

MIESIĘCZNIK
POŁOCKI.

Т о м I.
Р о к 1818.

*«Вестник Полоцкого государственного университета»
продолжает традиции первого в Беларуси литературно-
научного журнала «Месячник Полоцкий».*



ВЕСНИК ПОЛАЦКАГА ДЗЯРЖАУНАГА УНІВЕРСІТЭТА
Серыя F. Будаўніцтва. Прыкладныя навукі

У серыі F навукова-тэарэтычнага часопіса друкуюцца артыкулы, якія прайшлі рэцэнзаваў, змяшчаюць новыя навуковыя вынікі ў галіне будаўніцтва і архітэктуры, геадэзіі і картаграфіі, геаэкалогіі і транспарту.

ВЕСТНИК ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия F. Строительство. Прикладные науки

В серии F научно-теоретического журнала публикуются статьи, прошедшие рецензирование, содержащие новые научные результаты в области строительства и архитектуры, геодезии и картографии, геоэкологии и транспорта.

HERALD OF POLOTSK STATE UNIVERSITY
Series F. Civil engineering. Applied sciences

Series F includes reviewed articles which contain novelty in research and its results in civil engineering and architecture, geodesy and cartography, geoecology and transport.

Адрес редакции:
Полоцкий государственный университет, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, 211440, Беларусь
тел. + 375 (214) 53 34 58, e-mail: vestnik@psu.by

Отв. за выпуск А.А. Бакатович, Г.И. Захаркина, В.В. Булах, В.И. Мицкевич, В.К. Липский.
Редактор Р.Н. Авласенок.

Подписано к печати 30.06.2014. Бумага офсетная 70 г/м². Формат 60×84¹/₈. Ризография.
Усл. печ. л. 14,65. Уч.-изд. л. 17,66. Тираж 100 экз. Заказ 1290.

АРХИТЕКТУРА

УДК 728.1

ОБЪЁМНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОЛОДЁЖНОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА КАК НОВОГО ТИПА ЗДАНИЯ

Е.Ю. ОРЛОВСКАЯ*(Полоцкий государственный университет);**канд. архитектуры, доц. И.П. РЕУТСКАЯ**(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Демонстрируются разработанные авторами предложения по формированию архитектуры молодёжных жилых комплексов нового типа как базовой составляющей решения проблемы улучшения жилищных условий молодежи в современных социально-экономических условиях развития общества. Проведены социальные исследования с целью выявления предпочтений молодых людей при выборе нового типа жилища, а также жилищных условий в целом. Представлена функциональная структура современного молодёжного жилого комплекса с учётом требований молодежи к организации жилища. Выявлены наиболее востребованные элементы общественного обслуживания. Даны предложения по формированию «открытой» и «закрытой» системы обслуживания в структуре жилого комплекса с разделением их на обязательные и дополнительные виды услуг. Разработаны приёмы размещения элементов общественного обслуживания в структуре молодёжного жилого комплекса.

Введение. Особую актуальность приобретает проблема обеспечения необходимыми условиями проживания молодежи, которая является гарантом развития государства. Поддержка молодых семей при решении жилищной проблемы станет основой стабильных условий жизни для этой наиболее активной части населения, повлияет на улучшение демографической ситуации в стране, позволит сформировать экономически активный слой населения, будет способствовать развитию и социализации молодежи и в конечном итоге отразится на развитии общества в целом.

Решением молодежной жилищной проблемы на современном этапе развития общества может стать организация молодёжных жилых комплексов нового типа, располагающих необходимой инфраструктурой, так как полноценные условия жизнедеятельности молодых людей и молодых семей могут быть созданы только в специализированном жилище, т.е. жилых зданиях, отвечающих их потребностям и предназначенных именно для этой категории населения.

Социальный заказ на подобный тип жилища изначально сформировался в СССР в 70-х годах прошлого века в коллективе молодых людей – будущих жителей, организованных в сообщество МЖК (молодёжный жилой комплекс) и ставших разработчиками механизма воплощения идеи от организации самоуправления до строительства и эксплуатации жилых домов на основе самоуправления. При большом на тот момент дефиците жилья для населения города, первоочередной задачей было обеспечение молодых семей квадратными метрами и основными инфраструктурными элементами на территории МЖК. Именно такая организация была единственно возможной на тот момент и соответствовала как методам проектирования, так и потенциалу строительно-технологического парка.

Идеи и ценности МЖК формализовались в то время в виде типового панельного домостроения, привязок типовых объектов соцкультбыта, образовательных учреждений в соответствии с нормами типового проектирования микрорайонов. Так что говорить об уникальности архитектуры здесь не приходится, здесь уникальным было само сообщество.

Цель данной работы – разработать предложения по формированию архитектуры молодёжных жилищных комплексов нового типа как базовой составляющей решения проблемы улучшения жилищных условий молодежи в современных социально-экономических условиях развития общества в Беларуси. *Научная новизна разработки* заключается в определении требований к проектированию жилых ячеек и инфраструктуры комплекса, соответствующих современному социальному заказу применительно к новым социально-экономическим условиям в республике для молодежи.

Задачами исследования стали следующие: выявление потребностей определенной социальной категории населения – молодежи – в организации жилища; определение функциональной структуры МЖК; выявление рациональных приемов объемно-планировочного построения МЖК.

Методы исследования: 1) изучение научных трудов, нормативных, проектных и методических документов по изучаемой проблеме; 2) использование методов исторического исследования, системного анализа; 3) социологический опрос молодежи по предпочтительным условиям проживания; 4) экспертная оценка, консультации со специалистами: социальными работниками, архитекторами.

Основная часть. Предлагаемый к разработке современный молодежный жилищный комплекс по отношению к МЖК советского периода – это не сообщество граждан-застройщиков, это в первую очередь принципиально новая типологическая единица жилища. Отличие современного МЖК от традиционных форм жилья заключается в особенностях их социально-функционального содержания, в адресном проектировании для молодежи, специфике формирования жилых ячеек и набора предпочтительных для молодежи форм общественного обслуживания, в возможности предоставить места для трудовой деятельности здесь же, в МЖК.

Молодежный жилищный комплекс на современном этапе развития общества можно представить в виде следующих дефиниций:

- коллективное специализированное жилище для молодых людей и семей, организованное с учетом реальных запросов и потребностей именно этой социальной группы населения;
- доступное для приобретения молодежью жилище; как правило, арендуемое молодыми людьми по договорам найма или предоставляемое на льготных условиях;
- жилище, интегрированное с объектами социального и культурно-бытового обслуживания как минимально обязательного, так и дополнительного (как правило, на условиях самофинансирования);
- жилище, включающее места приложения труда для молодежи на предприятиях и в учреждениях, размещенных непосредственно в молодежном жилищном комплексе на условиях найма площадей или в учреждениях общественного обслуживания открытого и закрытого типов, предназначенных для обслуживания комплекса.

На сегодня удовлетворить основные требования к жилью в рамках сложившейся за десятилетия унифицированной модели типовой квартиры невозможно. То, что комфорт жилища привыкли связывать в первую очередь с его размерами, породило стремление добиться удобства проживания в новых условиях путем простого увеличения количества и площади комнат [1].

С целью выявления жилищных условий современной молодежи, а также предпочтений молодых людей при выборе нового жилища были проведены *социальные исследования*. Респондентами являлись студенты специальности «Архитектура» 3 и 5 курсов Полоцкого государственного университета, работники «Проектного института строительства и реконструкции» (ПИРС), а также Новополоцкой ТЭЦ. Всего в опросе участвовали 60 человек, из них 39 студентов (5 работают и учатся) и 21 рабочий. Среди участвующих в опросе специальностей: архитектор – 46 человек; строитель – 4; дизайнер – 2; слесарь по обслуживанию – 1; технолог-машиностроитель – 1; промышленный электроник – 1, а также респонденты других специальностей.

По половому признаку респонденты распределились следующим образом: 34 женщины и 26 мужчин. Соответственно 57 и 43 %.

Возрастные рамки охватывают респондентов от 19 до 30 лет. Среди участников опроса оказалось: 7 человек в возрасте 19 лет (13 %); 3 человека – 20 лет (6 %); 17 человек – 22 лет (32 %); по 7 человек в возрасте 23 и 24 лет (13,2 %); 5 человек – 25 лет (9 %); 3 человека – 26 лет (6 %); 2 человека – 27 лет (4 %); по одному человеку 29 и 30 лет (1,8 %).

Из 60 опрошенных 48 не состоят в браке, 10 – женаты или замужем, 2 – разведены, т.е. лишь 17 % составляют молодые семьи, в то время как 80 % респондентов – одиночки. Именно это обстоятельство существенно влияет на выбор предпочитаемого жилища. Лишь у 6,6 % опрошенных респондентов есть дети.

Исследования показывали, что из 50-ти молодых одиноких респондентов 20 человек проживают с родителями и 30 проживают отдельно. Соответственно 40 и 60 %. Причём из 20 человек, проживающих с родителями, у 13 есть отдельная комната, а 7 проживают в одной комнате совместно с другими членами семьи. Они не имеют возможности купить себе жильё, не могут создать условия, которые необходимы для развития творческого потенциала, повышения работоспособности и позитивного взгляда на мир. И в этом случае молодёжный жилой комплекс является хорошей альтернативой решения социальной проблемы.

Если сравнить с семейными респондентами, цифры оказываются близкими: 30 % проживают с родителями (3 человека) и 70 % – отдельно (7 человек). Из трёх семей, проживающих с родителями, у двух семей имеется отдельная комната, у одной – отдельная зона дома из нескольких комнат.

В целом жилищные условия респондентов представлены следующим образом: из 60 опрошенных 23 человека проживают с родителями; 15 – на съёмной квартире; 18 – в общежитии; лишь 4 человека проживают в собственной квартире (рис. 1).

Что касается желания жить вместе с родителями, то из 60 человек только один изъявил желание жить совместно (1,7 %), 35 – рядом (58,3 %), 18 – на отдалении (30 %), 6 человек отметили, что для них неважно, на каком расстоянии от родителей проживать.

Из 60 человек 49 не изъявляют желания проживать на съёмной квартире (82 %) и лишь 11 согласны (18 %); 39 человек (65 %) из 60 хотели бы проживать в доме с социальным обслуживанием.

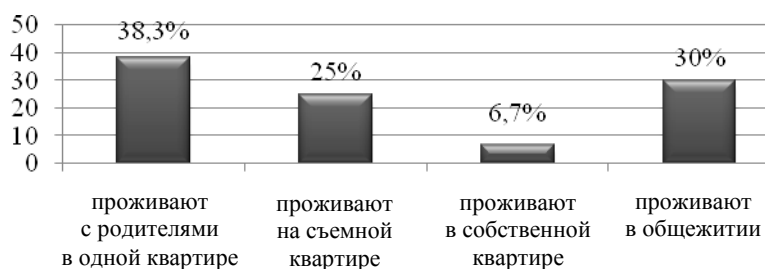


Рис. 1. Жилищные условия респондентов

Оптимальными условиями для молодых людей, по мнению респондентов, являются: на первом месте – отдельная квартира в обычном жилом доме; на втором – специализированный комплекс для обслуживания молодёжи; далее идёт общежитие и арендуемое жильё (рис. 2, 3).

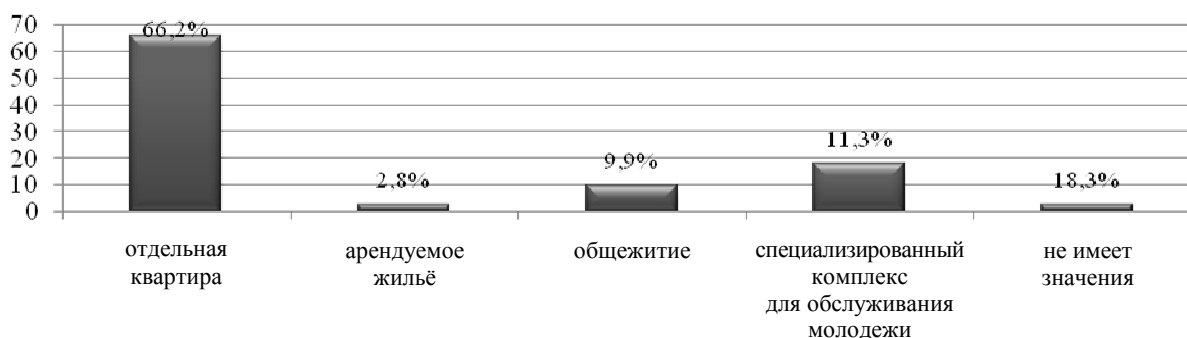


Рис. 2. Оптимальные жилищные условия молодых одиноких людей, по мнению респондентов

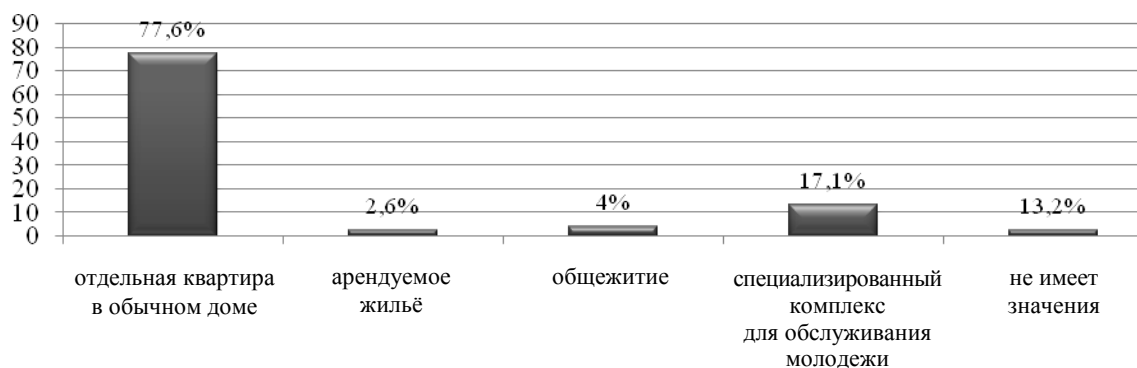


Рис. 3. Оптимальные жилищные условия молодых семейных людей, по мнению респондентов

После проведенного опроса респондентам было разъяснено, чем специализированный комплекс для обслуживания молодёжи отличается от обычного жилого дома и в чём плюсы размещения объектов общественного обслуживания в непосредственной близости. После этого на вопрос: «Хотели бы Вы жить в таком доме?», из 21 человека только 5 ответили отрицательно. Таким образом, 16 – «за» (76 %) и 5 – «против» (24 %).

