

Далее выполняем дифференцирование полученной функции (11) по соответствующим переменным $R_{sup}, \sigma_z, \sigma_x, \tau_{zx}, \tau_t, x$ получим:

$$\frac{\partial F}{\partial R_{sup}} = \frac{(\varphi_z + k \cdot \varphi_{2,z})}{A_{red}} \cdot \lambda_1 + \left(0,5h \cdot B_2 + B_1 + \frac{\varphi_{zx}}{A_{red}} \right) \lambda_3 + \lambda_5; \quad (12)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \sigma_z} = \lambda_1 + \mu\lambda_2; \quad (13)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \sigma_x} = \frac{A_{red} \cdot I_{red}}{\pm x \cdot (-0,5h) \cdot A_{red} + \varphi_x \cdot I_{red}} (1 - \lambda_5) + \lambda_2; \quad (14)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \tau_{zx}} = \lambda_3; \quad (15)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \tau_t} = \lambda_4; \quad (16)$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \left[\frac{\mp (0,5h) \cdot A_{red} + \frac{\varphi_{x,i+1} - \varphi_{x,i-1}}{2\Delta x} \cdot I_{red}}{[\pm x \cdot (-0,5h) \cdot A_{red} + \varphi_x \cdot I_{red}]^2} \left(\sigma_x \cdot A_{red} \cdot I_{red} - N \cdot I_{red} \mp P_0 \cdot e_{0,p} \cdot A_{red} \cdot (-0,5h) \right) \right] (\lambda_5 - 1) - \frac{R_{sup}}{A_{red}} \cdot \frac{\varphi_{zx,i+1} - \varphi_{zx,i-1}}{2\Delta x} \cdot \lambda_3. \quad (17)$$

Приравнявая нулю полученные частные производные (12-17), получим систему алгебраических уравнений, из которой после алгебраических преобразований будем иметь:

$$x = \frac{I_{red} [\varphi_x + \varphi_z + k \cdot \varphi_{2,z} - \mu \cdot \varphi_z - \mu \cdot k \cdot \varphi_{2,z}]}{\pm (0,5h) \cdot A_{red}}. \quad (18)$$

Физическая интерпретация полученного решения состоит в том, что оно позволяет отыскивать минимальное обобщенную нагрузку $R_{sup,cr}$, которая соответствует образованию первой пространственной трещины и абсциссу точки ее образования.

После определения абсциссы x точки A_2 (см. рис. 1), в которой образуется пространственная трещина первого вида на боковой грани и отыскания обобщенной нагрузки трещинообразования, выраженной в виде функции через опорную реакцию R_{sup} можно определить пространственное расположение главных площадок, в окрестности этой точки, в плоскости которой будет располагаться начало пространственной трещины, т. е. определить направление развития этой трещины. Определение направляющих косинусов l, m, n выполняется по уравнениям:

$$(\sigma_x - \sigma) \cdot l + \tau_{xy} \cdot m + \tau_{xz} \cdot n = 0; \quad (19)$$

$$\tau_{yx} \cdot l + (\sigma_y - \sigma) \cdot m + \tau_{yz} \cdot n = 0; \quad (20)$$

$$\tau_{zx} \cdot l + \tau_{yz} \cdot m + (\sigma_z - \sigma) \cdot n = 0; \quad (21)$$

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1. \quad (22)$$

Так как для рассматриваемого случая (случай 1, см. рис. 1) $\sigma_y = 0, \tau_{yz} = 0$, а $\tau_{xy} = \tau_t, \sigma = \sigma_1 = \beta \cdot R_{bt}$ и при этом из первых трех уравнений используется только два (любые на выбор, в данном случае, – второе и третье, с тем, чтобы количество уравнений равнялось количеству неизвестных направляющих косинусов), то формулы (20)–(22) примут вид

$$\tau_t \cdot l_1 - \beta \cdot R_{bt} \cdot m_1 = 0, \quad (23)$$

$$\tau_{zx} \cdot l_1 + (\sigma_z - \beta \cdot R_{bt}) \cdot n_1 = 0; \quad (24)$$

$$l_1^2 + m_1^2 + n_1^2 = 1. \quad (25)$$

Второй случай образования пространственных трещин первого вида на боковой грани в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом (рис. 2), базируется на тех же предпосылках и описывается теми же уравнениями, которые были рассмотрены для случая 1.

Затем, используя полученные уравнения и соотношения между крутящим моментом (M_t) и поперечной силой ($\frac{Q}{M_t} = \eta_1$), аналогично как и для случая 1 обобщенная составляется – $F(R_{sup}, \sigma_z, \sigma_x, \tau_{zx}, \tau_t, x, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5)$. Физическая интерпретация полученного решения состоит в том, что оно позволяет находить минимальное обобщенную нагрузку $R_{sup,cr}$, которая соответствует образованию первой пространственной трещины на боковой грани и абсциссу точки A_2 образования A_2 .

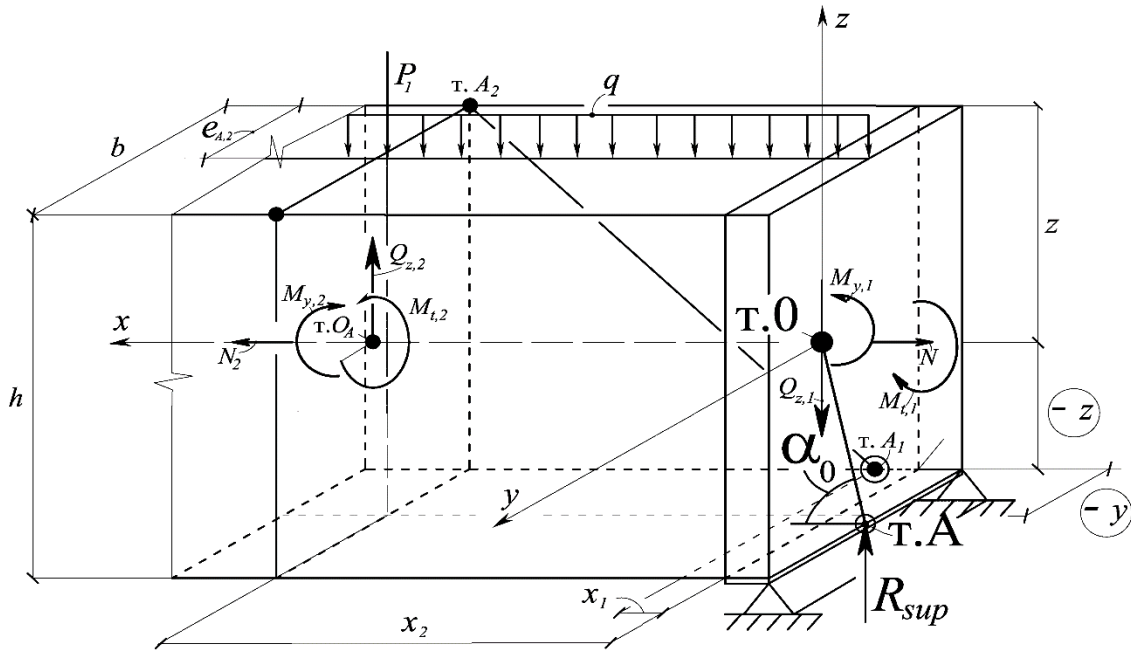


Рисунок 2 – Расчетная схема (с внутренними усилиями и выбором системы координат) к образованию пространственных трещин первого вида (случай 2)

После определения абсциссы точки, в которой образуется пространственная трещина первого вида на боковой грани и отыскания обобщенной нагрузки трещинообразования, в выраженной в виде функции через опорную реакцию R_{sup} можно определить пространственное расположение главных площадок, в окрестности этой точки, в плоскости которой будет располагаться начало пространственной трещины. Так как для рассматриваемого случая 2 случай, см. рис. 2) $\sigma_y = 0$, $\tau_{yz} = 0$, а $\tau_{xy} = \tau_t$, $\sigma = \sigma_1 = \beta \cdot R_{bt}$ используя уравнения (23)– (25) отыскиваются направляющие косинусы.

Вывод. Получено аналитическое решение задачи образования пространственных трещин первого вида для двух случаев их образования (на нижней и боковой грани, соответственно) в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом. Это решение может быть использовано при различных схемах нагружения различных видах, продольного (с возможностью учета предварительного напряжения) и поперечного армирования, классах бетона, геометрических характеристиках сечения для обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций работающих при кручении с изгибом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Salnikov A., Kolchunov V., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending (2015), Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015) pp. 784–789.
2. Сальников, А. С. Расчетная модель образования пространственных трещин первого вида при кручении с изгибом [Текст] / А. С. Сальников, Вл. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – №3. – С. 35–40.
3. Бондаренко, В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона : монография / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – М. : АСВ, 2004. – 472 с.
4. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01–84*. – [Введены в действие с 1986–01–01]. – М. : ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с. – (Строительные нормы и правила).
5. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. В 2-х книгах. Книга 1. Под ред. А. А. Уманского. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. – М. : Стройиздат, 1972. – 600 с.
6. Клюева Н. В. К расчету ширины раскрытия наклонных трещин третьего типа в составных железобетонных конструкциях / Н. В. Клюева, И. А. Яковенко, Н. В. Усенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №2. – С. 8–11.
7. Прочность, устойчивость, колебания : справочник в трех томах : под ред. И. А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М. : Машиностроение, 1968. – Т. 1. – 831 с. – Т. 2. – 463 с. – Т. 3. – 567 с.

А.С. Сальников

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск

Аспирант

E-mail: ego2103@ukr.net

В.И. Колчунов

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Академик РААСН, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой уникальных зданий и сооружений

E-mail: asiorel@mail.ru

Вл.И. Колчунов

Национальный авиационный университет, г. Киев

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных технологий строительства

E-mail: ykolchunov@mail.ru

A. SALNIKOV, V. KOLCHUNOV, VI. KOLCHUNOV

THE METHOD FOR DETERMINING THE LIMIT LOAD AND THE FORMATION COORDINATES OF THE FIRST TYPE SPATIAL CRACKS IN REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS IN TORSION WITH BENDING

It is proposed the method for calculating the minimum load and the coordinates of spatial cracks formation in the reinforced concrete constructions under the action of torsion with bending. This method is based on working premises and constructed equation.

The first type cracks, which cross the longitudinal and transverse reinforcement, are formed on the bottom or the side face at the main deformation elongation exceeding the limit.

Deformations major achievement made concrete extension of their limit values at the same time as the conditions for the formation of spatial cracks in torsion with bending (these values are treated as the parameters that appear in rules).

The physical interpretation of the resulting solution is that it allows to find the minimum generalized load, which corresponds to the formation of the first crack on the bottom or side edge and the corresponding points of the abscissas of their occurrence.

Keywords: reinforced concrete constructions, torsion with bending resistance, crack formation, the first type of spatial cracks, the method of calculation.

BIBLIOGRAPHY

- 1 Salnikov A., Kolchunov VI., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending (2015), Applied Mechanics and Materials Vols. 725-726 (2015) pp. 784–789.
- 2 Salnikov A.S, Kolchunov VI.I., Yakovenko I.A. Raschetnaya model obrazovaniya prostranstvennykh treschin pervogo vida pri kruchenii s izgiбом (2015), Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo, 3, pp. 35–40.
- 3 Bondarenko V. M., Kolchunov V. I. Raschetnyye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona : monograph, (2004), ASV, 472 p.
- 4 Betonnyie i zhelezobetonnyie konstruksii: SNiP 2.03.01–84*. – [Vvedenyi v deystvie s 1986–01–01]. – M. : TsTIP Gosstroya SSSR, 1989. – 88 s. – (Stroitelnyie normyi i pravila).
- 5 Spravochnik proyektirovshchika promyshlennykh, zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i sooruzheniy. Raschetno-teoreticheskiy. In two books. Book 1. Pod red. A. A. Umanskogo. Second edition (1972), Stroyizdat, 600 p.
- 6 Klyuyeva N. V., Yakovenko I. A., Usenko N. V. K raschetu shiriny raskrytiya naklonnykh treshchin tretyego tipa v sostavnykh zhelezobetonnykh konstruksiyakh (2014), Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo, 2, pp. 8–11.
- 7 Prochnost, ustoychivost, kolebaniya : spravochnik v trekh tomakh : pod red. I. A. Birgera i Ya.G. Panovko (1968), Mashinostroyeniye, Vol. 1, 831 p., Vol. 2, 463 p, Vol. 3, 567 p.

A. Salnikov

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Postgraduate student
E-mail: ego2103@ukr.net

V. Kolchunov

South-West state university, Kursk
RAACS academician, doctor of technical sciences, professor,
head of the department “Unique buildings and facilities”
E-mail: asiole1@mail.ru

VI. Kolchunov

National Aviation University, Kyiv
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Technologies of construction
E-mail: vikolchunov@mail.ru

СЕМЕНОВ А.А., МАЛЯРЕНКО А.А., ПОРЫВАЕВ И.А., СЕМЕНОВ С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТЯНУТЫХ ПОЯСОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРМ В СРЕДЕ SCAD

В статье рассмотрены результаты численных исследований болтов фланцевого монтажного стыка фермы из двутавров. Обоснован выбор расчетной модели соединения в среде ПК SCAD. Проведено сравнение результатов численных исследований с результатами, полученными инженерными методами. Показан пространственный характер работы соединения. Выполнена оценка влияния изгибающих моментов на напряженно-деформированное состояние болтов. Несущая способность соединения по критерию прочность фланцев, полученная численным методом, совпадает с вычисленной инженерными методами. При определении несущей способности соединения по критерию прочность болтов выявлено, что инженерная методика дает заниженные результаты по отдельным болтам в диапазоне 4 – 20 % по сравнению НДС пространственной численной модели.

Ключевые слова: болтовое фланцевое соединение, анализ методом конечных элементов, аналитическое исследование, анализ напряжений.

Фланцевые соединения элементов несущих металлических конструкций, воспринимающих растягивающие усилия, применяются не один десяток лет по причине целого ряда положительных характеристик, таких, как технологичность, экономичность, высокая надежность, простота и т.п. [5-9].

Ведутся работы, как по совершенствованию существующих конструктивных решений фланцевых соединений, так и по разработке новых решений [23, 24].

Основные положения по расчету таких соединений приведены в Руководстве [1] и Рекомендациях [2-3], датируемых прошлым веком. Основной принцип расчета соединений основан на рассмотрении плоских расчетных подсхем, представляющих тавровые стержневые соединения. Методы и методики расчетов фланцевых соединений постоянно исследуются и совершенствуются. При этом повышенное внимание уделяют этому вопросу ученые в областях авиационной, машиностроительной и нефтяной промышленности. Вместо стержневой расчетной схемы фланец представляется в виде пластинчатой или оболочечной модели, доказана необходимость рассмотрения задачи в пространственной постановке без разделения на отдельные расчеты болтов, фланцев и соединяемых элементов, основой расчетов становится реализация контактной задачи в нелинейной постановке. Сравнения различных методов расчета (с применением теории пластинок, расчеты с применением МКЭ, экспериментальные данные и традиционных методов) показывают относительно хорошую сходимость при реализации контактной задачи и экспериментальных исследованиях и значительное отличие от инженерных методов [25].

Появившиеся возможности создавать пространственные конечно-элементные модели расчетных схем с помощью программных проектирующих комплексов и отдельных программ [12-22, 26], используя объемные конечные элементы и реализовывая задачи в нелинейной постановке, позволяет точнее рассмотреть работу этих соединений [21, 22].

В работе [12] рассмотрено фланцевое соединение изгибаемого элемента, выполнено конечно-элементное моделирование и сравнение с действующими аналитическими методиками.

В работе [10] подробно описаны теоретические основы существующих классических методов расчета фланцевых соединений, описана программная реализация этих методик.

Метод конечных элементов имеет с своей основе систему линейных алгебраических уравнений вида

$$\{u_n\} = [K] \cdot \{F\},$$

где $\{F\}$ - вектор поверхностной нагрузки; $[K]$ - матрица жесткости всей системы (не только фланца); $\{u_n\}$ - вектор смещений узлов модели. Каждый член матрицы жесткости K_{ij} - локальная жесткость элемента, равная реакции в j -м узле объемного (оболочечного) элемента от единичного смещения в i -м узле при остальных неподвижных узлах. Решение системы уравнений (1) позволяет получить смещения узлов элементов в виде

$$\{u_n\} = [K]^{-1} \{F\},$$

где $[K]^{-1}$ - обращенная матрица жесткости.

Зная перемещения узлов, можно получить контактные давления в узлах, расположенных в стыках фланцев. Задача решается в два этапа. На первом этапе рассматривается режим работы фланцевого соединения, когда действует только усилие предварительного натяжения болтов. На втором этапе на соединение действует внешняя нагрузка. Таким образом, определяются величины дополнительных усилий в болтах, зоны контактов фланцев и величины контактных напряжений при ступенчатом приращении внешних воздействий на каждом этапе расчета (реализация задачи с учетом геометрической и конструктивной нелинейности).

Задачей исследования является создание конечно-элементной модели фланцевого соединения строительных металлических конструкций в среде программного комплекса SCADOffice (версия 21.1), анализ напряженно-деформированного состояния пространственной расчетной модели из объемных конечных элементов, а также сравнение полученных результатов с существующими инженерными методиками.

В качестве объекта данного исследования принят узел по Сортаменту 1 [1] с маркой фланца Ф30-IV-т_ф, соединяющий элементы нижнего пояса фермы сечением 30Ш2 (по СТО АСЧМ 20-93) или 30ШЗ (по ГОСТ 26020-83). Конструктивное решение узла приведено на рисунке 1.

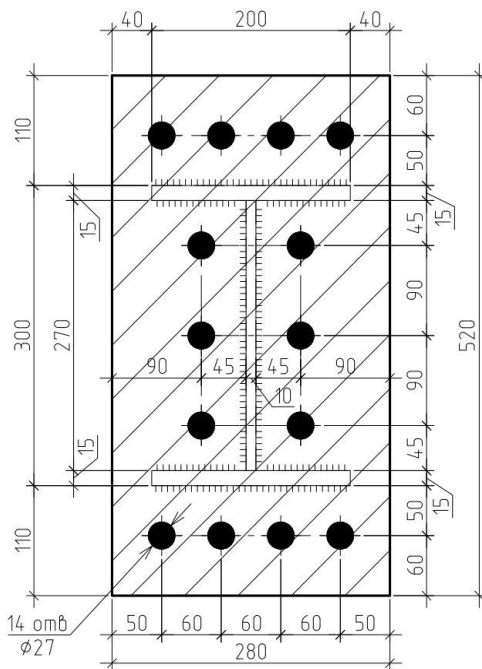


Рисунок 1 – Конструктивное решение фланца Ф30-IV-т_ф

Исходные данные для проектирования:

- материал фланцев сталь С390 (марки 14Г2АФ по ГОСТ 19282-73), расчетное сопротивление $R_y = 380$ МПа для листа толщиной свыше 10мм, толщина фланца $t_f = 32$ мм;
- все болты - высокопрочные 10.9, М24 из стали 40Х "Селект" по ГОСТ 22353-77, усилие предварительного натяжения болтов при монтажной сборке - 250 кН (25,5 тс), расчетное сопротивление болта растяжению $R_{bh} = 0,7 R_{bun} = 770$ Мпа.
- материал профиля - С345 (марки 09Г2С и 14Г2), расчетное сопротивление $R_y = 310$ МПа;
- расчетное усилие $N_\phi = R_y A_n \gamma_c = 3,1 \text{ т/см}^2 \cdot 87 \text{ см}^2 \cdot 0,95 = 255 \text{ тс}$.

В статье не рассматриваются расчеты сварных швов, прикрепляющих фланец к основному элементу, предполагая, что их прочность обеспечена.

Основные результаты расчета рассматриваемого соединения по общепринятой методике приведены в [1] и в табл.1.

Таблица 1 – Результаты расчетов по инженерной методике

№ по сорт. 1	Профиль	Усилия, приходящиеся на один болт, тс			Напряжение изгиба фланца		Результирующие усилия в болтах, тс	
		среднее по стыку N_ϕ	полки N_n	стенки N_c	в зоне поллок σ_n , кг/см ²	в зоне стенки σ_c , кг/см ²	полки $k_1\beta_1N_n$	стенки $k_1\beta_1N_c$
11	30ШЗ	19,0	18,8	19,2	2525	2035	26,3	27,1

Результаты показывают, что все элементы соединения удовлетворяют условиям прочности и работают в упругой стадии.

Для получения напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов узла составлена расчетная модель узла из объемных конечных элементов в среде ПК SCADOffice (версии 21.1) [11]. При формировании модели приняты следующие расчетные предпосылки:

- все элементы работают в упругой стадии (типы элементов 31, 34, 36);
- осуществление контакта соединяемых плоскостей фланцев реализуется путем использования одноузловых односторонних связей, отключающихся при возникновении в них усилий растяжения;
- срединная плоскость симметрии узла остается плоской до и после приложения нагрузки (поэтому целесообразно рассматривать лишь половину модели, а в случае симметрии в других плоскостях - 1/4 или 1/8 схемы);
- предварительное натяжение болтов на величину 25,5 тс осуществляется путем задания соответствующей температурной нагрузки на тело стержня болта;
- расчет ведется с учетом геометрической и конструктивной нелинейности;
- осевое усилие в болте определяется по среднему нормальному напряжению в опасном сечении стержня болта.

Модель узла в сборе представлена на рисунке 2.

Расчет модели в ПК SCAD (версии 21.1) с учетом конструктивной нелинейности позволил отследить НДС элементов узла на следующих стадиях нагружения:

- предварительное натяжение болтов $P_{nn} = 25,5$ тс;
- внешняя нагрузка $N_1 = 195$ тс (усилие, возникающее в нижнем поясе типовой фермы, взятое из серии);
- внешняя нагрузка $N_2 = 255$ тс, соответствующая предельному состоянию узла по критерию прочности болтов и профиля нижнего пояса;
- внешняя нагрузка $N_3 = 300$ тс, превышающая предельную на 15 % с целью анализа поведения болтов в закритической зоне.

На рисунках 3 и 4 приведены деформированные схемы модели на указанных стадиях нагружения, которые иллюстрируют динамику изменения характера работы болтов.

Результаты расчетов напряженного состояния болтов модели для толщины фланца $t_f = 32$ мм представлены в таблицах 2-4. В таблицах принята следующая маркировка болтов:

НК - крайний болт наружной зоны (4 шт);

НЦ - центральный болт наружной зоны (4 шт);

ВК - крайний болт внутренней зоны (4 т);

ВЦ - центральный болт внутренней зоны

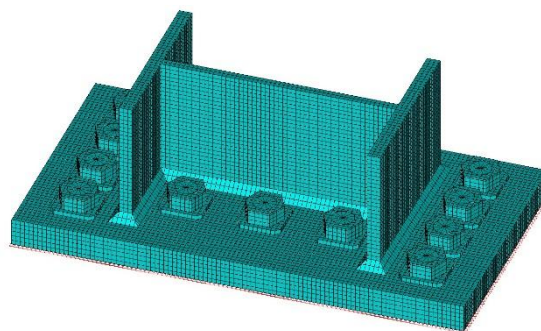


Рисунок 2 – Модель узла в сборе

(2 шт).

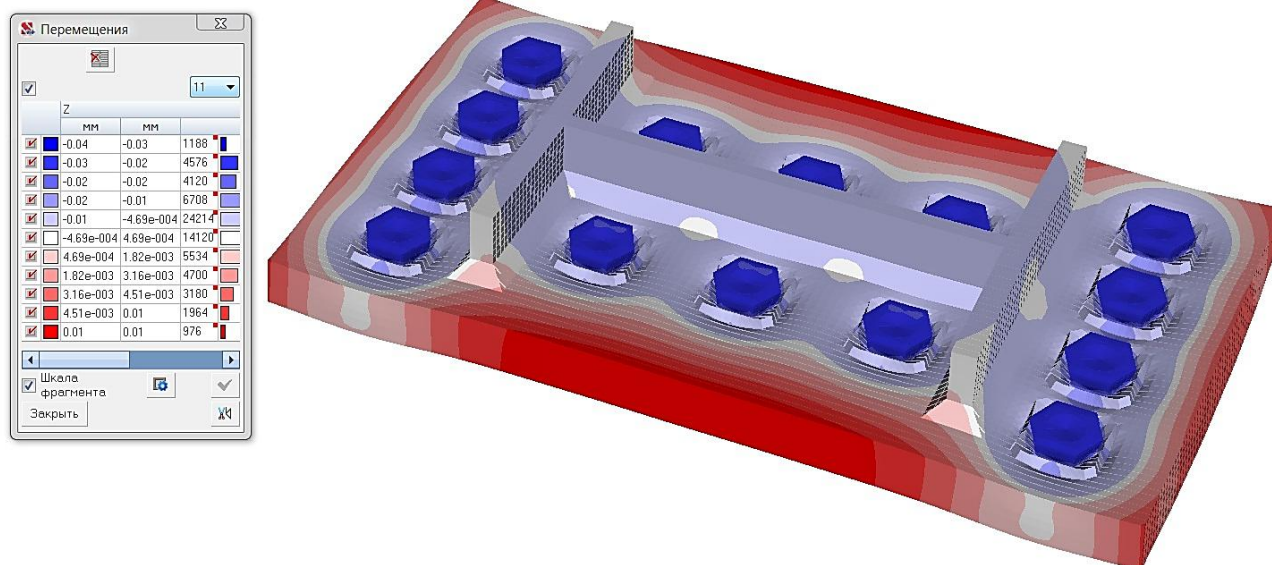


Рисунок 3 – Деформированная схема модели на стадии натяжения болтов

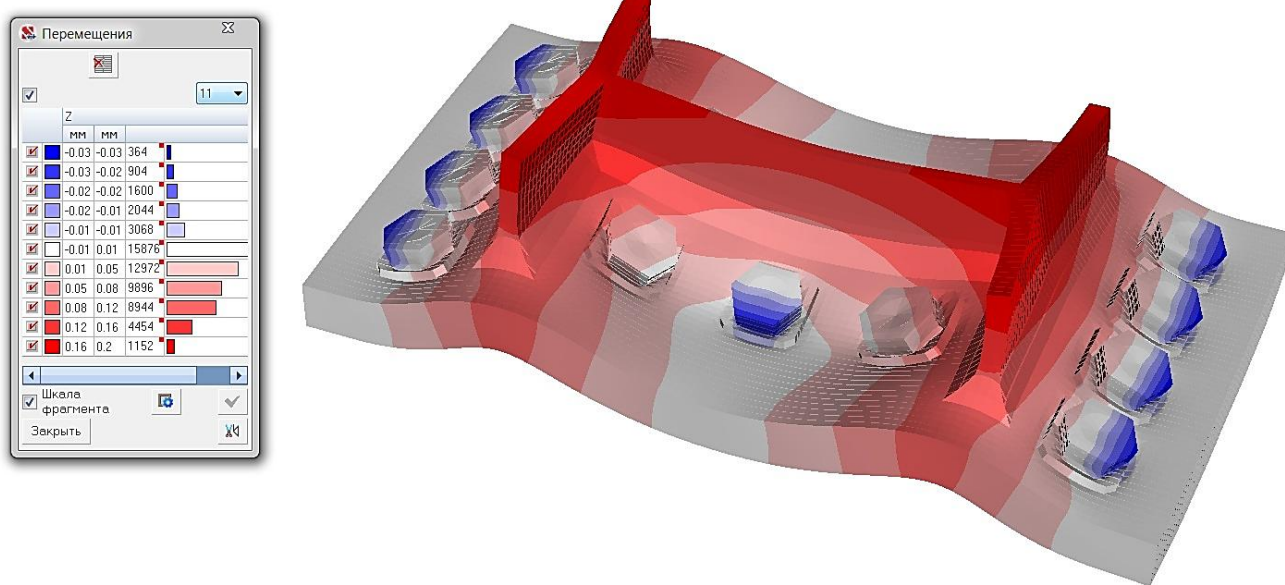


Рисунок 4 – Деформированная схема модели при нагрузке 255 тс

В таблицах 2-4 приведены следующие параметры стержня болта и обозначения:

σ_{\min} , $\sigma_{\text{ср}}$ и σ_{\max} – минимальное, среднее и максимальное нормальное напряжение в опасном сечении стержня болта соответственно (кгс/см²);

δ_l , % - процентное соотношение $\sigma_{\max} / \sigma_{\text{ср}}$, показывающее долю нормальных напряжений, возникающих от изгиба болта;

$N_{\text{ср}}$ – усредненное осевое усилие в стержне болта по опасному сечению, тс (предельно допустимое усилие $[N] = 27,1 \text{ тс}$);

ΔN – разница между результирующим усилием в болте к величине преднапряжения ($N_{\text{ср}} - N_{\text{нн}}$), тс (предельное значение $[\Delta N] = 1,6 \text{ тс}$);

$\delta_2, \%$ - процентное соотношение результирующего усилия к величине натяжения болта (допустимая величина $[\delta_2, \%] = 6,3 \%$);

- величины параметров, превышающие допустимые по расчетному сопротивлению болта растяжению ($R_{bh} = 7700 \text{ кгс/см}^2$);

- величины параметров превышающие нормативное сопротивление болта растяжению ($R_{bin} = 11000 \text{ кгс/см}^2$).

Таблица 2 – Результаты анализа КЭ модели соединения (внешнее усилие на узел $N_1=195 \text{ тс.}$)

Болт	$\sigma_{\text{мин}}$	$\sigma_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{макс}}$	$\delta_1, \%$	$N_{\text{ср}}$	$P_{\text{пн}}$	ΔN	$\delta_2, \%$
НК	7177	7404	7631	3,1	26,1	25,5	0,6	2,3
НЦ	7173	7490	7807	4,2	26,4	25,5	0,9	3,5
ВК	7486	8113	8740	7,7	28,6	25,5	3,1	12,1
ВЦ	7190	7364	7538	2,4	26,0	25,5	0,5	2,0

Таблица 3 – Результаты анализа КЭ модели соединения (внешнее усилие на узел $N_2=225 \text{ тс.}$)

Болт	$\sigma_{\text{мин}}$	$\sigma_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{макс}}$	$\delta_1, \%$	$N_{\text{ср}}$	$P_{\text{пн}}$	ΔN	$\delta_2, \%$
НК	7196	7740	8280	7,0	27,3	25,5	1,8	7,1
НЦ	7195	7924	8654	9,2	28,0	25,5	2,5	9,8
ВК	8107	9206	10340	11,2	32,5	25,5	7,0	27,5
ВЦ	7197	7628	8059	5,7	26,9	25,5	1,4	5,5

Таблица 4 – Результаты анализа КЭ модели соединения (внешнее усилие на узел $N_3=300 \text{ тс.}$)

Болт	$\sigma_{\text{мин}}$	$\sigma_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{макс}}$	$\delta_1, \%$	$N_{\text{ср}}$	$P_{\text{пн}}$	ΔN	$\delta_2, \%$
НК	7253	8135	9017	10,8	28,7	25,5	3,2	12,5
НЦ	7262	8392	9524	13,5	29,6	25,5	4,1	16,1
ВК	9054	10443	11823	13,3	36,9	25,5	11,4	44,7
ВЦ	7282	8046	8810	9,5	28,4	25,5	2,9	11,3

Модель позволяет осуществить анализ напряженно деформированного состояния фланца в зонах полок и стенки. При этом следует рассмотреть поля напряжений N_x и N_y соответственно. Результаты для расчетной нагрузки $N_2=225 \text{ тс}$ приведены на рис.5 и 6. Для наглядности во фланце вырезана четверть.