По результатам опроса была выявлена функциональная структура молодёжного жилого комплекса. Специфика образа жизни молодых семей требует новых форм жилища. Среди них выделяют более гибкие формы, более развитую по типологии и компактную по размещению сеть общественного обслуживания [2].

В общем случае функциональная структура МЖК может быть представлена 10 группами помещений различного назначения (рис. 4): жилые; для временного пребывания детей; общественного питания;

хозяйственно-бытового обслуживания; рекреации; торговые; физкультурно-оздоровительные; досуговые; места хранения личных средств транспорта; места для трудовой и деловой деятельности.

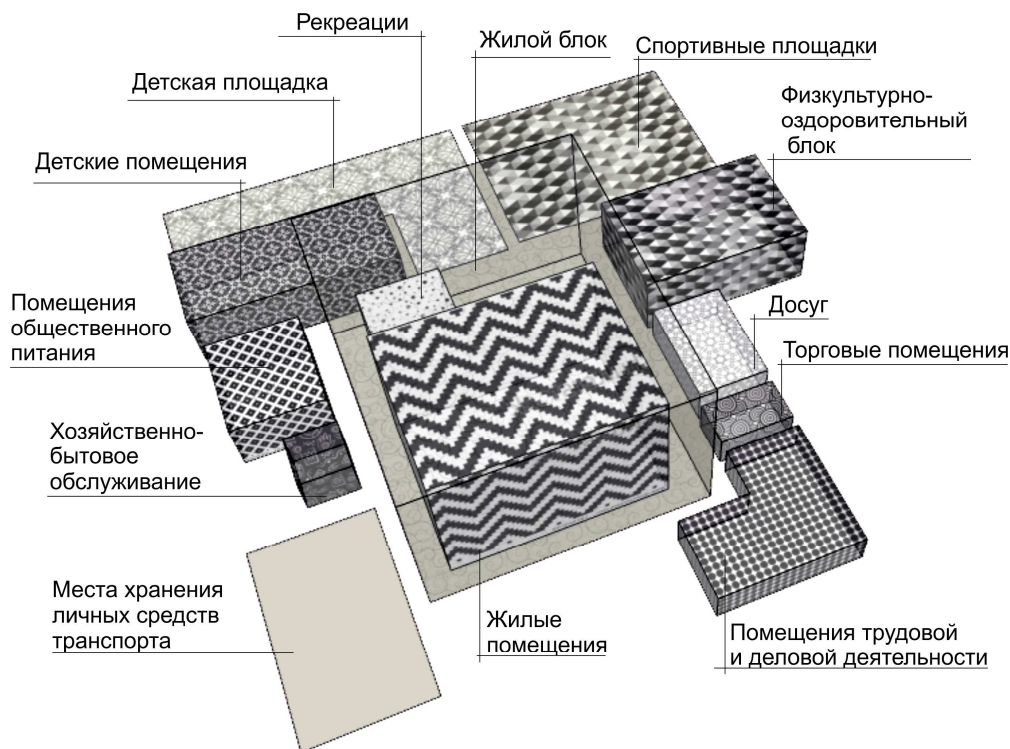


Рис. 4. Функциональная структура проживания и обслуживания в молодёжном жилом комплексе

Организация обслуживания в МЖК должна предусматривать «открытую» и «закрытую» систему обслуживания. К «открытой» относятся предприятия и учреждения, доступные для посетителей из других домов и составляющие обслуживание любого жилого комплекса: предприятия торговли, общественного питания, бытового обслуживания и др. К «закрытой» относятся учреждения для молодежи, проживающей непосредственно в МЖК: универсальные залы для проведения различных мероприятий; комнаты кратковременного пребывания детей дошкольного возраста; школьного возраста; комнаты для занятий по интересам; помещения физкультурно-оздоровительного назначения и др.

Такой набор помещений обеспечивает удобство эксплуатации и сокращает время на повседневные нужды, а также предоставляет жителям комплекса возможность моделировать образ жизни под изменяющиеся со временем интересы.

Входы встроенных и встроенно-пристроенных открытых предприятий следует предусматривать обособленно от жилой части дома: преимущественно со стороны магистралей и улиц в случае организации предприятия по «открытой» системе обслуживания; объединенные с жилой частью или обособленные от нее, но в удобной связи, в случае организации «закрытой» системы обслуживания [3].

По результатам опроса были выявлены наиболее востребованные элементы общественного обслуживания и разделены на открытую и закрытую зоны, что проиллюстрировано рисунком 5.

К **основным видам услуг** необходимо отнести блоки с общественным обслуживанием, характерным именно для молодежи:

- блок детского обслуживания (детский сад, комнаты кратковременного пребывания детей дошкольного и школьного возраста, открытые площадки для игр, колясочные);
- блок культурно-бытового обслуживания (универсальные залы для проведения собраний, вечеров, лекций и др., комнаты для занятий по интересам).

Как **дополнительные виды услуг** в МЖК рекомендуется ввести:

- зрительный зал в виде многоцелевого пространства универсального назначения: зрительный зал-форум с местами в виде съемных секций, трансформация в котором может осуществляться как при помощи зонирования, так и при помощи сборно-разборного оборудования, раздвижных перегородок и других конструктивных систем;

- *лечебно-профилактический блок* (стоматологические кабинеты, кабинеты врачей общей практики (семейных врачей) и другие кабинеты врачебного приема, в том числе кабинеты частнопрактикующих врачей, раздаточные пункты молочных кухонь и хозрасчетные (частные) аптеки общего типа);

- физкультурно-оздоровительный блок при условии регламентированного режима функционирования;

- блок хозяйственно-бытового обслуживания (ателье пошива, мастерские ремонта и др.) [4].

Структура обслуживания МЖК должна строиться с учетом существующей системы обслуживания микрорайона, в котором располагается комплекс.



Рис. 5. Наиболее востребованные объекты общественного обслуживания:
О – учреждения открытой формы; 3 – учреждения закрытой формы обслуживания

Определенные услуги должны предоставляться внутри самого комплекса с удобным доступом для его жителей, часть услуг может быть расположена за пределами комплекса, в существующей инфраструктуре микрорайона. Набор предприятий и учреждений обслуживания в МЖК зависит от количества проживающих в комплексе, их демографического состава, сложившейся и перспективной организации системы культурно-бытового обслуживания в районе и должен определяться в каждом конкретном случае. Но так как демографическая структура изменчива, архитектурная организация зоны общественного обслуживания должна быть «гибкой», т.е. позволять производить функциональные и планировочные преобразования.

Включение молодёжных жилых комплексов в городскую жилую среду позволяет решить многие градостроительные, архитектурно-строительные и социально-экономические, экологические задачи как в сложившейся застройке, в районах реконструкции, так и на территориях нового строительства.

Многие виды жизнедеятельности человека нуждаются в пространственной близости, которая максимально реализуется в жилом комплексе с развитой системой обслуживания. Все, что сопутствует полноценному образу жизни человека (спорт, быт, организация внутрименового досуга и отдыха), сегодня проектировщик старается максимально приблизить к жилому дому.

Развивающийся рынок услуг обусловил внесение развитой номенклатуры помещений и учреждений обслуживания в структуру жилых комплексов.

Размещение учреждений обслуживания в структуре МЖК может быть представлено следующим образом (рис. 6):

- в едином объёме (на первых этажах молодёжного жилого комплекса; на промежуточных этажах; на верхних этажах; непосредственно на этажах при квартирах, это могут быть как учреждения обслуживания, так и рекреации;

- в отдельно стоящем здании (в цокольном или подвальном этажах; на территории комплекса).

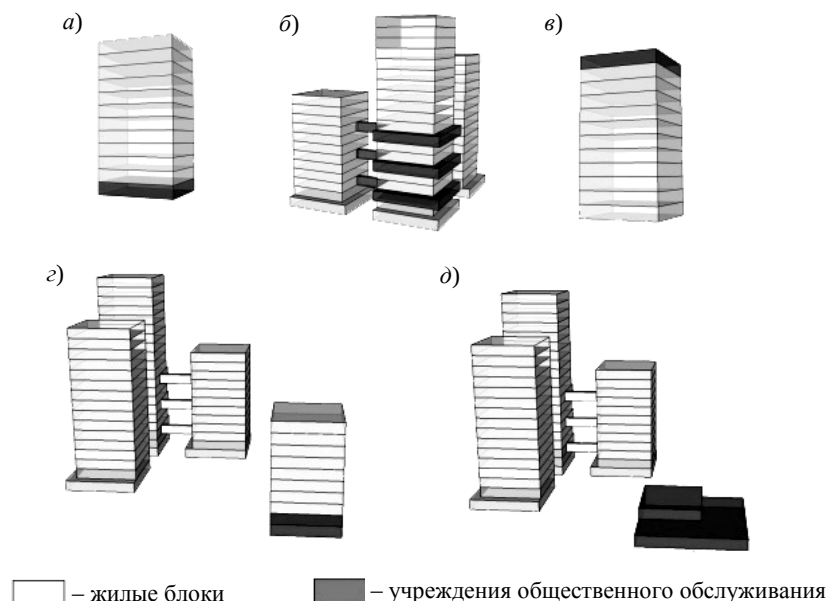


Рис. 6. Размещение учреждений обслуживания:

a – на первых этажах комплекса; *б* – на промежуточных этажах; *в* – на верхних этажах; *г, д* – размещение учреждений обслуживания на территории комплекса в отдельном здании

В жилые здания рекомендуется встраивать малые предприятия:

- без больших потоков посетителей;
- без производственных процессов или с отдельными видами производственных процессов;
- не связанные с нарушением санитарно-экологической среды;
- не нарушающие комфортности проживания жильцов дома;
- имеющие технологию и объемно-планировочные решения, не противоречащие конструктивным решениям и структуре жилого здания;
- отвечающие требованиям нормативных параметров воздушной среды, шума, вибрации и т.д.

При проектировании молодёжного жилого комплекса необходимо учитывать ряд требований, предъявляемых к *объемно-планировочным решениям*:

- планировка молодёжного жилого комплекса должна предусматривать деление на три зоны: жилую (квартиры), общественную и подсобно-хозяйственную (помещения личной гигиены, хозяйственные, коммуникационные и помещения для хранения вещей);
- обеспечение правильного соотношения площадей жилых и подсобных помещений и рациональное взаимное расположение помещений, в соответствии с их функциональным назначением и взаимосвязи;
- обеспечение возможности вариантного размещения запланированных зон и создание свободного, незатесненного пространства;
- планировка квартир определяется составом и размещением мебели, созданием свободных пространств для передвижения, эстетическими требованиями, модульно-координационной системой параметров.

Конструктивные решения несущего остова жилого дома могут быть представлены стеновой, каркасной или комбинированной системой. Однако гибкая планировка в полной мере может быть реализована в доме с каркасной системой.

К *экономическим требованиям* относится создание максимальных удобств и комфорта при предельно экономичном и рациональном использовании пространства, а также выбор энергосберегающих архитектурных решений.

Объемно-планировочные решения МЖК могут быть различными: от отдельного здания до гармонично увязанной группы домов и жилого комплекса.

Архитектурно-художественные решения связаны с обеспечением художественной выразительности облика здания, что создается различными приемами размещения и группировки окон, балконов, лоджий, выделением частей фасадов выступами, разной фактуры или цветом и т.д. [2]. Для строительства МЖК не могут использоваться типовые серии. При создании выразительного художественного образа объекта для молодежи уместно использовать приемы современной авангардной архитектуры, активное включение цвета, элементов модных стилевых направлений, дизайна, природы.

Заключение. Успешная реализация государственной молодежной политики по улучшению жилищных условий молодежи во многом определяется применением новых прогрессивных типов жилища, основным среди которых может стать *молодежный жилой комплекс* – специализированный тип жилища, организованный в соответствии с потребностями и запросами этой категории населения, предоставляющий комфортные условия для проживания, получения разнообразных видов услуг, осуществления отдельных видов деловой и трудовой деятельности, а также обеспечивающий экологическую безопасность проживания и эстетическую выразительность архитектурного образа.

С целью определения рациональной функциональной структуры молодежного жилого комплекса на современном этапе развития общества нами были проведены социологические исследования методом интервьюирования и анкетирования по выявлению предпочтений молодых граждан к организации мест проживания и проведения досуговых форм деятельности. По результатам опроса даны предложения по формированию «открытой» и «закрытой» системы обслуживания в МЖК с разделением их на обязательные и дополнительные виды услуг, а также показаны приемы размещения элементов общественного обслуживания в структуре МЖК.