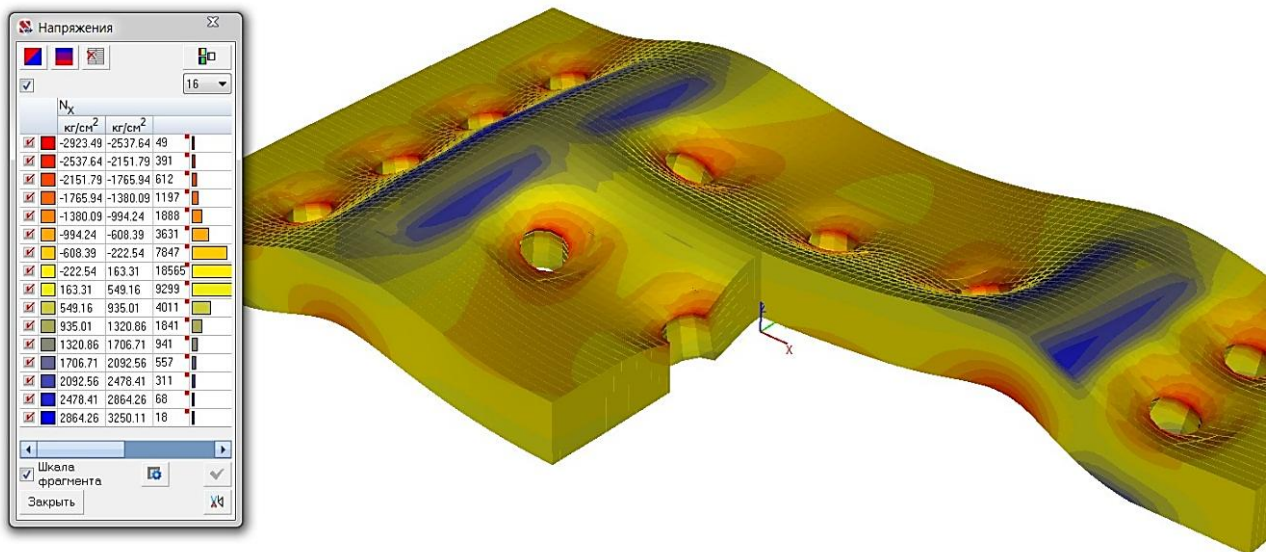


Рисунок 5 – Нормальные напряжения во фланце N_x

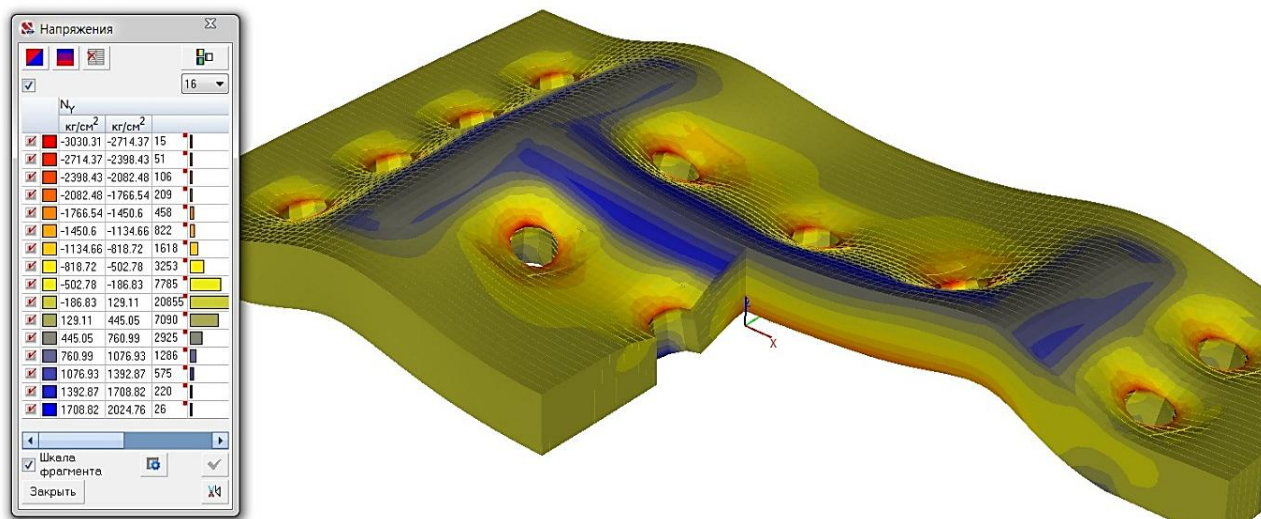


Рисунок 6 – Нормальные напряжения во фланце N_y

Максимальные нормальные напряжения от изгиба в расчетных сечениях фланца составили: в зоне полки $\sigma_n=2538$ кг/см², в зоне стенки $\sigma_c=1945$ кг/см².

В заключение продублируем таблицу 1, добавив в нее результаты анализа НДС модели в среде SCAD (таблица 5)

Таблица 5 – Сравнение результатов

№	Модель	Напряжение изгиба фланца		Результирующие усилия в болтах, тс	
		в зоне полки σ_n , кг/см ²	в зоне стенки σ_c , кг/см ²	полки $k_1\beta_1N_n$	стенки $k_1\beta_1N_c$
1	Руководство [1]	2525	2035	26,3	27,1
2	SCAD (болты внешней зоны)	2538	1975	27,3	28,0
	%	+0,5%	-3,0%	+3,8%	3,3%
3	SCAD (болты внутренней зоны)	2538	1975	32,5	26,9
	%	+0,5%	-3,0%	+23,6	-0,7%

При хорошей сходимости результатов расчетов на изгиб фланцев имеет место значительные расхождения в величинах осевых усилий болтов.

Выводы

1. При расчете предложенной модели фланцевого соединения с учетом конструктивной нелинейности предоставляется возможность отслеживать пошаговое изменение НДС болтов, характеризующееся нелинейными зависимостями.
2. Результаты расчета предлагаемой расчетной модели фланцевого соединения из объемных элементов имеют достаточную сходимость с инженерными методами расчета по критерию прочности фланцевых соединений на изгиб.
3. При определении несущей способности соединения по критерию прочности болтов выявлено, что расчет по инженерной методике дает заниженные результаты по отдельным болтам в диапазоне 4-20% по сравнению с НДС пространственной модели.
4. При определении несущей способности соединения по критерию прочности болтов следует учитывать дополнительные напряжения, возникающие в них от изгиба при частичном раскрытии фланцев. Доля этих напряжений колеблется в пределах 5-13%.
5. Использование приемов работы с расчетными схемами в среде SCAD (создание подсхем, режим сборки, масштабирование схем и подсхем, автоматическая замена жест-

костей элементов и односторонних связей, корректировка нагрузений и т.п.) позволяет с минимальными затратами формировать расчетные модели фланцевых соединений практически любой конфигурации с произвольными нагружениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию, изготовлению и сборке монтажных фланцевых соединений стропильных ферм с поясами из широкополочных двутавров. – М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 1981. – 62 с.
2. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций. – М.: ВНИПИ Промстальконструкция, ЦНИИПСК им. Мельникова, 1988. – 83с.
3. Рекомендации по проектированию работающих на сдвиг болтовых соединений стальных строительных конструкций. – М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 1990. – 18 с.
4. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП 2-23-81*) / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с..
5. Катюшин, В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения [Текст] / В.В. Катюшин. – М.: Стройиздат, 2005. – 450 с.
6. Корнеев, М. А. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию. – Киев: 2003. 547 с.
7. Биргер И. А., Иоселевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения [Текст] / И.А. Биргер, Г.Б. Иоселевич. – М.: Машиностроение, 1990. – 366 с.
8. Проектирование металлических конструкций. Специальный курс: учебное пособие для вузов [Текст] / В. В. Бирюлев, И. И. Кошин, И. И. Крылов, А. В. Селиверстов. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.
9. Алпатов, В. Ю. К вопросу расчета фланцевых соединений на прочность при знакопеременной эпюре напряжений / В.Ю. Алпатов, А.В. Соловьев, И.С. Холопов // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – №2 – С. 26-30.
10. Перельмутер, А. В. Расчетные модели фланцевых соединений рамных узлов металлических конструкций и их программная реализация в "SCAD Office" [Текст] / А.В. Перельмутер, Э.З. Криксунов, В.В. Юрченко // CADMaster. – 2010. – №3. – С. 110-115.
11. Карпиловский, В.С. SCADOffice. Вычислительный комплекс SCAD. [Текст] / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2015. – 808 с.
12. Теплых, А.В. Оценка предельной несущей способности фланцевого соединения на высокопрочных болтах [Текст] / А.В. Теплых // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – №2 – С. 37-41.
13. Семенов, А.А. Напряженно-деформированное состояние высокопрочных болтов фланцевых соединений в укрупнительных стыках стропильных ферм [Текст] / А.А. Семенов, А.А. Маляренко, И.А. Порываев, М.Н. Сафиуллин // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – №5 – С. 54-62.
14. Dhananjay Joshi, Pradeep Mahadevan, Amol Marathe, Anindya Chatterjee, Unimportance of geometric nonlinearity in analysis of flanged joints with metal-to-metal contact // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 84. Issue 7. July 2007. Pp. 405-411.
15. M. Murali Krishna, M.S. Shunmugam, N. Siva Prasad, A study on the sealing performance of bolted flange joints with gaskets using finite element analysis // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 84. Issue 6. June 2007. Pp. 349-357.
16. Hildegard Zerres, Yann Guerout, Present calculation methods dedicated to bolted flanged connections // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 81. Issue 2. February 2004. Pp. 211-216.
17. Abdel-Hakim Bouzid, Akli Nechache, The modelling of bolted flange joints used with disc springs and tube spacers to reduce relaxation // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 87. Issue 12. December 2010. Pp. 730-736.
18. E.L. Salih, L. Gardner, D.A. Nethercot, Numerical investigation of net section failure in stainless steel bolted connections // Journal of Constructional Steel Research. Vol. 66. Issue 12. December 2010. Pp. 1455-1466.
19. Jeong Kim, Joo-Cheol Yoon, Beom-Soo Kang, Finite element analysis and modeling of structure with bolted joints // Applied Mathematical Modelling. Vol. 31. Issue 5. May 2007. Pp. 895-911.
20. B. Kato, R. Hirose, Bolted tension flanges joining circular hollow section members // Journal of Constructional Steel Research. Vol. 5, Issue 2. 1985. Pp. 79-101.
21. Yu Y., Chen Z., Wang X. Effect of column flexibility on WF-beam to rectangular CFT column connections // Journal of Constructional Steel Research. Vol. 106, March 2015, Pp. 184-197
22. Bai L., Wadee M.A. Mode interaction in thin-walled I-section struts with semi-rigid flange-web joints // International Journal of Non-Linear Mechanics. Vol. 69, March 2015, Pp. 71-83
23. Henriksen J., Nordhagen H.O., Hoang H.N., Hansen M.R., Thrane F.C. Numerical and experimental verification of new method for connecting pipe to flange by cold forming // Journal of Materials Processing Technology. Vol. 220, June 2015, Pp. 215-223

24. Prinz G.S., Nussbaumer A., Borges L., Khadka S. Experimental testing and simulation of bolted beam-column connections having thick extended endplates and multiple bolts per row // Engineering Structures. Vol. 59, February 2014, Pp. 434-447.

А.А. Семенов

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа.
Канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции».
E-mail: asfugntu@rambler.ru

А.А. Маляренко

НП ООО «СКАДСОФТ», г. Москва.
Генеральный директор.
E-mail: maa@scadsoft.com

И.А. Порываев

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
Ассистент кафедры «Строительные конструкции».
E-mail: iporivaev@gmail.com

С.А. Семенов

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа.
Аспирант
E-mail: floods77@yandex.ru

A. SEMENOV, A. MALYARENKO, I. PORIVAEV, S. SEMENOV

RESEARCH OF BOLTED FLANGE JOINTS FE MODELS OF STRETCHED TRUSSES ELEMENTS IN SCAD

This article presents the results of numerical research of bolted flange joints in field joint of truss. Computational model was chosen for SCAD. Numerical results are compared with the results of the classical methods research. The spatial stress-strain state of the connection was shown. The results of the study show the influence of the bending moments on the stress-strain state of the bolts. Load-carrying ability of the joint for criteria of flange strength, got by numerical method, is the same as got by classical methods. Numerical analysis of Load-carrying ability of the bolts shown that classical methods got the stresses in the some bolts 4-20 % lower then dimensional computing model.

Key words: bolted flange joints, finite element analysis, analytical approach, stress analysis

BIBLIOGRAPHY

1. Rukovodstvo po proyektirovaniyu, izgotovleniyu i sborke montazhnykh flantsevykh soyedineniy stro-pil'nykh ferm s povyasami iz shirokopolochnykh dvutavrov. – М.: TSNIIPSK im. Mel'nikova, 1981. – 62 с.
2. Rekomendatsii po raschetu, proyektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu flantsevykh soyedineniy stal'nykh stroitel'nykh konstruksiy. – М.: VNIPI Promstal'konstruksiya, TSNIIPSK im. Mel'nikova, 1988. – 83s.
3. Rekomendatsii po proyektirovaniyu rabotayushchikh na sdvig boltovykh soyedineniy stal'nykh stroitel'nykh konstruksiy.- М.: TSNIIPSK im. Mel'nikova, 1990. – 18 s.
4. Posobiye po proyektirovaniyu stal'nykh konstruksiy (k SNIIP 2-23-81*) / TSNIISK im. Kucherenko Gosstroya SSSR. – М.: TSITP Gosstroya SSSR, 1989. – 148 s.
5. Katyushin, V. V. Zdaniya s karkasami iz stal'nykh ram peremennogo secheniya [Tekst] / V.V. Katyushin. – М.: Stroyizdat, 2005. – 450 s.
6. Korneyev, M. A. Stal'nyye mosty. Teoreticheskoye i prakticheskoye posobiye po proyektirovaniyu. – Kiyev: 2003. 547 s.
7. Birger I. A., Ioselevich G.B. Rez'bovyeye i flantsevyeye soyedineniya. М.: Mashinostroyeniye, 1990. 366 s.
8. Proyektirovaniye metallicheskiy konstruksiy. Spetsial'nyy kurs: uchebnoye posobiye dlya vuzov [Tekst] / V. V. Biryulev, I. I. Koshin, I. I. Krylov, A. V. Seliverstov. – L.: Stroyizdat, 1990. – 432 s.
9. Alpatov, V. YU. K voprosu rascheta flantsevykh soyedineniy na prochnost' pri znakovremennoy epюре napryazheniy / V. YU. Alpatov, A. V. Solov'yev, I. S. Kholopov // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – 2009. –№2 – S. 26-30.

10. Pere'l'muter, A. V. Raschetnyye modeli flantsevykh sovedineniy ramnykh uzlov metallicheskih konstrukt-siy i ikh programmaya realizatsiya v "SCAD Office" [Tekst] / A.V. Pere'l'muter, E.Z. Kriksunov, V.V. Yurchenko // CADMaster. – 2010. – №3. – S. 110-115.
11. Karpilovskiy, V.S. SCAD Office. Vychislitel'nyy kompleks SCAD. [Tekst] / V.S. Karpilovskiy, E.Z. Krik-sunov, A.A. Malyarenko, A.V. Pere'l'muter, M.A. Pere'l'muter. – M.: Izd-vo SKAD SOFT, 2015. – 808 s.
12. Teplykh, A.V. Otsenka predel'noy nesushchey sposobnosti flantseвого sovedineniya na vysokoprochnykh boltakh [Tekst] / A.V. Teplykh // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2011. – №2 – S. 37-41.
13. Semenov, A.A. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye vysokoprochnykh boltov flantsevykh soye-dineniy v ukрупnitel'nykh stvkhakh stropil'nykh ferm [Tekst] / A.A. Semenov, A.A. Malyarenko, I.A. Poryvayev, M.N. Safiullin // Inzherno-stroitel'nyy zhurnal. – 2014. – №5 – S. 54-62.
14. Dhananjay Joshi, Pradeep Mahadevan, Amol Marathe, Anindya Chatterjee, Unimportance of geometric nonlinearity in analysis of flanged joints with metal-to-metal contact // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 84. Issue 7. July 2007. Pp. 405-411.
15. M. Murali Krishna, M.S. Shunmugam, N. Siva Prasad, A study on the sealing performance of bolted flange joints with gaskets using finite element analysis // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 84. Issue 6. June 2007. Pp. 349-357.
16. Hildegard Zerres, Yann Guerout, Present calculation methods dedicated to bolted flanged connections // In-ternational Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 81. Issue 2. February 2004. Pp. 211-216.
17. Abdel-Hakim Bouzid, Akli Nechache, The modelling of bolted flange joints used with disc springs and tube spacers to reduce relaxation // International Journal of Pressure Vessels and Piping. Vol. 87. Issue 12. December 2010. Pp. 730-736.
18. E.L. Salih, L. Gardner, D.A. Nethercot, Numerical investigation of net section failure in stainless steel bolted connections // Journal of Constructional Steel Research. Vol. 66. Issue 12. December 2010. Pp. 1455-1466.
19. Jeong Kim, Joo-Cheol Yoon, Beom-Soo Kang, Finite element analysis and modeling of structure with bolted joints // Applied Mathematical Modelling. Vol. 31. Issue 5. May 2007. Pp. 895-911.
20. B. Kato, R. Hirose, Bolted tension flanges joining circular hollow section members // Journal of Construc-tional Steel Research. Vol. 5. Issue 2. 1985. Pp. 79-101.
21. Yu Y., Chen Z., Wang X. Effect of column flexibility on WF-beam to rectangular CFT column connections // Journal of Constructional Steel Research. Vol. 106, March 2015, Pp. 184-197.
22. Bai L., Wadee M.A. Mode interaction in thin-walled I-section struts with semi-rigid flange-web joints // In-ternational Journal of Non-Linear Mechanics. Vol. 69, March 2015, Pp. 71-83.
23. Henriksen J., Nordhagen H.O., Hoang H.N., Hansen M.R., Thrane F.C. Numerical and experimental verifi-cation of new method for connecting pipe to flange by cold forming // Journal of Materials Processing Technology. Vol. 220, June 2015, Pp. 215-223.
24. Prinz G.S., Nussbaumer A., Borges L., Khadka S. Experimental testing and simulation of bolted beam-column connections having thick extended endplates and multiple bolts per row // Engineering Structures. Vol. 59, Feb-ruary 2014, Pp. 434-447.

A. Semenov

Ufa state petroleum technological university, Ufa.

Candidate of technical sciences, professor of the Building construction department.

E-mail: asfugntu@rambler.ru

A. Malyarenko

Research and Production Company SCAD SOFT, Moscow

General manager

E-mail: maa@scadsoft.com

I. Porivaev

Ufa state petroleum technological university, Ufa.

assistant of the Building construction department.

E-mail: iporivaev@gmail.com

S. Semenov

Ufa state petroleum technological university, Ufa.

Postgraduate student.

E-mail: floods77@yandex.ru

СЕРПИКИ И.Н., БАЛАБИН П.Ю.

СНИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ СТАЛЬНЫХ РАМ БЕЗ СОКРАЩЕНИЯ РЕЗЕРВА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

В статье разработан алгоритм оптимизации плоских стальных рам при ограничениях по напряжениям, перемещениям, условию устойчивости и запасу несущей способности, который назначается в соответствии с уровнем конструктивной безопасности базового варианта объекта. Оптимальное проектирование выполняется с помощью эволюционного моделирования. Минимизируется общая масса стержней рамы. Варьируются размеры поперечных сечений стержней на дискретных множествах допустимых значений. Работоспособность предлагаемой вычислительной схемы проиллюстрирована на примере оптимизации двухпролетной рамы.

Ключевые слова: стальная рама, оптимизация, эволюционное моделирование, запас несущей способности.

Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций первого класса напряженно-деформированного состояния [1] должно предусматривать выполнение требований по прочности, жесткости и устойчивости при обеспечении работы материала в упругом состоянии. Алгоритмы синтеза стальных рам в такой постановке рассматривались в ряде исследований [2-5]. Следует отметить, что оптимизированные с учетом нормативных ограничений системы могут обладать меньшим запасом несущей способности по сравнению с конструктивными решениями, полученными на основе традиционных подходов к проектированию, что в значительной степени является препятствием к использованию методов оптимизации в реальной строительной практике. Большое внимание в строительной механике уделялось оптимизации стержневых структур при ограничении по несущей способности [6-9], однако для конструкций, в которых не допускается появления существенных пластических деформаций, данный подход может искажать нормативные требования.

В настоящей работе представляется вычислительная схема оптимизации стальных плоских рам первого класса напряженно-деформированного состояния, принимающая во внимание как ограничения, сформулированные с учетом нормальной работы объекта в линейно-упругой стадии, так и условие недопущения уменьшения коэффициента запаса несущей способности по сравнению с базовой конструктивной системой. Оптимальный синтез выполняется путем эволюционного моделирования [3-5, 10-13] в рамках генетического алгоритма.

Постановка задачи. Допустим, для проектируемой плоской рамы существует некоторая базовая конструкция, удовлетворяющая нормативным требованиям по первой и второй группе предельных состояний и имеющая при рассматриваемом наиболее опасном сочетании нагрузок коэффициент запаса несущей способности K_3 . Считаем, что стержневая система раскреплена из своей плоскости. Ставим задачу минимизации массы M материала стержней рамы:

$$M(X_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где X_i ($i=1, \dots, i_0$) – дискретные множества допустимых размеров поперечных сечений стержней; i_0 – число таких множеств.

Множества X_i должны учитывать конструктивные и технологические требования. Расчет напряженно-деформированного состояния несущей системы выполняем методом конечных элементов. Принимаем во внимание следующие ограничения.

I) Условие прочности:

$$w_{\sigma} = \frac{\sigma_{\varepsilon}}{R_y} - 1 \leq 0, \quad (2)$$

где w_{σ} – параметр, используемый для характеристики удовлетворения ограничений по напряжениям; σ_{ε} – эквивалентное по энергетической теории прочности напряжение; R_y – расчетное сопротивление стали, назначенное по пределу текучести.

II) Обеспечение требуемой жесткости:

$$w_{\delta} = \frac{|\delta|}{f} - 1 \leq 0, \quad (3)$$

где w_{δ} – параметр, используемый для характеристики выполнения ограничений по перемещениям; δ – перемещение по вертикали или горизонтали; f – допустимое значение для рассматриваемого перемещения.

III) Обеспечение общей устойчивости при учете раскрепления конструкции из плоскости рамы.

IV) Условие местной устойчивости поясных листов и стенок.

V). Условие устойчивости плоской формы изгиба стержней.

VI). Ограничения по запасу несущей способности. При проверке этого условия расчет вариантов проектируемого объекта выполняем на нагрузку, полученную путем умножения всех или части действующих сил их на коэффициент K_3 .

Расчетная модель для проверки ограничений. Считаем, что каждый стержень может подвергаться действию растяжения-сжатия и плоского изгиба. Полагаем, что главная центральная ось S_y (рис. 1) поперечного сечения стержня расположена в плоскости рамы. Принимаем справедливыми гипотезы плоских сечений и ненадавливаемости продольных волокон. Касательные напряжения от действия поперечных сил могут быть учтены при нахождении эквивалентных напряжений после выполнения расчета конечно-элементной модели. В общем случае рассматриваем возможность упруго-пластической работы материала в соответствии с диаграммой Прандтля. Учитываем влияние продольных сил на изгиб стержней путем введения геометрических матриц [14].

Анализ напряженно-деформированного состояния вариантов конструкции выполняем с помощью последовательных приближений. В первой итерации реализуем расчет несущей системы в линейно упругой постановке без учета влияния продольных сил на изгиб. В каждой итерации $r > 1$ решаем следующую систему линейных алгебраических уравнений:

$$\left([K] \{ \delta \}^{(r-1)} \right) + [K_G] \{ N \}^{(r-1)} \{ \delta \}^{(r)} = \{ R \}, \quad (4)$$

где $[K] \{ \delta \}^{(r-1)}$ – матрица жесткости конечно-элементной модели, которая формируется с учетом секущих модулей упругости материала, вычисляемых на основе полученного в итерации $r-1$ вектора обобщенных узловых перемещений $\{ \delta \}^{(r-1)}$; $[K_G] \{ N \}^{(r-1)}$ – геометрическая матрица системы конечных элементов, выражаемая через найденные в итерации $r-1$ продольные силы $\{ N \}^{(r-1)}$ в стержнях; $\{ \delta \}^{(r)}$ – вектор узловых перемещений, вычисляемый в итерации r ; $\{ R \}$ –

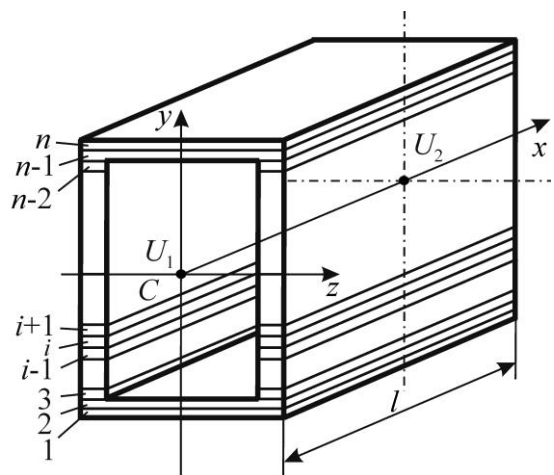


Рисунок 1 – Многослойный стержневой конечный элемент на примере прямоугольной трубы; S_y, S_z – главные центральные оси поперечного сечения; $i=1, \dots, n$ – номера слоев

вектор приведенной к узлам внешней нагрузки, учитывающий изменение сил тяжести вследствие варьирования параметров конструкции.

При формировании стержневого конечного элемента (см. рис. 1) зададим систему тонких слоев, параллельных плоскости Czx . Полагаем, что по толщине каждого слоя относительные продольные деформации ε , а соответственно и нормальные напряжения σ в его поперечном сечении постоянны. Введем векторы обобщенных деформаций и обобщенных напряжений конечного элемента:

$$\{\varepsilon_e\} = [\varepsilon_{(1)} \quad \varepsilon_{(2)} \quad \dots \quad \varepsilon_{(n)}]^T; \{\sigma_e\} = [N_{(1)} \quad N_{(2)} \quad \dots \quad N_{(n)}]^T, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{(i)}$ – значение ε для слоя i ; $N_{(i)}$ – продольная сила i -го слоя.

Рассматриваем узлы U_1, U_2 в крайних поперечных сечениях конечного элемента. Вектор обобщенных перемещений конечного элемента запишем в форме

$$\{\delta_e\} = [u_1 \quad v_1 \quad \theta_{z1} \quad u_2 \quad v_2 \quad \theta_{z2}]^T, \quad (6)$$

где u_k, v_k – проекции вектора перемещений узла U_k на оси Ox, Oy ; θ_{zk} – угол поворота поперечного сечения этого узла относительно оси Oz ($k=1, 2$).

Секущую матрицу жесткости конечного элемента можно определить следующим образом:

$$[K_{eS}] = \int_0^l [B_e]^T [D_{eS}] [B_e] dz = \sum_{j=1}^{j_0} a_j [B_e(x_j)]^T [D_{eS}(x_j)] [B_e(x_j)], \quad (7)$$

где l – длина конечного элемента; $[B_e], [D_{eS}]$ – матрица деформаций и секущая матрица упругости конечного элемента, определяемые известными выражениями $\{\varepsilon_e\} = [B_e] \{\delta_e\}$;

$\{\sigma_e\} = [D_{eS}] \{\varepsilon_e\}$; j_0 – число точек вдоль стержня для численного интегрирования по Гауссу

[15]; a_j, x_j ($j=1, \dots, j_0$) – весовые коэффициенты и координаты точек интегрирования.

В соответствии с гипотезой плоских сечений запишем

$$\varepsilon_{(i)} = \varepsilon_C - \frac{y_i d^2 v_C}{dx^2}, \quad (8)$$

где ε_C – относительная продольная деформация в точке C ; y_j – координата по оси y центра тяжести i -го слоя; v_C – проекция перемещения точки C на ось Cy .

Продольное перемещение u_C точек поперечных сечений описываем на основе линейной зависимости, а перемещение v_C – с использованием полинома третьей степени [14]:

$$\begin{aligned} u_C(x) &= \Phi_{1u}(x)u_1 + \Phi_{2u}(x)u_2; \\ v_C(x) &= \Phi_{1v}(x)v_1 + \Phi_{2v}(x)\theta_{z1} + \Phi_{3v}(x)v_2 + \Phi_{4v}(x)\theta_{z2}, \end{aligned} \quad (9)$$

где Φ_{ju} ($j=1, 2$), Φ_{jv} ($j=1, \dots, 4$) – функции формы:

$$\Phi_{1u}(x) = 1 - \frac{x}{l}; \Phi_{2u}(x) = \frac{x}{l}; \Phi_{1v}(x) = 1 - \frac{3x^2}{l^2} + \frac{2x^3}{l^3}; \Phi_{2v}(x) = x - \frac{2x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2};$$

$$\Phi_{3v}(x) = \frac{3x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3}; \Phi_{4v}(x) = -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}. \quad (10)$$

Учитывая соотношения (5), (6), (8)-(11) и уравнение Коши $\varepsilon_C = du_C/dx$, запишем

$$[B_e] = \begin{bmatrix} -1/l & B_{12} & B_{13} & 1/l & B_{15} & B_{16} \\ -1/l & B_{22} & B_{23} & 1/l & B_{25} & B_{26} \\ \dots & & & & & \\ -1/l & B_{n2} & B_{n3} & 1/l & B_{n5} & B_{n6} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где

$$B_{i2} = y_i \left(\frac{12x}{l^3} - \frac{6}{l^2} \right); B_{i3} = y_i \left(\frac{6x}{l^2} - \frac{4}{l} \right); B_{i5} = y_i \left(-\frac{12x}{l^3} + \frac{6}{l^2} \right); B_{i6} = y_i \left(\frac{6x}{l^2} - \frac{2}{l} \right) \quad (i=1, \dots, n) \quad (12)$$

Геометрическую матрицу конечного элемента для слоистой системы можно записать следующим образом:

$$[K_{eG}] = \sum_{i=1}^n \left(\int_0^l N_{(i)} \frac{d[\Phi_e]_v^T}{dx} \frac{d[\Phi_e]_v}{dx} dx \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j_o} \left(a_j N_{(i)}(x_j) \frac{d[\Phi_e]_v^T}{dx}(x_j) \frac{d[\Phi_e]_v}{dx}(x_j) \right), \quad (13)$$

где $[\Phi_e]_v$ – матрица-строка функций формы изгибных перемещений, определяемая зависимостями

$$v_C = [\Phi_e]_v \{v_1 \quad \theta_{z1} \quad v_2 \quad \theta_{z2}\}^T; [\Phi_e]_v = [\Phi_{1v} \quad \Phi_{2v} \quad \Phi_{3v} \quad \Phi_{4v}]. \quad (14)$$

Секущую матрицу упругости конечного элемента представим в виде

$$[D_{eS}(x)] = \begin{bmatrix} E_{1S}(x)A_1 & & & & \\ & E_{2S}(x)A_2 & & & \\ & & \dots & & \\ & & & & E_n(x)A_n \end{bmatrix}, \quad (15)$$

где $E_{iS}(x)$, A_i ($i=1, \dots, n$) – секущий модуль упругости и площадь поперечного сечения для i -й полосы.

Процедура эволюционного алгоритма. Полагаем, что ограничения I, II, III, VI являются активными и непосредственно учитываются в итерационном процессе оптимизации. Условие IV обеспечивается назначением допустимых сочетаний размеров поперечных сечений стержней с учетом требований к гибкости поясных листов и стенок [1]. После реализации эволюционного алгоритма осуществляется проверка обеспечения ограничения V. Могут быть предусмотрены уточняющие проверки других ограничений. При необходимости, исходные предпосылки для поиска корректируются, и вычислительный процесс повторяется.

В соответствии с принятой моделью анализа напряженно-деформированного состояния рам будем приближенно рассматривать условия III и VI как ограничения по перемещениям в рамках условия II. При этом в случае проверки несущей способности конструкции при задании f могут использоваться некоторые условные величины.

Формируем генетический алгоритм на основе подходов работы [16]. Каждое дискретное множество допустимых значений параметров выстраиваем от меньшего к большему. В эволюционной схеме принимаем во внимание основной набор Ω_1 из N проектов и вспомогательный набор Ω_2 улучшенных проектов, число которых зависит от результатов работы эволюционного алгоритма, но не превышает N . Первоначально формируем проекты набора Ω_1 из одинаковых вариантов конструкции с наибольшими допустимыми значениями параметров. Далее осуществляем итерационный процесс (движение по поколениям), каждая итера-

ция которого включает такие основные действия.

1. *Проверка выполнения активных ограничений для проектов набора Ω_1 .* Разделяем проекты этого набора на подгруппы α и β . Если для какого-либо из проектов подгруппы α не удовлетворяется хотя бы одно из активных ограничений, то он заменяется не используемым в наборе Ω_1 проектом из набора Ω_2 или вновь сформированным вариантом несущей системы. Если не обеспечивается полное удовлетворение таких ограничений для проектов из подгруппы β , то вводится штраф путем умножения значения целевой функции на коэффициент

$$k_p = (1 + \xi \chi(w_{\sigma_{\max}}) w_{\sigma_{\max}}) (1 + \xi \chi(w_{\delta_{\max}}) w_{\delta_{\max}}), \quad (16)$$

где ξ – задаваемое положительное число; $\chi(\eta)$ – функция Хэвисайда от некоторого аргумента ($\chi(\eta) = 0$, если $\eta < 0$; $\chi(\eta) = 1$, если $\eta \geq 0$); $w_{\sigma_{\max}}$, $w_{\delta_{\max}}$ – максимальные значения для w_{σ} и w_{δ} в проверяемом проекте.

2. *Корректировка набора Ω_2 улучшенных проектов.* Каждый из проектов набора Ω_1 проверяется по двум критериям: существует ли такой вариант конструкции в наборе Ω_2 , и не превышает ли значение M рассматриваемого варианта наибольшего значения целевой функции в данном наборе. Если оба условия не выполняются, то проект включается в набор Ω_2 . В том случае, когда число вариантов конструкции во вспомогательном наборе превышает N , проект с наибольшим значением M из него удаляется.

3. *Проверка удовлетворения критерию окончания эволюционного алгоритма, случайное изменение параметров (мутация), дополнительная проверка выполнения ограничений для проектов набора Ω_1 и повторное редактирование набора Ω_2 , выбор проектов по значению целевой функции методом рулетки (селекция) и обмен параметрами (кроссинговер)* [16].