В общем случае функциональная структура МЖК может быть представлена 10 группами помещений различного назначения: жилые; для временного пребывания детей; общественного питания; хозяйственно-бытового обслуживания; рекреации; торговые; физкультурно-оздоровительные; досуговые; места хранения личных средств транспорта; места для трудовой и деловой деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аладов, В.Н. Новые типы домов-комплексов с обслуживанием / В.Н. Аладов // Архитектура и строительная наука. – 2011. – № 1. – С. 7–9.
2. Объёмно-планировочные решения зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroilogik.ru/arhitektura/arh-proektirovanie/2-trebovnie-plan.html>. – Дата доступа: 07.05.2014.
3. Разработка оптимального взаимодействия конструкции и художественной формы многоквартирного жилого дома в новых архитектурно-конструктивных системах: отчет о НИР ГБ 06-60 ГПОФИ. Строительство и архитектура / Белорус. нац. техн. ун-т; рук. В.Н. Аладов. – Минск, 2011.
4. Аладов, В.Н. Развитие номенклатуры квартир и типологии многоквартирных жилых зданий в современных социально-экономических условиях / В.Н. Аладов, И.П. Реутская, Т.А. Рак // Архитектура и строительная наука. – 2008. – № 1. – С. 2–5.

Поступила 30.05.2014

SPACE-PLANNING ORGANIZATIONS AND ELEMENTS OF PUBLIC SERVICE OF THE YOUTH RESIDENTIAL COMPLEX AS A NEW TYPE OF BUILDINGS

E. ORLOVSKAYA, I. REUTSKAJA

Proposals for the formation of the youth housing complexes architecture as a new type of basic component solutions for improving the living conditions of young people in modern social and economic conditions of society development are elaborated. Social research which identify the preferences of young people in choosing new type of dwelling and living conditions in general were conducted. Functional structure of modern youth residential complex with regard of the requirements of young people to the organization of the dwelling was presented. Most popular elements of social services were identified. Proposals of formation “open” and “closed” system service in the structure of residential complex with separating them into mandatory and additional services were given. Techniques of deployment of public services elements in the structure of the youth residential complex were developed.

УДК 726.71

**АРХИТЕКТУРА КАТОЛИЧЕСКИХ МОНАСТЫРЕЙ БЕЛАРУСИ
ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX ВЕКА**

*канд. архитектуры, доц. А.Н. КОЛОСОВСКАЯ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Анализируется архитектура наиболее крупных монастырских комплексов католических монашеских орденов, существовавших на территории Беларуси во второй половине XIX века. Архитектура объектов рассмотрена на общем историко-культурном фоне с использованием историко-генетического и историко-сравнительного методов. Отмечается, что новая регулярная градостроительная планировка пришла из русского зодчества. В ней монастыри были крупными градостроительными комплексами, они определяли застройку белорусских городов. Новые монастыри монашеских орденов не организовывались, существующие упразднялись, их здания переводились в военное ведомство, костелы передавались православной церкви и перестраивались в соответствии с канонами православной архитектуры.

Введение. Во второй половине XIX века Беларусь не имела своей государственности и уже более полувека входила в состав Российской империи. Январское восстание 1863 года проходило на территории Царства Польского, Северо-Западного края и Волыни с целью восстановления Речи Посполитой на востоке в границах 1772 года. Восстание окончилось поражением повстанцев и привело к полной потере лояльности российских властей к католической церкви на этих территориях. Новая регулярная градостроительная планировка пришла из русского зодчества.

К исследованию рассматриваемого вопроса привлечены источники отечественных и зарубежных авторов по вопросам деятельности монашеских орденов и видных представителей католического духовенства во второй половине XIX века, которые соотносятся с важнейшими событиями в российском государстве, в том числе взаимоотношение христианских конфессий, русификация костела [1–7]. Привлечены также исследования, затрагивающие вопросы архитектуры отдельных зданий монастырей, стилевые тенденции в архитектуре орденов [8–13].

Католическая церковь ослабила свои позиции: монастыри подлежали перестройке и приспособлению под иные функции. С этой целью были произведены обмеры существующих строений, которые хранятся в фондах архивов и послужили информативной базой для данного исследования при анализе архитектуры ряда объектов. Среди архивных материалов, иллюстрирующих строения католических монастырей монашеских орденов, нередко цветные чертежи, на которых поверх монохромного обмерного чертежа существующих зданий с помощью цвета были нанесены предполагаемые изменения в планировке [14–22].

Анализ литературы показал недостаточную изученность вопросов архитектуры католических монастырей Беларуси второй половины XIX века, что отчасти объясняется передачей их православной церкви, гражданскому и военному ведомствам и сложностью поиска информации об этих объектах из-за потери их первоначального облика и названия. Менялось не только внутреннее убранство костелов, но и архитектура всех зданий монастырских комплексов, велись строительные работы по перепланировке и перестройке, которые коснулись и внешнего облика строений.

Основная часть. Основные этапы формирования крупных комплексов монастырей католических монашеских орденов происходили в предыдущие столетия с использованием форм и приемов стилей барокко и классицизма. Вторая половина XIX века характеризуется спадом строительной деятельности католической церкви. Нестабильная экономическая и политическая ситуация на территории Царства Польского, Литвы, частично Беларуси и Правобережной Украины привела к Польскому восстанию 1830–1831 годов и закрытию ряда монастырей, а январское восстание 1863 года на территории Царства Польского, Северо-Западного края и Волыни усилило негативную позицию российской власти к католическим монашеским орденам и привело к их упразднению.

Сохранилось множество архивных материалов о католических монастырях и костелах второй половины XIX века, среди которых чертежи, произведенные военными инженерами при перестройке зданий. Оригинальные проектные чертежи – редкость, в силу этого обмерные чертежи этого периода служат ценным источником информации об архитектуре католических монастырей до их последующих перестроек и разрушений.

Минский монастырь бернардинок был основан в 1633 году Александром Служкой и возведен в дереве. Каменный костел строился в 1642–1687 годах, реконструирован после пожара 1741 года, входил в застройку площади Верхнего рынка (современная площадь Свободы) и размещался на пересечении улиц Болотной и Бернардinской (современная ул. Кирилла и Мефодия). В 1853 году женский монастырь был ликвидирован. После подавления Январского восстания 1863 года в здании работала государ-

ственная следственная комиссия, затем с 1869 года размещался православный монастырь св. Духа, а с 1870 года в здании монастыря размещается православный монастырь св. Духа. Комплекс является памятником архитектуры барокко.

Согласно архивным материалам 1869 года [22] комплекс был обнесен каменной стеной и включал: церковь, 2-этажный монастырь с отхожими местами, 2-этажный каменный флигель, деревянный флигель, сарай, хлева, ветхий без крыши амбар, сад, огород (рис. 1).

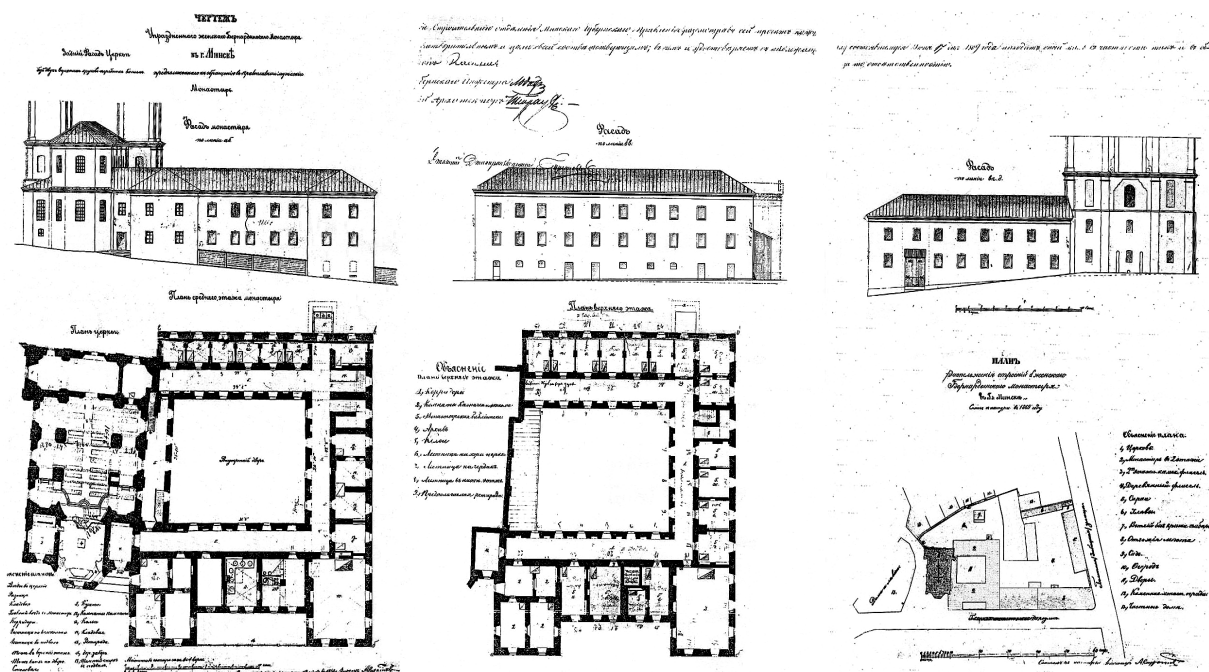


Рис. 1. Чертежи упраздненного женского бернардинского монастыря в Минске, 1869 год

Костел ориентирован апсидной частью на бывшую улицу Бернардинскую, а главным фасадом – во внутренний двор монастыря. Костел представляет собой трехнефную базилику с трехгранной апсидой и двумя прямоугольными в плане боковыми сакристиями. Главный фасад фланкируют многоярусные башни, завершенные сложными куполами, декорированные угловыми слоистыми пилястрами, тонкопрофилированными карнизами, проемами и нишами с лучковыми и циркульными завершениями. Симметричную осевую композицию главного фасада формирует портал входа, декорированный сандриком лучкового очертания и обрамленный пилястрами, в следующем ярусе – окно с лучковым завершением, верхнем ярусе – высокий щит с криволинейным завершением, декорированный профилированными пилястрами. Центральный неф накрыт двускатной крышей, боковые – односкатными. В интерьере в 1-й половине XIX века размещалось 7 стукковых алтарей.

Монастырский корпус 2-этажный, но из-за расположения на крутом рельефе имел подвал и высокий цокольный этаж в дальнем от костела крыле. П-образный монастырский корпус с коридором по внутреннему периметру примыкает к зданию костела с северо-востока, образуя замкнутый внутренний двор. Корпус накрыт скатными крышами с вальмами на торцах, фасады прорезаны прямоугольными оконными и дверными проемами. В соответствии с поясняющими чертеж надписями на плане верхнего этажа размещались: комната казначея-эконома; монастырская библиотека; архив; кельи; лестница, ведущая на хоры церкви, и лестница, ведущая на чердак. На плане среднего этажа размещались: трапезная; кухни; кладовая; кельи; лестница, ведущая в подвал. К стене фасада, выходившей в сад, примыкали деревянные уборные. Трапезная монастыря занимала большое, освещенное с трех сторон помещение на первом этаже, рядом располагались помещения кухни. Библиотека располагалась на верхнем этаже над помещением трапезной.

В Слониме монастырь доминиканцев с костелом святого Михаила Архангела возведены по фундации Криштофа Покрошинского в 1680 году в дереве и располагались на месте современного городского стадиона на улице Пушкина, 57 (рис. 2). Комплекс возводился в камне с 1747 года, а в 1845 монастырь был упразднен, в 1848 году поврежден пожаром. Архитектура строений, возведенных в стиле барокко, известна по сохранившимся архивным чертежам 1851 года [15–18]. Комплекс монастыря, расположенный на огороженном участке, вытянутом вдоль улицы Ружанской, включал: каменный костел, который

соединялся деревянной крытой галереей с 2-этажным каменным домом с деревянной пристройкой; каменный флигель; деревянный сарай; каменную кузницу; деревянный амбар и огороды.

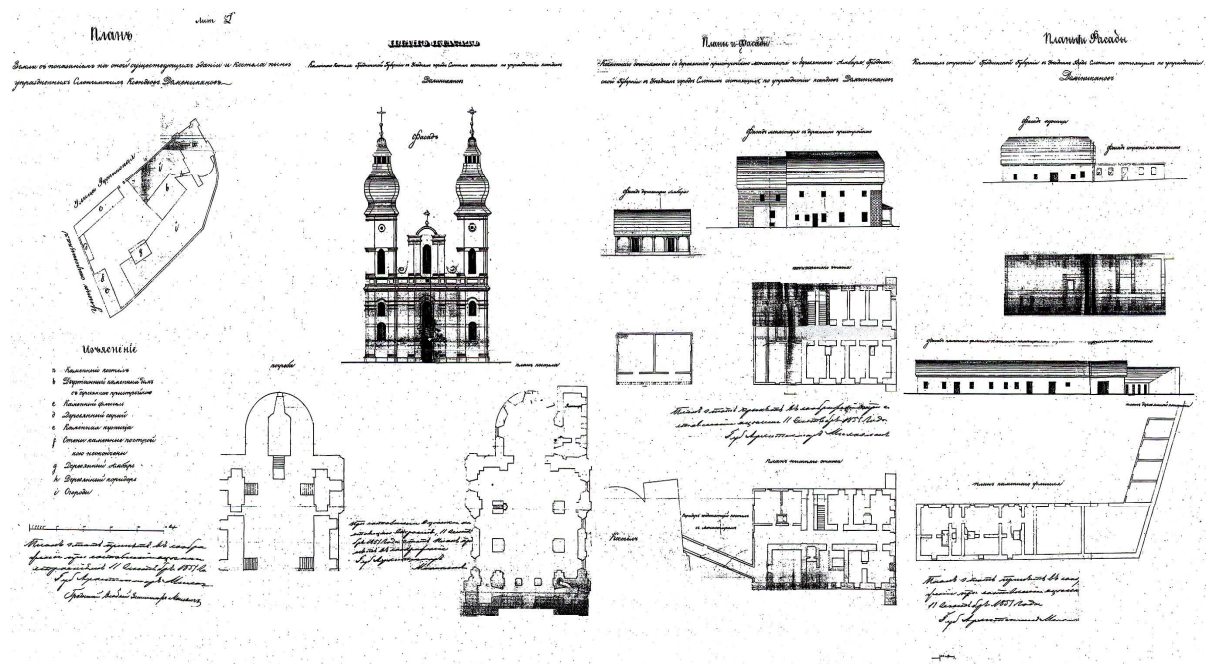


Рис. 2. Планы и фасады доминиканского монастыря и деревянного амбара в Слониме, 1851 год

Костел 3-нефный с полуциркульной апсидой и сакристией, расположенной вплотную справа от апсиды и имевшей выходы прямо в апсиду. Главный фасад 2-башенный, симметричной композиции. Башни 2-ярусные завершались высокими куполами криволинейного очертания с фонариками и крестами. Осева композиция фасада центрального нефа формировалась из портала входа с криволинейным сандриком над ним, высоким лучковым окном (или нишей) и высоким лучковым щитом, декорированным сдвоенными пилястрами с боковыми волютами. Фасады костела прорезаны высокими дверными и оконными проемами с лучковыми завершениями, опоясаны профилированным карнизом с прямоугольными филенками, декорированы слоистыми пилястрами. В интерьере четыре столба делили пространство на три нефа, в толще ближнего к алтарю левого столба размещалась лестница, ведущая на амвон. На хоры, опирающиеся на два столба, вела винтовая лестница, размещенная в толще стены правой башни. В костеле в алтарной части и вдоль боковых нефов были спуски в погреба.