Расчеты показывают, что при оптимальном синтезе конструкций рассматриваемого типа с помощью представляемой эволюционной схемы отсутствие изменений в наборе Ω_2 в течение 200-300 итераций говорит о целесообразности остановки оптимизации. Дальнейшее продолжение итерационного процесса обычно не приводит к сколько-нибудь существенному изменению параметров для наиболее рациональных проектов.

Пример решения задачи оптимизации. Проиллюстрируем особенности использования предлагаемой методики на примере оптимизации двухпролетной рамы (рис. 2,а). Рама имеет жесткие опорные связи A, B, C . При учете нормируемых воздействий принимались во внимание силы тяжести рамы, которые зависят от величин варьируемых параметров, и равномерно распределенные нагрузки $q_1 = 128,8$ кН/м, $q_2 = 306,67$ кН/м. В случае расчета по несущей способности коэффициент K_c вводился только для нагрузок q_1, q_2 .

Считалось, что рама изготовлена из прямоугольных труб (рис. 2,б). Материал стержней – сталь С235 с нормативным сопротивлением $R_{yn} = 235$ МПа. Допустимые вертикальные и горизонтальные перемещения при расчете в условиях упругости принимались в соответствии с нормативами [1, 17]. При оценке предельных нагрузок вводилось значение предела текучести материала $\sigma_T = R_{yn}$ и накладывались ограничения на перемещения по горизонтали и вертикали 50 мм.

Варьировались размеры поясов и стенок в поперечных сечениях труб при обеспечении указанной на рисунке 2,б симметрии сечений. При формировании многослойных моделей стержней для каждого пояса вводилось по одному слою, для каждой пары стенок – по восемь слоев равной толщины. В базовом варианте конструкции для всех стержней задавалось: $h = 28$ см, $b = 20$ см, $t_1 = t_2 = 1,2$ см. При этих значениях параметров была найдена величина $K_3 = 1,34$, которая затем принималась во внимание в процессе оптимизации. Допустимые и полученные при оптимальном синтезе размеры сечений приведены в таблице. Ограничения IV, V при этом удовлетворяются. На рисунке 3 дан график изменения значения

целевой функции в эволюционном процессе. К 168-й итерации масса стержней составила 1883 кг и далее до 401-й итерации не корректировалась. Для базовой конструкции $M=2242$ кг. На рисунке 4 показаны эпюры нормальных напряжений по четырем сечениям рамы для оптимизированного варианта конструкции при нагрузке, учитывающей коэффициент K_3 , откуда видно, что значительные участки сечений оказались в зоне пластических деформаций.

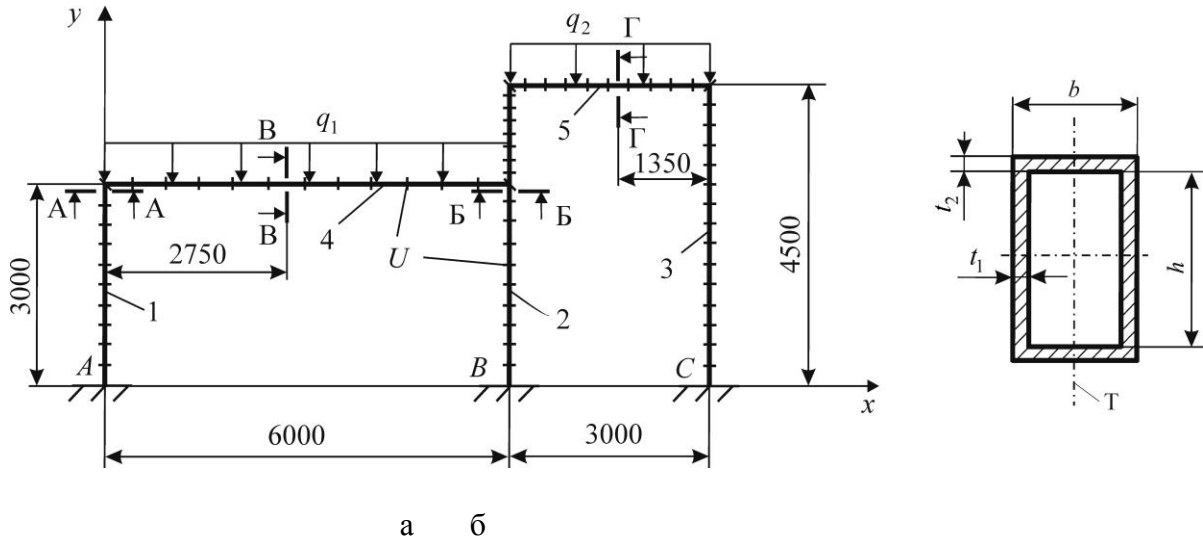


Рисунок 2 – Двухпролетная рама: а – общая структура стержневой системы с разбивкой на конечные элементы (1, 2, 3 – стойки; 4, 5 – ригели, U – узлы конечно-элементной модели); б – поперечное сечение стержней (осевая линия T расположена в плоскости Axу)

Таблица 1 – Результат оптимизации

№ параметра	№ стержня	Обозначение и размерность параметров	Допускаемые значения параметров	Результат определения значений параметра		
1	1	$h, \text{см}$	16;17;18; 20; 22; 24; 26; 28;30; 32;34	34		
2	2			34		
3	3			32		
4	4			34		
5	5			16		
6	1	$b, \text{см}$	14; 15; 16; 17; 18; 19; 20	20		
7	2			20		
8	3			20		
9	4			16		
10	5			14		
11	1	$t_1, \text{см}$	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4	0,5		
12	2			0,5		
13	3			0,5		
14	4			1		
15	5			0,5		
16	1			$t_2, \text{см}$	1,2; 1,3; 1,3; 1,2; 0,5	1,2
17	2					1,3
18	3					1,3
19	4					1,2
20	5					0,5

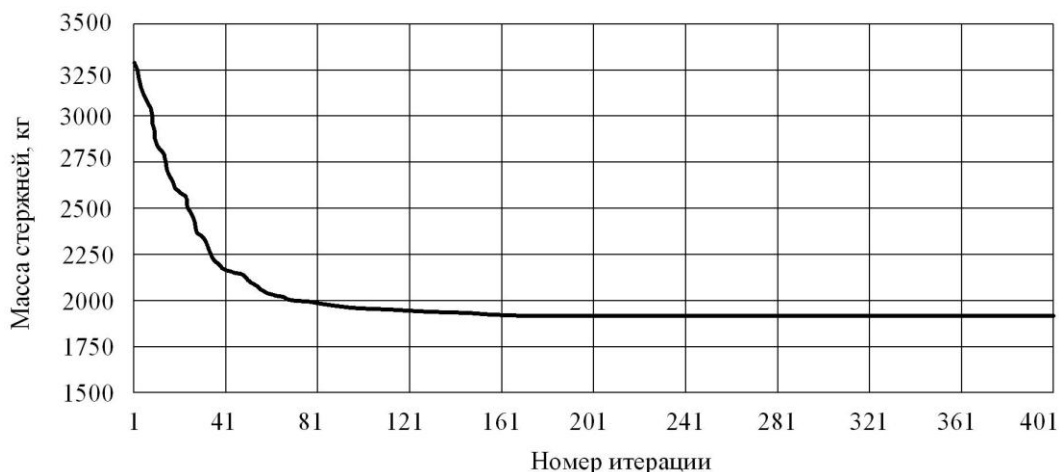


Рисунок 3 – Зависимость массы стержней от номера итерации

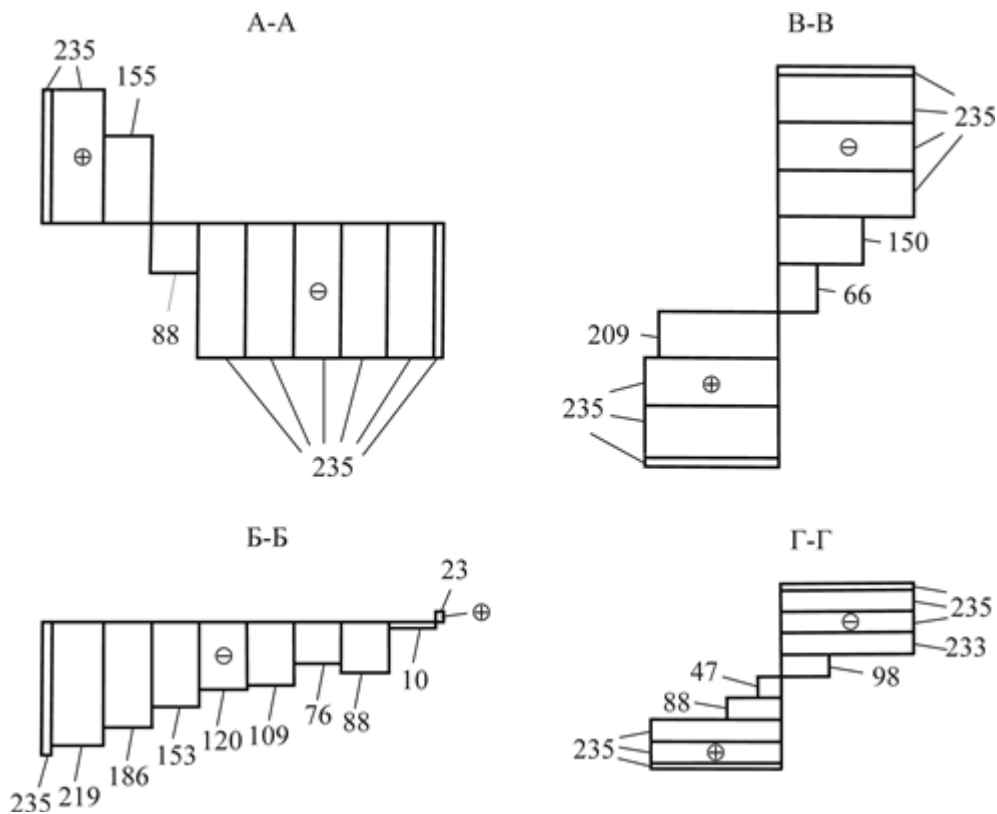


Рисунок 4 – Эпюры нормальных напряжений (МПа) в сечениях А-А, Б-Б, В-В и Г-Г

Заключение

Разработана методика эволюционной оптимизации стальных плоских рам первого класса напряженно-деформированного состояния на дискретных множествах размеров поперечных сечений стержней. Наряду с нормативными ограничениями по первой и второй группе предельных состояний, ставится условие, чтобы уровень запаса несущей способности рамы был не меньше, чем для базовой конструктивной системы. Выполненные расчеты для двухпролетной рамы показали достаточно высокую скорость сходимости итераций представляемого алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* [Текст]. – М.: Министерство регионального развития РФ, 2011. – 173 с.
2. Тухфатуллин, Б.А. Оптимизация плоских стальных рам с учетом требований норм проектирования [Текст] / Б.А. Тухфатуллин, Л.Е. Путеева // Вестник ТГАСУ. – 2008. – № 3. – С.171–175.
3. Ghasemi, M.R. Reliability-based optimization of steel frame structures using modified genetic algorithm [Text] / M.R. Ghasemi, M. Yousefi // Asian Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. 12, N. 4. – Pp. 449-475.
4. Серпик, И.Н. Оптимизация металлических конструкций путем эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев. – М.: Издательство АСВ, 2012. – 240 с.
5. Мосин, А.М. Оптимальное проектирование упругодеформируемых стальных порталных рам с элементами переменной жесткости на основе генетического алгоритма [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А. М. Мосин. – Екатеринбург, 2004. – 15 с.
6. Прагер, В. Основы теории оптимального проектирования конструкций [Текст] / В. Прагер // Механика. Новое в зарубежной науке. – №11. – М.: Мир, 1977. – 110 с.
7. Раевский А.Н. Оптимизация рамных каркасов из условия прочности и устойчивости [Текст] / А.Н. Раевский, Л.А. Раевский. – Пенза: ПГАСА, 1996. – 130 с.
8. Чирас А.А. Теория и методы оптимизации упругопластических систем [Текст] / А.А. Чирас, А.Э. Боркаускас, Р.П. Каркаускас. – Л.: Стройиздат. – 1974. – 280 с.
9. Серпик, И.Н. Эволюционный синтез металлических плоских рам в случае оценки несущей способности по методу предельного равновесия [Текст] / И.Н. Серпик, А.А. Лелетко, А.В. Алексейцев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 8. – С. 4-9.
10. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы [Текст] / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик // М.: Физматлит, 2010. – 317 с.
11. Bouhaya, L. Optimization of gridshell bar orientation using a simplified genetic approach [Text] / L. Bouhaya, O. Baverel, J.-F. Caron // Structural and Multidisciplinary Optimization. – Vol. 50, N. 5. – 2014. – Pp. 839-848.
12. Серпик, И.Н. Генетический алгоритм оптимизации плоских железобетонных рам [Текст] / И.Н. Серпик, И.В. Мироненко, М.И. Смашнева // Бетон и железобетон. – 2011. – №4. – С. 17-21.
13. Кирсанов, М.Н. Генетический алгоритм оптимизации стержневых систем [Текст] / М.Н. Кирсанов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2010. – № 2. – С. 60–63.
14. Бате, К. Методы конечных элементов [Текст] / К. Бате. – М.: Физматлит. – 2010. – 1024 с.
15. Zienkiewicz, O.C. The finite element method for solid and structural mechanics [Text] / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, D. Fox. – Oxford: Elsevier. – 2014. – 672 p.
16. Серпик, И.Н. Построение высокопроизводительного алгоритма оптимизации стержневых систем на основе комбинированной эволюционной стратегии [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – №5. – С. 58-63.
17. СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. Нагрузки и воздействия [Текст]. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 82 с.

И.Н. Серпик

Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой «Механика»
E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

П.Ю. Балабин

Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск
Аспирант
E-mail: baronbalabin@yandex.ru

I. SERPIK, P. BALABIN

REDUCTION IN MATERIALS CONSUMPTION OF STEEL FRAMES WITHOUT DROP IN THE RESERVE OF STRUCTURES BEARING CAPACITY

The algorithm of plane steel frames optimization with restrictions on stresses, displacements, stability condition and the reserve of bearing capacity which is assigned in accordance with the level of

structural safety of the basic version of the object. Optimal designis carried out with the help of evolutionary modeling. The total mass of the frame rods is minimized. The sizes of the rods cross-section on discrete sets of acceptable values vary. The efficiency of the proposed computational schemes is illustrated on the example of double frame optimization.

Key words: steel frame, optimization, evolutionary modeling, reserve of bearing capacity.

BIBLIOGRAPHY

1. SP 16.13330.2011. Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-23-81* [Tekst]. – M.: Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF, 2011. – 173 s.
2. Tukhfatullin, B.A. Optimizatsiya ploskikh stal'nykh ram s uchetom trebovaniy norm proyektirovaniya [Tekst] / B.A. Tukhfatullin, L.Ye. Puteyeva // Vestnik TGASU. – 2008. – № 3. – S.171–175.
3. Ghasemi, M.R. Reliability-based optimization of steel frame structures using modified genetic algorithm [Text] / M.R. Ghasemi, M. Yousefi // Asian Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. 12, N. 4. – Pp. 449-475.
4. Serpik, I.N. Optimizatsiya metallicheskih konstruksiy putem evolyutsionnogo modelirovaniya [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Alekseytsev. – M.: Izdatel'stvo ASV, 2012. – 240 s.
5. Mosin, A.M. Optimal'noye proyektirovaniye uprugodeformiruyemykh stal'nykh portal'nykh ram s elementami peremennoy zhestkosti na osnove geneticheskogo algoritma [Tekst]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / A.M. Mosin. – Yekaterinburg, 2004. – 15 s.
6. Prager, V. Osnovy teorii optimal'nogo proyektirovaniya konstruksiy [Tekst] / V. Prager // Mekhanika. Noye v zarubezhnoy nauke. – № 11. – M.: Mir, 1977. – 110 s.
7. Rayevskiy A.N. Optimizatsiya ramnykh karkasov iz usloviya prochnosti i ustoychivosti [Tekst] / A.N. Rayevskiy, L.A. Rayevskiy. – Penza: PGASA, 1996. – 130 s.
8. Chiras A.A. Teoriya i metody optimizatsii uprugoplasticheskikh sistem [Tekst] / A.A. Chiras, A.E. Borkauskas, R.P. Karkauskas. – L.: Stroyizdat. – 1974. – 280 s.
9. Serpik, I.N. Evolyutsionnyy sintez metallicheskih ploskikh ram v sluchaye otsenki nesushchey sposobnosti po metodu predelnogo ravnovesiya [Tekst] / I.N. Serpik, A.A. Leletko, A.V. Alekseytsev // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. – 2007. – № 8. – S. 4-9.
10. Gladkov, L. A. Geneticheskiye algoritmy [Tekst] / L.A. Gladkov, V.V. Kureychik, V.M. Kureychik // M.: Fizmatlit, 2010. – 317 s.
11. Bouhaya, L. Optimization of gridshell bar orientation using a simplified genetic approach [Text] / L. Bouhaya, O. Baverel, J.-F. Caron // Structural and Multidisciplinary Optimization. – Vol. 50, N. 5. – 2014. – Pp. 839-848.
12. Serpik, I.N. Geneticheskiy algoritm optimizatsii ploskikh zhelezobetonnykh ram [Tekst] / I.N. Serpik, I.V. Mironenko, M.I. Smashneva // Beton i zhelezobeton. – 2011. – № 4. – S. 17-21.
13. Kirsanov, M.N. Geneticheskiy algoritm optimizatsii sterzhnevnykh sistem [Tekst] / M.N. Kirsanov // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2010. – № 2. – S. 60–63.
14. Bate, K. Metody konechnykh elementov [Tekst] / K. Bate. – M.: Fizmatlit. – 2010. – 1024 s.
15. Zienkiewicz, O.C. The finite element method for solid and structural mechanics [Text] / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, D. Fox. – Oxford: Elsevier. – 2014. – 672 p.
16. Serpik, I.N. Postroyeniye vysokoproizvoditel'nogo algoritma optimizatsii sterzhnevnykh sistem na osnove kombinirovannoy evolyutsionnoy strategii [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Alekseytsev // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2011. – № 5. – S. 58-63.
17. SP 20.13330.2011. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.01.07–85*. Nagruzki i vozdeystviya [Tekst]. – M.: OAO «TSPP», 2011. – 82 s.

I. Serpik

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of “Mechanics”
E-mail: inserpik@gmail.com

P. Balabin

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk
Postgraduate student
E-mail: baronbalabin@yandex.ru

УДК 004.896

ИВАЩУКО.А., УДОВЕНКОИ.В.

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА КАК ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СТЫКЕ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК

В статье анализируются основные проблемы и подходы к организации автоматизированного управления кадровым потенциалом строительных территориальных кластеров. Представлена обобщенная структурная модель интеллектуальной автоматизированной системы управления кадровым потенциалом строительного кластера. Построение и организация интеллектуальной автоматизированной системы управления с использованием представленных моделей, позволит обеспечить эффективную интеллектуальную поддержку принятия решений. Рассмотрена модель объекта управления как многокомпонентная сложная динамическая система.

***Ключевые слова:** поддержка принятия решений; кадровый потенциал строительного кластера региона, автоматизация; моделирование.*

В современных условиях динамично меняющегося мира, глобальной взаимозависимости и конкуренции, необходимости широкого применения и постоянного усложнения технологий, крайне актуальным является использование в строительстве информационных технологий [1]: в качестве программных комплексов для проектирования зданий, сооружений и инженерных систем; автоматизированных средств проектирования строительных объектов; информационных систем управления и ситуационных моделей. Для этого необходим грамотный кадровый потенциал, который будет реализовывать соответствующие идеи, решать тактические, стратегические, инженерно-строительные задачи с использованием современных методов моделирования, сможет работать на стыке инженерных и ИТ – технологий. Таким образом, сегодня крайне актуальным является формирование и сбалансированное развитие подобным кадровым потенциалом строительных территориальных кластеров.

Авторами выявлены обобщенные современные проблемы развития кадрового потенциала строительных территориальных кластеров, как основы их конкурентоспособности. Они проявляются в указанных на рисунке 1 диспропорциях и возникают, прежде всего, из-за отсутствия действенных механизмов управления взаимодействием рынков труда и образовательных услуг, их взаимосвязанного прогнозирования.

К последствиям выявленных проблем, которые обнаруживаются в диспропорциях между определенными составляющими социально-экономической среды и возникают, прежде всего, из-за отсутствия действенных механизмов управления взаимодействием рынков труда и образовательных услуг, их взаимосвязанного прогнозирования, относятся:

– переизбыток специалистов финансово-экономического и юридического профиля при значительном недостатке инженеров, а также людей, обладающих рабочими специальностями;

– молодежная и сельская безработица;

– значительные масштабы трудовой миграции в столичные регионы;

– невысокая степень инноваций в экономикостроительных территориальных кластерах, развития перспективных технологий. Все это является значительным препятствием к повышению конкурентоспособности экономической и социальной сферы регионов, эффективности сферы предоставления различных услуг.



Рисунок 1 – Основные проблемы развития кадрового потенциала строительного территориального кластера

Решение указанных выше проблем связано с необходимостью как планирования процессов формирования, совершенствования и развития кадрового потенциала строительного территориального кластера, так и с его грамотным управлением: реализацией действий, нацеленных на обеспечение оптимального соотношения между профессионально-образовательным статусом жителей региона и потребностями рынка труда. В результате, в строительной сфере региона (на каждом соответствующем предприятии), определяющей его конкурентоспособность и качество жизни населения, должно быть в любой момент необходимое количество квалифицированных и мотивированных работников, потенциал которых должен соответствовать современным требованиям развития строительных территориальных кластеров.

Проведен анализ различных зарубежных моделей управления кадровым потенциалом, что позволило выявить наиболее действенные механизмы управления, например формирование профессиональных компетенций, совместно с работодателями, образовательными структурами и государством; обеспечение функционирования центров профессионального образования; содействие трудовой миграции; различные направления активной политики развития трудовых ресурсов, профильной подготовки кадров; субсидирование совместной научно-исследовательской работы вузов и предприятий; кредиты от производства на обучение профессии; PR-кампании для формирования позитивного имиджа необходимых для развития государства профессий; система заказов на специалистов, интеграции производства и образования в форме технопарков и др. Однако сегодня для выбора рациональных регулирующих ме-

роприятий и реализации результативных сценариев управления кадровым потенциалом строительных территориальных кластеров отсутствует единый теоретико-методологический механизм, обеспечивающий построение соответствующих эффективных систем управления.

По результатам проведенного научного анализа предложено семь основных концептуальных подходов к сбалансированному управлению кадровым потенциалом строительных территориальных кластеров в условиях формирования и развития информационного общества, совокупность которых определяет необходимость построения современной информационной технологии управления кадровым потенциалом строительных территориальных кластеров (рисунок 2).



Рисунок 2 – Основные концептуальные подходы к сбалансированному управлению кадровым потенциалом строительных территориальных кластеров в условиях формирования и развития информационного общества

Авторами поставлена задача моделирования автоматизированной системы управления кадровым потенциалом строительного кластера региона (АСУ КТР), которая должна удовлетворять следующим основным требованиям [2, 3]:

- обеспечивать процесс эффективного и результативного управления кадровым потенциалом в выбранной сфере экономики,
- быть универсальной для любого уровня иерархии административно-территориального деления,
- быть адаптивной к текущим изменениям в социально-экономической сфере на рассматриваемой территории, а также во внешней среде.

С точки зрения теоретико-множественного подхода модель АСУ КТР может быть представлена следующим кортежем [2, 3]:

$$S_{ACV} = \langle \Sigma_{ACV}, X_{ACV}, Y_{ACV}, Z_{ACV}, \Omega_{ACV}, F_{ACV}, \Theta_{ACV} \rangle,$$

где $\Sigma_{АСУ}$ – множество компонентов-подсистем АСУ;

$X_{АСУ}$ – множество состояний элементов (входы) $\Sigma_{АСУ}$;

$Y_{АСУ}$ – множество состояний элементов (выходы) $\Sigma_{АСУ}$;

$Z_{АСУ}$ – множество состояний подсистем $\Sigma_{АСУ}$;

$\Omega_{АСУ}$ – множество воздействий внешней среды на $\Sigma_{АСУ}$;

$F_{АСУ}$ – множество отображений, осуществляемых на $\Sigma_{АСУ}$, $\Omega_{АСУ}$ и $Y_{АСУ}$;

$\Theta_{АСУ}$ – множество отношений над элементами $\Sigma_{АСУ}$, $\Omega_{АСУ}$ и $Y_{АСУ}$.

На рисунке 3 показана предлагаемая обобщенная структура исследуемой системы, демонстрирующая составные компоненты $\Sigma_{АСУ}$ и информационные потоки в системе. В результате:

$$\Sigma_{АСУ} = \{S_{ОУ}, S_{УС}, S_{ИМ}, S_{ИСППР}\},$$

где $S_{ОУ}$ – объект управления АСУ КПр;

$S_{УС}$ – управляющая система;

$S_{ИМ}$ – система интеллектуального мониторинга;

$S_{ИСППР}$ – интеллектуальная система поддержки принятия решений. Соответственно, множество состояний компонентов АСУ КПр может быть представлено в виде

$$Y_{АСУ} = \{Y_{ОУ}, Y_{УС}, Y_{ИМ}, Y_{ИСППР}\},$$

а множество внешних воздействий $\Omega_{АСУ} = \{\Omega_{ОУ}, \Omega_{УС}, \Omega_{ИМ}, \Omega_{ИСППР}\}$.

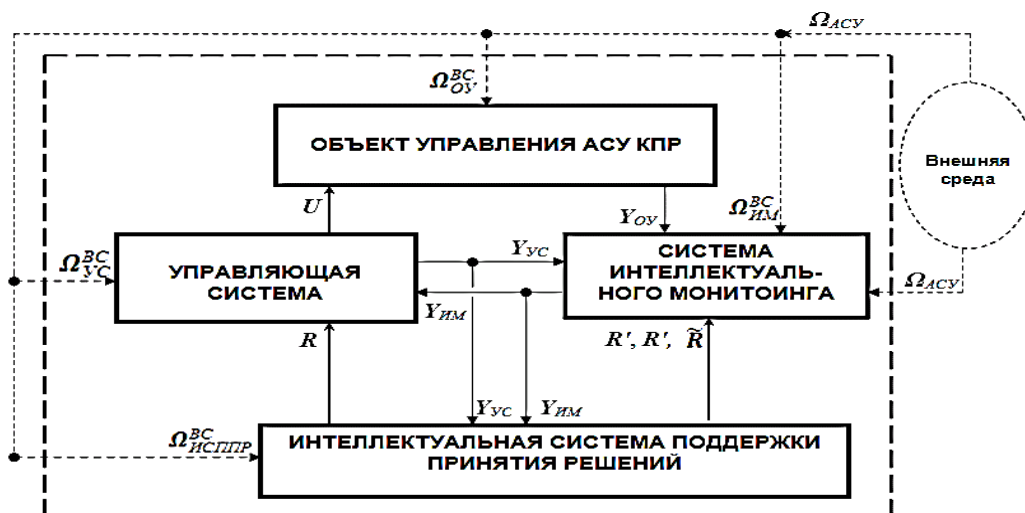


Рисунок 3 – Обобщенная структура интеллектуальной автоматизированной системы управления кадровым потенциалом строительного кластера региона

Авторами предлагается рассматривать кадровый потенциал строительного территориального кластера, как объект автоматизированного управления, в виде совокупности следующих компонентов [2]:

- сформированных и постоянно развивающихся профессиональных знаний, умений и навыков актуальных в настоящее время кадров в строительной сфере региона (в т. ч. состоящих на учете в службе занятости);

- накапливаемых знаний, умений и навыков потенциальных кадров, являющихся в настоящее время учащимися профессиональных образовательных заведений различного уровня;

– будущих знаний, умений, навыков и способностей несовершеннолетней части населения региона.

Все эти составляющие являются взаимосвязанными.

Авторами проведен анализ взаимодействия кадрового потенциала строительного территориального кластера с социально-экономической и внешней средой региона, который позволил определить параметры состояния моделируемого объекта управления, выделить из них контролируемые и управляемые, а также определить его границы с внешней средой. В результате построена модель объекта автоматизированного управления кадровым потенциалом строительного территориального кластера, который рассматривается как многокомпонентная система с конкретной структурой и информационными потоками, отражающими взаимодействие подсистем между собой и с внешней средой. Схематично данная модель показана на рисунке 4.



Рисунок 4 – Модель объекта автоматизированного управления кадровым потенциалом строительного территориального кластера

Система включает следующие основные три класса компонентов: подсистема «Социальная среда»; подсистема «Экономическая среда»; подсистема «Информационная среда». Таким образом, исследуемый объект управления представлен как сложная динамичная информационно-социально-экономическая система. На схеме пунктирные линии показывают потоки, отражающие взаимодействие основных подсистем объекта управления между собой, сплошные тонкие линии – влияние внешней среды, сплошные жирные линии – управляющие воздействия на основные подсистемы.

Данная многокомпонентная структура реализуется внутри каждой составляющей КТР строительного кластера. Рассмотрим на примере второй составляющей «Накапливаемые знания, умения и навыки потенциальных кадров, являющихся в настоящее время учащимися профессиональных образовательных заведений различного уровня». Параметрами состояния, приведённых выше подсистем объекта управления в данном случае является:

- *социальная среда*: количество реализуемых направлений подготовки в профессиональных заведениях региона, связанных со строительной сферой; число бюджетных мест в вузах на данных направлениях; количество выпускников по соответствующим направлениям в профессиональных образовательных заведениях; создание центров науки, инновации и образования как связующих звеньев между наукой и промышленностью; разработка альтернативных профессиональных стандартов, как региональных отраслевых нормативных документов и т.д.;

- *экономическая среда*: степень внедрения инноваций в сфере строительства, количество и уровень развития предприятий, особенности структуры бизнес-сообществ и т.д.;

- *информационная среда*: создание учебно-консультационных центров по подготовке абитуриентов для поступления в учреждения профессионального образования по соответст-

вующим направлениям; количество общедоступных ПК для выхода в глобальные информационные сети; количество и наличие собственных радио-, теле-центров в профессиональных учебных заведениях; численность обучающихся с использованием дистанционного обучения и т.д..

Следует отметить, что составляющие множества $Y_{ИСППР}$ являются управляющими сигналами, как для объекта управления АСУ, так и для управляющей подсистемы, а также для подсистемы интеллектуального мониторинга. Они регулируют работу данных компонентов АСУ в соответствии с текущими изменениями в объекте управления и внешней среде. Таким образом, введенная интеллектуальная система поддержки принятия решений обеспечивает формирование в автоматизированной системе управления КПП строительного кластера внутренних контуров управления, в каждом из которых внутренний субъект управления – это интеллектуальная система поддержки принятия решений, а внутренние объекты управления – или управляющая система, или система интеллектуального мониторинга. Введенные контуры обеспечивают возможность процесса самонастройки системы, что соответствует принципу адаптивности при управлении КПП. Множество $Y_{ИСППР}$ включает следующие компоненты:

$$Y_{ИСППР} = \{R, R', R'', \tilde{R}\},$$

где R – множество альтернативных сценариев управления для регулирования состояния объекта управления;

R' – множество моделей для проведения оценок различного уровня (состояния компонентов объекта управления и интеллектуальной системы мониторинга, результативности управляющих воздействий и т.д.);

R'' – множество прогностических моделей;

\tilde{R} – множество воздействий, регулирующих структуру системы интеллектуального мониторинга.

Построение и организация интеллектуальной автоматизированной системы управления с использованием представленных моделей, позволит обеспечить эффективную интеллектуальную поддержку принятия решений и на этой основе актуализацию результативных управляющих решений по сбалансированному формированию и развитию кадрового потенциала строительного кластера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства регионального развития РФ от 30 мая 2011 г. № 262 «Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов и индустриального домостроения на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2225138/#ixzz3lqcD5Y0e> (Дата обращения: 05.09.20).
2. Ивашук, О.А. Интеллектуальная автоматизированная система управления кадровым потенциалом региона [Электронный ресурс]. О.А. Ивашук, И.В. Удовенко. URL:<http://www.irsit.ru/article582>
3. Ивашук, О.А. Поддержка принятия решений в системе управления кадровым потенциалом строительного кластера региона [Текст] /О.А. Ивашук,И.В. Удовенко // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 2014. – № 15(186). – Вып. 31/1– С. 108-113.

О.А. Ивашук

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы»
E-mail: o.lga.ivashuk@mail.ru

И.В. Удовенко

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Старший преподаватель кафедры «Информационные системы»
E-mail:udovenko@bsu.edu.ru

O. IVASHCHUK, I. UDOVENKO

**FORMATION AND DEVELOPMENT OF HUMAN RESOURCES
AS A BASIS OF DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES
AT THE JUNCTION OF ENGINEERING-BUILDING
AND COMPUTER SCIENCES**

This article analyzes the main problems and approaches to the organization automated control of human resources building territorial clusters. The article presents a generalized structural model of intellectual automated control system of human resources construction cluster. Creating and organisation of intellectual automated control system with using the presented models will provide intellectual support of effective decision-making. The model of the control object, presented in this paper, is multicomponent complex dynamic system.

Keywords: decision support, human resources, automation, modeling.

BIBLIOGRAPHY

1. Prikaz Ministerstva regional'nogo razvitiya RF ot 30 maja 2011 g. №262 «Ob utverzhenii Strategii razvitiya promyshlennostiroitel'nykh materialov i industrial'nogo domostroeniya na period do 2020 goda» [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2225138/#ixzz3lqcD5YOe> (Data obrashheniya: 05.09.2015).
2. Ivashchuk, O.A. Intellektual'naja sistema upravlenija kadrovym potencialom regiona [Elektronnyj resurs] / O.A. Ivashchuk, I.V. Udovenko. URL: <http://www.irsit.ru/article582>
3. Ivashchuk, O.A. Podderzka prinjatija reshenij v sisteme upravlenija kadrovym potencialom stroitel'nogo klastera regiona [Tekst] / O.A. Ivashchuk, I.V. Udovenko // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2014. – №15(186). – Vyp. 31/1 – S. 108–113.

O. Ivashchuk

Belgorod state national research university, Belgorod
Doctor of technical sciences, professor of the department «Information systems»
E-mail: olga.ivashuk@mail.ru

I. Udovenko

Belgorod state national research university, Belgorod
Senior lecturer of the department «Information systems»
E-mail: udovenko@bsu.edu.ru

УДК 711.1:719

ПРОКОПИШИН Р.В.

ВОЗРОЖДЕНИЕ УСАДЬБЫ АЛЕКСЕЯ ТОЛСТОГО В СЕЛЕ КРАСНЫЙ РОГ

Статья посвящена возрождению и комплексному развитию памятника федерального значения «Усадьба А.К. Толстого».

В предпроектных предложениях возрождения Усадьбы строго дифференцируются объекты реставрации, реконструкции и восстановительного строительства. Обосновывается концепция воссоздания объектов усадьбы и ландшафтного парка на разные временные периоды ее жизни и исторической судьбы. За основу предпроектного предложения принимается период ее существования при А.К. Толстом, чье имя дало усадьбе статус федерального памятника.

В статье ставится вопрос о формировании единого общественного пространства совместной жизнедеятельности (функционирования) объекта культурного наследия и окружающего его сельского поселения.

Ключевые слова: усадьба А.К. Толстого, историко-культурный заповедник, общественно-культурный и просветительский центр, памятник историко-культурного наследия, воссоздание, реставрация

Объектом исследования выступает единственно уцелевшая усадьба графа Алексея Константиновича Толстого. Усадьба, расположенная в селе Красный Рог, имеет значительное и непреходящее историко-культурное значение в качестве мемориального свидетельства жизни и творчества великого русского иллюстратора от литературы, осветившего исторический период Великого князя и первого русского царя - Иоанна Грозного. Усадьба получила статус объекта культурного наследия федерального значения благодаря тому, что в ней жил Алексей Толстой (Постановление Совета Министров РСФСР от 4 декабря 1974 г. № 624). Создание усадьбы связано с прадедом Алексея Константиновича, графом Кириллом Григорьевичем Разумовским (1728-1803гг.) — последним гетманом Войска Запорожского, генерал-фельдмаршалом, президентом Российской академии наук, основателем графского и княжеского рода Разумовских.

В 2017 году будет отмечаться 200 летний юбилей со дня рождения писателя. К этой дате Министерство культуры РФ планирует провести полную реконструкцию его усадьбы с благоустройством парка, воссозданием утраченных мемориальных объектов с последующим включением усадьбы в создаваемый Министерством культуры РФ федеральный туристский маршрут «Русские усадьбы».

В настоящее время актуальным является вопрос сохранения и эффективного использования памятников историко-культурного наследия, находящихся в границах территорий сельских поселений [1...6]. Современные научные подходы к реставрации и воссозданию памятников историко-культурного наследия невозможны без детальной проработки сценария дальнейшего их использования [1, 5, 6]. При этом комплексное развитие объекта наследия, как культурного и просветительского центра может послужить импульсом для органического преобразования прилегающей территории. Предложения по решению этих задач должны учитывать множество факторов, опираться на тщательный анализ всего потенциала культурного наследия и ресурсов исследуемой территории, на соблюдение современного законодательства.

Все вышеизложенное подтверждает сложность поиска решений этих задач и необходимость дальнейших исследований для усовершенствования существующих методик градостроительного проектирования и создания архитектурных концепций.

Исследование посвящено предпроектной концепции воссоздания усадьбы. Она основывается на принципе выявления, сохранения и предъявления суммы всех ценностей истори-

ко-культурного наследия, и предполагает новый правовой статус усадьбы как музея-заповедника.

Основными положениями концепции возрождения усадьбы определены:

1. Усадьба возрождается как подлинно памятник историко-культурного наследия, реализующий музейную, исследовательскую и просветительскую функции;
2. Существующие объекты туристической инфраструктуры выносятся за территорию усадьбы;
3. За основу предпроектного предложения принимается период существования усадьбы при А.К. Толстом, когда все усадебные постройки были деревянными;
4. В предпроектных предложениях возрождения Усадьбы строго дифференцируются объекты реставрации, реконструкции и восстановительного строительства. Обосновывается концепция воссоздания объектов усадьбы и ландшафтного парка на разные временные периоды ее жизни.

Основанием для разработки предпроектных предложений реставрации, реконструкции и восстановительного строительства в усадьбе послужили комплексные историко-культурные исследования, проводимые в рамках всей архитектурной концепции. Все предложения учитывают совокупность современных потребностей музея в расширении и развитии. Так как усадьба получила статус федерального памятника благодаря тому, что в ней жил поэт Толстой Алексей Константинович, то за основной период, в течение которого предлагается восстановление усадьбы, взят период его жизни в усадьбе, т.е. мемориальный (1836–1875 гг.).

Сегодняшнее состояние выявленной базы источников для изучения истории Красного Рога таково, что сколько-нибудь обоснованное воссоздание внешнего вида усадьбы возможно только по состоянию на 1869 год, которым датирован найденный в РГАДА межевой план имения графа А. К. Толстого в Красном Роге. Датированный межевой план совпадает с временем жизни А.К. Толстого в усадьбе, т.е. мемориальным.

С момента возникновения усадьба принадлежала следующим владельцам:

- 1782 – 1803 гг. Кирилл Григорьевич Разумовский
- 1803 – 1822 гг. Алексей Кириллович Разумовский
- 1822 – 1831 гг. Лев Алексеевич Перовский и Василий Алексеевич Перовский
- 1832(?) – 1836 гг. Алексей Алексеевич Перовский
- 1836 – 1875 гг. Алексей Константинович Толстой
- 1875 – 1892 гг. Софья Андреевна Толстая
- 1892 – 1908 гг. Николай Михайлович Жемчужников
- 1908 – 1916 гг. Михаил Александрович Жемчужников
- 1916 – 1917 гг. Юрий Михайлович Жемчужников
- 1919 – 1921 гг. Крестьянская коммуна
- 1921 – 1926 гг. Еврейская коммуна «Лениндорф»
- 1927–2012 гг. Дом отдыха, пансионат с лечением «Красный Рог»
- с 2013 гг. ГБУК «Брянский Государственный краеведческий музей».

В результате сопоставления архивных, текстовых, графических источников с результатами натурных обследований парка с полной инвентаризацией деревьев, натурными обследованиями всех имеющихся построек выполнен анализ композиционно-пространственного построения усадьбы позволяющий сделать **выводы**:

1. В усадьбе можно проследить черты русских усадебных парков конца 18 середины 19 веков:

- четко выраженное осевое построение;
- расположение главного дома на пересечении композиционно-планировочных осей и его доминирующее значение в масштабах всего усадебного комплекса;
- совпадение главной въездной аллеи с одной из композиционных осей усадьбы;
- наличие разъездного круга;
- наличие партерной части у парадного въезда в дом;
- выход главной оси гл. дома на партерную поляну ландшафтного парка с фланкирующими ее посадками, а также примыкающими к ней участками закрытой и полуоткрытой пространственной структуры;

- композиционная целостность парка образована за счет участков с различными пространственно-структурными системами (регулярной и ландшафтной), гармонично связанных и переходящих в друг друга.

2. В усадьбе можно реконструировать дорожно-тропиночную сеть, сформированную в бытность всех владельцев усадьбы.

3. В историческом развитии усадьбы выявлены четыре исторических периода, разделенные по принципу наиболее важных изменений, вносимых сменяющимися владельцами в характер усадебного комплекса:

Первый период (I), 1782-1836 годы – период строительства усадьбы при К.Г. Разумовском и далее владение усадьбой А.К. Разумовским и Л.А., В.А. и А.А. Перовскими;

Второй период (II), 1836-1875 годы – время владения усадьбой А.К. Толстым, 1868-1875 годы – мемориальный период;

Третий период (III), 1875-1917 годы – период владения имением С.А. Толстой (женой А.К. Толстого) и Н.М., М.А. и Ю.М., Жемчужниковыми;

Четвертый период (IV), с 1917 года по настоящее время – послереволюционный период.

4. Выявлены усадебные постройки, представленные на межевом плане 1869 года:

- Главный дом (воссоздан в 1993 году);
- Гостевой флигель (Западный флигель - объект культурного наследия в настоящее время именуется «гостевым»). Единственно уцелевшая мемориальная постройка, сохранившаяся до наших дней без значительных изменений, выполненная в дереве. Часть флигеля, возможно, занимала баня, в этом флигеле был устроен рабочий кабинет А.К. Толстого, в котором поэт создал ряд известных произведений, в частности «Царя Бориса» — последнюю часть своей драматической трилогии);
- Флигель «графская кухня» (утрачен);
- Флигель-людская (в дальнейшем флигель С.А. Толстого) (вновь выявленный объект культурного наследия мемориального периода);
- Прачечная (вновь выявленный объект культурного наследия мемориального периода);
- Флигель управляющего (утрачен);
- Конюшня (утрачена);
- Дворовый флигель (вновь выявленный объект культурного наследия мемориального периода);
- Баня (утрачена);
- Погреб на фундаменте флигеля периода Разумовских (на межевом плане отсутствует, введен в перечень по результатам натурных обследований (вновь выявленный объект культурного наследия).

Все вновь выявленные объекты, обладающие признаками объектов культурного наследия принадлежащие мемориальному периоду выполнены из дерева. Из чего можно сделать вывод, что все усадебные строения в мемориальный период были деревянными.

Выявленный объект, созданный в период владения усадьбой Разумовскими – погреб, размещен на месте прежнего юго-восточного флигеля. При Разумовских, согласно рисунку самого Толстого, четыре флигеля располагались на равном расстоянии от главного дома, были ориентированы центральными осями фасадов на его углы и образовывали подобие круга, что обнаруживает в их первоначальном размещении строгое следования классицистическим канонам. Это подтверждается натурными обследованиями парка и реконструкцией насаждений, проведенной по итогу инвентаризации деревьев. Главный дом, согласно рисунку Толстого, также имел строго симметричный план, впоследствии, измененный. Четыре деревянных флигеля, окружавшие главный дом, были, по информации самого Толстого, изложенной в письме к Л. Жемчужникову, написанном, предположительно, в 1845 году, перемещены и расширены в конце 1830-начале 1840-х годов. После перестройки усадьбы западный и восточный флигели оказались расположенными параллельно торцевым фасадам главного дома, приблизительно на его продольной оси. Северо-западный и северо-восточный флигели были вынесены дальше на север, причём северо-западный стоял несколько дальше от дома, чем северо-восточный.

5. Выявлены постройки хозяйственного двора, не указанные на межевом плане 1869 года:

- Ледник (утрачен);
- Птичник (утрачен);
- Садовницкая (утрачена);
- Дом кузнеца и кузница (утрачены);
- Сторожка-урядницкая (Воссоздана произвольно);
- Колодец (утрачен);
- Мельницы (утрачены).

6. Главный усадебный дом, являясь доминантой усадебного ансамбля, во времена А.К. Толстого представлял собой одноэтажный деревянный объём с бельведером, несимметричный по осям главных фасадов. Главный усадебный дом – «Охотничий замок», построенный по проекту В.Н. Городкова в 1993 году вместо сгоревшего во время Великой Отечественной Войны, имеет степень физического износа здания 50 % и ряд выявленных значительных несоответствий исторически подлинным архитектурно-стилистическим решениям:

- объёмно-пространственная композиция выполнена с искажениями и имеет недостоверные элементы планировки;
- высотные акценты в архитектурном решении, а именно: силуэт, форма крыши и завершений, не соответствуют оригиналу;
- конфигурация здания, габариты, отсутствие мансарды по фасадам свидетельствуют об отступлении от оригинала;
- композиция и архитектурно-художественное оформление фасадов не соответствуют оригиналу;
- строительный материал ограждающих конструкций и их исполнение, виды обработки и колористическое решение фасадной плоскости не соответствуют оригиналу;
- пространственно-планировочная структура интерьеров, особенности планировочной связи помещений, наличие отрицательных углов в планировке свидетельствует о значительных отступлениях от исторически подлинных архитектурно-стилистических решений, применяемых архитекторами в 18-19 веках;
- архитектурно-художественное оформление интерьеров свидетельствует о несоответствии мемориальному периоду.

7. Территория усадьбы, всегда имела чёткие искусственные границы, обозначенные на местности обваловкой, рвами и посадками шиповника.

Индивидуальной особенностью развития усадьбы в Красном Роге является осознание её владельцами – наследниками А.К. Толстого мемориальной ценности доставшегося им недвижимого имущества.

К сожалению, эта особенность осталась лишь фактом истории Красного Рога и мало сказалась на степени сохранности усадьбы в наши дни, что в значительной мере объясняется колоссальными потрясениями, выпавшими на долю России в истекшем столетии.

Сегодняшнее состояние усадьбы засвидетельствовало активность руководства дома отдыха – пансионата, которая привела к тому, что на территории усадьбы появилось множество сооружений, не соответствующих мемориальному характеру комплекса. Некоторые исторические постройки, использовались пансионатом, и в результате эксплуатации подверглись перестройке и полностью деградировали. Многолетнее функционирование на территории усадьбы дома отдыха не способствовало сохранению парка Разумовских-Толстых, когда-то известный своими эстетическими и ботаническими качествами парк превратился в неухоженный лес.

Последнее обстоятельство накладывает особую ответственность за сохранение немногих уцелевших в усадьбе мемориальных элементов, к числу которых, безусловно, относятся не только строения Красного Рога, планировка и насаждения парка, но и облик окружающего усадьбу пространства.

Историко-культурные исследования раскрыли историю эволюции усадьбы с момента ее основания графом А.Г.Разумовским, в них оценивается современное состояние и проблемы ее сегодняшнего функционирования. Опираясь на проведенные историко-архивные и библиографические исследования в совокупности с натурными обследованиями парка (с полной и н-

вентаризацией деревьев и обследованием дорожно-тропиночной сети) и существующих строений, разработаны схемы реконструкции формирования планировочной структуры по историческим этапам, разработан историко-архитектурный опорный план. Одним из значимых результатов историко-культурных исследований, стало предложение по корректировке существующего предмета охраны. В результате проведенных историко-культурных исследований наряду с уже принятым в 1967 году под охрану флигелем в усадьбе выявлены четыре объекта, обладающие признаками вновь выявленных объектов культурного наследия, и определена разновременная тропиночная сеть в голландской и английской части исторического парка. В мемориальный период все строения в усадьбе были деревянными, поэтому предлагаемые проектные решения следуют этому принципу;

Материалы историко-культурных исследований служат основанием возможности и необходимости восстановления тех или иных элементов различных исторических периодов. При этом предложения сводятся к решению триединой задачи:

- восстановлению планировки парка;
- восстановлению объемно-пространственной структуры насаждений;
- восстановление элементов композиции и малых форм.

В связи с тем, что западная часть регулярного парка претерпела со времени создания усадьбы до мемориального периода незначительные изменения (сводимые к постепенной утрате отдельных элементов, регулярного парка времен Разумовских), то настоящими предложениями предусмотрено восстановление планировочного рисунка этой территории на первый исторический период (Первый период (I), 1782-1836 годы – период строительства усадьбы при К.Г. Разумовском и далее владение усадьбой А.К Разумовским и Л.А., В.А. и А.А. Перовскими). Обоснованием служит следующее:

- Основу западной части регулярного парка в мемориальный период составлял парк времен Разумовских. Поэтому восстановление планировки парка на период его создания Разумовскими не противоречит мемориальному принципу;

- Восстановленный в результате исследований уникальный планировочный рисунок парка воплощенный в натуре будет иметь большое значение как объект садово-паркового искусства;

- Отреставрированная территория будет иметь большую эстетическую ценность, оживит, украсит и разнообразит усадебный парк;

- Воссоздание исторической части Голландского сада периода Разумовских представит большой интерес для гостей усадьбы и способствовать их погружению в историю создания усадьбы и жизни ее владельцев;

- Современное состояние территории исторической части ландшафтного (английского) парка в настоящее время позволяет осуществить предложения, реализуемые без каких-либо серьезных изменений, а только путем восстановления дорожно-тропиночной сети, вырубке малоценных деревьев северной части и посадок древесно-кустарниковой и цветочной растительности.

В соответствии с историко-архитектурным опорным планом, сохранена существующая двухосевая композиция усадьбы, а также условное разделение усадебного парка на регулярную и ландшафтную части. Композиционным центром усадебного парка остается главный усадебный дом, центральным ядром усадьбы – разъездной круг и южная партерная поляна.

Предложения по восстановлению дорожно-тропиночной сети разработаны в соответствии с результатами ландшафтно-исторического анализа территории, по данным инвентаризации деревьев и определения их породно-возрастного состава, по данным зондажей, по построению логических связей между зданиями.

Дорожно-тропиночная сеть восстанавливается и предьявляется по трем историческим периодам:

- I период – Разумовские и Перовские,
- II мемориальный период – А.К Толстой,
- III период – С.А. Толстой и Жемчужниковы.

Этот метод, обосновывается необходимостью предъявления суммы всех ценностей историко-культурного наследия. Реализованное решение станет навигацией для гостей усадьбы и покажет, как менялась усадьба в разные эпохи при разных владельцах. Выбранный подход будет способствовать создаваемому музею-заповеднику развивать музейную деятельность и реализовать исследовательскую и просветительскую функции.

Наиболее выразительной частью насаждений регулярного парка являются липовые аллеи времен основания усадьбы, поэтому предлагается их длительное сохранение, а в последствии после полного разрушения аллей, их необходимо восстановить единовременно. Предполагается проведение мероприятий по восстановлению утраченной пространственной структуры ландшафтного парка мемориального периода. Проектируемое сочетание открытых и закрытых пространств обеспечит необходимую смену впечатлений и оживит восприятие территории парка.

Важным композиционным элементом центральной части парка остается северный портал, на который выводит главная въездная аллея. Аллея переходит в площадку, расположенную перед северным входом в главный дом. На ней устроена круглая клумба и установлены садовые диваны. Аналогичную площадку предлагается устроить у южного входа в главный дом.

В композиционном решении ландшафтного парка кроме восстановленной по периодам дорожной сети, охватывающей наиболее полно его территорию, существенным является создание живописных опушек и посадка декоративных групп кустарника. Тщательно подобранный по габитусу, времени цветения и осенней окраске листьев ассортимент древесно-кустарниковой растительности оживит пейзаж. Его доминантой будут старинные деревья периода Разумовских и А.К. Толстого.

В рамках воссоздания усадьбы Алексея Толстого, как музея-заповедника и подлинно памятника историко-культурного наследия, реализующего музейную, исследовательскую и просветительскую функции, предусматривается проведение восстановительных работ в два этапа, основанных на выявлении, сохранении и предъявлении суммы всех ценностей историко-культурного наследия. В мемориальный период все строения в усадьбе были деревянными, поэтому предлагаемые проектные решения следуют этому принципу.

Первый этап (до 2017 года) включает:

1. Демонтаж корпусов бывшего пансионата не имеющих историко-культурной ценности, построенных на территории усадьбы в нарушение принципа мемориальности и композиционного единства усадебного ансамбля. Вывод с территории музея-усадьбы захоронения советского периода. Перенос бюста А.К. Толстого с территории усадьбы на въездную площадку села Красный Рог.

2. Консервацию, реставрацию, сохранение и предъявление единственного мемориального объекта – Гостевой флигель.

3. Консервацию, реставрацию, сохранение и предъявление вновь выявленного объекта культурного наследия эпохи Разумовских – Погреб.

4. Реставрационно-восстановительные работы на вновь выявленных объектах культурного наследия эпохи Толстого:

- Флигель С.А. Толстой (бывшая людская);
- Дворовый флигель;
- Прачечная.

5. Комплекс санитарно-оздоровительных мероприятий по результатам выполненной полной инвентаризацией зеленых насаждений.

6. Реставрационную ландшафтную рубку по формированию насаждений и полей на территории ландшафтного парка.

7. Реставрацию деталей рельефа – валов и канав. Реконструкцию усадебного пруда и восстановление дренажной системы парка выполняющих мелиоративные функции.

8. Восстановление и предъявление дорожно-тропиночной сети, лотков, площадок, по трем историческим периодам (I период – Разумовские и Перовские, II мемориальный период – А.К Толстой, III период – С.А. Толстой и Жемчужниковы).

9. Устройство в неисторической части усадьбы детской игровой площадки, по мотивам сказки Антония Погорельского (А.А Перовского) «Черная курица или подземные жители». Площадка необходима для рекреационных и просветительских целей.

10. Реставрационные посадки деревьев и кустарников. Восстановление цветочных насаждений и реставрацию газонов. Восстановление фруктового сада.

11. Ремонт избы урядника – Сторожка (воссозданный объект).

12. Реконструкцию амбулатории бывшего пансионата и приспособление ее под административные нужды создаваемого музея-заповедника.

13. Разработку программы по охране окружающей среды, в том числе зеленых насаждений, почв и животного мира.

14. Разработку технологической карты по организации паркового хозяйства.

Второй этап (после 2017 года) включает:

1. Снос или реконструкцию главного усадебного дома, воссозданного в 1993 году из кирпича по проекту В.Н. Городкова, с нарушением принципа мемориальности и композиционного единства усадебного ансамбля. Воссоздание деревянного главного дома, отвечающего принципу композиционного единства усадебного ансамбля, таким каким он был при А.К. Толстом.

2. Воссоздание утраченных построек, предъявленных на межевом плане 1869 и 1878 года:

- Флигель «графская кухня»;
- Флигель управляющего;
- Конюшня;
- Господская баня.

3. Воссоздание утраченных построек хозяйственного двора не предъявленных на межевом плане 1869 и 1878 года:

- Ледник;
- Птичник;
- Садовницкая;
- Дом кузнеца и кузница;
- Колодец;
- Мельницы.

В концепции, уделяется особое внимание правовому обоснованию и порядку создания на территории усадьбы А.К. Толстого музея-заповедника, в рамках реализации государственной стратегии формирования системы достопримечательных мест, историко-культурных заповедников и музеев-заповедников в Российской Федерации. В связи с этим предложен новый сценарий современного использования будущего музея-заповедника. В отреставрированных и восстановленных усадебных постройках предлагается разместить новые музейные экспозиции, раскрывающие богатство культурного наследия усадьбы.

Комплексное исследование показало, что в сложившихся сегодня социально-экономических и культурных реалиях, воссоздаваемый федеральный памятник «Усадьба А.К. Толстого» и село Красный Рог, связанные территориально и исторически неразрывной тканью, оказались оторванными друг от друга и утратили все свои связи. Протекающая в них жизнь подчинена разным целям и задачам. По сути объект культурного наследия «выключен» из общественного и культурного пространства сельского поселения и не оказывает на него никакого влияния. При этом, зоны охраны, зоны регулирования застройки и хозяйственной деятельности, зоны охраны природного ландшафта объекта культурного наследия охватывают практически всю территорию села.

Опрос жителей, проживающих в окрестностях усадьбы, показал, что многие из них ни разу не были в усадьбе, хотя в ней с 1967 года функционирует мемориальный музей, открытый в единственно уцелевшем деревянном флигеле. Население, прежде всего, озабочено ухудшающейся демографической ситуацией, отсутствием рабочих мест и попросту стремится выжить в сложившихся условиях. Потеря взаимосвязей в повседневной жизнедеятельности,

деградировавшая среда сельского поселения и социально-экономическая нестабильность вызвала безразличное отношение местного населения к собственному культурному наследию.

Население, прежде всего, озабочено демографической ситуацией, отсутствием рабочих мест, попросту выживанием. Потеря взаимосвязей в повседневной жизнедеятельности, деградировавшая среда сельского поселения и существующая социально-экономическая обстановка вызвала безразличное отношение местного населения к собственному культурному наследию. Туристическая привлекательность даже идеально воссозданного в будущем объекта культурного наследия, имеющего в своем ближнем окружении вырождающееся и депрессивное во всех смыслах село, будет крайне низкой, а восприятие этого объекта малопривлекательным.

В данном случае, актуальная на сегодня проблема воссоздания объекта культурного наследия выходит за рамки общепринятых работ по охране историко-культурного наследия, переходя в назревшую проблему реализации первостепенной социально значимой задачи, нацеленной на формирование качественно новой среды жизнедеятельности, способной улучшить жизнь населения и формирования у него позитивного отношения к собственному наследию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблякимов, Э.И. Будущее российское села в строительстве и развитии современной инфраструктуры [Текст] // Строительство. – 2004. – №4.
2. Багиров, Р.Д. Планировка и застройка сельских населенных мест [Текст] // Архитектура СССР. – 1982. – №10.
3. Багиров, Р.Д. Региональные особенности планировки и застройки сел [Текст]. – М.: ЦНТИ, 1983.
4. Бадалов, Т.Г. Новые тенденции и перспективы развития сельского расселения РФ [Текст] / Т.Г. Бадалов, О.В. Шульгина // Жилищное строительство. – 1994. – №4.
5. Веденин, Ю.А. Государственная стратегия формирования системы достопримечательных мест, историко-культурных заповедников и музеев-заповедников в Российской Федерации [Текст] // Наследие и Современность. Информационный сборник. Вып 13. – М., 2006. – С. 4-10.
6. Веденин, Ю.А. Культурный ландшафт как объект наследия [Текст] / Ю.А. Веденин, М.Е. Кулешова. – М.: Институт наследия; СПб.: Дмитрий Буланин, 2004. – 620 с.

Р.В. Прокопшин

Московский архитектурный институт (государственная академия), г. Москва
Аспирант
E-mail: art.sobranie@mail.ru

R. PROKOPISHIN

THE REBIRTH OF THE ESTATE OF ALEXEI TOLSTOY IN KRASNY ROGVILLAGE

The article is sanctified to the revival and complex development of monument of federal value "Farmstead of A.K. Tolstoy" with pre-project program of social structure perfection of Krasnogorskiy colony which border the farmstead and upgrading its population life.

In pre-project suggestions of revival Farmsteads the objects of restoration reconstruction and building are strictly differentiated. Conception of recreation of farmstead objects and landscape park is grounded on the different temporal periods of her life and historical fate. The period of farmstead existence at the time of A.K. Tolstoy, whose name gave status of federal monument to the farmstead, is assumed as a basis of the pre-project suggestion. There is a point raised in the article concerning forming of united public space of cultural heritage object and its surrounding rural settlement vital co-activity.

The scenario plan of joint vital functions of object of cultural heritage and rural settlement is formed based on their necessities and aimed at forming qualitatively of new environment of vital functions able to improve life of population.

Keywords: estate of A. K. Tolstoy, historical and cultural reserve, socio-cultural and educational center, a monument of historical and cultural heritage, recreation, restoration

BIBLIOGRAPHY

1. Ablyakimov, E.I. Budushcheye rossiyskoye sela v stroitel'stve i razvitii sovremennoy infrastruktury [Tekst] // Stroitel'stvo. – 2004. - №4.
2. Bagirov, R.D. Planirovka i zastroyka sel'skikh naselennykh mest [Tekst] // Arkhitektura SSSR. – 1982. – №10.
3. Bagirov, R.D. Regional'nyye osobennosti planirovki i zastroyki sel [Tekst]. – M.: TSNTI, 1983.
4. Badalov, T.G. Novyye tendentsii i perspektivy razvitiya sel'skogo rasseleniya RF [Tekst] / T.G. Badalov, O.V. Shul'gina // Zhilishchnoye stroitel'stvo. –1994. –№4.
5. Vedenin, YU.A. Gosudarstvennaya strategiya formirovaniya sistemy dostoprimechatel'nykh mest, isto-riko-kul'turnykh zapovednikov i muzeyev-zapovednikov v Rossiyskoy Federatsii [Tekst] // Naslediye i Sovremen-nost'. Informatsionnyy sbornik. Vyp 13. – M., 2006. – S. 4-10.
6. Vedenin, YU.A. Kul'turnyy landshaft kak ob"yekt naslediya [Tekst] / YU.A. Vedenin, M.Ye. Kuleshova. – M.: Institut naslediya; SPb.: Dmitriy Bulanin, 2004. – 620 s.

R. Prokopishin

Moscow institute of architecture (MIARCH), Moscow

Postgraduate student

E-mail: art.sobranie@mail.ru

ФИЛИПОВА Е.Р.

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МОНЖА В АРХИТЕКТУРЕ

В наше время для создания новых урбанистических городов необходимо все больше прибегать к применению пространственных конструкций разнообразных форм, дающих выразительные архитектурные образы и решающих важные функциональные задачи. Статья посвящена резным поверхностям Монжа, особое внимание уделено резной поверхности Монжа с круговой цилиндрической направляющей поверхностью. Были рассмотрены возможности применения данной поверхности в архитектуре, ее формообразование, описана геометрия поверхности, представлены наглядные иллюстрации резных оболочек Монжа, оглашены плюсы использования данной оболочки в строительстве и архитектуре.

Ключевые слова: пространственные конструкции, резная поверхность Монжа, тонкостенная оболочка.

В наше время для движения вперед и создания новых урбанистических городов проектировщикам необходимо все больше прибегать к направлениям в строительстве, которые позволяют применять все более выразительные архитектурные образы, снижать расход материалов, трудоёмкость изготовления и монтажа конструкций, а так же решать важные функциональные задачи. В связи с этим эффективность использования пространственных конструкций является бесспорной. Но не стоит останавливаться лишь на архитектурной выразительности покрытий сложной геометрии, ведь стоит отметить, что они позволяют получать надежные конструкции, обладающие большой жесткостью, устойчивостью и прочностью при относительно малом расходе материала. Меняя различные геометрические параметры покрытия, можно в широких пределах варьировать полями перемещений и напряжений конструкции. Следовательно, исследование тонких оболочек неканонических форм актуально и может иметь практический выход.

Уже в наше время конструкции типа оболочек имеют практический выход в самых разнообразных отраслях промышленности (судостроение, авиастроение, автостроение и т.д.), в строительстве и архитектуре.

Применение конструкций типа оболочек в глобальных масштабах является возможным благодаря хорошо изученной геометрии, а так же имеющимся аналитическим и особенно численным методам расчета. Однако большинство применяемых оболочек, которые мы видим в настоящее время, относятся к весьма ограниченному числу поверхностей: круговых цилиндрических, конических, сферических и некоторых других традиционных форм, которые далеко не полностью описывают все геометрические формы, предложенные геометрами для внедрения [1]. Например, даже в Москве нашли применение только 16 наименований поверхностей [2].

Одним из направлений строительной механики тонких оболочек, в наше время, является детальное изучение геометрии и разработка методов расчета оболочек неканонических форм, исследование влияния формы оболочки на ее прочностные свойства [3]. Поэтому хочется обратиться к менее изученным поверхностям, которые ничуть не уступают по своей архитектурной выразительности каноническим поверхностям.

Большие возможности в создании ярких архитектурных образов предоставляют резные линейчатые поверхности Монжа. Оболочки, на основе резных линейчатых поверхностей Монжа достаточно технологичны и позволяют существенно упростить производственный процесс благодаря способности их срединных поверхностей разворачиваться на плоскость без складок и разрывов.

Рассматривая ту или иную оболочку необходимо огласить несколько тем исследований, а именно: ее формообразование, геометрические характеристики, ее архитектурную особенность, возможность применения ее в современном строительстве, а также методы прочностного расчета.

Говоря о формообразовании, необходимо обратиться к основным методам построения данной поверхности, а так же к математическому описанию данной поверхности.

Резными называются поверхности, у которых плоскости одного семейства плоских линий кривизны ортогональны поверхности. Семейство плоских линий кривизны резной поверхности геодезическое, следовательно, нормали этих линий совпадают с нормальными векторами поверхности. Таким образом, резную поверхность можно охарактеризовать как поверхность с геодезическим семейством линий кривизны.

Гаспар Монж дал определение резных поверхностей, как поверхностей образуемых движением плоской кривой, лежащей в плоскости, катящейся без скольжения по некоторой цилиндрической поверхности (рис. 1). Эта поверхность будет фрагментом геликоида, отсекаемым двумя параллельными плоскостями, перпендикулярными оси геликоида.