Монастырский корпус был 2-этажным и состоял из каменного строения, накрытого вальмовой крышей, и более низкой деревянной пристройкой, которые соединялись посредством деревянной крытой галереи с сакристией костела. Фасады корпуса были прорезаны прямоугольными дверными и оконными проемами. Деревянный прямоугольный в плане амбар состоял из двух помещений, выходивших в наружную галерею с навесом. Строение каменной кузницы было накрыто вальмовой крышей, фасады прорезаны прямоугольным входным проемом и разновеликими прямоугольными оконными проемами.

Период расцвета базилианского ордена приходится на XVII–XVIII века, который закончился с разделами Речи Посполитой. Соборное постановление о принятии униатов в Православную Церковь было составлено 12 февраля 1839 года. Архитектура монастырей ордена базилиан во многом основывалась на синтезе традиций византийской и римской культур (рис. 3).

Женский монастырь базилианок (Минская церковь Святого духа и монастырь базилиан) был основан в 1616 году на Верхнем рынке Минска и занимал целый квартал в городе (современные площадь Свободы, улицы Интернациональная и Энгельса). Монастырский комплекс был обнесен каменной стеной и включал здание церкви, жилой монастырский корпус и различные постройки хозяйственного назначения. Святодуховский монастырь базилианок располагался в северо-восточном углу комплекса и соединялся с церковью Святого духа крытой галереей, которая была возведена в 1636 году. Церковь представляла собой однонефный храм с 5-гранной алтарной апсидой, была накрыта 2-скатной крышей, торцы которой закрывали высокие щиты резного очертания. Главный фасад симметричной композиции был разделен 4 пилястрами коринфского ордера на 3 части, в центральной части размещен входной портал, над ним окно с полуциркульным завершением. Щит главного фасада декорирован пилястрами, нишами,

скульптурой. Стены боковых нефов прорезаны окнами стрельчатого завершения. В интерьере размещался орган (мастер Людвиг Климович, 1779 г.), пять деревянных и каменных резных алтарей с живописными композициями. В 1795–1799 годах известен как православный Петропавловский монастырь. Костел монастыря с 1795 года известен как Петропавловский собор, который после пожара 1835 года был перестроен в псевдорусском стиле в 1846–1850 годах архитектором Густавом Валертом, а в 1936 году взорван.

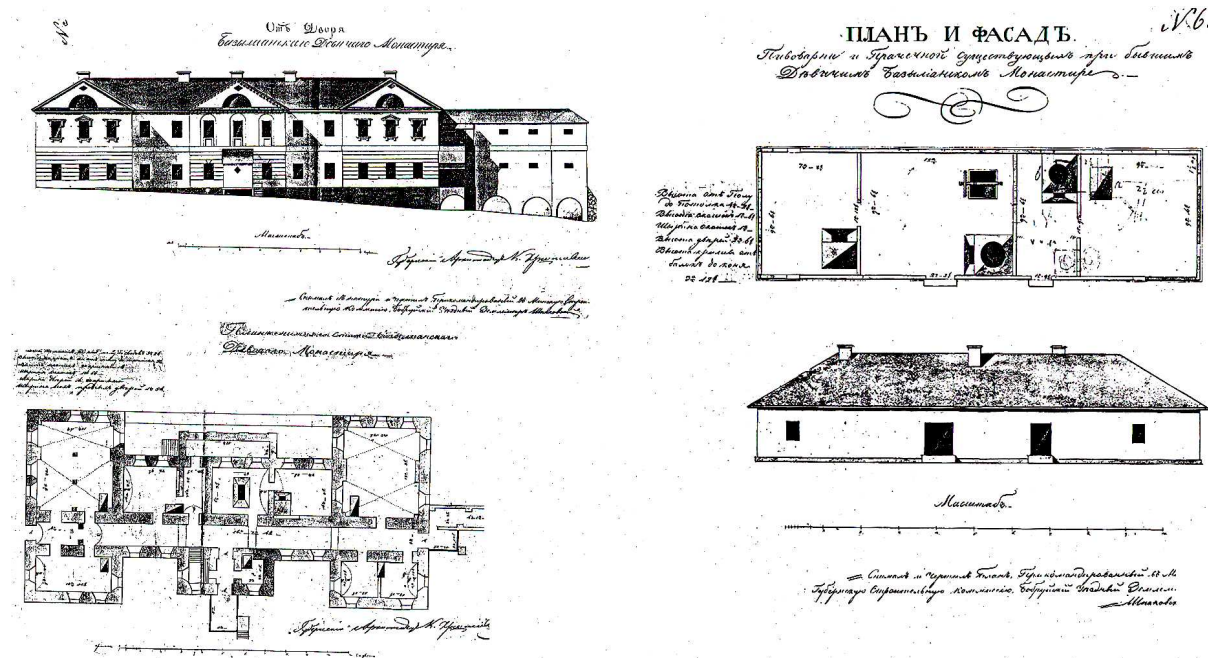


Рис. 3. Чертежи (фасад и план нижнего этажа монастырского корпуса, фасад и план пивоварни) базилианского женского монастыря в Минске, XIX век

Монастырский жилой корпус примыкал к церкви с юго-востока. До 1799 года в здании размещалась резиденция православного архиепископа, затем дворянское училище (арх. Ф. Крамер), которое в 1803 году реорганизовано в мужскую гимназию, в 1852 году перестроено под присутственные места.

Минский Троицкий монастырь базилианок был основан в 1630 году Мариной Вяжевич на Троицкой горе (современная ул. М. Богдановича) при деревянной церкви, известной с XV века. Здание в камне было возведено в стиле классицизма в 1799–1800 годах (арх. Крамер), в 1809 после пожара обновлено (арх. М. Чаховский) и приспособлено в 1834 году (арх. К. Хрштапович) под госпиталь городской больницы. В настоящее время в здании размещается один из корпусов 2-й городской больницы.

Представление об архитектуре здания можно составить по архивным документам – плану базилианского женского монастыря и фасаду корпуса, выходящего во двор [19; 21]. Двухэтажный корпус накрыт 2-скатными крышами, фасады прорезаны прямоугольными оконными проемами, которые на 2 этаже оформлены декоративными сандриками с прямоугольным завершением и с завершениями в виде фронтонов, а также декоративно оформленных подоконников. Торцы крыш завершены треугольными фронтонами, тимпаны которых прорезаны большими арочными нишами, над ними ромбовидные ниши. Карнизы центрального фронтона декорированы зубчиками. Нижний ярус здания на торцах декорирован рустом. Центральный вход имел выносной входной тамбур с наклонной крышей и с выносной, пристроенной справа лестницей. Планировка корпуса симметричная, при которой коридор соединял прямоугольные в плане помещения, основные помещения перекрывались крестовыми сводами, коридоры – цилиндрическими сводами.

План и фасад монастырской пивоварни и прачечной при бывшем женском базилианском монастыре отражены в архивных материалах [20]. Одноэтажное здание (деревянное) накрыто 2-скатной вальмовой крышей с прямоугольными оконными и двумя дверными проемами. На изображении фасада обозначены три трубы, на изображении плана – 3 дымохода.

Вхождение земель Великого Княжества Литовского в Российскую империю в конце XVIII века в качестве нескольких губерний привело к постепенному сокращению строительных работ по возведению новых католических монастырских комплексов, существующие комплексы формировались с использованием приемов классицизма.

После восстаний 1830 и 1863 годов российские власти начали проводить ряд мероприятий, направленных на русификацию края с целью упразднения социокультурного и религиозного доминирования католической церкви. При императрице Екатерине Великой православие являлось государственной религией в Российской империи и стало доминирующей религией на присоединенных территориях. Это привело к ряду реформ монашества, в том числе была проведена секуляризация множества монастырей католических монашеских орденов.

Заключение. Выполнен анализ архитектурно-пространственной структуры орденов монастырей. Исторические сведения и архитектура отдельных памятников рассматриваются в контексте с композиционными особенностями всего монастырского комплекса, правила построения которого подчиняются орденом уставам. Архитектурно-пространственная структура монастырей формировалась в рамках каждого монашеского ордена в соответствии с уставом, но имела общие принципы организации, обусловленные природно-климатическим фактором, художественно-эстетическими воззрениями эпохи. Различия между римско-католической и греко-католической церквями приводили к различиям во внешнем виде сооружений. В Средней, Западной и Северной Европе господствующее место занимает заимствованная из Рима постройки базиликального типа, в то время как в областях распространения православия, принявших христианство из Византии, большая часть церквей представляет собой купольные центрические постройки. В объемно-пространственных решениях допускалось разнообразие композиционных приемов, следуя аналогам из западноевропейской практики строительства и основываясь на организацию первого монастыря ордена. На белорусских землях крупные комплексы монастырей были сформированы в центрах городов на главных магистралях. Храмы монастырей стали объектами-доминантами, а корпуса монастырей организовывали застройку городских площадей (Полоцкая Парадная (Корпусная) площадь, Минский Верхний город и др.).

Публикуется в рамках выполнения задания 1.4.01 ГПНИ «История и культура».

ЛИТЕРАТУРА

1. Батюшков, П.Н. Белоруссия и Литва. Исторические судьбы Северо-Западного края / С высочайшего соизволения издано при Министерстве внутренних дел П.Н. Батюшковым. – СПб.: Тип. «Общественная польза», 1890. – 183 с.
2. Дембовецкий, А.С. Опыт описания Могилевской губернии: В историческом, этнографическом, промышленном, сельскохозяйственном, лесном, учебном, медицинском и статистическом отношениях: в 3 кн. / сост. по прог. и под ред. А.С. Дембовецкого. – Могилев-на-Днепре: Тип. Губ. правления. – 1882–1884. – 3 кн. Киприанович, Г.Я. Исторический очерк православия, католичества и унии в Белоруссии и Литве с древнейшего до нашего времени / Г.Я. Киприанович. – Вильно: Губ. тип., 1895. – 186 с.
3. Карский, Е.Ф. Белорусы: в 2-х т. / Е.Ф. Карский. – Варшава: Тип. Варшавского учеб. округа, 1903. – Т. 1: Введение в изучение языка и народной словесности. – 466 с.
4. Католицизм в Белоруссии: традиционализм и приспособление / К.К. Койта [и др.]; АН БССР, Ин-т философии и права; под ред. А.С. Майхровича, Е.С. Прокошиной; предисл. Е.С. Прокошиной. – Минск: Наука и техника, 1987. – 238 с.
5. Мараш, Я.Н. Ватикан и католическая церковь в Белоруссии (1569–1795) / Я.Н. Мараш. – Минск: Выш. шк., 1971. – 272 с.
6. Мартос, Афанасий Архиепископ. Беларусь в исторической государственной и церковной жизни. / Архиепископ А. Мартос. – Минск: Изд-во Белорус. экзархата, 2000. – 351 с.
7. Россия. Полное географическое описание нашего отечества. Настольная и дорожная книга для русских людей: в 14 т. / под ред. В.П. Семенова. – СПб.: Изд-во А.Ф.Д., 1899–1914. – Т. 9: Верхнее Поднепровье и Белоруссия, 1905. – 620 с.
8. Архітэктура Беларусі: энцыкл. даведнік / рэдкал.: А.А. Воінаў [і інш.]. – Минск: Беларус. энцыкл. імя Пётруся Броўкі, 1993. – 620 с.
9. Захватович, Ян. Польская архитектура / Ян Захватович. – Варшава: Аркады, 1967. – 545 с.
10. Кацер, М.С. Белорусская архитектура: исторический очерк / М.С. Кацер. – Минск: Госиздат, 1956. – 120 с.
11. Кулагін, А.М. Каталіцкія храмы на Беларусі: энцыкл. даведнік / А.М. Кулагін. – Минск: БелЭн, 2000. – 216 с.
12. Габрусь, Т.В. Мураваная сакральная архітэктура беларускага барока (генезіс і эвалюцыя): дыс. ... д-ра мастацтвазнаўства: 17.00.04 / Т.В. Габрусь. – Минск, 2002. – 234 л.