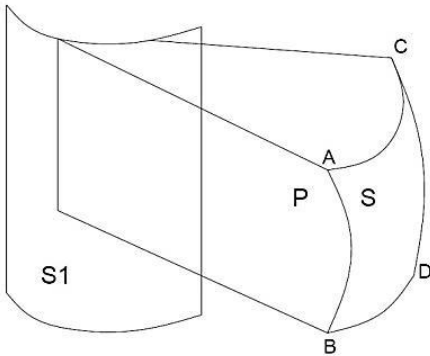


Рисунок 1 - Способ образования резной поверхности Монжа

Рассматривая геометрию поверхности, необходимо начать с задания уравнений поверхности. Векторное уравнение резной поверхности выглядит следующим образом:

$$\rho(u, v) = r(u) + R(v) \cdot e(u, v),$$

где $\rho(u, v)$ - радиус-вектор поверхности; $r(u)$ - радиус-вектор направляющей кривой; $R(v)$ - уравнение образующей кривой в полярной системе координат; $e(u, v) = e_0(u)\cos v + g_0(u)\sin v$ - уравнение окружности единичного радиуса в нормальной плоскости направляющей кривой; $e_0(u), g_0(u)$ - единичные начальные вектора в нормальной плоскости направляющей кривой.

Векторная форма частного случая задания резной линейчатой поверхности Монжа может быть представлена в виде (1) (рис. 2):

$$r(\alpha, \beta) = a \cdot e + (\alpha_0 - \alpha + \beta \cdot \cos(\theta)) \cdot g + \beta \cdot \sin(\theta) \cdot k \quad (1)$$

где e, g - векторные круговые функции; $\rho = a \cdot e + (\alpha_0 - \alpha) \cdot g$ - уравнение параллели, которая представляет собой эвольвенту окружности радиусом $r = a$; α - натуральный параметр; $\beta = |\lambda|$ - бинормаль направляющей, θ - угол между векторами g и λ ; α_0 - первоначальная точка разворачивания поверхности, $\lambda = \beta \cdot \cos(\theta) \cdot g + \beta \cdot \sin(\theta) \cdot k$ - уравнение меридиана в произвольном положении.

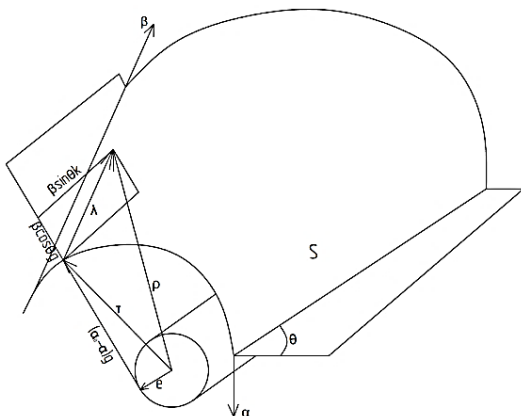


Рисунок 2 - Задание линейчатой резной поверхности Монжа

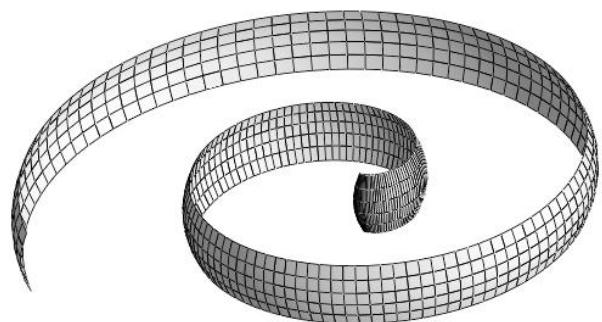


Рисунок 3 - Резная поверхность Монжа с цилиндрической направляющей поверхностью и параболическим меридианом

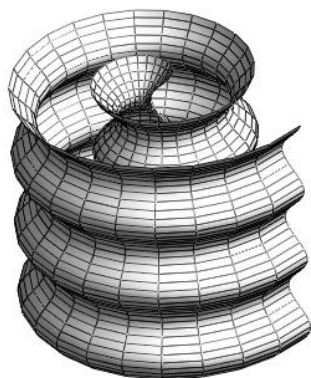


Рисунок 4 - Резная поверхность Монжа с цилиндрической направляющей поверхностью и синусоидой в качестве меридиана

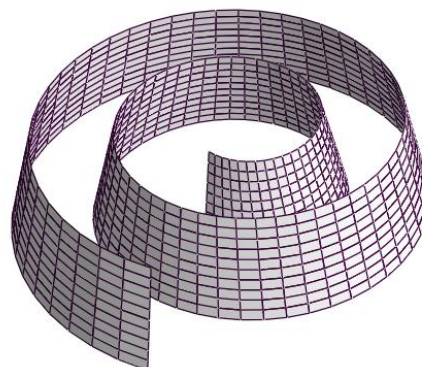


Рисунок 5 - Резная линейчатая поверхность Монжа с круговой цилиндрической направляющей поверхностью

В зависимости от изменения различных параметров, к примеру, формы образующей, или направляющей будет меняться и внешний облик поверхности (рис. 3 - 5).

Рассмотрим подробнее одну из поверхностей, а именно, резную линейчатую поверхность Монжа с круговой цилиндрической направляющей поверхностью (рис. 5).

Формулы (1) дают возможность получить параметрические уравнения рассматриваемой поверхности в виде:

$$\begin{aligned} X &= a \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) + \alpha_0 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) - \alpha \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) + \cos(\theta) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) \cdot \beta, \\ Y &= -a \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{a}\right) + \alpha_0 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) - \alpha \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) + \cos(\theta) \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{a}\right) \cdot \beta, \\ Z &= \sin(\theta) \cdot \beta. \end{aligned}$$

Криволинейная координата α совпадает с параллелями поверхности, а β -линии – ее прямолинейные образующие. Тогда коэффициенты основных квадратичных форм поверхности и главные кривизны определяются по формулам:

$$A = \frac{(\alpha_0 - \alpha + \beta \cdot \cos(\theta))}{a} = C_0 + C_1 \cdot \alpha + C_2 \cdot \beta,$$

$$B = 1,$$

$$L = \frac{-A \cdot \sin(\theta)}{a},$$

$$F = M = N = 0,$$

$$k_1 = \frac{\sin(\theta)}{a \cdot A}, k_2 = 0.$$

$$\text{где } C_0 = \frac{\alpha_0}{a}; C_1 = -\frac{1}{a}; C_2 = \frac{\cos(\theta)}{a}.$$

Говоря об актуальности применения резной линейчатой оболочки Монжа, нельзя не обратиться к архитектурной стороне вопроса. Данную поверхность можно полностью задействовать именно в решении самых актуальных тенденций и вопросах проектирования на сегодняшний день [4]. Первое, оболочка, как эстетическая форма, является ярким примером современной архитектуры на сегодняшний день, своими плавными и гибкими формами, она отражает сегодняшние мировые тенденции. Второе, это, эффективность с экономической точки зрения, так как оболочка является целостной конструкцией и работает едино, то не требуется устраивать массивные несущие стены. И, наконец, третье, это способность охватить большие площади, а так же отсутствие дополнительных стоек перерезающих пространство.

Если говорить о практическом применении данной оболочки, то нельзя не отметить возможность использования ее как самостоятельной несущей конструкции (выставочные залы, места для проведения мероприятий с большим потоком людей и прочее), а так же и как дополнительной формы для создания целостного образа здания (козырьки, архитектурные детали и прочее).

До настоящего времени этот тип оболочек, применительно к строительству и архитектуре находится на начальном этапе исследования его архитектурной выразительности, применимости его к реальным сооружениям. Напряженно- деформированное состояние оболочек со срединной поверхностью в форме резной линейчатой поверхностью Монжа изучалось только в работе [5], но это исследование не было доведено до числового результата. Автором статьи был проведен численный расчет данной оболочки (рис. 5) методом конечных элементов на действие собственного веса, действующего в направлении неподвижной вертикальной оси Z , а также на равномерно распределенную линейную нагрузку, действующую в направлении прямых образующих (линии β). Получены изополя внутренних усилий, моментов и перемещений. Результаты расчетов будут представлены в дальнейших публикациях автора после подтверждения этих результатов вариационно-разностным методом.

Заключение

Рассматривая оболочку в форме резной линейчатой Монжа с архитектурной точки зрения нельзя не отметить ее следующие достоинства:

- 1) архитектурная выразительность,
- 2) надежная конструкция, обладающая большой жесткостью и прочностью,
- 3) относительно малый расход материала (не требуется массивных несущих стен),
- 4) технологичность ее возведения, что позволяет осуществлять процесс строительства непосредственно на строительной площадке,
- 5) возможность рационального использования пространства,
- 6) присутствие плавных линий приятных для восприятия глазом,
- 7) возможность задействовать оболочку для зданий различного назначения.

В заключении следует отметить, что рассмотренная нами поверхность, может органично вписаться в будущую застройку города, и дает поле для мысли и фантазии проектировщикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошапко, С.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей [Текст]: Монография / С.Н. Кривошапко, В.Н. Иванов. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 556 с.
2. Мамиева, И.А. Параметрическая архитектура в Москве [Текст] / И.А. Мамиева, А.Д. Разин // Архитектура и строительство России. – М.: 2014. - № 6. – С. 24-29.
3. Иванов, В.Н. Аналитические методы расчета оболочек неканонической формы [Текст]: Монография / С.Н. Кривошапко, В.Н. Иванов. – М.: Изд-во РУДН, 2010. – 542 с.
4. Филипова, Е.Р. К вопросу о геометрии резных оболочек Монжа [Текст] / Е.Р. Филипова // Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций: Сб. трудов – М.: Изд-во РУДН, 2014. – С. 132-135.
5. Юханию Маруланда Арбелаес. Расчет оболочек в форме резных поверхностей Монжа [Текст] / Юханию Маруланда Арбелаес. - Дисс. канд техн. наук. - М.: УДН, 1970. – 154 с.

Е.Р. Филипова

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Аспирант

E-mail: zenjuuu@gmail.com

J. FILIPOVA

ABOUT MONGE SURFACE USAGE RELEVANCE IN THE ARCHITECTURE

At present time, it is necessary to use much more spatial structures of various shapes to create new urban cities giving expressive architectural images and solving functional problems. The article deals with carved Monge shells with special focus on carved Monge shells with circular-cylindrical guide surface. The possibility of usage of carved Monge shells in architecture and its form-making is examined. As well as the geometry of the surface described, informative illustrations of carved Monge shells presented and the advantages of using this shell in construction and architecture are announced.

Keywords: space structures, carved Monge surface, thin-walled shell.

BIBLIOGRAPHY

1. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Enciklopedija analiticheskikh poverchnostej [Tekst]: Monografija / S.N. Krivoshapko, V.N. Ivanov. – M.: Librkom, 2009. – 556 s.
2. Mamieva I.A., Razin A.D. Parametricheskaja architectura v Moskve [Tekst] / I.A. Mamieva, D.A. Razin // Architectura i stitelstvo v Moskve. – M.: 2014. - № 6. – S. 24-29.
3. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Analiticheskie metodi rascheta obolochek nekanonicheskoi formi [Tekst]: Monografija / S.N. Krivoshapko, V.N. Ivanov. – M.: RUDN, 2010. – 542 s.
4. Filipova J. Voprosy geometrii reznix obolochek Monga [Tekst] / J. Filipova // Prochnostj, polzuchestj i razruschenie stroitel'nyx mashinotroitel'nyx materialov i konstrukcij: Sbornik trudov – M.: RUDN, 2014. – S. 132-135.
5. Juxanio Marulanda Arbelaes. Raschet obolochek v form reznix poverxnostej Monga [Tekst] / Juxanio Marulanda Arbelaes. - diss. kand tehn. nauk.: - M.: UDN, 1970. – 154 s.

J. Filipova

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

Postgraduate student

E-mail: zenjuu@gmail.com

УДК 691.327:666.1(075.8)

ЕРОФЕЕВ В.Т., СМИРНОВ В.Ф., БОГАТОВА С.Н.,
БОГАТОВ А.Д., КАЗНАЧЕЕВ С.В., РОДИН А.И.

БИОСТОЙКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛА

В работе приведены результаты исследований свойств безавтоклавных строительных материалов на основе отходов стекла. Получены количественные зависимости изменения прочности, плотности. Теоретически и экспериментально доказано, что композиты на основе вяжущего из боя стекла обладают повышенной устойчивостью в биологически агрессивных средах. Установлены потенциальные биодеструкторы способные к заселению на поверхностях рассматриваемых материалов при их эксплуатации в воздушно-сухих условиях.

***Ключевые слова:** бой стекла, прочность, цемент, эпоксидная смола, жидкое стекло, микроорганизмы, биологическое сопротивление.*

Прогрессирующая индустриализация производства приводит к таким изменениям биосферы, которые всему живому, в большинстве своем, противопоказаны. В связи с этим все большую актуальность приобретает проблема снижения неблагоприятного воздействия человека на естественную среду его обитания.

В настоящее время проблеме утилизации отходов производств в нашей стране не уделяется достаточного внимания. Ежегодно промышленные предприятия сбрасывают в отвалы сотни тонн отходов, загрязняющих окружающую среду и негативно влияющих на экологическую обстановку в целом. Учитывая тот факт, что отношение к процессу их утилизации не имеет тенденции к изменению в лучшую сторону, можно предположить, что со временем эта проблема будет приобретать все большую актуальность. Поэтому уже сейчас необходимо обратить на это пристальное внимание и постараться привлечь к решению столь важной задачи максимальное количество хозяйственных отраслей.

Одним из основных препятствий на пути к решению вышеобозначенной проблемы является отсутствие достаточного количества реальных проектов, заключающихся в разработке технологических решений, позволяющих обеспечить повторное использование промышленных отходов при получении продукции различного назначения.

Специалистами Мордовского государственного университета на протяжении более чем 15 лет проводятся исследования с целью разработки технологии утилизации боя стекла за счет индустрии строительных материалов [1-4].

Теоретическими предпосылками получения строительных материалов на основе промышленного боя стекла для нас послужили работы Ю.П. Горлова, А.П. Меркина и их учеников [5, 6]. Ими было установлено, что твердение систем состоящих из природных или искусственных стекол основывается на реакции взаимодействия между кремнеземом и водными растворами щелочей в результате чего синтезируются соединения, приближающиеся по своему химическому составу к осадочным и метаморфическим породам типа натролита, морденита и т. д. Однако этот процесс протекает повышенных температурах и давлениях. Нами установлено, что образование соединений подобных вышеназванным может осуществляться без применения автоклавной обработки. Это достигается в том случае, если в систему дополнительно вводить корректирующие добавки. Было выявлено, что в качестве таковых пригодны местные глины, а также отходы производства заводов строительной индустрии, специализирующихся на выпуске керамических материалов и изделий.

Преимущество технологии получения строительных композитов на основе безавтоматического связующего из боя стекла заключается в том, что при подготовке сырьевых материалов, используемых в качестве компонентов связующего и являющихся большей частью отходами производства, отсутствует необходимость проведения энергоемких операций за исключением отделения металлических включений и совместного помола боя стекла и активной минеральной добавки до удельной поверхности 3000-3500 см²/г. Процесс получения растворов и бетонов на основе связующего из боя стекла может быть осуществлен на технологических линиях предприятий индустрии строительных материалов, специализирующихся на выпуске изделий из портландцемента.

Анализ особенностей гидратации и структурообразования стеклощелочных систем, изученных с помощью современных физических методов, свидетельствует о значительной интенсификации физико-химических процессов твердения при термовлажностной обработке по сравнению с твердением в нормальных условиях.

Процесс образования цементирующих веществ натриево-калиевых силикатных стекол принципиально отличается от твердения молотого кварца с жидким стеклом при изготовлении кислотоупорных вяжущих и бетонов, от твердения шлакощелочных вяжущих на жидком стекле, щелочи и соде.

Во-первых, в отличие от кварцевого песка щелочные стекла подвержены выщелачиванию водой силикатов щелочных металлов. Взаимодействуют с водой даже силикаты тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn). Они также гидролизуются, но нерастворимые продукты гидролиза, отлагаются в местах своего образования. При температурах выше 60 °С вода начинает переводить в раствор также и кремнезем. При ограниченном объеме воды продукты взаимодействия остаются на местах своего образования, концентрация их с течением времени нарастает, и это вызывает вторичные реакции между компонентами стекла и продуктами его разрушения. По своему механизму и результатам происходящие реакции приближаются к действию щелочей на стекла.

Разрушение стекол растворами щелочей является следствием превращения кремнезема стекла при их воздействии в стабильные анионы Si₂O₅²⁻, SiO₄⁴⁻ и SiO₃²⁻. Находящиеся в стекле катионы Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Ba²⁺ и другие образуют гидроокиси или соединения типа алюминатов при наличии аниона AlO₃³⁻ или Al(OH)₂⁺, цинкаты, при наличии ZnO²⁺. Помимо указанных процессов в растворах гидроокисей щелочноземельных металлов Ca, Mg, Ba образуются стойкие в щелочах гидросиликаты. Образование последних, можно полагать характерно для стекла ламп накаливания, с повышенным содержанием CaO (5–6 %), MgO (3,2–3,8 %) и BaO (2,2–5,5). Гидросиликаты также образуются при воздействии щелочи на молотое тарное стекло, в котором CaO – 5,2 %, MgO – 3,2 %. Гидросиликаты кальция практически отсутствуют в гидролизованном хрустальном стекле из-за отсутствия MgO, BaO и очень малом содержании CaO (1 %).

Важно то, что по интенсивности воздействия различные гидроокиси при одинаковой нормальности растворов располагаются в следующей последовательности NaOH > KOH > LiOH, NH₄OH. Увеличение концентрации щелочи от 0,5 н до 10 н (20–400 г/л) сказывается на разрушении поверхности стекла следующим образом:

- толщина стравливаемого слоя в стеклах, богатых кремнеземом (тарное, ламповое) возрастает пропорционально логарифму концентрации;
- разрушение стекол, содержащих Ca, Ba, Sr не зависит от концентрации;
- разрушение стекол, содержащих Pb, Mg сначала увеличивается, проходит через максимум при 6–7 н концентрации, а затем начинает уменьшаться.

Концентрация 6–7 н соответствует 160–200 г NaOH в 1 л воды затворения.

В связи с этим, наиболее оптимальной концентрацией NaOH будет его количество 6 % от массы молотого стекла при В/Т отношении равном 0,4.

Рассмотренное воздействие NaOH относится к разрушению стекол с поверхности. Вероятно, скорость воздействия NaOH на мельчайшие частицы молотого стекла будет несравненно выше.

Превращение тонкодисперсного порошка связующего на основе боя стекла в камневидное тело происходит в результате взаимодействия компонентов, входящих в его состав, с водными растворами щелочей. Для уточнения механизма твердения подобного связующего

На рентгенограмме, отражающей фазовый состав минеральной добавки, входящей в связующее, наблюдается ряд дифракционных отражений, относящихся к кристаллическим фазам кварца ($d = 0,424; 0,228$ нм), полевого шпата ($d = 0,652; 0,424; 0,356; 0,346; 0,326; 0,322; 0,299$ нм) и монтмориллонита ($d = 0,242; 0,168; 0,150$ нм).

На дифрактограммах отвержденных образцов связующего фиксируются линии кристаллических новообразований с $d = 0,707; 0,404; 0,318; 0,268$ нм, соответствующие цеолиту ($\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30} \times 9\text{H}_2\text{O}$) и щелочным алюмосиликатам типа альбита $-\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ($d = 0,374; 0,321; 0,292$ нм), а также ряд дифракционных отражений относящихся к кристаллическим фазам SiO_2 , в форме низкотемпературных модификаций кварца ($d = 0,424; 0,334; 0,228$ нм).

Были проведены исследования зависимости прочности от количественного содержания в композиции водного раствора едкого натра и минеральной добавки, а также типа последней. Установлено, что лучшими свойствами обладают те составы, в которых в качестве минерального компонента используется тонкоизмельченный порошок керамзита.

На основе разработанных связующих получены составы растворов и бетонов и изучены их физико-технические свойства. Основные характеристики материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-технические показатели строительных материалов на основе стеклощелочного связующего

Показатель	Строительный раствор	Тяжелый бетон	Легкий бетон	Ячеистый бетон	Бетон с заполнителями из микросфер
Прочность при сжатии, МПа	18	25	16	0,5-0,9	20
Средняя плотность, кг/м ³	2000	2400	1400	500	650
Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	–	–	0,43	0,13	0,19
Модуль упругости, МПа	6000	9750	4600	400	6500
Коэффициент температурного расширения	$0,897 \times 10^{-5}$	$1,558 \times 10^{-5}$	$0,427 \times 10^{-5}$	–	–
Линейная усадка, %	0,13	0,12	0,24	–	–
Водопоглощение за 24 ч, % по массе	0,3-0,6	0,2-0,3	1,5-4,5	30-50	0,2

Одной из отличительных особенностей новых материалов является то, что для их наполнения могут быть использованы пески с глинистыми примесями. При твердении растворов и бетонов на таких песках в условиях повышенной щелочности жидкой фазы происходит гидратация глинистых минералов, в результате чего образуются щелочные гидроалюмосиликаты, способствующие уплотнению их структуры. Так, на основании экспериментальных исследований установлено, что при использовании для приготовления строительного раствора песка с содержанием глины 7 % его прочность после термовлажностной обработки оказалась на 18 % выше, чем у аналогичного состава, заполнителем в котором являлся чистый кварцевый песок.

Таким образом, применение вяжущего на основе стеклобоя позволяет использовать для получения бетонов пески с высоким содержанием глинистых включений, которые для цементных бетонов не рекомендуются. Следует отметить, что запасы таких песков в России достаточно велики, тогда как во многих регионах проводятся дорогостоящие операции по обогащению местных песков.

В последние годы отмечается рост разнообразия и численности микроорганизмов, вызывающих биопоражение материалов и сооружений. Возросла агрессивность известных видов. Внедрение новых материалов в строительство лишь на первых порах способствует ограничению это-

го вида разрушения. Подсчитано, что ущерб, причиняемый объектам в результате биоповреждений, составляет многие десятки миллиардов долларов [7, 8]. Процессы биоразрушений прогрессируют с каждым годом. Выборочное обследование зданий и сооружений в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Владивостоке, Якутске, Саранске и в других городах показало, что большее их число поражено микроорганизмами многих видов [7, 8].

Данные литературы свидетельствуют, что более 40 % общего объема биоразрушений связано с деятельностью микроорганизмов – бактерий и грибов. Бактерии развиваются при обильном содержании влаги в материалах, например, при соприкосновении их с жидкостью (градирни, резервуары, трубопроводы, коллекторы и т. д.). При отсутствии капельно-жидкой среды развитие бактерий подавляется, и они уступают место грибам, которые также развиваются при влажности выше 75 %. Оптимум влажности для них 95–98 %. В то же время известно, что грибы и споры многих бактерий сохраняют жизнеспособность и в высушенном состоянии. Известно несколько сотен видов грибов, способных вызывать повреждения различных промышленных и строительных материалов. При этом опыт эксплуатации материалов конструкций, зданий и сооружений показывает, что из микроорганизмов наибольшее повреждающее воздействие оказывают мицелиальные грибы, по сравнению с бактериями и актиномицетами. Доминирующие в процессах биоразрушений виды мицелиальных грибов, относящиеся к классу гифомицетов, следующие: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus terreus*, *Penicillium cyclopium*, *Penicillium funiculosum*, *Penicillium chrysogenum*, *Paecilomyces varioti*, *Chaetomium globosum*, *Trichoderma viride* [6]. В умеренном климате грибы вызывают повреждения промышленных материалов во время их изготовления, когда производство сопряжено с высокой температурой и влажностью, а также при нарушении условий хранения и эксплуатации, транспортировке. В тропическом и субтропическом климате развитие грибов происходит более интенсивно, а, следовательно, ущерб, причиняемый грибами, значительнее.

Мицелиальные грибы повреждают практически все природные и многие синтетические материалы, а также стальные и железобетонные конструкции.

Развитие и жизнедеятельность микроорганизмов тесно связаны с условиями среды, в которой они обитают. Внешняя среда может стимулировать или подавлять рост биодеструкторов. Разрушения материалов грибами зависят от их состава. В первую очередь повреждаются материалы, содержащие питательные вещества для грибов.

Органические соединения, которые служат источниками питания для грибов, входят в состав многих строительных и промышленных материалов, что и является причиной их заселения грибами. Кроме того, источником органических веществ могут служить различного рода загрязнения, попадающие на материалы, которые по своему химическому составу не могут служить источниками энергии и углерода (металлы, полимеры и др.).

В таблице 2 приведены полученные нами результаты исследований, показывающие сравнительные данные биологической стойкости различных видов вяжущих.

Таблица 2 – Биостойкость вяжущих после набора прочности

Материал	Метод 1	Метод 3	Результат
Стеклощелочное вяжущее	0	0 (R* = 45 мм)	фунгициден
Портландцементный камень	0	3	грибостоек
Гипсовый камень	4	5	негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	2	5	грибостоек
Строительные растворы на основе жидкого стекла	0	0 (R= 8 мм)	фунгициден

*R – радиус зоны ингибирования роста грибов

Результаты свидетельствуют о том, что только образцы стеклощелочного вяжущего и строительного раствора на основе жидкого стекла обладают фунгицидными свойствами. Высокая биостойкость вяжущего на основе боя стекла видимо объясняется повышенным уровнем водородного показателя системы. У композитов на основе жидкого стекла такой же эффект

объясняется тем, что в качестве отвердителя используется кремнефтористый натрий (20 мас. ч. на 100 мас. ч. жидкого стекла), который, как известно, обладает хорошим фунгицидным действием.

Далее была исследована биостойкость образцов материалов приведенных в таблице 2 после выдерживания их в воздушно-сухих условиях в течение трех и девяти месяцев (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты исследования биостойкости вяжущих

Состава	Метод 1	Метод 3	Результат
<i>после выдерживания в течение 3 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>			
Стеклощелочное вяжущее	0	0 (R=15 мм)	фунгициден
Портландцементный камень	0	3	грибостоек
Гипсовый камень	4	5	негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	2	5	грибостоек
Строительные растворы на основе жидкого стекла	0	0 (R=15 мм)	фунгициден
<i>после выдерживания в течение 9 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>			
Стеклощелочное вяжущее	0	0	фунгициден
Портландцементный камень	2	4	грибостоек
Гипсовый камень	5	5	негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	4	5	негрибостоек
Строительные растворы на основе жидкого стекла	0	0	фунгициден
<i>после выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>			
Стеклощелочное вяжущее	0	2	грибостоек
Портландцементный камень	0	4	грибостоек
Гипсовый камень	4	5	негрибостоек
Отвержденная эпоксидная смола	4	5	негрибостоек
Строительные растворы на основе жидкого стекла	0	0	фунгициден

Полученные в ходе эксперимента результаты свидетельствуют о том, что происходит снижение биологической стойкости материалов. Образцы стеклощелочного вяжущего и строительного раствора на основе жидкого стекла сохраняют фунгицидность, однако с течением времени радиус зоны ингибирования роста грибов снижается до нуля (при испытаниях на фунгицидность зона вокруг образцов постепенно обрастает). Что же касается образцов портландцементного камня, то они остаются грибостойкими. Образцы отвержденной эпоксидной смолы после выдерживания в течение 9 месяцев в воздушно-сухих условиях становятся негрибостойкими.

С целью выявления потенциальных биодеструкторов вяжущих органического и неорганического происхождения после выдерживания в воздушно-сухих условиях были проведены исследования по определению видового состава микроорганизмов, заселяющих их. Задачей исследований являлось установление количества родов грибов из присутствующих в воздухе помещения, способных использовать вяжущие вещества в качестве источника питания, а также определение конкретных видов – представителей данного рода.

В процессе выполнения работы установлены роды и виды грибов, поселившихся на образцах материалов за время пребывания в воздушно-сухих условиях в течение трех, девяти и двенадцати месяцев после набора марочной прочности. Видовой состав грибов приведен в таблице 4.

После выдерживания образцов в течение 3 месяцев на портландцементном камне обнаружен 1 род гриба – *Aspergillusustus*. На образцах гипсового камня – 5 родов грибов (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Verticillium*) способных расти на их поверхности. На образцах отвержденной эпоксидной смолы обнаружено 3 рода грибов (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*). Что касается количества грибов, которые были обнаружены на поверхностях исследуемых составов после выдерживания в воздушно-сухих условиях в течение 9 месяцев, то оно во всех случаях увеличилось.

На стеклощелочном вяжущем и образцах строительного раствора на основе жидкого стекла при выдерживании в нормальных условиях в течение 3 месяцев колонии грибов не обнаружены. После 9 месяцев колонии грибов хотя и обнаружены, но их мало, развиваются они медленно и находятся в угнетенном состоянии. На данных составах грибы выросли на отпечатках с образцов и на среде рядом с образцами.

После 12 месяцев выдерживания общее количество видов грибов, обнаруженных на поверхностях исследуемых образцов увеличилось. Следует отметить, что на поверхностях всех составов (кроме образцов строительного раствора на основе жидкого стекла) обнаружены несколько одинаковых видов грибов: *Aspergillusniger*, *Aspergillusustus*, *Cladosporiumelatum*.

Таблица 4 – Видовой состав колоний грибов, заселяющих вяжущие

Наименование материала	Виды грибов	Общее количество видов грибов / количество родов
<i>после выдерживания в течение 3 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>		
Стеклощелочное вяжущее	Грибов нет	0
Портландцементный камень	<i>Aspergillusustus</i>	1/1
Гипсовый камень	<i>Aspergillus ustus</i> , <i>Penicillium nigricans</i> , <i>Mucor corticola</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Verticillium nigrescens</i>	5/5
Отвержденная эпоксидная смола	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Penicillium nigricans</i> , <i>Mucor corticola</i>	4/3
Строительные растворы на основе жидкого стекла	Грибов нет	0
<i>после выдерживания в течение 9 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>		
Стеклощелочное вяжущее	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium cyclopium</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Penicillium lanoso-griseum</i> , <i>Alternaria dianthi</i> , <i>Chaetomium globosum</i>	7/4
Портландцементный камень	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Alternaria dianthi</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Penicillium lanosum</i> , <i>Penicillium urticae</i> , <i>Penicillium puberulum</i> , <i>Gliocladium roseum</i>	10/4

Продолжение таблицы 4

1	2	3
---	---	---

Гипсовый камень	<i>Aspergillus niger, Aspergillus oryzae, Aspergillus ustus, Aspergillus clavatus, Alternaria brassicae, Alternaria alternata, Cladosporium macrocarpum, Cladosporium elatum, Chaetomium globosum, Chaetomium dolichotrichum, Penicillium lanosum, Penicillium notatum, Penicillium nigricans</i>	13/5
Отвержденная эпоксидная смола	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Penicillium lanosum, Penicillium notatum, Penicillium palitans, Penicillium urticae, Penicillium puberulum, Cladosporium macrocarpum, Mucor corticola, Mucor circinelloides</i>	10/4
Строительные растворы на основе жидкого стекла	<i>Aspergillus niger</i> , три колонии бактерий	1/1
<i>после выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях</i>		
Стеклощелочное вяжущее	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Penicillium notatum, Penicillium claviforme, Penicillium cyclopium, Penicillium ochrochloron, Penicillium nigricans, Fusarium moniliforme, Cladosporium elatum</i>	9/4
Портландцементный камень	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Alternaria brassicae, Cladosporium elatum</i>	4/3
Гипсовый камень	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus clavatus, Aspergillus oryzae, Penicillium notatum, Cladosporium elatum, Fusarium sambucinum, Chaetomium dolichotrichum, Mucor corticola, Mucor circinelloides, Alternaria brassicae</i>	12/7
Отвержденная эпоксидная смола	<i>Aspergillus niger, Aspergillus ustus, Aspergillus fumigatus, Aspergillus ruber, Penicillium notatum, Alternaria brassicae, Alternaria pluriseptata, Fusarium moniliforme, Cladosporium elatum</i>	9/5
Строительные растворы на основе жидкого стекла	<i>Aspergillus ustus, Aspergillus versicolor, Aspergillus fumigatus, Alternaria dianthi</i>	4/2

Результаты проведенных экспериментов также подтвердили, что даже содержащиеся в воздухе помещений споры микроскопических грибов могут заселяться на поверхностях строительных материалов и изделий и использовать их, или имеющиеся на них загрязнения, в качестве питательного субстрата. Поселяясь на поверхности строительных материалов и конструкций, микроорганизмы наряду с разрушающим воздействием ухудшают экологическую ситуацию в зданиях и сооружениях (приводят к возникновению запаха плесени в помещениях и выделяют токсичные продукты, аллергены) [7-13]. Развиваясь на материалах, грибы выделяют массу спор и различных продуктов жизнедеятельности, которые способны вызывать ряд серьезных заболеваний человека [прежде всего, это микозы – поражения грибковой инфекцией (например, аспергиллез – заболевание, вызываемое грибами *Aspergillus*)], которые очень трудно диагностируются и еще труднее лечатся. Также известно, что 50 % заболеваний бронхиальной астмой связано именно с поражением микромицетами. Они же вызывают пенициллез, часто сопровождающийся воспалением суставов и костей. Поэтому рост колоний грибов наносит вред не только строительным и промышленным материалам, но и людям, которые находятся с ними в контакте. Это еще раз подтверждает наличие необходимости избирательного подхода при выборе строительных материалов в зависимости от конкретных условий эксплуа-

тации и проведения профилактических мероприятий, предотвращающих или сводящих к минимуму вероятность заселения на них микроскопических организмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2164504 Российская Федерация, 7 С 04 В 38/02. Сырьевая смесь для приготовления ячеистого бетона [Текст] / Ерофеев В.Т., Соломатов В.И., Богатов А.Д. и др.; заявитель и патентообладатель Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – № 99108697/03; заявл. 21.04.1999; опубл. 27.03.2001, Бюл. № 9.
2. Ерофеев, В. Т. Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла [Текст] / В.Т. Ерофеев, В.Ф. Смирнов, С.Н. Богатова, А.Д. Богатов, С.В. Казначеев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – № 16. – С. 122–126.
3. Структурообразование и свойства композитов на основе боя стекла [Текст] / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов // Изв. вузов «Строительство». – 2000. – № 9. – С. 16–22.
4. Богатова, С.Н. Долговечность ячеистого бетона на основе боя стекла [Текст] / С.Н. Богатова, А.Д. Богатов, В.Т. Ерофеев // Промышленное и гражданское строительство. – № 4, 2011. – С. 52–54.
5. Горлов, Ю.П. Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол: монография [Текст] / Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, М.И. Зейфман, Б.Д. Тотурбиев. – М.: Стройиздат, 1986. – 144с.
6. Меркин, А. П. Бетоны и изделия на основе кислых вулканических стекол [Текст] / А.П. Меркин, М.И. Зейфман // Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. – Киев, 1979. – С. 15–16.
7. Соломатов, В.И. Биологическое сопротивление материалов: учебное пособие [Текст] / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов и др. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 196 с.
8. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина [Текст] / под ред. П. Г. Комохова, В. Т. Ерофеева, Г. Е. Афиногенова. – СПб.: Наука, 2010. – 192 с.
9. Ерофеев, В.Т. Биостойкие строительные композиты каркасной структуры на смешанных вяжущих [Текст] / В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, А.Д. Богатов, С.В. Казначеев, А.И. Родин // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 32–38.
10. Ерофеев, В.Т. Влияние старения вяжущих на их биологическую стойкость [Текст] / В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, В.Ф. Смирнов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 2 (14). – С. 213–217.
11. Ерофеев, В.Т. Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла [Текст] / В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, В.Ф. Смирнов, А.Д. Богатов, С.В. Казначеев, А.И. Родин // Сборник трудов Международной научно-технической конференции им. Леонардо да Винчи. – 2013. – Т. 1. – С. 83–97.
12. Ерофеев, В.Т. Исследование биостойкости строительных материалов с учетом их старения [Текст] / В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, В.Ф. Смирнов, А.Д. Богатов, Е.А. Захарова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2011. – № 22. – С. 73–78.
13. Ерофеев, В.Т. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов [Текст] / В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, В.Ф. Смирнов, А.Д. Богатов, С.В. Казначеев // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 7 (33). – С. 23–31.