13. Слюнькова, И.Н. Монастыри восточной и западной традиций. Наследие архитектуры Беларуси / И.Н. Слюнькова. – М.: Прогресс-Традиция, 2002. – 600 с.
14. Дело о предоставлении в правление на рассмотрение плана и сметы на перестройку здания римско-католического женского монастыря в г. Новогрудке. 1881 г. // Национальный исторический архив Беларуси (НИАБ). – Фонд 299. – Оп. 5. – Д. 623. – Л. 7.
15. Планы и фасады каменного двухэтажного с деревянной пристройкой монастыря и деревянного амбара Гродненской губернии в уездном городе Слоним, упраздненных ксендзов доминиканов. 1851 г. // Национальный исторический архив Беларуси в Гродно (НИАБ в Гродно). – Фонд 8. – Оп. 1. – Д. 1092. – Л. 254.
16. План и фасад каменного костела Гродненской губернии в уездном городе Слоним, упраздненных ксендзов доминиканов. 1851 г. // НИАБ в Гродно. – Фонд 8. – Оп. 1. – Д. 1092. – Л. 521.
17. План земли с показанием существующих зданий и костела ныне упраздненных слонимских ксендзов доминиканов. 1851 г. // НИАБ в Гродно. – Фонд 8. – Оп. 1. – Д. 1092. – Л. 522.
18. Планы и фасады каменных строений Гродненской губернии уездного города Слоним, упраздненных ксендзов доминиканов. 1851 г. // НИАБ в Гродно. – Фонд 8. – Оп. 1. – Д. 1092. – Л. 523.
19. План нижнего этажа базилианского женского монастыря в г. Минске. XIX в. // НИАБ. – Фонд 1477. – Оп. 1. – Д. 1561. – Л. 16.
20. План и фасад пивоварни и прачечной при базилианском женском монастыре в г. Минске. XIX в. // НИАБ. – Фонд 1477. – Оп. 1. – Д. 1561. – Л. 87.
21. Фасад от двора базилианского женского монастыря в г. Минске. XIX в. // НИАБ. – Фонд 1477. – Оп. 1. – Д. 1561. – Л. 85.
22. Чертеж упраздненного женского бернардинского монастыря в г. Минске, предложенный к обращению в православный мужской. 1869 г. // НИАБ. – Фонд 136. – Оп. 14. – Д. 87. – Л. 1–6.

Поступила 18.04.2014

ARCHITECTURE CATHOLIC MONASTERIES BELARUS THE SECOND HALF OF THE XIX CENTURY

A. KOLOSOVSKAYA

The architecture of the largest monasteries of Catholic monastic orders that existed on the territory of Belarus in the second half of the XIX century is analyzed. Architecture of objects is considered by the common historical and cultural background with the use of historical-genetic, historical and comparative methods. It is noted that a new regular town planning layout came from the Russian architecture. Monasteries were large urban complexes, they determined the development of Belarusian cities. New monasteries of monastic orders were not organized, existing were abolished, their buildings were transferred to the military, churches passed right-glorious church and rebuilt in accordance with the canons of the Orthodox architecture.

УДК 726.71(476)(091)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРЕСТОВО-КУПОЛЬНЫХ УНИАТСКИХ ХРАМОВ ВИТЕБСКОЙ ГУБЕРНИИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XVIII ВЕКА

И.Н. ОЖЕШКОВСКАЯ*(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Стилистический анализ известных и вновь открытых благодаря архивным изысканиям униатских храмов Витебска и его региона выявил между ними связь в объемно-планировочном и архитектурно-пластическом решениях. Богоявленская церковь, Успенский собор мужского базилианского монастыря, Свято-Духовская церковь женского базилианского монастыря в Витебске и Успенская церковь в Ушацах – это сооружения, принадлежащие крестово-купольному базиликальному типу храмов с двухбашенной композицией главного фасада. Подтверждается гипотеза о существовании во второй половине XVIII века на территории Витебской губернии определенной типологической формы монастырского храма. Появляется еще одно звено в цепочке развития крестово-купольных униатских храмов на Беларуси. Архитектурная школа, в основе которой лежали разработанные Иосифом Фонтаной III принципы, определила развитие соборных базилианских и городских униатских церквей в сторону слияния с западноевропейскими барочными традициями в объемно-планировочной структуре. В начале XIX века данная категория памятников была перестроена в стиле классицизма.

Введение. Часто изучение культурного наследия сталкивается с проблемой отсутствия материальных или документальных свидетельств о существовавших на территории Беларуси памятниках архитектуры. В связи с этим теряется представление о полной картине развития архитектурных стилей, школ и направлений в разные периоды времени. Поэтому новые архивные сведения являются импульсом к изучению и переосмыслению истории архитектуры как отдельных населенных пунктов, так и всего региона. Возвращаясь к проблеме сохранения культурного наследия Беларуси, важно понимать значение документальных свидетельств, открывающих нам утраченные духовные ценности. Витебск с точки зрения изучения истории сакральной архитектуры является уникальным местом сосредоточения памятников, принадлежащих разным конфессиям. Многие белорусские, российские и польские исследователи (Е.Д. Квитницкая, Т.И. Чернявская, Т.В. Габрусь, А.Н. Кулагин, Б.А. Лазука, И.Н. Слюнькова, И. Ротко, А.А. Ярошевич, В. Боберский и другие) в своих работах не обходили вниманием этот город. Была выявлена архитектурная типология храмов, их стилистические особенности. Если рассматривать наследие Витебска с точки зрения изучения строительства униатских храмов, то и в этом случае город представляет собой определенный интерес. Особенно это касается закономерностей и тенденций формирования как отдельных объектов строительства базилиан, так и в системе регионального развития монастырской архитектуры.

Основная часть. Благодаря последним архивным исследованиям на территории Витебского региона обозначился круг памятников, связанных между собой временем возведения, принадлежностью к базилианскому ордену или униатской конфессии, относящимся к середине XVIII века, а главное – общим объемно-планировочным и стилистическим решением. Это решение воплощено в крестово-купольном базиликальном типе храма с двухбашенным главным фасадом в стиле барокко и классицизма. На территории Беларуси первое применение крестово-купольного решения храма в базилианском зодчестве было при строительстве Успенского собора Жировицкого монастыря (1629–1671). К крестово-купольным униатским храмам, возведенным в XVIII веке, относятся: церковь Рождества Богородицы в Гродно (1720–1751); церкви Рождества Богородицы в Тадулино (1769 г.) и Браславе (?); Троицкая церковь в Бытене (1708–1710); витебские Успенский и Свято-Духовский монастырские храмы [1, с. 452].

Известным памятником архитектуры города Витебска является Успенский собор базилианского монастыря (1743–1785), возведенный по проекту Иосифа Фонтаны III. Сравнительно недавно в область исследования попала витебская Свято-Духовская церковь (1792–1793) женского базилианского монастыря [2, с. 31–33], которая являлась упрощенной копией Успенского собора [1, с. 470]. Кроме этих двух храмов на берегу Западной Двины в Витебске находилась Богоявленская церковь, самое раннее изображение которой относится к началу XIX века. На акварели Ю. Пешки представлен силуэт храма в классицистическом стиле в общей застройке города. Следующим объектом изучения становится Успенская церковь в местечке Ушахи Витебской области, утраченный облик которой установлен недавно [3, с. 50–55]. Таким образом, к семи известным крестово-купольным униатским соборным храмам добавляются еще

два: Богоявленская церковь в Витебске и Успенская церковь в местечке Ушачи. Интересным фактом является сосредоточение памятников данного типа в Витебском регионе, что говорит об определенном предпочтении заказчика в выборе объемно-планировочных и стилевых решений при строительстве униатских храмов. В роли заказчика здесь выступали частные лица, владельцы местечек и простые мещане, которые и создавали материальную базу строительства.

Среди четырех вышеперечисленных памятников Витебска и Витебского региона только Успенский собор был достаточно изучен вплоть до того, что это позволило в настоящее время восстановить его облик, правда, не в первоначальном виде, а после реконструкции XIX века в классицистическом стиле. Базилианский мужской Успенский монастырь был основан Адамом Киселем-Дорогинским в 1682 или 1690 году на месте приходской Пречистенской (Успенской) церкви, известной с XVI века. Собор неоднократно возобновлялся и строился заново. Каменное барочное сооружение, на основе которого была произведена реконструкция, появилось в 1743–1785 годах. Первое упоминание Свято-Духовской церкви относится к 1340 году. Единственное изображение деревянной церкви с пятью шатровыми башнями с главками на световых барабанах в завершении известно по «Чертежу Витебска» 1664 года [4, с. 229]. Базилианский женский монастырь был основан в 1697 году. Каменные костел и кляштор были построены в 1792–1793 годах на пожалование витебского мещанина Потапа Бибикова с сыновьями [5, с. 582].

В современной историографии из-за отсутствия сведений такие объекты, как Богоявленская церковь в Витебске и Успенская церковь в местечке Ушачи Витебской области, только упоминались [4, с. 228–301], а изучение Свято-Духовской церкви носило поверхностный характер [1, с. 470; 2, с. 213]. Тем не менее обнаруженные в архиве чертежи (рис. 1, 2) относят их к крестово-купольному типу храма базиликального вида, а простой сравнительный анализ позволяет объединить их всех в общий типологический ряд.

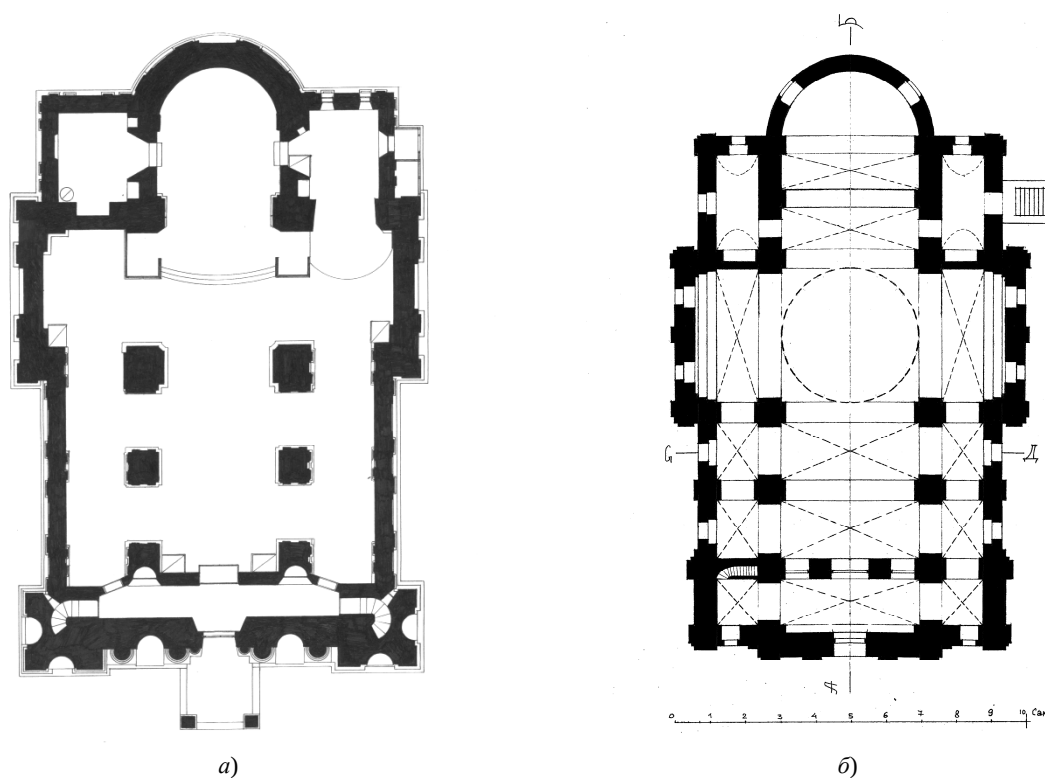


Рис. 1. Планы церквей:
а – Богоявленской в Витебске; б – Успенской в Ушачах

Богоявленская, Симеоновская (св. Симеона Столпника), церковь – несохранившийся храм в Задвинье. Впервые деревянная церковь св. Симеона упоминается в документе 1539 года [6, с. 214], изначально она была заложена как православная. Каменный Богоявленский храм был построен на месте деревянной в 1790–1805 годах уже как униатский [5].

Успенский монастырь базилиан в местечке Ушачи был основан в 1672 году его владельцем, дворянином Жабой. Согласно описи 1802 года церковь была деревянной в виде креста, построенной около

1752 года [6, с. 613]. Если возведение каменного храма происходило на месте деревянного, то его строительство будет относиться к началу XIX века, что и предполагается современной белорусской историографией. Но не исключается вариант существования в монастырском комплексе более ранней каменной постройки, относящейся ко второй половине XVIII века. Единственный документ, передающий облик храма, принадлежит 1888 году [8], и в зависимости от принятой гипотезы предполагаемого времени строительства сооружения возникают разные концепции данного художественного облика. Если его возведение относится к началу XIX века, то чертеж является проектом перестройки униатского Успенского храма в православную церковь. Если дата строительства связана со второй половиной XVIII века, чертеж передает архитектурно-художественное решение униатского храма, построенного при Российской империи. Анализ структурного построения плана и фасадов благодаря прочитывающейся стилистике барокко предполагает отнести церковь в Ушачах ко второй половине XVIII века, где именно для этого периода времени было характерно возведение аналогичных сакральных объектов [3, с. 52].