В.Т. Ерофеев

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных материалов и технологий
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

В.Ф. Смирнов

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород
Доктор биологических наук, профессор, зав. отд. биологических исследований НИИ химии
E-mail: biodeg@mail.ru

С.Н. Богатова

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий
E-mail: bogatovad@list.ru

А.Д. Богатов

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий
E-mail: bogatovad@list.ru

Казначеев Сергей Валерьевич

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

Родин Александр Иванович

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск
Кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

V. EROFEEV, V. SMIRNOVA, S. BOGATOVA, A. BOGATOV, S. KAZNACHEEV, A. RODIN

BIO-RESISTANT BUILDING COMPOSITES BASED ON THE GLASS WASTES

Results of researches of properties of nonautoclave building materials are given in work on the basis of a glass waste. Quantitative dependences of change of durability, density are received. The theoretical grounds and experimental results prove the composites obtained on the basis of a broken glass component as a binding element to possess a better biological stability of the materials in biologically aggressive media. It is established that potential biodestructures are capable to settle on surfaces of considered materials at their operation in air-dry conditions.

Keywords: glass fight, durability, cement, epoxide pitch, liquid glass, microorganisms, biological resistance.

1. Pat. 2164504 Rossiyskaya Federatsiya, 7 S 04 V 38/02. Syr'yevaya smes' dlya prigotovleniya yacheistogo betona [Tekst] / Yerofeyev V.T., Solomatov V.I., Bogatov A.D. i dr.; zavavitel' i patentoobladatel' Mordovskiy gosudarstvennyy universitet im. N.P. Ogareva. – № 99108697/03; zavavl. 21.04.1999; opubl. 27.03.2001, Byul. № 9.
2. Yerofeyev, V. T. Biostoykiye stroitel'nyye kompozity na osnove otkhodov stekla [Tekst] / V.T. Yerofeyev, V.F. Smirnov, S.N. Bogatova, A.D. Bogatov, S.V. Kaznacheev // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2009. – № 16. – S. 122–126.
3. Strukuroobrazovaniye i svoystva kompozitov na osnove boya stekla [Tekst] / V.I. Solomatov, V.T. Yerofeyev, A.D. Bogatov // Izv. vuzov «Stroitel'stvo». – 2000. – № 9. – S. 16–22.
4. Bogatova, S.N. Dolgovechnost' yacheistogo betona na osnove boya stekla [Tekst] / S.N. Bogatova, A.D. Bogatov, V.T. Yerofeyev // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – № 4, 2011. – S. 52–54.5. Gorlov, YU.P. Zharostoykiye betony na osnove kompozitsiy iz prirodnykh i tekhnogennykh stekol: mono-grafiya [Tekst] / YU.P. Gorlov, A.P. Merkin, M.I. Zeyfman, B.D. Toturbiyev. – M.: Stroyizdat, 1986. – 144s.
6. Merkin, A. P. Betony i izdeliya na osnove kislykh vulkanicheskikh stekol [Tekst] / A.P. Merkin, M.I. Zeyfman // Shlakoshchelochnyye tsementy, betony i konstruksii: Tez. dokl. Vsesoyuz. nauch. konf. – Kiyev, 1979. – S. 15–16.
7. Solomatov, V.I. Biologicheskoye soprotivleniye materialov: uchebnoye posobiye [Tekst] / V. I. Solomatov, V. T. Yerofeyev, V. F. Smirnov i dr. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2001. – 196 s.
8. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot biopovrezhdeniy biotsidnymi preparatami na osnove guanidina [Tekst] / pod red. P. G. Komokhova, V. T. Yerofeyeva, G. Ye. Afinogenova. – SPb. : Nauka, 2010. – 192 s.
9. Yerofeyev, V.T. Biostoykiye stroitel'nyye kompozity karkasnoy struktury na smeshannykh vyazhushchikh [Tekst] / V.T. Yerofeyev, S.N. Bogatova, A.D. Bogatov, S.V. Kaznacheev, A.I. Rodin // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. – 2012. – № 1. – S. 32–38.
10. Yerofeyev, V.T. Vliyanie stareniya vyazhushchikh na ikh biologicheskuyu stoykost' [Tekst] / V.T. Yerofeyev, A.D. Bogatov, S.N. Bogatova, V.F. Smimov // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2010. – № 2 (14). – S. 213–217.
11. Yerofeyev, V.T. Biostoykiye stroitel'nyye kompozity na osnove otkhodov stekla [Tekst] / V.T. Yerofeyev, S.N. Bogatova, V.F. Smirnov, A.D. Bogatov, S.V. Kaznacheev, A.I. Rodin // Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii im. Leonardo da Vinchi. – 2013. – T. 1. – S. 83–97.
12. Yerofeyev, V.T. Issledovaniye biostoykosti stroitel'nykh materialov s uchetom ikh stareniya [Tekst] / V.T. Yerofeyev, S.N. Bogatova, V.F. Smimov, A.D. Bogatov, Ye.A. Zakharova // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2011. – № 22. – S. 73–78.
13. Yerofeyev, V.T. Vliyanie ekspluatatsionnoy sredy na biostoykost' stroitel'nykh kompozitov [Tekst] / V.T. Yerofeyev, S.N. Bogatova, V.F. Smimov, A.D. Bogatov, S.V. Kaznacheev // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2012. – № 7 (33). – S. 23–31.

V. Erofeev

№6 (62) 2015 (ноябрь-декабрь)

105

Ogarev Mordovia State University, Saransk
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of construction materials and technologies
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

V. Smirnov

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod
Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biological Research Research Institute of Chemistry
E-mail: biodeg@mail.ru

S. Bogatova

Ogarev Mordovia State University, Saransk
Candidate of Technical Sciences, associate professor, assistant professor of building materials and technologies
E-mail: bogatovad@list.ru

A. Bogatov

Ogarev Mordovia State University, Saransk
Candidate of Technical Sciences, associate professor, assistant professor of building materials and technologies
E-mail: bogatovad@list.ru

S. Kaznacheev

Ogarev Mordovia State University, Saransk
Candidate of Technical Sciences, associate professor, assistant professor of building materials and technologies
E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru

A. Rodin

Ogarev Mordovia State University, Saransk
Candidate of Technical Sciences, assistant professor of building materials and technologies
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

КОНСТАНТИНОВ И.С., ФЕДОРОВ С.С.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ МНОГОКОНТУРНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В статье проведен анализ динамики работы многоконтурной системы теплоснабжения зданий и сооружений при зависимом подключении к тепловым сетям. На основе построенной математической модели процесса управления системой теплоснабжения зданий и сооружений, предложен алгоритм работы исполнительных механизмов для блока отопления каждого фасада при постоянно изменяющихся погоднo-климатических условиях. Полученное решение позволяет сократить затраты на теплоснабжение при поддержании заданной температуры в отапливаемых помещениях.

Ключевые слова: система управление, алгоритм, выбор режима, математическая модель, ресурсосбережение, система теплоснабжения.

Система теплоснабжения (СТ) зданий и сооружений с зависимым подключением к тепловым сетям имеет свои особенности и сложности. Учитывая современные тенденции в регулирование тепловых потоков – переход от центрально к индивидуальному регулированию и реализуемые программы энергосбережения (Государственной программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года), наибольший интерес вызывают СТ разделенные на отдельные контуры.

В общем случае отопительный контур любого здания или сооружения (группы зданий или сооружений) может быть представлен, как многоконтурная система отопления (рис.1), где каждая из ветвей в свою очередь может являться аналогичной самостоятельной, в том числе и многоконтурной системой отопления. То есть мы имеем дело с иерархической структурой с аналогичной системой управления на каждом из уровней, что требует построение единого алгоритма управления на каждом из уровней системы. Проблемам построения систем управления сложными многоуровневыми объектами обеспечивающие ресурсоэффективное управление просвещено достаточное количество работ [1-5]. В нашем случае расчетные формулы теплового баланса внутри контуров определяются как их назначением, геофизическим расположением, архитектурной формой и другими физико-техническими характеристиками.

Для создания алгоритма управления рассмотрим вариант построения системы отопления здания, где каждый контур (ветвь) соответствует заданному наружному фасаду. В этом случае систему отопления можно рассматривать, как пофасадную.

В работах [6, 7] были проанализированы нормативные схемы управления СТ при зависимом присоединении к тепловым сетям и предложен модифицированный вариант управления такими системами позволяющий повысить эффективность их работы.

Рассмотрим тепловой баланс в i -й ветви (i -м фасаде) СТ на рис.1. используя полученное в [6] соотношение:

$$t_{Ai} = t_{\kappa}(\bar{k} + 1) - \bar{k}t_{ni}, \quad (1)$$

где t_{Ai}, t_{ni} – соответственно температуры: точке A_i , наружного воздуха на i -м фасаде, $^{\circ}C$; t_{κ} – нормируемая температура внутреннего воздуха отапливаемого здания, $^{\circ}C$; \bar{k} – безразмерная константа, зависящая от теплофизических свойств i -го фасада. Изменение значения температуры t_{ni} на величину $\Delta t_{ni} = t_{ni2} - t_{ni1}$ согласно формулы (1) приведет к изменению температуры t_{Ai} на величину Δt_{Ai} :

$$\Delta t_{Ai} = t_{Ai2} - t_{Ai1} = t_{\kappa}(\bar{k} + 1) - \bar{k}t_{ni2} - t_{\kappa}(\bar{k} + 1) + \bar{k}t_{ni1} = -\bar{k}(t_{ni2} - t_{ni1}) = -\bar{k}\Delta t_{ni}, \quad (2)$$

где $t_{Ai1}, t_{Ai2}, t_{ni1}, t_{ni2}$ соответственно значения температур t_n и t_A в начальном и конечном состоянии при изменении. Изменение температуры Δt_{Ai} приводит к изменению ΔQ_i теплового-

потока Q_i предназначенного для компенсации тепловых потерь на i -ом фасаде, что в свою очередь к изменению температуры внутреннего воздуха t_k .

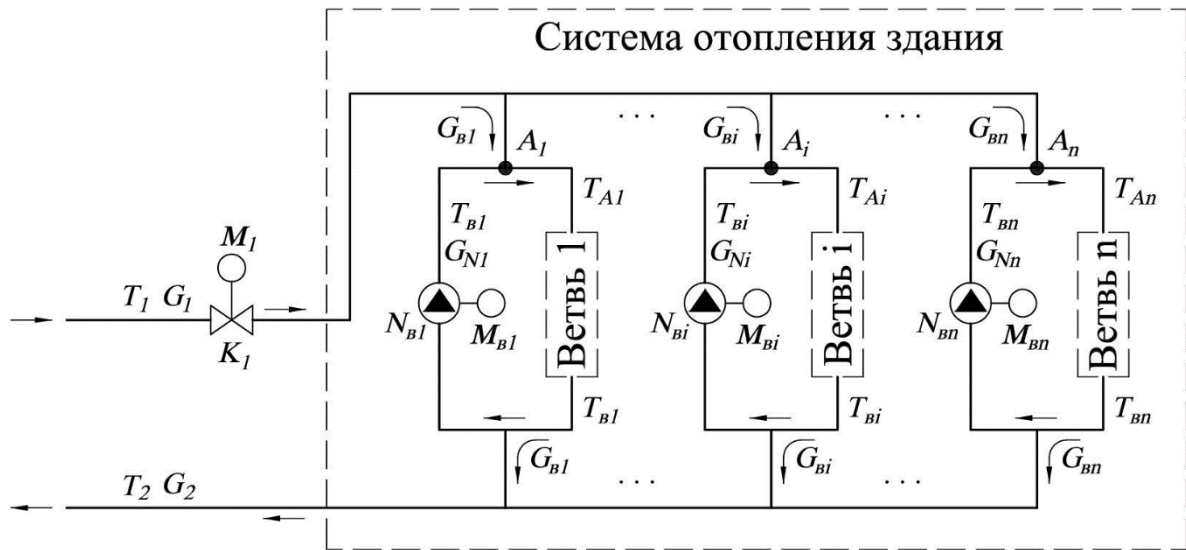


Рисунок 1 – Модифицированная схема с возможностью оптимального управления расходом теплоносителя по ветвям СО (n-количество ветвей СО (фасадов))

Соответствующее значение теплового потока в Q_i в начальном и конечном состояниях определяется по формулам:

$$Q_{i1} = G_{i1} t_{Ai1}, \quad (3)$$

$$Q_{i2} = G_{i2} t_{Ai2} = (G_{i1} + \Delta G_i) (t_{Ai1} + \Delta t_{Ai}), \quad (4)$$

где $Q_{i1}, Q_{i2}, G_{i1}, G_{i2}, \Delta G_i$ соответственно значения теплового потока, расхода теплоносителя и его изменение при переходе из начального в конечное состояние, Вт, $m^3 / ч$. В этом случае, учитывая (3) и (4) найдем изменение теплового потока:

$$\Delta Q_i = Q_{i2} - Q_{i1} = \Delta G_i (t_{Ai1} + \Delta t_{Ai}) + G_{i1} \Delta t_{Ai}, \quad (5)$$

но принимая во внимание $t_{Ai1} + \Delta t_{Ai} = t_{Ai2}$ получим

$$\Delta Q_i = \Delta G_i t_{Ai2} + G_{i1} \Delta t_{Ai}. \quad (6)$$

Учитывая соотношение (2), имеем:

$$\Delta Q_i = \Delta G_i t_{Ai2} - G_{i1} \bar{k} \Delta t_{ni} \quad (7)$$

С другой стороны тепловой поток Q_i можно определить по формуле

$$Q_i = k_i (t_k - t_{ni}) F_i, \quad (8)$$

где k_i - коэффициент теплопередачи i -го фасада, $Вт / м^2 \cdot ^\circ C$; F_i - площадь наружных ограждений i -го фасада, $м^2$.

Соответственно изменение теплового потока ΔQ_i определяется аналогично формуле (5), используя (8) получим:

$$\Delta Q_i = Q_{i2} - Q_{i1} = k_i (t_k - (t_{ni1} + \Delta t_{ni})) F_i - k_i (t_k - t_{ni1}) F_i = -k_i \Delta t_{ni} F_i. \quad (9)$$

Подставляя (7) в (9) имеем:

$$\Delta G_i t_{Ai2} - G_{i1} \bar{k} \Delta t_{ni} = -k_i \Delta t_{ni} F_i \quad (10)$$

Преобразуем (10) к виду:

$$\Delta G_i = -\frac{\Delta t_{ni}}{t_{Ai2}} (k_i F_i - \bar{k} G_{i1}). \quad (11)$$

Очевидно выполняется требования:

$$k_i F_i - \bar{k} G_{i1} \geq 0, \quad (12)$$

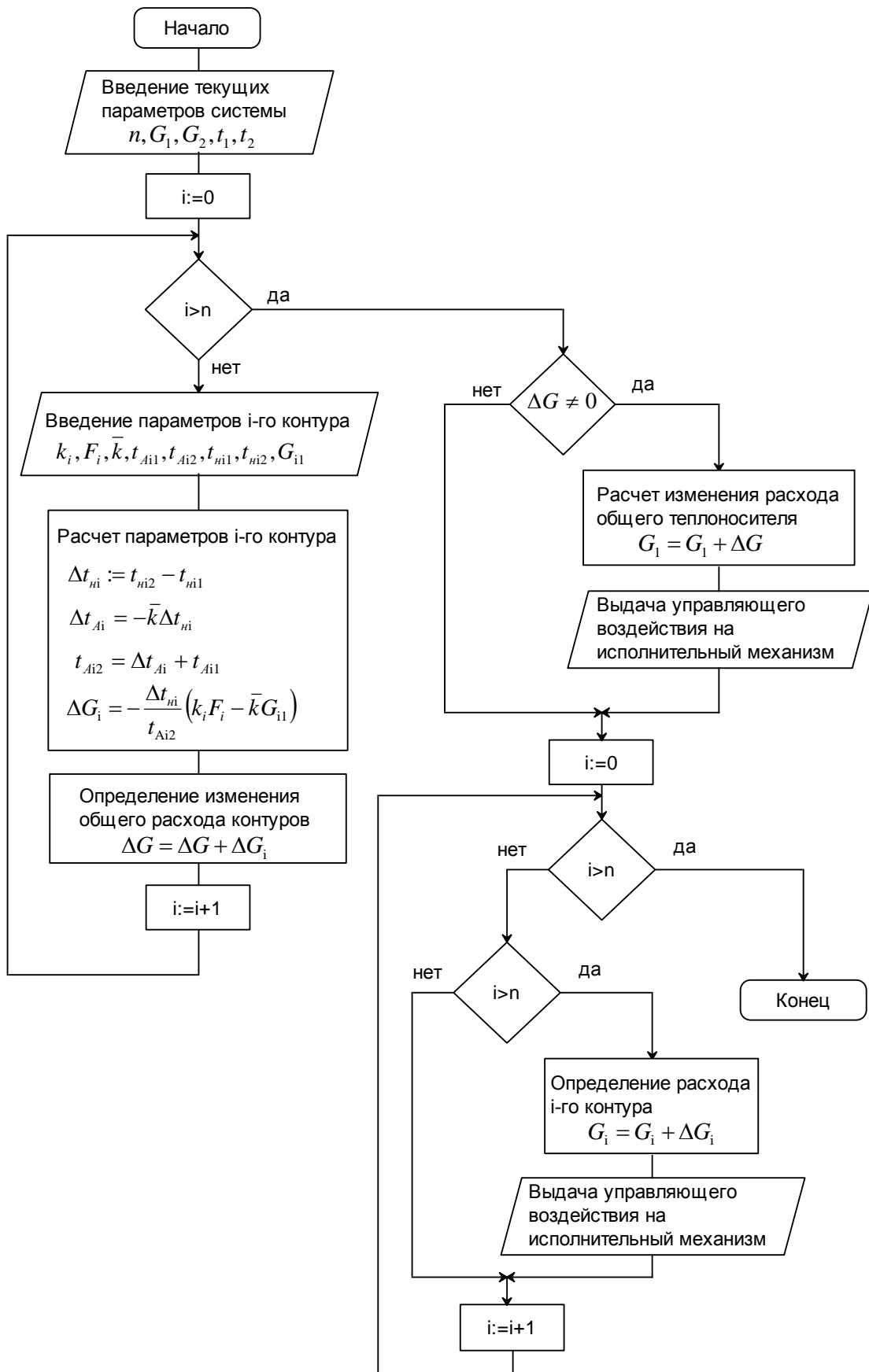


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма управления многоконтурной СТ при зависимом присоединении к тепловым сетям

тогда:

$$G_{i1} \leq \frac{k_i F_i}{k}, \quad (13)$$

что достигается за счет значительных значений суммарной площади F_i наружных ограждений i -го фасада.

Далее достаточно просуммировать все значения ΔG_i за полный цикл проверки всех фасадов по формуле:

$$\Delta G_1 = \sum_{i=1}^n \Delta G_i \quad (14)$$

Для реализации теоретических положений, изложенных выше и принимая во внимание решения [8, 9] мы предлагаем алгоритм управления регулированием параметров теплоносителя учитывающую потребление тепловой энергии всеми фасадами.

Процесс управления включает в себя три этапа. На первом этапе происходит мониторинг состояния наружных температур на каждом фасаде

На (рис.2) представлена блок-схема алгоритма управления электроприводами исполнительных механизмов СТ M_1 и $M_{в1}, \dots, M_{вi}, \dots, M_{вn}$ соответственно исполнительного механизма K_1 и исполнительных механизмов $N_{в1}, \dots, N_{вi}, \dots, N_{вn}$.

Предполагается, что в общих подающем и обратном трубопроводах СТ созданы номинальные - безаварийные условия.

Выводы:

1. Проведенный анализ динамики работы системы многоконтурного теплоснабжения зданий и сооружений при зависимом подключении к тепловым сетям позволяет определить параметры необходимые для построения алгоритма управления данной системой.

2. Предложен алгоритм управления исполнительными механизмами системы теплоснабжения для каждого контура системы при постоянно изменяющихся погодноклиматических условиях.

3. Разработанный алгоритм управления позволяет перераспределять тепловую энергию по системам отопления фасадов, в зависимости от текущей температуры на конкретном фасаде, и оптимизировать затраты на теплоснабжение и эффективнее поддерживать заданную температуру в отапливаемых помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов, И.С. Особенности построения и интеллектуализация системы экомониторинга в составе автоматизированной системы управления экологической безопасностью [Текст] / И.С. Константинов, О.Д. Иващук // Информационные системы и технологии. – 2010. - №6. – С. 113-118.
2. Ivashchuk O.A. Human resources potential as an object of automated control [Text] / O. A. Ivashchuk, I.S. Konstantinov // International journal of applied engineering research. – 2015. - №12. – С. 371-380.
3. Иващук, О.А. Моделирование автоматизированной системы управления экологической безопасностью территории жилой [Текст] / О.А. Иващук, И.С. Константинов, О.Д. Иващук // Жилищное строительство. – 2012. - №3. – С. 32-34.
4. Клюева, Н.В. Ресурсоэнергосберегающая конструктивная система жилых и общественных зданий с заданным уровнем конструктивной безопасности [Текст] / Н.В. Клюева, В.И. Колчунов, А.С. Бухтиярова. // Промышленное и гражданское строительство. – М.: Изд.-во ПГС, 2014. - № 2. – С.37-40.
5. Клюева, Н.В. К оценке теплотехнической однородности конструкции I-образного несущего ригеля наружного стенового ограждения здания со смешанной конструктивной системой [Текст] / Н.В. Клюева, А.В. Малахов, С.И. Горностаев // Строительство и реконструкция. – 2014. - №5 (55). – С. 23-28.
6. Федоров, С.С. Управление системой отопления зданий с позиции ресурсосбережения [Текст] / С.С. Федоров, Д.Н. Тюпонов, Н.В. Клюева // Строительство и реконструкция. – 2013. - №5. – С. 36-40.
7. Федоров, С.С. Оптимизация процесса управления системой теплоснабжения зданий [Текст] / С.С. Федоров, Н.В. Клюева, Н.В. Бакаева // Строительство и реконструкция. – 2015. - №5(61). – С. 90-95.
8. Патент РФ № 2485407, 20.06.2013 С.Г. Емельянов, Н.С. Кобелев, С.С. Федоров, Д.Н. Тюпонов, В.Н. Кобелев / Устройство для регулирования расхода тепла на отопление в системах теплоснабжения [Текст] // Патент России №2485407, 2013. Бюл. № 17.

9. Патент РФ № 2431781, 20.10.2011 С.Г. Емельянов, Н.С. Кобелев, С.С. Федоров, Т.В. Алябьева, В.Н. Кобелев / Устройство для регулирования температуры воздуха в помещении [Текст] // Патент России №2431781, 2011. Бюл. № 29.

И.С. Константинов

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности,
директор института инженерных технологий и естественных наук
E-mail: ViceRectorScience@bsu.edu.ru

С.С. Федоров

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Преподаватель, кафедра теплогазоснабжение
E-mail: ssfedorov@list.ru

I. KONSTANTINOV, S. FEDOROV

**ALGORITHM OF MANAGEMENT OF SYSTEM OF MULTICIRCUIT
HEAT SUPPLY OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS**

In this article the analysis of dynamics of work of multicircuit system of heat supply of buildings and constructions at dependent connection to thermal networks is carried out. The algorithm of control of executive mechanisms of system of heat supply for the block of heating of each facade at constantly changing weather climatic conditions is offered. That allows to reduce costs of heat supply at maintenance of the set temperature in the heated rooms.

Keywords: system management, algorithm, mode choice, mathematical model, resource-saving, system of heat supply.

BIBLIOGRAPHY

1. Konstantinov, I.S. Features of construction and intellectualization of system of ecomonitoring as a part of an automated control system for ecological safety of [Text] / I.S. Konstantinov, O. D. Ivashchuk//Information systems and technologies. – 2010. - No. 6. – Page 113-118.
2. Ivashchuk O.A. Human resources potential as an object of automated control [Text]/O. A. Ivashchuk, I.S. Konstantinov//International journal of applied engineering research. – 2015. - No. 12. – Page 371-380.
3. Ivashchuk, O. A. Modeling of an automated control system for ecological safety of the territory inhabited [Text] / O. A. Ivashchuk, I.S. Konstantinov, O. D. Ivashchuk//Housing construction. – 2012. - No. 3. – Page 32-34.
4. Klyueva, N. V. Resursoenergoberegayushchaya constructive system of residential and public buildings with the set level of constructive safety [Text] / N. V. Klyueva, V. I. Kolchunov, A.S. Bukhtiyarova.//Industrial and civil engineering. – М.: Prod. - in PGS, 2014. - No. 2. – Page 37-40.
5. Klyueva, N. V. K to an assessment of heattechnical uniformity of a design of the l-shaped bearing crossbar of an external wall protection of the building with the mixed constructive system [Text] / N. V. Klyueva, A.V. Malakhov, S. I. Gornostayev//Construction and reconstruction. – 2014. - No. 5 (55). – Page 23-28.
6. Fedorov, S. S. Management of heating of buildings of system from a position of resource-saving [Text] / S. S. Fedorov, D. N. Tyutyunov, N. V. Klyueva//Construction and reconstruction. – 2013. - No. 5. – Page 36-40.
7. Fedorov, S. S. Optimization of management of system of heat supply of buildings [Text] / S. S. Fedorov, N. V. Klyueva, N. V. Bakayeva//Construction and reconstruction. – 2015. - No. 5(61). – Page 90-95.
8. The patent Russian Federation No. 2485407, 20.06.2013 S.G. Yemelyanov, N. S. Kobelev, S. S. Fedorov, D. N. Tyutyunov, V.N. Kobelev/Ustroystvo for regulation of an expense of heat on heating in systems of heat supply [Text]//the Patent of Russia No. 2485407, 2013. Bulletin No. 17.
9. The patent Russian Federation No. 2431781, 20.10.2011 S.G. Yemelyanov, N. S. Kobelev, S. S. Fedorov, T.V. Alyabyeva, V.N. Kobelev/Ustroystvo for regulation of air temperature indoors [Text]//the Patent of Russia No. 2431781, 2011. Bulletin No. 29.

I. Konstantinov

Belgorod state national research university, Belgorod
Doctor of Engineering, professor, vice rector for scientific and innovative activity,
director of institute of engineering technologies and natural sciences
E-mail: ViceRectorScience@bsu.edu.ru

S. Fedorov

South Western state university, Kursk
Lecturer of the department of heat and gas supply
E-mail: ssfedorov@list.ru

ПЛОТНИКОВ В.В., БОТАГОВСКИЙ М.В., ПЛОТНИКОВА С.В.

ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСЦЕМЕНТНОГО ПЕНОБЕТОНА

В статье представлены результаты исследований по получению бесцементного монолитного пенобетона на основе активированных промышленных отходов: гранулированного доменного шлака и нефелинового шлака. Изучена кинетика измельчения отходов в роторно-пульсационном аппарате, выявлен механизм гидратации и структурообразования активированной вяжущей композиции (ВК), определен оптимальный состав ВК с позиции прочностных и теплофизических характеристик. Показано, что полученный монолитный пенобетон имеет высокие эксплуатационные показатели и может быть рекомендован для использования в энергоэффективных ограждающих конструкциях зданий.

Ключевые слова: *ограждающие конструкции, бесцементный пенобетон, промышленные отходы, гранулированные доменные шлаки, нефелиновый шлак, механохимическая активация*

Проведенные нами ранее исследования позволили выявить уникальные свойства кристаллогидратов, полученных на основе нефелинового шлака путем его интенсивной механохимической активации в роторно-пульсационных аппаратах[1]. Активированные кристаллогидраты имеют развитую, энергетически ненасыщенную поверхность, обладают большой адсорбционной способностью по отношению к ионам, насыщающим жидкую фазу твердеющей системы, и способствуют в результате создания локальных пересыщений образованию зародышей кристаллов и прочных кристаллических сростков, устойчивых к перекристаллизации в процессе твердения бетона.

В настоящее время достаточно широко используют монолитные пенобетоны для устройства теплоизоляционного слоя в многослойных ограждающих конструкциях (рис.1)[2,3,4]. Отличительной особенностью указанных монолитных теплоизоляционных пенобетонов является использование портландцемента без мелкого заполнителя, что значительно повышает стоимость ограждающих конструкций. В то же время в стране имеются огромные залежи промышленных отходов, занимающих большие площади земли, в том числе и плодородной, и создающих экологическую напряженность в регионах.

а)



б)



Рисунок 1 - Конструктивное решение ограждающих конструкций с устройством наружного слоя стены из керамического кирпича (а), внутреннего слоя из гипсокартона с заполнением среднего слоя теплоизоляционным пенобетоном (б)

Цель наших исследований заключалась в получении новых бесцементных композиционных вяжущих для приготовления монолитного пенобетона для среднего слоя многослойных ограждающих конструкций. Для приготовления вяжущих композиций были использованы следующие предварительно измельченные в шаровых мельницах до удельной поверхности 2000-3000 $\text{см}^2/\text{г}$ промышленные отходы: гранулированный доменный шлак (ГДШ) и нефелиновый шлак (НШ). Для определения области оптимальных составов вяжущих композиций (ВК) с позиции прочностных и теплофизических характеристик был изучен весь спектр соотношений используемых отходов (от 0 до 100% каждого компонента) при различном времени обработки в роторно-пульсационных аппаратах (РПА). С целью изучения физико-химических процессов, происходящих в суспензиях ВК при их активации в РПА, и выбора оптимального времени обработки исследовалась кинетика измельчения компонентов ВК (рис.2).

В начальный период активации ВК в РПА происходит домол и диспергирование крупных и более мелких фракций и дезагрегация частиц ВК сухого помола. В основном на эти процессы расходуется энергия рабочей зоны РПА. Установлен резкий прирост удельной поверхности, измеренной методом воздухопроницаемости. К трем минутам активации она достигает для ВК на основе ГДШ и НШ практически $7000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Наблюдается в этот период и интенсивный рост удельной поверхности, измеренной методом низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ), что свидетельствует об образовании продуктов гидратации уже на ранней стадии активации и постоянном увеличении количества новообразований. В процессе активации происходит уменьшение количества частиц больших и средних диаметров и увеличение доли частиц диаметром менее 10 мкм, о чем свидетельствуют электронномикроскопические исследования (рис.3).