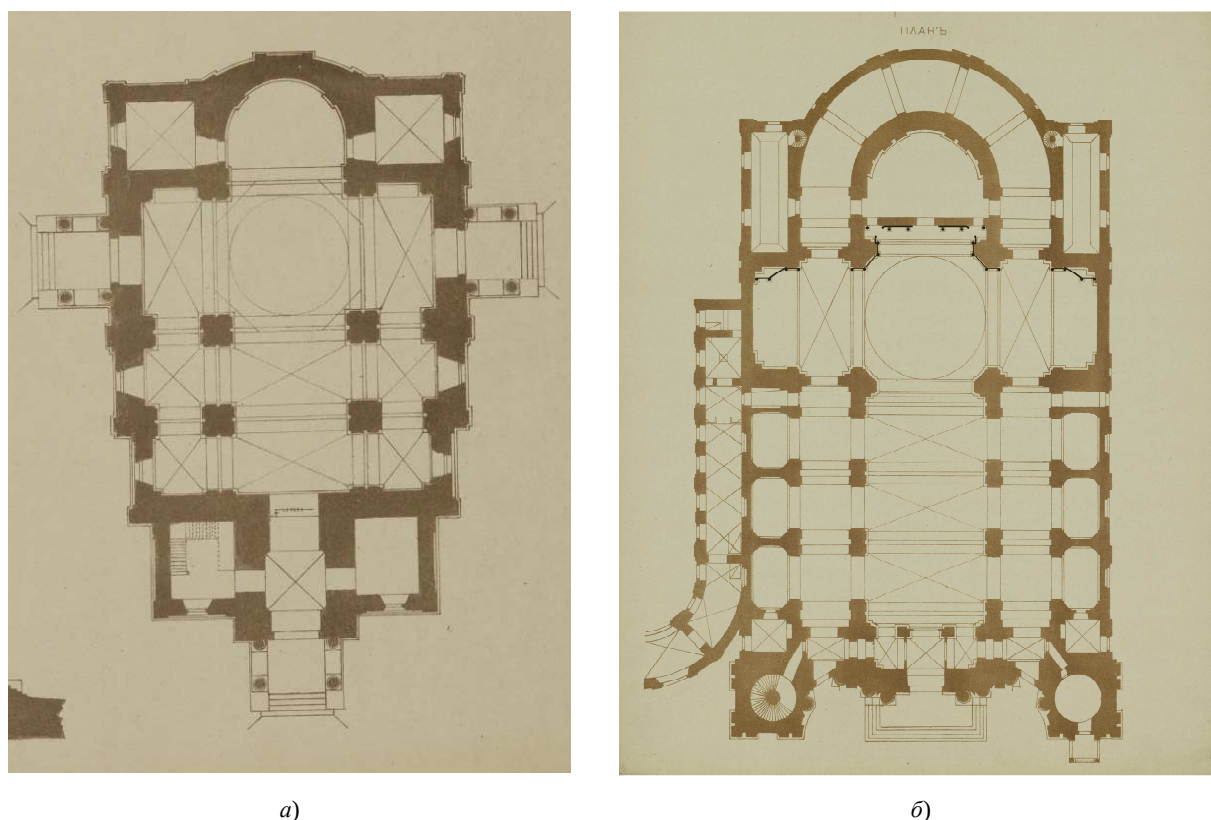


Рис. 2. Планы церквей:
а – Свято-Духовской церкви в Витебске после перестройки первой половины XIX века;
б – Успенского собора в Витебске

Среди общих принципов объемно-планировочного решения купольных базилик Витебского региона можно выделить характерную форму плана в виде вытянутого прямоугольника с поперечным трансептом, который выступает за общий контур сооружения лишь в незначительной степени, что, безусловно, не выявляет в должной степени его Т-образную форму. Такая планировка принадлежит храму в Ушачах и Богоявленской церкви в Витебске (см. рис. 1).

Планы Успенского и Свято-Духовского храмов не имеют выступающего поперечного нефа, он скрыт во внутренней планировочной структуре (см. рис. 2). Наличие одной полукруглой апсиды, которая «утоплена» в общий объем благодаря пристроенным к ней с двух сторон симметричным прямоугольным сакристиям, является еще одной общей типологической чертой планировки всех храмов. В композицию притвора, отделенного от нартекса стеной, служащей опорой для хора, входят боковые башни-колокольни с ведущими на них винтовыми лестницами. Световой барабан с куполом, опирающийся на квадрат средокрестия, образованный пересечением трансепта с центральным более широким нефом, совместно с двумя возвышающимися по сторонам башнями-колокольнями делает узнаваемым силуэт крестово-купольных базилик.

Наиболее утонченными пропорциями обладает Успенская церковь в местечке Ушачи (рис. 3). Ее вытянутый силуэт образуется за счет более изящных пропорций общего объемно-планировочного решения и за счет разбивки боковых башен на три яруса, тогда как в Успенском соборе и Свято-Духовской



Рис. 3. Главный фасад Успенской церкви в Ушачах

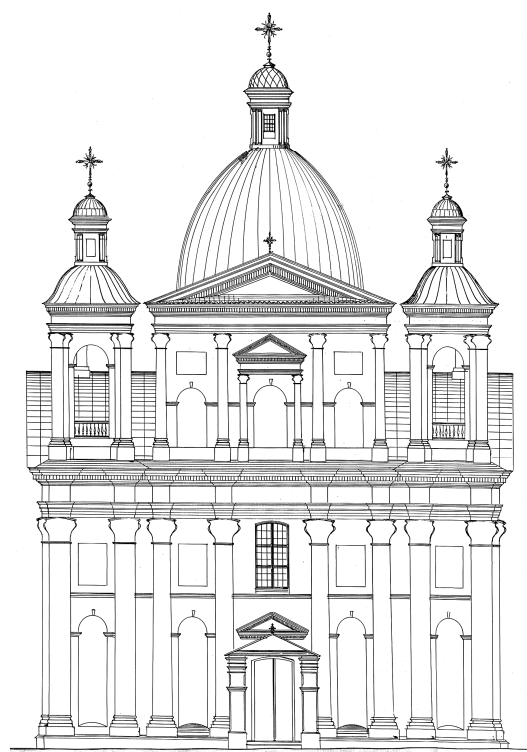


Рис. 4. Главный фасад Богоявленской церкви в Витебске

церкви башни – двухъярусные, а в Богоявленской церкви – одноярусные. В декоративном оформлении фасадов всех крестово-купольных базилик Витебщины главная роль отводится ордерной системе. Каждый угол, уменьшающийся ярус башен храмов, украшен выступающими прямоугольными пилястрами или полукруглой формы колоннами. Система треугольных фронтонов и портиков используется и на боковых фасадах выступающих концов транспта. Наиболее ярко стиль «классицизм» прочитывается в оформлении фасадов храма в Ушачах. Это и добавление к ордерной системе широкого карниза, представляющего собой чередование стилизованных тригфив, и метоп, и обрамление, и форма оконных проемов.

Традиционно наиболее пластичным в объемно-планировочном решении католических и униатских храмов являлось решение главного фасада. Для купольных униатских храмов Витебского региона характерен общий принцип композиционного решения фасада. В первую очередь стройные вытянутые пропорции образуются за счет двух многоярусных башен колоколен со сквозными проемами и нишами, украшенными полуколоннами, с двух сторон фланкирующими фасад. Центральная часть главного фасада завершается треугольным фронтоном, за которым на разной высоте относительно башен выступает купол на световом барабане. Возникновение таких классицистических элементов, как треугольный фронтон, относится к первой половине XIX века. Он заменяет собой криволинейный фронтон периода расцвета барокко, силуэт которого передают чертежи Успенского собора. Возможно, при возведении Свято-Духовской и Богоявленской Витебских церквей во второй половине XVIII века, а также Успенской церкви в Ушачах первоначально главный фасад венчал аналогичный барочный фронтон, характерный для данного периода времени, в то время как возникновение треугольного стало результатом более поздней перестройки. Форма и высота центральных куполов и завершений угловых башен, рассматриваемых крестово-купольных храмов, отличается разнообразием. Практически на одном уровне находятся кресты, установленные на башнях-колокольнях и над куполом, у всех храмов, кроме Богоявленской церкви. В композиции главного фасада этой церкви главным доминирующим акцентом выступает купол, его барабан скрыт мощным широким фронтоном, карниз которого лежит на одном уровне с карнизами боковых башен. Интересна своей необычностью и сама форма купола эллипсовидного очертания, при этом завершения башен носят уже совершенно иной криволинейный характер (рис. 4).

Купола Успенского и Свято-Духовской церквей имеют традиционную полуциркульную форму (рис. 5, 6). И только завершения Успенской церкви в Ушачах приобретают характерную для православия луковичную конфигурацию.

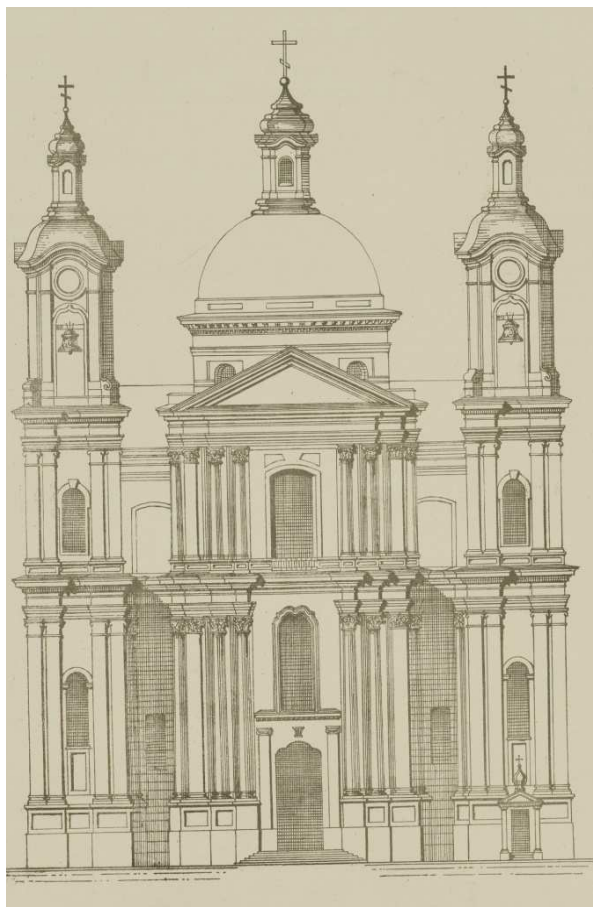


Рис. 5. Главный фасад Успенского собора
в Витебске



Рис. 6. Главный фасад Свято-Духовской церкви
в Витебске

Заключение. Стилистика рассматриваемых крестово-купольных храмов соответствует классицизму, но при этом очевидно влияние барокко. Учитывая историю перестроек Успенского собора, характерных для конца XVIII – начала XIX века, можно предположить возможность перестроек в стиле классицизма и остальных Витебских униатских храмов. Тем не менее стилистический анализ выявил несомненную связь между объемно-планировочным и архитектурно-пластическим решением Богоявленской церкви, Успенским собором мужского базилианского монастыря, Свято-Духовской церкви женского базилианского монастыря в Витебске и Успенской церкви в Ушацах.

Автором самого раннего проекта – Успенского собора – является Иосиф Фонтана III, влияние профессиональной деятельности которого отразилось в дальнейшем на архитектуре остальных храмов рассматриваемого периода. Успенский собор как важнейший идеологический объект униатской конфессии Витебщины, воздвигнутый на месте гибели архиепископа И. Кунцевича, явился образцом, объемно-планировочную структуру которого повторяли при строительстве последующих храмов.

Не менее важно было понять, что на территории униатской Полоцкой епархии Витебской губернии сформировалась определенная типологическая форма монастырского храма. Появляется еще одно звено в цепочке развития униатских храмов данного типа на Беларуси.

Таким образом, можно сделать вывод о существовании в Витебске и его регионе во второй половине XVIII века архитектурной школы, выработавшей особый принцип построения соборных базилианских и городских униатских церквей в виде крестово-купольной базилики в стиле западноевропейского барокко, и только позднее перестроенных в начале XIX века в стиле классицизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слюнькова, И.Н. Монастыри восточной и западной традиций. Наследие архитектуры Беларуси / И.Н. Слюнькова. – М.: Прогресс-Традиция, 2002. – 598 с.

2. Ожешковская, И.Н. Воссоздание архитектурного облика Свято-Духовской церкви монастыря базилианок в Витебске конца XVIII–XIX в. / И.Н. Ожешковская // Архитектура и строительные науки: науч.-информ. журнал / БОО арх. и деят. строит. наук; редкол: В.Н. Аладов [и др.]. – Минск, 2012. – № 1, 2(12, 13). – С. 31–33.
3. Ожешковская, И.Н. Архитектурный облик Успенской церкви базилианского монастыря в местечке Ушачи во второй половине XIX в.: новые исследования / И.Н. Ожешковская // Архитектура: сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т; под ред. А.С. Сардарова. – Минск, 2013. – Вып. 6. – С. 50–55.
4. Кулагін, А.М. Праваслаўныя храмы на Беларусі. Энцыклапедычны даведнік / А.М. Кулагін; гал. рэд. Г.П. Пашкоў. – Мінск: Беларус. энцыкл., 2001. – 327 с.
5. Российский государственный исторический архив Санкт-Петербурга (РГИА). – Фонд 835. – Оп. 1. – Д. 762. Проект Богоявленской церкви в Витебске. Фасад, план, разрез. 1912 г. – 1 л.
6. Слюнькова, И.Н. Храмы и монастыри Беларуси XIX века в составе Российской империи. Пересоздание наследия. – М.: Прогресс – Традиция, 2010. – 616 с.
7. Памятная книжка Витебской губернии на 1865 год. – СПб., 1865. – 375 с.
8. РГИА. Фонд 835. – Оп. 1. – Д. 787. Церковь (каменная) в с. Ушачи Лепельского уезда Витебской губернии. Проект (фасад, план, разрезы). Копия. 1888 г. – 1 л.

Поступила 26.05.2014

**THE COMPARATIVE ANALYSIS
OF CROSS-DOMED UNIATE TEMPLES OF VITEBSK PROVINCE
IN THE 2nd HALF OF THE XVIII CENTURY**

I. OZHESHKOVSKAYA

The stylistic analysis of known and newly opened Uniate temples of Vitebsk and its region revealed due to archival researches a link between them in space-planning and architectural and plastic decisions. The Church of Epiphany, the Assumption Cathedral of basilian friary, the Sacred-Spiritual Church of basilian nunnery in Vitebsk and the Church of Assumption in Ushachi – all these constructions belong to cross-domed basilian type of temples with two-tower composition of the main facade. The article states the hypothesis of existence in the second half of the XVIII century in the territory of the Vitebsk province of a certain typological form of the monastic temple. There is one more link in a chain of development of cross-domed Uniate temples in Belarus. The architectural school which had in its basis the Iosif Fontana's developed principles defined the development of cathedral basilian and urban Uniate churches towards merging with West-European baroque traditions in space-planning structure. At the beginning of the XIX century this category of monuments was reconstructed in style classicism.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.04:620.17

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУТАВРОВЫХ СВАРНЫХ БАЛОК, ПОДКРЕПЛЕННЫХ НАКЛОННЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ, НА ПЛОСКИЙ ИЗГИБ

канд. техн. наук, доц. В.Н. КИСЕЛЕВ; И.Г. ЦЕЛУЙКО
(Полоцкий государственный университет)

Исследуется вопрос влияния геометрии и типа противокрутильных связей на величину нормальных напряжений σ_x и изгибную жесткость подкрепленных тонкостенных стержней. Экспериментальное исследование предназначено для определения коэффициента изменения деформативности балок при постановке по их длине противокрутильных связей. Представлены значения нормальных напряжений в сечениях балки при изменении угла наклона и типа устанавливаемых ребер жесткости. Дана количественная оценка влияния наклонных ребер жесткости на нормальные напряжения в произвольном сечении балки, а также и на ее жесткость при действии изгибающего момента.

Введение. Теория расчета тонкостенных пространственных стержней (к ним относятся и двутавровые составные балки) непрерывно совершенствуется на базе достижений в области теоретических и экспериментальных исследований. Однако это не относится к плоскому изгибу тонкостенных стержней открытого профиля с «противокрутильными связями».

В литературе, преимущественно отечественной, опубликовано всего несколько работ теоретического [1–3; 5; 10] и экспериментального [4; 6; 7; 11; 12] характера, в которых авторы рассматривают вопрос о работе стальных неразрезных балок на плоский изгиб со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости.

Известно, что предельное состояние балок двутаврового сечения определяется напряженным состоянием стенки, которое для балок с относительно тонкой стенкой ($h_0/\delta_{ст} = 80...140$) в значительной степени зависит от величины касательных напряжений τ [6]. В связи с этим возникла необходимость в местах появления наибольших поперечных сил (на средней опоре двухпролетной неразрезной балки) принимать меры по укреплению стенки. Задача по укреплению стенки с целью снижения касательных напряжений и обеспечению местной устойчивости может быть решена несколькими способами: более частая постановка поперечных ребер жесткости (при этом τ не снижается) [9]; местное увеличение толщины стенки в приопорных участках, в которых поперечная сила достигает наибольшей величины [13]; постановка наклонных ребер жесткости в приопорных участках с наибольшим значением поперечной силы в пределах отсека стенки, ограниченного поперечными ребрами жесткости. С этой позиции и рассматривался расчет балок со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости, в вышеназванных работах. Авторы исследуют два типа наклонных ребер: а) связанных с поясами и не приваренных к стенке; б) связанных с поясами и приваренных к стенке [15].

Предлагаемая методика расчета балок с наклонными ребрами зависит от типа ребер. При использовании ребер типа «а» наклонные ребра предлагается рассматривать в виде раскоса (дополнительной связи) с площадью $F_p = 2b_{pi}\delta_{pi}$. Характер распределения касательных напряжений при этом по высоте стенки предполагался таким же, как и в стенке, не подкрепленной ребрами, а их величина определялась в зависимости от параметров балки, наклонных ребер и вида загрузки. Усилия в ребрах определялись из условия равенства деформаций самих ребер и стенки по направлению диагонали с наклонными ребрами. При использовании ребер типа «б» предполагалось, что в совместную работу с наклонными ребрами включится часть стенки, образуя с ребрами сложное сечение. Поперечная сила Q_x , действующая в любом сечении балки в пределах отсека с наклонными ребрами определяется с использованием точных методов строительной механики [7; 8].

$$Q_x = Q_{x(cm)} + Q_{реб},$$

где $Q_{x(cm)}$ – поперечная сила, воспринимаемая стенкой; $Q_{реб}$ – оставшая часть Q_x , воспринимаемая наклонными ребрами.

В работах [14–16] проводились экспериментальные исследования вышеназванных балок с целью выяснения характера действительной работы стенки, подкрепленной наклонными ребрами жесткости.

По результатам экспериментальных исследований однопролетных балок со стенками, подкрепленными ребрами, было установлено, что наклонные ребра значительно снижают величину поперечной силы, воспринимаемую стенкой. Эффективность ребер зависит от их типа и отношений:

$$\frac{F_{cm}}{2b_{pi} \cdot \delta_{pi}}, \quad \frac{F_{cm}}{F}, \quad \frac{h_0}{\delta_{cm}}.$$

Постановка наклонных ребер, не приваренных к стенке, в балках с $h_0/\delta_{cm} = 40$ снижала поперечную силу в стенке на 40...50 %, в балках с $h_0/\delta_{cm} = 100$ – на 70...75 %. Использование ребер, приваренных к стенке, снижало соответствующую поперечную силу в стенке на 70...80 %. Основным недостатком этих экспериментальных исследований было то, что они проводились на моделях с малыми геометрическими размерами ($L = 1500$ мм). Отсутствие полных экспериментальных данных о влиянии наклонных ребер жесткости на нормальные напряжения в произвольном сечении балки, а также и на ее изгибную жесткость потребовало выполнения исследований, описание которых представлено далее.

Методика и содержание исследования. Экспериментальные исследования работы балок с наклонными ребрами жесткости на плоский изгиб проводились на двенадцати моделях сварных однопролетных шарнирно опертых балок двутаврового симметричного профиля пролетом $L = 3$ м с размером поперечного сечения: стенка – 500×10 мм, горизонтальные листы – 150×10 мм. Расстановка по длине исследуемых балок и геометрические размеры наклонных ребер жесткости приведены на рисунке 1.

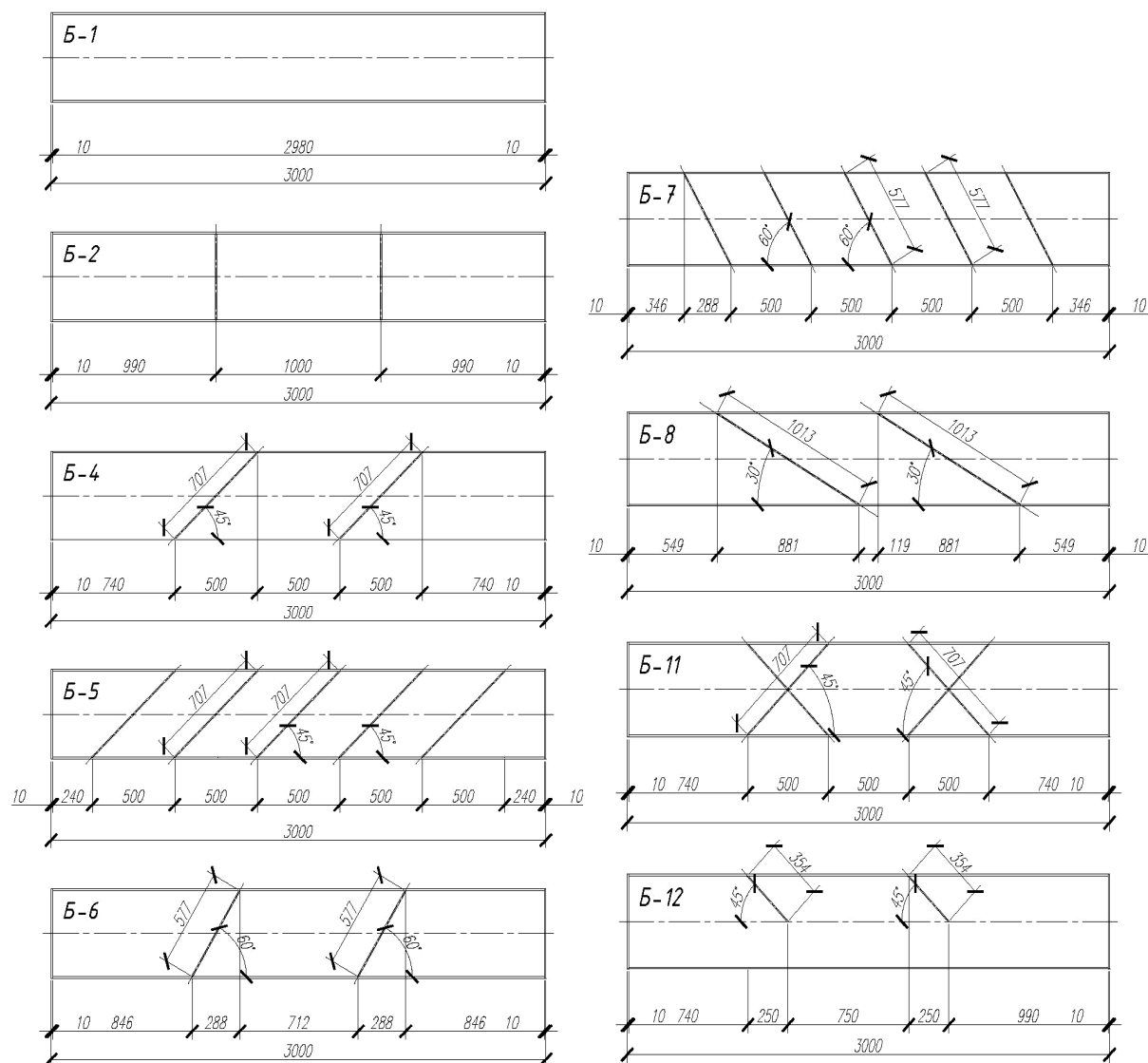


Рис. 1. Модели исследуемых сварных однопролетных шарнирно опертых балок

Балки были изготовлены из стали ВМ-СТ 3пс по ГОСТ 380-60*; сварка поясов, стенки и наклонных ребер жесткости велась электродами Э-42А с толщиной шва 8 мм.

Каждая балка испытывалась в горизонтальном положении на 200-тонном гидравлическом прессе. Нагрузка в виде сосредоточенной силы P передавалась посередине пролета через квадратный штамп размером 60×60 мм к сжатому поясу в плоскости ее наибольшей жесткости (рис. 2).

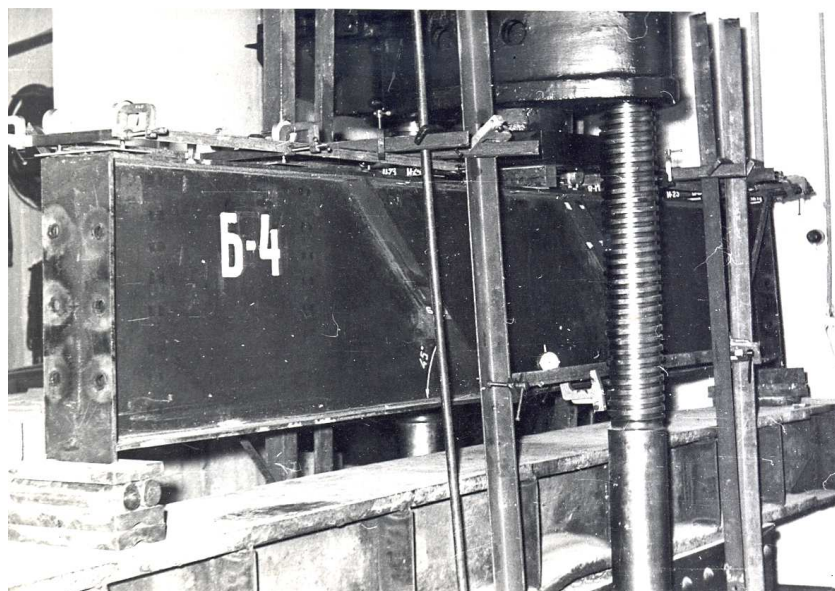


Рис. 2. Гидравлический пресс для проведения испытания балок

Контроль за напряжениями в данных сечениях осуществлялся с помощью тензодатчиков, установленных на стенке и поясах в сжатой и растянутой зонах.

Нагрузка передавалась ступенями от нуля до 32 тонн с постоянным шагом 4 тонны. Причем для исследований была принята:

- 1) непрерывно возрастающая (прямой ход) или убывающая (обратный ход) нагрузка;
- 2) нагрузка, возрастающая или убывающая по этапам, с выдержкой в течение 20...25 минут при достижении каждого последующего этапа.

При оценке общей деформативности системы нас интересует не только абсолютное значение прогиба какого-либо сечения балки, но и коэффициент изменения их изгибной жесткости в результате установки по длине стержня «противокрутильных связей», значения которого (табл. 1) определялись по формуле:

$$v = \frac{y_{от}}{y_t},$$

где v – коэффициент изменения изгибной жесткости стержня за счет постановки наклонных ребер жесткости; $y_{от}$ – прогиб сечения $x = t$ в балке без ребер; y_t – прогиб того же сечения в балке с ребрами жесткости.