Следует отметить, что в процессе активации ВК установлено повышение степени полимеризации кремнекислородных анионов. В результате гидродинамической активации ВК достигнуты высокие прочностные характеристики образцов на основе ГДШ и НШ, значительно превосходящих и прочностные характеристики отдельно активированных ГДШ или НШ, и неактивированных ВК данного состава, что объясняется комплексным воздействием активации и образующихся активированных кристаллогидратов на процессы структурообразования вяжущей системы. Исследование прочностных показателей ВК на основе ГДШ и НШ показало, что наибольшая прочность достигается при соотношении компонентов ГДШ:НШ = 70:30 (рис.4). При этом прочность ВК на основе активированных промышленных отходов не уст

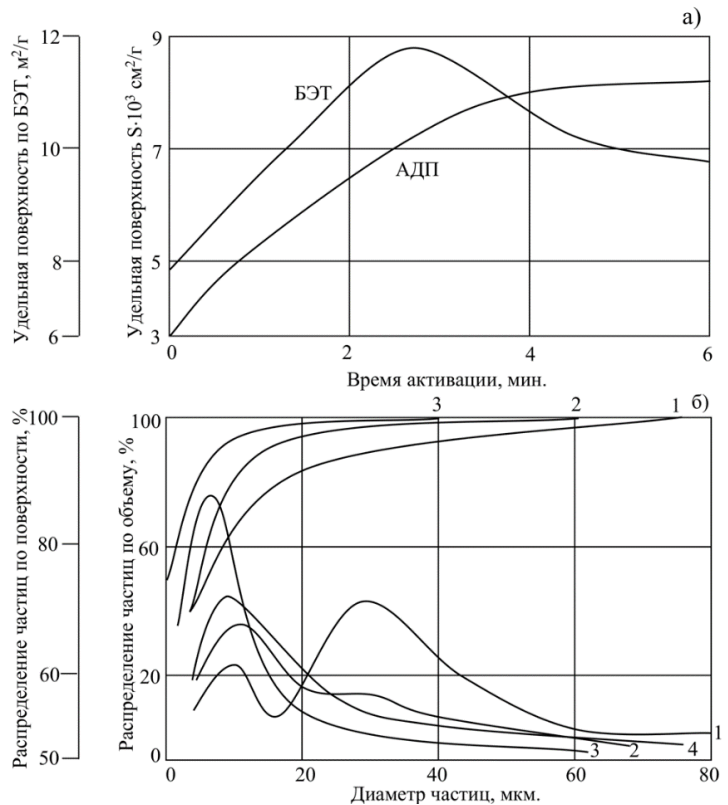


Рисунок 2 - Изменение удельной поверхности ВК на основе ГДШ и НШ оптимального состава при активации в РПА (а), и распределение частиц ВК по поверхности и объему при обработке в РПА (б): 1 – 0 мин.; 2 – 1 мин.; 3 – 3 мин.; 4 – 4 мин.

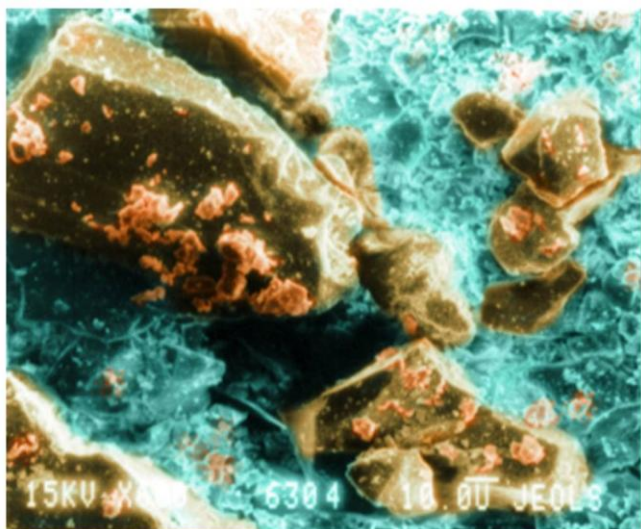
пала прочности цементным композициям, что позволило рекомендовать их для получения бесцементных теплоизоляционных пенобетонов. Теплоизоляционные пенобетоны плотностью 200-500 кг/м³ были приготовлены с использованием РПА. На рисунке 5 показана зависимость прочности монолитного пенобетона плотностью 500 кг/м³ от соотношения компонентов и времени активации.

Как показали исследования (рис. 6), прочность монолитного пенобетона на бесцементном вяжущем значительно повышается не только в ранние сроки, но сохраняет тенденцию к повышению и в поздние сроки, что свидетельствует об увеличении долговечности материала.

При обработке в РПА в результате интенсивной гидродинамической активации резко меняется кинетика растворения компонентов ВК. Уже с самого начала активации ВК в жидкую фазу переходит большое количество ионов Ca²⁺, SO₄²⁻ и других. Ещё в процессе активации происходит пересыщение раствора этими ионами, на поверхности частиц ВК образуется большое количество продуктов гидратации. Концентрация ионов в растворе при этом снижается. Создание высоких локальных пересыщений жидкой фазы на поверхности частиц интенсифицирует появление многочисленных центров кристаллизации и кристаллических сростков. В результате ускорения процессов структурообразования активированной ВК резко повышаются её прочностные характеристики, особенно в ранние сроки твердения. Ускоренное структурообразование активированных МК способствует сокращению сроков их схватывания, что способствует снижению усадки пенобетона.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что в результате значительного ускорения процессов растворения ВК при обработке в РПА, сопровождающихся переходом в раствор большого числа, прежде всего, положительно заряженных ионов, образуются аморфизованные, с множеством возникающих дефектов, отрицательно заряженные поверхности, предопределяющие преобладание топохимического механизма образования кристаллогидратов в межпоровых прослойках монолитного пенобетона.

а)



б)

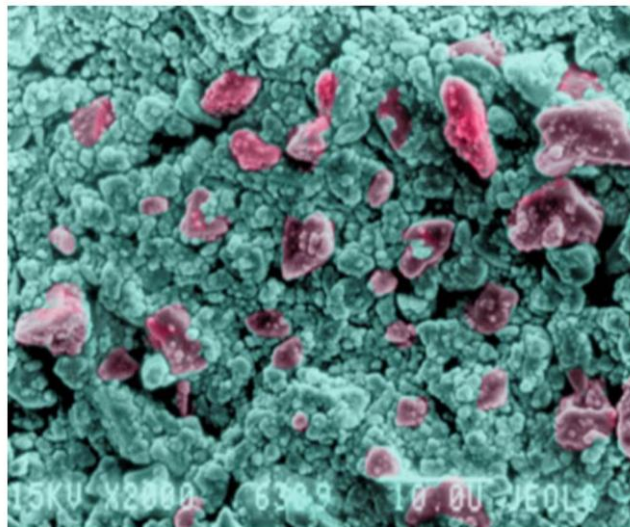


Рисунок 3 – Микроструктура неактивированного (а) и активированного (б) гранулированного доменного шлака

Первоначально гидратными новообразованиями покрываются частицы шламовой составляющей ВК. Часть Ca²⁺ и Al³⁺, диссоциировавших из частиц НШ, реагируют с внутренними гидратированными слоями, а остальные проникают через них в жидкую фазу. Позднее под воздействием образующегося при этом насыщенного раствора извести проявляется активность стекловидных частичек доменного шлака и на их поверхности также развиваются процессы гидратации. Причём в результате гидродинамической активации пуццолановая актив-

ность шлака резко повышается. Методами рентгенофазового и дифференциально-термического анализов, ИК-спектроскопии, электронной микроскопии были проведены комплексные физико-химические исследования процессов, происходящих при структурообразовании ВК в монолитном пенобетоне.

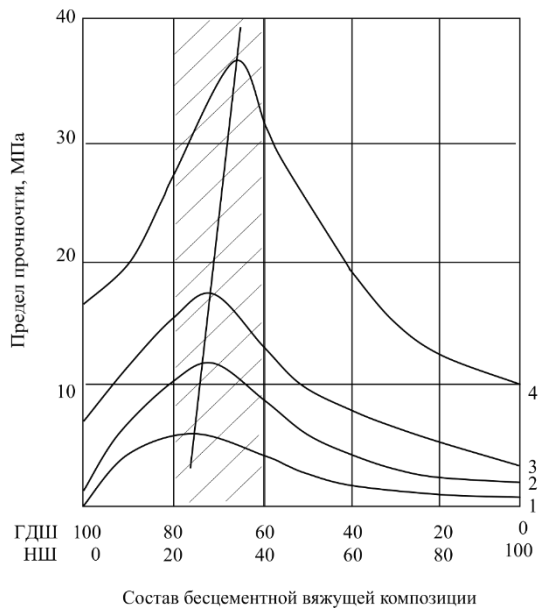


Рисунок 4 - Прочность при сжатии ВК на основе ГДШ и НШ: 1, 2, 3, 4 – 1, 3, 7 и 28 суток, соответственно

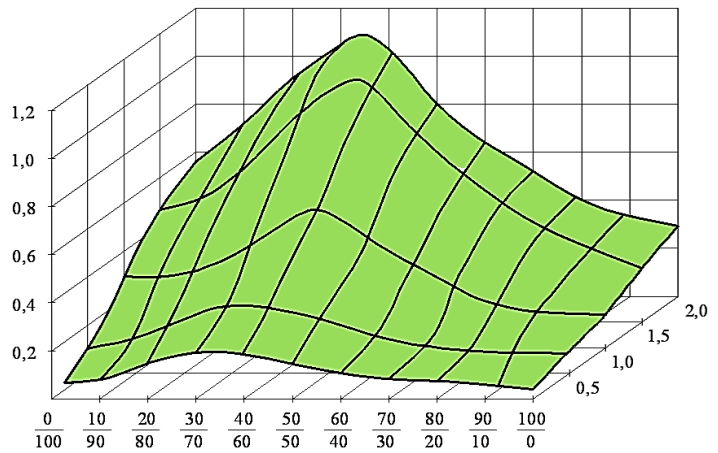


Рисунок 5 – Зависимость прочности пенобетона плотностью 500 кг/м^3 от соотношения компонентов бесцементного вяжущего на основе нефелинового шлама (НШ) и гранулированного доменного шлака (ГДШ) и времени активации, 28 сут. твердения

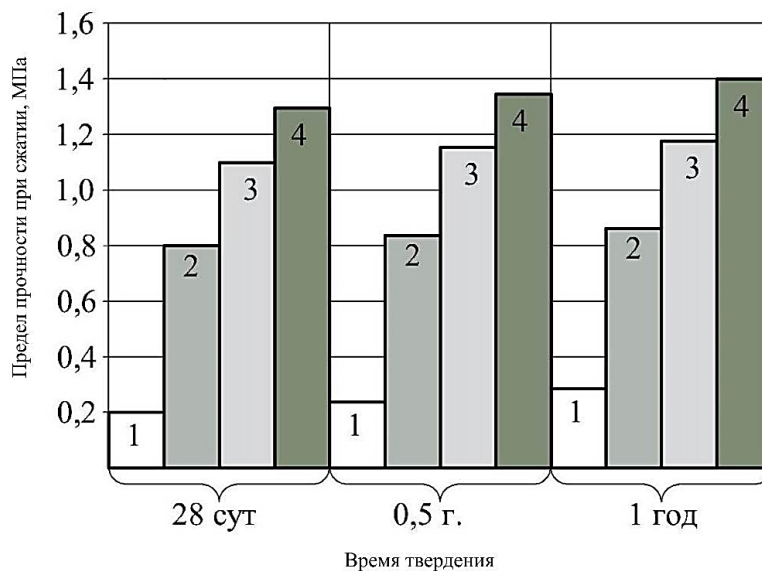


Рисунок 6 – Кинетика роста прочности пенобетона плотностью 500 кг/м^3 на основе НШ: ГДШ при соотношении, масс, %: 30:70: 1-без активации компонентов; 2-при активации компонентов соответственно в течение 0,5 мин; 3-при активации компонентов в течение 1,0 мин; 4- при активации компонентов в течение 1,5 мин.

Результаты рентгенофазового анализа МК на основе ГДШ и НШ оптимального состава свидетельствует об изменении фазового состава продуктов гидратации в результате гидродинамической активации (рис.7.1). Анализ рентгенограмм показал наличие непрореагировавших фаз β - C_2S ($d = 4,65; 3,24; 2,878; 2,785; 2,748; 2,609; 2,546; 2,434; 2,189; 2,166; 2,020; 1,984; 1,913 \text{ \AA}$) и двуводного гипса ($d = 7,56; 4,27; 3,79; 2,216; 1,843; 1,664 \text{ \AA}$) у неактивированной и активированной МК, количество которых резко снижается в результате активации. Основными продуктами гидратации в раннем возрасте являются у неактивированной МК частично закристаллизованные тоберморитоподобные гидросиликаты кальция типа CSH (II) ($d = 3,07; 2,40; 2,10; 2,00; 1,62; 1,225 \text{ \AA}$), гексагональные гидроалюминаты кальция типа C_2AH_8 ($d = 7,9; 5,36; 2,68; 2,27; 1,77 \text{ \AA}$) и этрингит ($d = 9,73; 5,61; 4,69; 3,88; 3,67; 3,48 \text{ \AA}$). К 28 суткам гидратации наблюдается рост всех гидратных фаз с незначительной перекристаллизацией высокоосновных гидросиликатов кальция в низкоосновные и довольно обширной – гексагональных гидроалюминатов кальция в кубические C_3AH_6 . Терморитоподобные гидросиликаты кальция типа CSH(II), образовавшись в начальный период гидратации активированной МК, с течением времени перекристаллизуются, и к 28 суткам мы наблюдаем наличие на рентгенограмме низкоосновных тоберморитоподобных гидросиликатов кальция типа CSH (I) ($d=3,07; 2,40; 2,28; 2,10; 2,00; 1,93 \text{ \AA}$), способствующих образованию плотного, хорошо закристаллизованного цементного камня в межпоровых прослойках пенобетона. Необходимо отметить при этом, что у активированной МК во все сроки твердения наблюдается большая интенсивность подобных линий гидросиликатов кальция.

Отличительной особенностью активированной МК является образование с самого начала гидратации кубических гидроалюминатов кальция C_3AH_6 ($d=5,14; 3,37; 3,15; 2,47; 2,30; 1,60 \text{ \AA}$), что предопределяет более стабильное протекание процессов гидратообразования по сравнению с неактивированной МК, а также переход к 28 суткам гидратации высокосульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция в моносulfатную форму ($d=9,73; 8,92; 5,61; 4,72; 4,46; 3,88; 2,45 \text{ \AA}$).

Результаты рентгенофазового анализа были подтверждены при помощи дифференциально-термического анализа (рис.7). Действительно, на дериватограммах неактивированной и активированной МК чётко видны эндоэффекты при $180^{\circ}C$, соответствующие дегидратации двуводного гипса до полуводного, и при $380-420^{\circ}C$, соответствующие перестройке кристаллической решётки с превращением растворимого ангидрита в нерастворимый, заметно уменьшающиеся со временем гидратации, особенно у активированной МК, и исчезающие у неё к 28 суткам гидратации.

Свидетельством образования на ранней стадии гидратации у неактивированной МК гексагональных гидроалюминатов кальция является более глубокий пик при $180^{\circ}C$ и небольшой эндоэффект при $300^{\circ}C$. Появление на дериватограмме активированной МК в возрасте 3 суток гидратации, а у неактивированной – в возрасте 28 суток эндоэффектов при $330-340^{\circ}C$ и $500-520^{\circ}C$ свидетельствует об образовании кубических гидроалюминатов кальция.

Более пологий наклон кривой эндоэффекта в области $100-200^{\circ}C$ в сторону высоких температур и появление слабого экзотермического эффекта с максимумом при $846^{\circ}C$ говорит о наличии уже к 3 суткам гидратации у активированной МК небольшого количества низкоосновных гидросиликатов кальция. Смещение эндоэффекта из области $100-200^{\circ}C$ в область с максимумом при $210^{\circ}C$ на дериватограмме активированной МК в возрасте 28 суток гидратации, широкий спектр этого эндоэффекта и характерный, глубокий экзотермический эффект в области $830-860^{\circ}C$ свидетельствуют об образовании и высоком содержании моносulfатной формы гидросульфатоалюмината кальция и низкоосновных гидросиликатов кальция.

Из анализа данных ИК-спектроскопии, на примере ИК-спектров неактивированной и активированной МК в возрасте 28 суток гидратации (рис.8), также следует более глубокое протекание процесса гидратации и образование способствующих более высокому приросту прочности цементного камня кристаллогидратов у активированной МК по сравнению с неак-

тивированной. Прежде всего, отмечается избирательное поглощение в инфракрасной области спектра β - C_2S . При этом соответствующий β - C_2S интенсивный дуплет с максимумами около 840 и 900 см^{-1} у активированной ВК значительно сглаживается с некоторым смещением в область более низких частот, а полоса 520 см^{-1} исчезает полностью, что подтверждает уменьшение количества данного элемента в ВК. Полосы 442 ; 520 ; 1422 ; 3360 ; 3470 ; и 3670 см^{-1} у неактивированной ВК свидетельствуют о наличии у неё как гексагональных, так и кубических гидроалюминатов кальция, в то время как более интенсивные полосы 542 ; 3370 и 3678 см^{-1} у активированной ВК, смещенные в область более высоких частот, доказывают наличие исключительно кубических гидроалюминатов кальция. Смещение полос 968 и 1025 см^{-1} у неактивированной ВК к 1000 и 1075 см^{-1} у активированной свидетельствует о повышении степени полимеризации кремнекислородных анионов гидросиликатов кальция, а наличие полос 610 ; 630 и 1180 см^{-1} с одновременным сглаживанием полос 765 ; 854 и 930 см^{-1} соответствует перекристаллизации высокоосновных гидросиликатов кальция в низкоосновные у активированной ВК.

Смещение в область более высоких частот полос 1422 и 1460 см^{-1} , соответствующих эттрингиту, к 1520 и 1575 см^{-1} наглядно показывает образование у активированной ВК моносульфатной формы гидросульфалюмината кальция.

Более интенсивный спектр полос поглощения в области от 3300 до 3800 см^{-1} у активированной ВК, обусловленный наряду с вышеизложенным и в большей степени валентными колебаниями ОН-групп, ещё раз свидетельствует о более высокой степени гидратации активированной ВК.

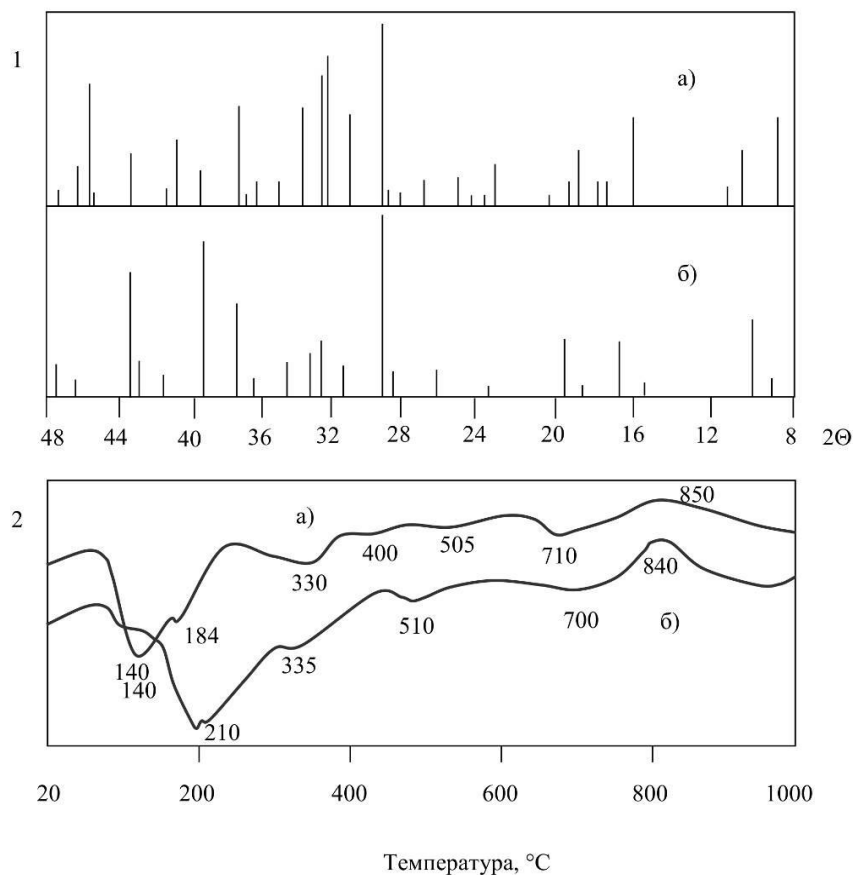


Рисунок 7 - Штрих-рентгенограммы (1) и дериватограммы (2) ВК на основе ГДШ и НШ, твердевшей 28 сут.: а – неактивированная; б – активированная

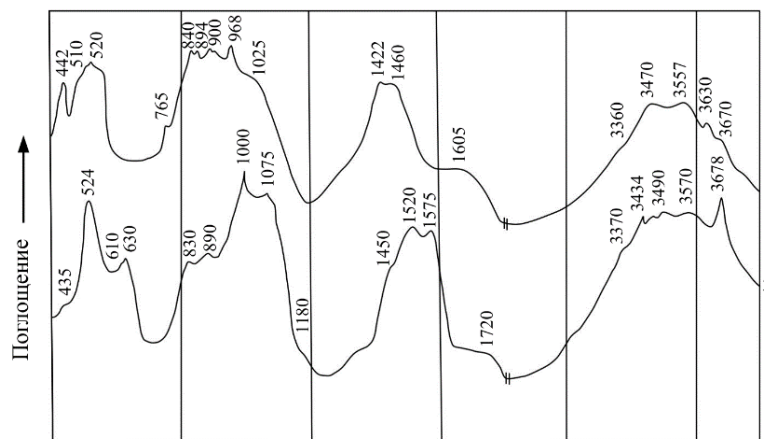


Рисунок 8 - ИК – спектры поглощения неактивированной и активированной ВК на основе ГДШ и НШ, гидратированных 28 суток: 1 – неактивированная ВК, 2 – активированная ВК

Выводы

1. Получены бесцементные вяжущие композиции для монолитного пенобетона с высокими эксплуатационными свойствами на основе промышленных отходов: гранулированного доменного шлака и нефелинового шлама.

2. В результате значительного ускорения процессов растворения компонентов вяжущих композиций при обработке в РПА, сопровождающихся переходом в раствор большого числа, прежде всего, положительно заряженных ионов, образуются аморфизованные, с множеством дефектов, отрицательно заряженные поверхности, предопределяющие преобладание топомического механизма образования кристаллогидратов в межпоровых прослойках монолитного пенобетона.

4. Отличительной особенностью активированных ВК является образование с самого начала гидратации кубических гидроалюминатов кальция C_3AH_6 , что предопределяет более стабильное протекание процессов гидратообразования по сравнению с неактивированной ВК, а также переход к 28 суткам гидратации высокосульфатной формы гидросульфалюмината кальция в моносulfатную форму.

5. Использование монолитного пенобетона на основе активированных бесцементных вяжущих композиций позволяет снизить себестоимость ограждающих конструкций зданий без ухудшения их эксплуатационных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников, В.В. Повышение долговечности монолитного бетона низкой плотности путем модифицирования цемента активированными кристаллогидратами [Текст] / В.В.Плотников, М.В.Ботаговский // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. - №10. - С.33-39.
2. Король, Е.А. Технологическая и организационная эффективность возведения многослойных наружных стен в монолитном строительстве [Текст] / Е.А.Король, Ю.А.Харькин. // Строительство и реконструкция. - 2013. - №6. - С.3-7.
3. Плотников, В.В. Современные технологии теплозащиты зданий [Текст] / В.В.Плотников, М.В.Ботаговский. - Брянск: БГИТА, 2013. – 164 с.
4. Плотников, В.В. Современные конструкционные, теплоизоляционные и отделочные материалы для стен энергоэффективных зданий [Текст] / В.В.Плотников. – Брянск: БГИТА, 2013.- 168 с.

В.В. Плотников

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет, г.Брянск
Проректор по научно-инновационной деятельности, доктор технических наук, профессор,
зав.кафедрой «Строительное производство»
E-mail:plotn57@mail.ru

М.В. Ботаговский

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск

Старший преподаватель

E-mail: bo1981@mail.ru

С.В. Плотникова

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск

Аспирант

E-mail: wonderlandru@gmail.com

V. PLOTNIKOV, M. BOTAGOVSKIY, S. PLOTNIKOVA

BUILDING ENVELOPE WITH THE USE OF CEMENT-FREE FOAM CONCRETE

The paper presents the results of research of obtaining cement-free monolithic foam concrete on the basis of activated industrial wastes: granulated blast-furnace slag and nepheline slime. The kinetics of reduction in size of waste products in the rotary-pulsation apparatus is studied, the mechanism of hydration and structure formation of activated binder composition (BC) is revealed, the optimal composition of BC from a standpoint of strength and thermal and physical characteristics is determined. It is shown that the obtained monolithic foam concrete has high operational performance and can be recommended for use in the energy-efficient building envelope.

Key words: building envelope, cement-free foam concrete, industrial wastes, granulated blast-furnace slag, nepheline slime, mechanochemical activation.

BIBLIOGRAPHY

1. Plotnikov, V.V. Botagovskiy M.V. Increasing the durability of monolithic foam concrete of low density by cement modification with activated crystalline hydrates [Текст] / V.V. Plotnikov, M.V. Botagovskiy // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]*. – 2015. – № 10. – P.33-39 (In Russian).
2. Korol, E.A. Technological and organizational efficiency of construction of multilayer exterior walls in monolithic construction [Text] / E.A.Korol, Yu.A.Har'kin. // *Construction and Reconstruction*, 2013. – № 6. – P.3-7. (In Russian).
3. Plotnikov, V.V. Botagovskiy M.V. *Sovremennye tekhnologii povysheniya teplozashchity zdaniy [Modern technologies of increasing thermal performance of buildings.]* / V.V. Plotnikov, M.V. Botagovskiy.- Bryansk: BGITA Publ., - 2010. - 199 p. (In Russian).
4. Plotnikov V.V. *Modern constructional, thermal insulation and finishing materials for energy efficient buildings walls* [Text] / V.V. Plotnikov. - Bryansk: BGITA, 2013. – 168 p (In Russian).

V. Plotnikov

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk

Vice-rector for scientific and innovation activity Doctor of Engineering, professor,

head of the "Building manufacturing" department

E-mail: plotn57@mail.ru

M. Botagovskiy

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk

Senior Lecturer

E-mail: bo1981@mail.ru

S. Plotnikova

FSBEI HE «Bryansk State Engineering Technological University», Bryansk

Postgraduate student

E-mail: wonderlandru@gmail.com

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОРОЖНОГО БИТУМА С АДГЕЗИОННЫМИ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ КАТИОННЫХ ПАВ

Определена динамическая вязкость дорожного битума с добавками Амдор-10, Азол 1002, Дорос-АП, SECABASE 280 при температурах от 160°C до 50°C при расходе добавок 0,5-3,0% от массы битума. Установлено, что введение добавок Амдор-10 и SECABASE 280 снижает динамическую вязкость дорожного битума при всех расходах добавок. С введением добавки Азол 1002 при расходе 2,0% отмечено увеличение динамической вязкости, при других расходах динамическая вязкость уменьшается. При введении добавки Дорос-АП изменения значений динамической вязкости при различных температурах и расходах носят сложный характер. Приведен анализ влияния адгезионных добавок на структуру битума.

Ключевые слова: адгезионные азотсодержащие добавки, динамическая вязкость дорожного битума с добавками, взаимодействие между компонентами дорожного битума, поверхностно-активные вещества (ПАВ)

Как известно [1], большинство композиций, связанных с действием ПАВ, представляют собой сложные смеси, в состав которых входят два или более ПАВ. Эффективность их использования зависит от влияния многих факторов, включая многофункциональные эксплуатационные свойства. Компоненты таких смесей, и особенно ПАВ, взаимодействуют друг с другом, оказывая влияние на эти свойства. ПАВ в промышленности [1] – это смесь различных гомологов поверхностно-активных единений. Как правило, их получают из сырья, являющегося фракцией углеводородов с разными длинами цепей. В большинстве случаев хорошо подобранная система ПАВ (смесь) действует гораздо лучше отдельных компонентов, так как возможно проявление синергетического или антагонистического эффектов.

Катионными ПАВ называют такие вещества, которые диссоциируют в водных растворах с образованием поверхностно-активного катиона с гидрофобной цепью [2]. К катионным ПАВ в основном относятся азотсодержащие соединения, в которых в качестве активных групп используют нитро-, amino-, амидо-, имидосодержащие группы.

Водорастворимые ПАВ состоят из гидрофобных углеводородных радикалов и гидрофильных полярных групп, обеспечивающих растворимость всего соединения в воде [3]. Гидрофильные группы в молекулах водомаслорастворимых ПАВ обеспечивают их растворимость в воде, а достаточно длинные углеводородные радикалы – растворимость в углеводородах (например, в жидких углеводородах дорожных битумов). Маслорастворимые ПАВ не растворяются и не диссоциируют (или слабо диссоциируют) в водных растворах [3]. Помимо разветвленной углеводородной части значительной молекулярной массы, обеспечивающей растворимость в углеводородах, маслорастворимые ПАВ часто содержат гидрофобные активные группы. Поверхностная активность маслорастворимых ПАВ в малополярных средах проявляется прежде всего на границах раздела с водой (электролитом), а также на металлических и других твердых поверхностях [3].

Для проведения реологических исследований дорожного битума с добавками были отобраны четыре адгезионных азотсодержащих добавки, которые относятся к первой и второй группам по эффективности [4], а именно Амдор-10, Азол 1002, Дорос-АП, SECABASE 280.

Реологические свойства адгезионных добавок и дорожного битума с добавками изучались с помощью ротационного вискозиметра BROOKFIELD RVDV-II+PRO, техническое описание которого приведено в [5]. Для исследований использовался вязкий дорожный битум БНД 60/90 московского НПЗ.

Смешивание адгезионных добавок с битумом проводилось при температуре 160°C в лабораторной мешалке для приготовления жидких смесей МЛ-2-01 в течении трех минут для однородного распределения в битуме. Расход добавок составлял от 0,5 до 3,0% массы битума.

Результаты оценки сцепления битума с добавками с поверхностью материала кислой породы приведены в таблице 1. Как видно из таблицы, к высокоэффективным добавкам относятся Амдор-10 и Азол 1002. Но у добавки Азол 1002 диапазон эффективных расходов шире, чем у Амдора-10. К добавкам средней эффективности относятся добавки Дорос-АП и СЕСА-BASE 280.

Таблица 1 – Сцепление дорожного битума с гранитным минеральным материалом

№ п/п	Наименование добавки	Показатель сцепления, выдерживает по образцу №, при расходе добавок в % от массы битума								
		0,3	0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Амдор-10	3	3	2→1	1	2→1	2	2	3	3→2
2	Азол 1002	3	2	2	1	1	1	1	1	3→2
3	Дорос-АП	2	2	3→2	3→2	1	2	3→2	3→2	3→2
4	СЕСА-BASE 280	3	3	3	3	2	2→1	1	1	1

В таблице 2 приведены значения динамической вязкости битума с добавками, а на рисунке 1 зависимость динамической вязкости битума с добавкой Амдор-10 от температуры. Как видно из рисунка 1 и таблицы 3, при снижении температуры от 160°C до 50°C динамическая вязкость битума с добавкой Амдор-10 увеличивается от 0,1-0,15 Па·с до 942-1930 Па·с. С увеличением расхода добавки Амдор-10 кривая вязкости смещается в сторону меньших температур. Смещение кривых в сторону меньших температур наблюдается также и для битума с добавками Азол 1002 и СЕСА-BASE 280.

Таблица 2 – Динамическая вязкость дорожного битума с адгезионными добавками при различной температуре

№ п/п	Кольво добавки в битуме, % отмб.	Динамической вязкости, Па·с, при температуре, °С											
		160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Без добавок	0,148	0,22	0,35	0,59	1,05	2,03	4,29	10,22	27,33	85,2	336	1930
2	Амдор-10-0,5%	0,145	0,22	0,34	0,57	1,01	1,95	4,13	9,86	26,7	83,67	331	1820
3	Амдор-10-1,0%	0,144	0,21	0,34	0,56	1	1,92	4,05	9,56	26,1	81,75	324	1800
4	Амдор-10-1,5%	0,141	0,21	0,33	0,55	0,98	1,88	3,95	9,38	25,43	79,25	313	1730
5	Амдор-10-2,0%	0,13	0,19	0,3	0,5	0,88	1,65	3,42	8,35	22,23	67,58	264	1350
6	Амдор-10-3,0%	0,118	0,18	0,27	0,44	0,76	1,41	2,86	6,84	17,42	50,4	190	942
7	Азол 1002-0,5%	0,145	0,22	0,34	0,56	1	1,91	4,02	9,83	26,4	82,5	320	1760
8	Азол 1002-1,0%	0,139	0,21	0,32	0,53	0,95	1,81	3,79	9,38	24,97	76,75	297	1590
9	Азол 1002-1,5%	0,136	0,2	0,31	0,52	0,91	1,73	3,57	8,98	24,3	74,25	285	1460
10	Азол 1002-2,0%	0,141	0,21	0,33	0,55	0,98	1,87	3,91	10,3	27,87	87,4	340	1830
11	Азол 1002-3,0%	0,125	0,18	0,29	0,47	0,81	1,51	3,08	8,1	21,57	65,25	245	1240
12	Дорос-АП-0,5%	0,146	0,22	0,35	0,58	1,04	2	4,25	10,42	28,17	89,9	367	2010
13	Дорос-АП-1,0%	0,14	0,21	0,34	0,56	1	1,92	4,1	10,03	27,5	88,1	360	2080
14	Дорос-АП-1,5%	0,141	0,21	0,34	0,56	1	1,94	4,13	9,08	24,8	79,67	329	1910
15	Дорос-АП-2,0%	0,14	0,21	0,33	0,56	0,99	1,94	4,13	11,33	31,83	108	456	2800
16	Дорос-АП-3,0%	0,142	0,21	0,34	0,57	1,03	2,02	4,36	10,35	28,7	94,7	401	2350
17	СЕСА-BASE280-0,5%	0,142	0,21	0,33	0,55	0,98	1,88	4,01	9,61	25,87	82,75	326	1770
18	СЕСА-BASE280-1,0%	0,136	0,2	0,32	0,53	0,92	1,76	3,66	8,91	23,37	73,33	290	1550
19	СЕСА-BASE280-1,5%	0,134	0,2	0,31	0,51	0,89	1,69	3,53	8,23	21,7	60,67	256	1330
20	СЕСА-BASE280-2,0%	0,129	0,19	0,29	0,48	0,84	1,59	3,26	7,69	19,8	60	226	1200
21	СЕСА-BASE280-3,0%	0,117	0,17	0,26	0,42	0,72	1,34	2,69	6,24	15,52	45	161	792

Более детально характер изменений динамической вязкости в диапазоне температур 160°C - 50°C можно проследить по рисункам 2 и 3, где на графиках показано изменение значений динамической вязкости битума при различном расходе добавок и постоянной температуре. С увеличением добавки Амдор-10 динамическая вязкость дорожного битума снижается при 160°C с 0,15 до 0,12 Па·с на 20%, при 110°C с 2,03 до 1,41 Па·с на 30,54%, при 50°C с 1930 до 942 Па·с на 51,19%. С увеличением расхода добавки СЕСАВАСЕ 280 динамическая вязкость дорожного битума снижается при 160°C с 0,15 до 0,12 на 20,0%, при 110°C с 2,03 до 1,34 Па·с на 33,99%, при 50°C с 1930 до 792 Па·с на 58,96%. С увеличением расхода добавки Азол 1002 динамическая вязкость битума снижается при 160°C до 0,13 Па·с на 13,33%, при 110°C до 1,51 Па·с на 25,62%, при 50°C до 1240 Па·с на 35,75%. При расходе добавки Азол 1002 2% от массы битума динамическая вязкость увеличивается в сравнении с вязкостью при расходе 1,5% при температуре 160°C с 0,136 до 0,141 на 3,68%, при 110°C с 1,73 до 1,87 Па·с на 8,09%, при 50°C с 1460 до 1830 Па·с на 25,34%.

С увеличением расхода добавки Дорос-АП в диапазоне температур 160°C-110°C введение добавки незначительно снижает вязкость битума при всех расходах добавки: при 160°C до 0,142 Па·с на 3,73%, при 100°C до 4,36 Па·с на 1,63%. В диапазоне температур 90°C-50°C введение добавки Дорос-АП практически не изменяет динамическую вязкость битума при расходе 0,5% и 1,0% и при расходе 1,5% в диапазоне температур 160°C-140°C, незначительно снижает вязкость при расходе 1,5% и температурах 130°C-50°C с 0,59 до 0,56 Па·с при 130°C и с 1930 до 1910 Па·с при 50°C. При расходе добавки Дорос-АП 2,0% и 3,0% динамическая вязкость увеличивается в температурном диапазоне 90°C-50°C с 10,2 до 10,4 Па·с на 1,96%, при 50°C с 1930 до 2800 Па·с на 45,08%.

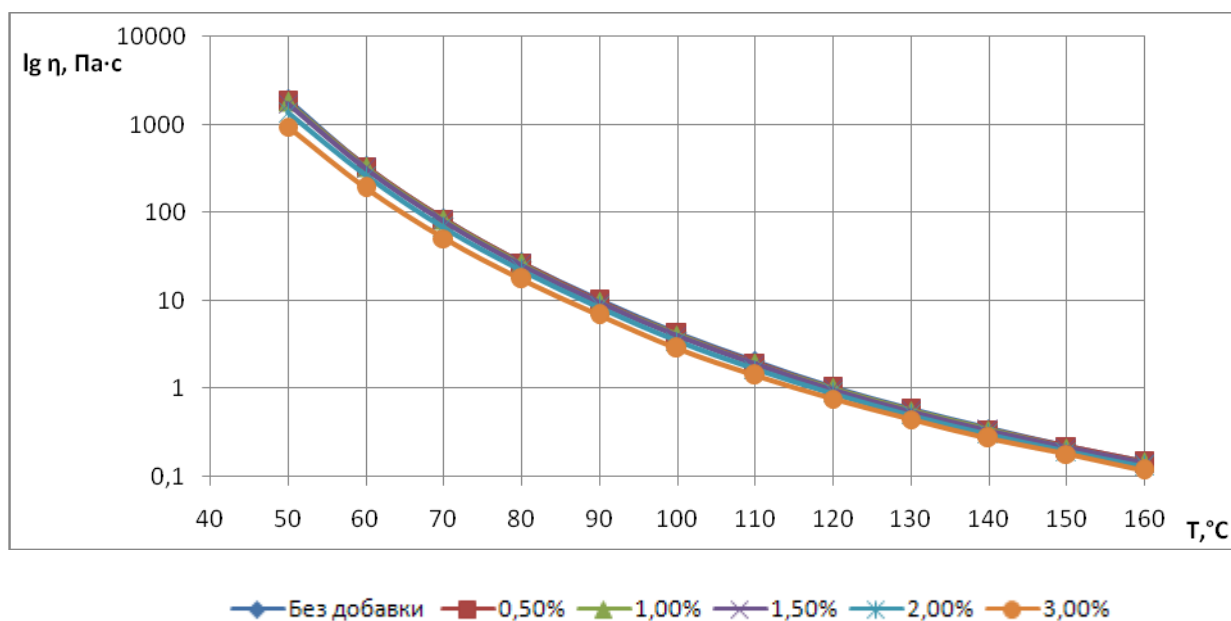


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости η битума с Добавкой Амдор-10 от температуры T при различном расходе добавки

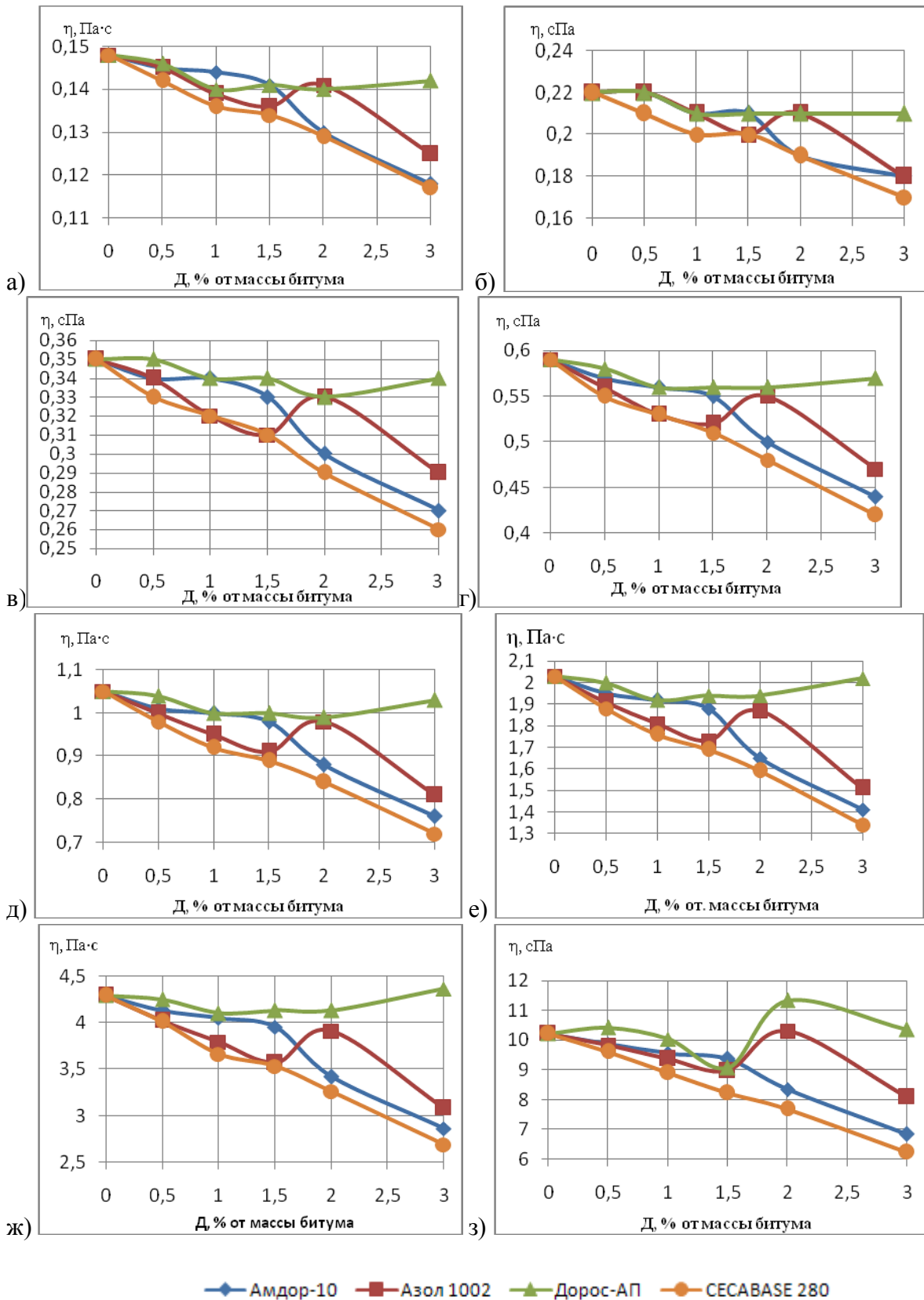


Рисунок 2 – Зависимость динамической вязкости η битума с добавками от расхода D добавок в диапазоне температур 160°C - 90°C : а) – при температуре 160°C, б) – при температуре 150°C, в) – при температуре 140°C, г) – при температуре 130°C, д) – при температуре 120°C, е) – при температуре 110°C, ж) – при температуре 100°C, з) – при температуре 90°C

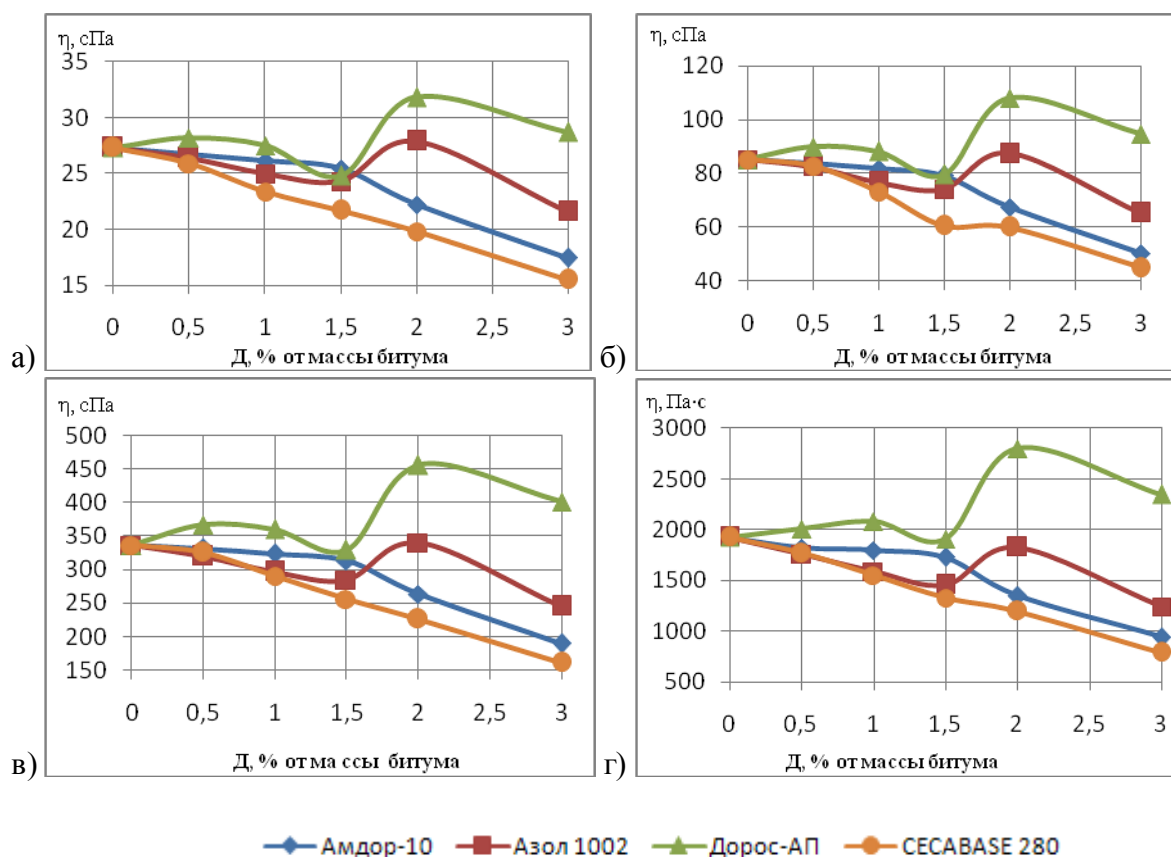


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости η битума с добавками от расхода D добавок в диапазоне температур $80^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$: а) – при температуре 80°C , б) – при температуре 70°C , в) – при температуре 60°C , г) – при температуре 50°C ,

Таким образом, с увеличением расхода адгезионных азотсодержащих добавок Амдор-10, Азол 1002 и СЕСАВАСЕ 280, вводимых в дорожный битум происходит снижение динамической вязкости битума. Подобное явление отмечалось многими авторами. Так в [6] авторы отмечают, что введение в битум катионоактивных добавок типа высших алифатических аминов (октадециламин ОДА), которые адсорбируются на лиофобных участках поверхности асфальтенов с блокировкой мест их возможных контактов, приводит к стабилизации систем. Такая стабилизация адсорбционными слоями вызывает понижение вязкости системы. Адгезионную добавку БП-3 на основе катионных ПАВ, представляющих собой смесь амидоаминов, получали путем термической циклоконденсации синтетических жирных кислот фракции C_{21-26} и полиэтиленполиаминов при температуре 160°C и атмосферном давлении [7,8]. При введении в битум БП-3 также смещает кривую вязкости битума в сторону меньших температур, т.е. снижает динамическую вязкость. Адгезионная добавка Камид [9] содержит амиды жирных кислот, амины, соли аминов, сложные эфиры и высшие карбоновые кислоты. Введение в битум Камиды от 1 до 4 % также приводит к снижению его вязкости [9].

Дорожные битумы относятся к нефтяным дисперсным системам НДС [10] с дисперсной фазой из ассоциатов асфальтенов, представляющих собой сложные структурные единицы (ССЕ), которые находятся в дисперсионной масляной среде из жидких углеводородов. Подобные НДС относятся к лиофобным и характеризуются наличием резко выраженной границы раздела фаз [10]. Длительное существование подобных систем требует образования адсорбционно-сольватных слоев на границе раздела дисперсная фаза – дисперсионная среда. Образование подобных слоев из молекул поверхностно-активных веществ нефтяного происхождения уменьшает значение межфазного поверхностного натяжения и препятствует коагуляции частиц дисперсной фазы.

Сложные структурные единицы (ССЕ) характеризуются во всех случаях радиусом ядра r , толщиной адсорбционно-сольватного слоя h и их отношениями h/r [10]. ССЕ может иметь более или менее постоянные размеры только в дисперсионной среде определенного состава и при сохранении на определенном уровне баланса сил межмолекулярных взаимодействий ММВ. На характеристику адсорбционно-сольватного слоя, кроме радиуса ядра и величины его силового поля, оказывают влияние состав дисперсионной среды, температура, наличие ПАВ. Наличие в НДС естественных, а также введенных извне в систему ПАВ приводит к их солубилизации ССЕ. В [11] указывается, что частицы асфальтенов в коллоидных системах имеют размеры 2-30 нм и образуют коацерваты размером до 2 мк. Устойчивость этих коллоидных систем против расслоения определяется толщиной сольватной оболочки, образованной из адсорбированных молекул смол, представляющих собой структурно-механический барьер, препятствующий ассоциации. Авторы работы [12] отмечают, что при введении в раствор битума в нефтяном растворителе или минеральном масле сильных маслорастворимых ПАВ, маслорастворимых ингибиторов коррозии (МИК) часть ингибиторов сорбируется на макроассоциатах битума, образуя своеобразные двойные электрические слои вокруг них. Однако под воздействием ПАВ-МИК [12] значительная часть битумных макроассоциатов разрушается и включается по принципу внутримицеллярной или надмицеллярной солубилизации в мицеллярную структуру ингибитора.

В этой связи представляют интерес данные по определению группового состава дорожного битума БНД 60/90 с добавкой «Пеназолин 10-16Д» и без нее методом последовательной коагуляции (метод Лысихиной), полученные Круть В.В. в НΠΑО «Синтез ПАВ» [13]. Исходный битум содержал 65% масел, 14% смол и 21 асфальтенов. Катионные ПАВ имидазолинового типа. «Пеназолины» получали реакцией термической циклоконденсации [14] синтетических жирных кислот различных фракций (СЖК фракций С₇-С₉, С₁₀-С₁₆, С₁₇-20 и т.д.) и полиэтиленполиаминов (ПЭПА), представляющих собой смесь диэтилентриамина (70-80%), этилендиамина, триэтилентетрамина и высших аминов (20-30%). В полученном продукте содержание поверхностно-активных амидоаминов (АА), имидазолинов (ИА) и диаминов (ДА) составляло 80-95%, ПЭПА – 5-15%, содержание кислот в виде солей с исходными и полученными аминами составляло 2-5%. Полученный продукт растворим в углеводородных спиртах, ацетоне, бензоле, толуоле, в водных растворах минеральных и органических кислот при рН < 7. Введение добавки Пеназолин 10-16Д в битум в количестве 0,7% от массы битума привело к изменению соотношения между маслами, смолами и асфальтенами: содержание асфальтенов и уменьшилось на 4%, содержание смол увеличилось на 6%, а содержание масел снизилось на 2% [13].

Как известно, агрегация ПАВ возникает и в неполярных растворителях. В рассматриваемых в данной статье адгезионных добавках активные вещества - ПАВ – находятся в растворимом состоянии. Растворителями являются углеводородные неполярные жидкости. В таких системах образуются обратные мицеллы с углеводородными хвостами, ориентированными в объем растворителя, и гидрофобными головами, ориентированными внутрь (рисунок 4).

Схема сложной структурной единицы (ССЕ) в битуме приведены на рисунке 5. В центре ССЕ находится ядро из ассоциатов асфальтенов, которое окружено сольватной оболочкой из смол, переходящей в масляную углеводородную среду. В вязких средах ССЕ принимают геометрические направленные формы [10].

При введении в битум при рабочей технологической температуре 140-160°C адгезионных добавок мицеллы при гомоченизации системы битум – адгезионная добавка распределяются в углеводородной масляной среде и начинают взаимодействовать со ССЕ высаживаясь на сольватную оболочку. Из-за Полидисперсности ССЕ в битуме мицеллы по-разному действуют на крупные и мелкие ССЕ. В результате взаимодействий между ССЕ и мицеллами в процессе сомобилизации происходит изменение количества и структуры ССЕ, битумная дисперсная система становится более термодинамически устойчивой. Таким образом, на основании вышеизложенного можно заключить, что снижение динамической вязкости битума при введении азотсодержащих катионактивных ПАВ Амдор-10, Азол 1002, СЕСАВАСЕ 280 вызвано процессами взаимодействия ПАВ с ССЕ битума, которые приводят к уменьшению их размеров и разрушению некоторой части ССЕ. При использовании в битуме добавки Дорос-АП динамическая вязкость битума существенно не уменьшается, а при температурах от 90°C

до 50°C и расходе добавки 2 и 3 % от массы битума увеличивается. Подобным характер изменения динамической вязкости свидетельствует, что азотсодержащих катионактивных ПАВ в добавке недостаточно для снижения динамической вязкости, а также, что в добавке присутствуют активные вещества, способствующие усилению взаимодействий между структурными элементами в битуме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сомасундаран П. Свойства смесей ПАВ [Текст] / П. Сомасундаран, Леи Хуанг // Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / К.Р. Ланге, под науч. ред. Л.П. Зайченко. – СПб.: Профессия, 2004. – С. 201.
2. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение: Учеб. пособие для вузов [Текст] / А.А. Абрамзон, Л.П. Зайченко, С.И. Файнгольд. – Л.: Химия, 1988. – 200 с.
3. Шехтер Ю.Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества [Текст] / Ю.Н. Шехтер, С.Э. Крейн, Л.Н. Тетерина. – М.: Химия, 1978. – 304 с.
4. Соломенцев, А.Б. Адгезионные добавки для дорожных битумов и асфальтобетонов и оценка их эффективности [Текст] / А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция. – Орел: ГУ-УНПК. – 2013. – №1. – С. 81-85.
5. 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. – №5. – С.73-78.
6. Колбановская А.С. Дорожные битумы [Текст] / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.
7. Карташевский А.И. Получение адгезионных присадок к дорожным битумам [Текст] / А.И. Карташевский, Э.С. Тетельбаум, Т.А. Мейзлер // Вопросы производства и качества нефтяных битумов. Труды БашНИИ НП, выпуск XV. – Уфа. 1976. – С. 117-123.
8. Шемонаева Д.С. Исследование влияния вида и содержания поверхностно-активных веществ на свойства дорожных битумов и асфальтобетонов [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.05:защищена 05.02.1980 / Шемонаева Дина Степановна. – М.: 1980. – 353 с.
9. Бабаев И.В. Технические поверхностно-активные вещества из вторичных ресурсов в дорожном строительстве [Текст] / В.И. Бабаев, И.В. Королев, А.М. Гридчин, В.И. Шухов; Под ред. И.В. Королева. – М.: Транспорт, 1991. – 144 с.
10. Сюняев, З.И. Нефтяные дисперсные системы [Текст] / З.И. Сюняев, Р.З. Сафиева, Р.З. Сюняев. – М.: Химия, 1990. – 226 с.
11. Поконова Ю.В. Смолисто-асфальтоновые вещества [Текст] / Ю.В. Поконова // Химия нефти / И.Ю. Батуева, А.А. Гайм, Ю.В. Поконова и др. – Л.: Химия, 1984. – 360 с.
12. Богданова Т.И. Ингибированные нефтяные составы для защиты от коррозии [Текст] / Т.И. Богданова, Ю.Н. Шехтер. – М.: Химия, 1984. – 248 с.
13. Разработка технических условий на применение в асфальтобетоне катионактивных азотсодержащих ПАВ [Текст]: отчет о НИР / Науч.-произв. акц. общество «Синтез ПАВ»; акц. общество «Орелдорстрой»; рук. Круть В.В.; исполн.: Репина Н.Д. [и др]. Шебекино, 1995. – 30 с.
14. Чистяков Б.Е. Получение катионных ПАВ реакцией циклоконденсации синтетических жирных кислот и полиэтиленполиаминов [Текст] / Б.Е. Чистяков, В.В. Круть, О.Н. Енина, В.К. Снегур // Совершенствование производства поверхностно-активных веществ и сырья из них / Сборник научных трудов ВНИИПАВ. – Белгород: ВНИИПАВ, 1976. – С. 106.

А.Б. Соломенцев

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

Л.С. Мосюра

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Аспирант кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7(953) 611-82-70
E-mail: luba1229@rambler.ru

A. SOLOMENTSEV, L. MOSYURA

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ROAD BITUMEN ADHESIVE ADDITIVE BASED ON NITROGEN-CONTAINING CATIONIC SURFACTANT

Defined dynamic viscosity of bitumen with additives Amdor-10 Azole 1002 Doros-AP, CECABASE 280 at temperatures from 160 ° C to 50 ° C at a rate of addition of 0.5-3.0% by weight of bitumen. The introduction of additives Amdor -10 CECABASE 280 reduces the dynamic viscosity of bitumen additives at all costs. With the introduction of additives Azole 1002 at a rate of 2.0% an increase of the dynamic viscosity with other costs dynamic viscosity decreases. When introducing additives Doros-AP change the values of dynamic viscosity at different temperatures and expenses are complex. The analysis of the effect of additives on the structure of the adhesive bitumen.

Keywords: nitrogen adhesive additives, dynamic viscosity of bitumen with additives, the interaction between the components of bitumen, surface-active compounds (surfactants)

BIBLIOGRAPHY

1. P. Somasundaran Properties surfactant mixtures [Text] / P. Somasundaran, Lei Huang // surfactants: synthesis, properties, analysis, application / KR Lange, a scientific. Ed. LP Zaichenko. - St. Petersburg. Title: 2004. -240 s.
2. Abramson A.A. Surfactants. Synthesis, analysis, properties, application: Proc. manual for schools [Text] / A.A. Abramson, L.P. Zaichenko, S. Feingold. - L.: Chemistry, 1988. - 200 s.
3. Y.N. Schechter Oil soluble surfactants [Text] / Y.N. Schechter, S.E. Crane, L.N. Teterin. - M.: Chemistry, 1978. - 304 s.
4. Solomentsev, A.B. The adhesive additives for road bitumen and asphalt, and assess their effectiveness [Text] / A.B. Solomentsev // Construction and reconstruction. - Eagle: SU-ESPC. - 2013. - №1. - S. 81-85.
5. Kulikov A.V. The rheological properties of bitumen with additives for warm asphalt concrete [Text] / A. Kulikova, A.B. Solomentsev // Construction and reconstruction. - Ore1: State University-ESPC. - 2013. - №5. - S.73-78.
6. Kolbanovskii A.S. Road bitumen [Text] / A.S. Kolbanovskii, V.V. Mikhailov. - M.: Transport, 1973. - 264 s.
7. Kartashevskii A.I. Getting adhesive additives for road bitumen [Text] / A.I. Kartashevskii, E.S. Teteibaum, T.A. Meyzler // Questions of production and quality of bitumen. Trudi BashNII release XV. - Ufa. 1976. - S. 117-123.
8. Shemonaeva D.S. Investigation of the effect of the form and content of the surfactant on the properties of road bitumen and asphalt [Text]: Dis., PhD. tehn. Sciences: 05.23.05: 05.02.1980 protected / Shemonaeva Dean Stepanovna. - M.: 1980. - 353 s.
9. I. Babayev Technical surfactants from secondary resources in road construction [Text] / V.I. Babayev, I.V. Korolev A.M. Gridchin, V.I. Shukhov; pod red/ I.V. Koroleva. - M.: Transport, 1991. - 144 s.
10. Sunyaev, Z.I. Oil dispersions [Text] / Z.I. Sunyaev, R.Z. Safieva, R.Z. Sunyaev. - M.: Chemistry, 1990. - 226 s.
11. Pokonova Y.V. Smolisto- asphaltene substances [Text] / Y.V. Pokonova // Oil Chemistry / I.Y. Batueva, A.A. Haym, Y.V. Pokonova et al. - L.: Chemistry, 1984. - 360 s.
12. Bogdanova T.I. Inhibited oil formulations for corrosion protection [Text] / T.I. Bogdanova, Y.U. Schechter. - M.: Chemistry, 1984. - 248 s.
13. Development of specifications for use in asphalt concrete nitrogen-containing cation-surfactant [Text]: report on research / scientific-Manuf. ASC. Company "Synthesis of surfactant"; akts.obschestvo "Oreldorstroy"; hands. Krut V.V.; executing.: Repin N.D. [and etc]. Shebekino, 1995. - 30 s.
14. Chistyakov B.E. Preparation of cationic surfactant reaction tsiklokondenistsii synthetic fatty acids and polyethylene polyamines [Text] / B.E. Chistyakov, V.V. Krut, O.N. Enina, V.K. Snegur // Improving the production of surface-active substances and raw materials from them/ Collection of scientific works VNIIPA V. - Belgorod; VNIIPA V, 1976. - S.106

A. Solomentsev

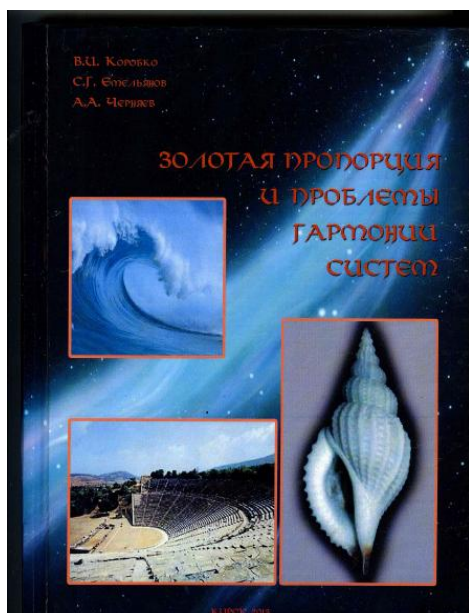
State university – educational-science-production complex, Ore1
 Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Construction of highways»
 Ph.: +7 (4862) 73-43-67
 E-mail: absolomentsev@mail.ru

L. Mosyura

State university – educational-science-production complex, Ore1
 First year graduate student of department «Building of highways»
 Ph.: +7 (953) 611-82-70

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ «ЗОЛОТАЯ ПРОПОРЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ГАРМОНИИ СИСТЕМ»

Коробко В.И., Емельянов С.Г., Черняев А.А. Золотая пропорция и проблемы гармонии систем. 2-е изд., испр. и доп. Курск: Изд-во ЮЗГУ, 2013. 446 с.



В 2012 году в издательстве Юго-Западного государственного университета опубликована книга «Золотая пропорция и проблемы гармонии систем», посвященная изучению феноменологических свойств золотой пропорции (золотого сечения).

О многих замечательных свойствах золотой пропорции известно с глубокой древности из трудов пифагорейцев, «Начал» Евклида. Леонардо да Винчи ввёл сам термин «золотое сечение», а его современник математик Л. Пачоли посвятил золотому сечению книгу «Божественная пропорция»; о золотом сечении писал в одном из своих произведений И. Кеплер.

В середине XIX в. немецкий учёный Цейзинг провозгласил золотое сечение универсальной пропорцией, характерной для совершенных творений природы и произведений искусства. Он рассматривает деление золотым сечением как основной морфологический закон в природе и искусстве: «Для того, чтобы целое, разделённое на две неравные части, казалось прекрасным с точки зрения формы, между меньшей и большей частями должно быть то же отношение, что и между большей частью и целым».

За последние 20 лет опубликовано много книг, монографий и статей, посвященных золотому сечению. В подавляющем большинстве в этих публикациях рассматривается ограниченный круг вопросов из определенной отрасли знаний, в которой их авторы являются специалистами. Предлагаемый же труд носит энциклопедический характер. Его автором удалось охватить огромный круг проблем из самых разнообразных отраслей науки и областей знаний (архитектура, изобразительное и прикладное искусство, музыка, физиология человека, медицина, эргономика, механика и др.). Этот труд включает в себя многочисленные известные в науке сведения по этой проблеме с обобщениями авторов. Но самое главное заключается в том, что добрая треть книги включает результаты исследований самих авторов, описанием их находок в самых неожиданных областях проявлений закономерностей золотого сечения, которые убедительно подтверждают высказывание Цейзинга.

Книга рассчитана на самый широкий круг читателей от школьника до профессора, хотя её и нельзя назвать популярной. Она, скорее всего, носит учебно- и научно-методический характер, поскольку её основная цель – обратить внимание специалистов в различных отраслях знаний, студентов, старшеклассников на феноменологические свойства золотой пропорции и ряда чисел Фибоначчи, на фундаментальность закономерностей, описываемых с их помощью, на методологию возможного научного подхода при поиске оптимальных состояний различных природных систем

Ввиду большой разнородности рассматриваемых в книге вопросов неподготов-

ленному читателю трудно было бы освоить каждый из её разделов без некоторых общих вводных сведений и понятий, предваряющих каждую излагаемую проблему. Авторы намеренно пошли на это, возможно, тем самым существенно увеличили аудиторию, которой эта книга стала интересной и понятной.

На сегодняшний день – это единственное столь полное, по сути, энциклопедическое издание в отечественной научной литературе по проблеме гармонии природных и технических систем в различных сферах человеческой деятельности. Монография, несомненно, будет полезной для строителей, архитекторов, машиностроителей, специалистов занимающихся вопросами несущей способности конструкций, зданий и сооружений.

Академик РААСН, д.т.н., проф.

Колчунов В.И.

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 TimesNewRoman, 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 текст 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

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

Адрес учредителя журнала
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29

Контактные данные учредителя
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.

Контактные данные редакции
+7(4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru/science/journal/sir
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.Ю. Савин
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 25.11.2015г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 8,2.
Тираж 400 экз.
Заказ №_____

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