Таблица 1

Значения коэффициента изменения изгибной жесткости стержня,
полученные за счет постановки наклонных ребер жесткости

Определяемый параметр	Б-1	Б-2	Б-4	Б-5	Б-6	Б-7	Б-8	Б-11	Б-12
v	1,00	1,000	1,095	1,015	1,038	1,052	1,013	1,054	1,030
σ_x	2160	–	1943	1635	1946	1743	2000	1740	2064

Значения напряжений в балках Б-1 и Б-5 (с наименьшей и наибольшей жесткостью) представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Значения напряжений в балке Б-1

Нагрузка, кг	№ точек сечения	Компоненты напряжений по сечениям Б-1									
		1		2		3		4		5	
		σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y
100	1	-141,75	162,75	-10,00	0,00	-10,50	0,00	-36,75	5,25	-10,50	94,25
	2	-141,75	-162,75	-10,00	0,00	-10,50	0,00	-36,75	-5,25	-10,50	-94,25
	3	141,75	-162,75	10,00	0,00	10,50	0,00	36,75	-5,25	10,50	-94,25
	4	141,75	162,75	10,00	0,00	10,50	0,00	36,75	5,25	10,50	94,25
200	1	-225,50	194,50	-15,75	15,75	-36,75	5,25	-73,50	10,50	-82,50	82,50
	2	-225,50	-194,50	-15,75	15,75	-36,75	-5,25	-73,50	-10,50	-82,50	-82,50
	3	225,50	-194,50	15,75	-15,75	36,75	-5,25	73,50	-10,50	82,50	-82,50
	4	225,50	194,50	15,75	-15,75	36,75	5,25	73,50	10,50	82,50	82,50
300	1	-220,50	241,50	-42,00	31,50	-42,00	21,00	-52,50	21,00	-69,75	108,75
	2	-220,50	-241,50	-42,00	-31,50	-42,00	-21,00	-52,50	-21,00	-69,75	-108,75
	3	220,50	-241,50	42,00	-31,50	42,00	-21,00	52,50	-21,00	69,75	-108,75
	4	220,50	241,50	42,00	31,50	42,00	21,00	52,50	21,00	69,75	108,75
400	1	-210,00	199,50	-47,25	68,25	-41,75	31,75	-94,50	73,50	-36,25	111,75
	2	-210,00	-199,50	-47,25	-68,25	-41,75	-31,75	-94,50	-73,50	-36,25	-111,75
	3	210,00	-199,50	47,25	-68,25	41,75	-31,75	94,50	-73,50	36,25	-111,75
	4	210,00	199,50	47,25	68,25	41,75	31,75	94,50	73,50	36,25	111,75
500	1	-47,25	162,75	-31,50	94,50	-52,50	84,00	-84,00	115,50	-57,75	141,75
	2	-47,25	-162,75	-31,50	-94,50	-52,50	-84,00	-84,00	-115,50	-57,75	-141,75
	3	47,25	-162,75	31,50	-94,50	52,50	-84,00	84,00	-115,50	57,75	-141,75
	4	47,25	162,75	31,50	94,50	52,50	84,00	84,00	115,50	57,75	141,75
600	1	-88,00	202,00	-121,00	121,00	-57,75	110,25	-89,25	120,75	-54,00	169,50
	2	-88,00	-202,00	-121,00	-121,00	-57,75	-110,25	-89,25	-120,75	-54,00	-169,50
	3	88,00	-202,00	121,00	-121,00	57,75	-110,25	89,25	-120,75	54,00	-169,50
	4	88,00	202,00	121,00	121,00	57,75	110,25	89,25	120,75	54,00	169,50
700	1	-50,25	243,75	-178,50	147,00	-73,50	105,00	-99,75	110,25	-68,25	89,25
	2	-50,25	-243,75	-178,50	-147,00	-73,50	-105,00	-99,75	-110,25	-68,25	-89,25
	3	50,25	-243,75	178,50	-147,00	73,50	-105,00	99,75	-110,25	68,25	-89,25
	4	50,25	243,75	178,50	147,00	73,50	105,00	99,75	110,25	68,25	89,25

Таблица 3

Значения напряжений в балке Б-5

Нагрузка, кг	№ точек сечения	Компоненты напряжений по сечениям Б-5									
		1		2		3		4		5	
		σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y
100	1	-15,75	131,25	-5,25	15,75	-10,50	10,50	-10,50	0,00	-31,50	10,50
	2	-15,75	-131,25	-5,25	-15,75	-10,50	-10,50	-10,50	0,00	-31,50	-10,50
	3	15,75	-131,25	5,25	-15,75	10,50	-10,50	10,50	0,00	31,50	-10,50
	4	15,75	131,25	5,25	15,75	10,50	10,50	10,50	0,00	31,50	10,50
200	1	-21,00	283,50	0,00	42,00	-36,75	15,75	-52,50	21,00	-57,75	15,75
	2	-21,00	-283,50	0,00	-42,00	-36,75	-15,75	-52,50	-21,00	-57,75	-15,75
	3	21,00	-283,50	0,00	-42,00	36,75	-15,75	52,50	-21,00	57,75	-15,75
	4	21,00	283,50	0,00	42,00	36,75	15,75	52,50	21,00	57,75	15,75
300	1	-15,75	446,25	-10,50	52,50	-52,50	21,00	-63,00	63,00	-78,75	26,25
	2	-15,75	-446,25	-10,50	-52,50	-52,50	-21,00	-63,00	-63,00	-78,75	-26,25
	3	15,75	-446,25	10,50	-52,50	52,50	-21,00	63,00	-63,00	78,75	-26,25
	4	15,75	446,25	10,50	52,50	52,50	21,00	63,00	63,00	78,75	26,25
400	1	178,50	399,00	-31,50	84,00	-73,50	52,50	-136,50	94,50	-94,50	21,00
	2	178,50	-399,00	-31,50	-84,00	-73,50	-52,50	-136,50	-94,50	-94,50	-21,00
	3	-178,50	-399,00	31,50	-84,00	73,50	-52,50	136,50	-94,50	94,50	-21,00
	4	-178,50	399,00	31,50	84,00	73,50	52,50	136,50	94,50	94,50	21,00
500	1	26,25	740,25	-21,00	126,00	-89,25	89,25	-110,25	36,75	-120,75	-5,25
	2	26,25	-740,25	-21,00	-126,00	-89,25	-89,25	-110,25	-36,75	-120,75	-5,25
	3	-26,25	-740,25	21,00	-126,00	89,25	-89,25	110,25	-36,75	120,75	5,25
	4	-26,25	740,25	21,00	126,00	89,25	89,25	110,25	36,75	120,75	5,25
600	1	42,00	903,00	-26,25	173,25	-115,50	147,00	-136,00	10,50	-147,00	31,50
	2	42,00	-903,00	-26,25	-173,25	-115,50	-147,00	-136,00	-10,50	-147,00	-31,50
	3	-42,00	-903,00	26,25	-173,25	115,50	-147,00	136,00	-10,50	147,00	-31,50
	4	-42,00	903,00	26,25	173,25	115,50	147,00	136,00	10,50	147,00	31,50
700	1	68,25	1065,70	-21,00	231,00	-131,25	204,75	-152,75	36,75	-189,00	73,50
	2	68,25	-1065,70	-21,00	-231,00	-131,25	-204,75	-152,75	-36,75	-189,00	-73,50
	3	-68,25	-1065,70	21,00	-231,00	131,25	-204,75	152,75	-36,75	189,00	-73,50
	4	-68,25	1065,70	21,00	231,00	131,25	204,75	152,75	36,75	189,00	73,50

В заключение проведенного исследования можно сделать следующие **выводы**:

1) в данной работе впервые экспериментальным путем исследуется вопрос влияния геометрии и типа противокрутильных связей на величину нормальных напряжений σ_x и изгибную жесткость подкрепленных тонкостенных стержней;

2) за счет постановки противокрутильных связей увеличивается жесткость подкрепленных стержней. Прогибы могут быть снижены на 1,3...14,5 %;

3) нормальные напряжения σ_x в опасном сечении могут быть снижены на 4,4...24,3 % при увеличении общего веса конструкции на 1,8...13,3 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аистов, Н.Н. Испытания сооружений / Н.Н. Аистов. – М.: Стройиздат, 1960.

2. Аксельрад, Э.Л. Техническая теория стержней: учеб. пособие / Э.Л. Аксельрад. – Л.: Ленингр. ин-т инженеров железнодорожного транспорта, 1967.
3. Артемов, П.Я. Расчет тонкостенных стержней открытого профиля / П.Я. Артемов, М.И. Любошин, М.Н. Рудицин. – Минск: Белорус. политехн. ин-т, 1959.
4. Баклашов, Г.Г. Экспериментальное исследование прочности и устойчивости подкрепленных тонкостенных стержней при плоском изгибе / Г.Г. Баклашов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1973. – № 1.
5. Бейлин, Е.А. Об устойчивости плоской формы изгиба тонкостенных балок, имеющих упругие диафрагмы на торцах / Е.А. Бейлин // Инженерные конструкции, сопротивление материалов, строительная механика: сб. докл. XX науч. конф. – Л.: ЛИСИ, 1962.
6. Бирюлев, В.В. О работе стальных балок со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости / В.В. Бирюлев, И.И. Крылов // Изв. вузов, раздел. Строительство и архитектура. – 1971. – № 9.
7. Болотин, Б.В. Строительная механика. Современное состояние и перспективы развития / Б.В. Болотин, И.И. Гельденблат, А.Ф. Смирнов. – М.: Изд-во лит. по строительству, 1972.
8. Борисов, М.Б. Расчет на кручение спаренных планками тонкостенных стержней: дис. ... канд. техн. наук / М.Б. Борисов. – Л., 1948.
9. Борисов, М.Б. Расчет на кручение составных тонкостенных балок с учетом упругих деформаций соединительных планок / М.Б. Борисов // Тр. Ленингр. технолог. ин-та им. Ленсовета. – 1953. – Вып. 23.
10. Броуде, Б.М. К теории тонкостенных стержней открытого профиля / Б.М. Броуде // Строительная механика и расчет сооружений. – 1960. – № 6.
11. Бычков, Д.В. Совместное действие изгиба и кручения в металлических балках / Д.В. Бычков // Исследование металлических конструкций: сб. – М., 1940.
12. Бычков, Д.В. Испытание металлической балки П-образного сечения / Д.В. Бычков, А.К. Мрошинский // Тр. лаборатории строительной механики ЦНИПС. – М., 1941.
13. Бычков, Д.В. Кручение металлических балок / Д.В. Бычков, А.К. Мрошинский. – М.: Стройиздат, 1944.
14. Власов, В.З. Новый метод расчета призматических балок из тонкостенных профилей на совместное действие изгиба и кручения / В.З. Власов // Вестн. ВИА. – 1936. – № 20.
15. Власов, В.З. Кручение и устойчивость тонкостенных профилей / В.З. Власов // Строительная промышленность. – 1938. – № 6.
16. Длугач, М.И. Экспериментальное исследование устойчивости тонкостенных стержней, усиленных решеткой или планками / М.И. Длугач // Сб. тр. ин-та строительной механики АН УССР. – 1952. – № 17.
17. Киселев, В.Н. К расчету стальных балок со стенками, усиленными наклонными ребрами жесткости / В.Н. Киселев // Исследование в области строительства: тр. ГИСИ им. Чкалова. – Горький, 1973. – № 64, ч. 1.
18. Киселев, В.Н. Об одном вопросе расчета тонкостенных призматических стержней открытого профиля с «противокрутильными связями» / В.Н. Киселев // Металлические конструкции: тр. ГИСИ им. В.П. Чкалова. – Горький, 1974. – Вып. 67.
19. Крылов, Н.А. Испытание конструкций сооружений / Н.А. Крылов, К.А. Глуховский. – Л.: Изд-во лит. по строительству, 1970.

Поступила 02.06.2014

EXPERIMENTAL STUDY OF I-BEAM WELDED BEAMS, SUPPORTED BY THE SLOPE OF STIFFENERS ON THE FLAT BENDING

V. KISELYOV, I. CELUYKO

The article investigates the influence of the geometry and the influence of the type of the antitorsion connections on the normal stress σ_x and on the flexural rigidity of the supported thin-walled bars. An experimental investigation is set to determine the coefficient of deformability change of beams with the use of antitorsion ties at their length. In the article you can find the values of the normal stresses in the cross sections of the beam with the change of an angle slope and the change of the type of installable stiffening ribs. The authors give a quantitative assessment of the influence of the inclined ribs on the normal stress in an arbitrary cross section of the beam, as well as on its rigidity at a bending moment.

УДК 624.046.5/624.014

**ОЦЕНКА ТРЕБУЕМОГО (ЦЕЛЕВОГО) УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ
НА ОСНОВАНИИ ПРЕДЫДУЩЕГО ОПЫТА НОРМИРОВАНИЯ****В.В. НАДОЛЬСКИЙ; канд. техн. наук, проф. Ю.С. МАРТЫНОВ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)**

Рассмотрена проблема регламентации показателей надёжности, выраженных в значениях допустимых вероятностей отказа или индексов надёжности. Представлены основные способы получения целевых значений показателей надёжности для строительных конструкций. Особое внимание уделено альтернативному варианту определения значения индекса надёжности на основании предыдущего опыта нормирования применительно к условиям Республики Беларусь. Выполнен анализ индекса надёжности, обеспечиваемого отечественной системой нормативных документов по проектированию стальных конструкций. На основании полученных результатов выявлены особенности и количественные показатели надёжности стальных конструкций. Сделаны выводы о необходимости проведения дальнейших исследований по усовершенствованию вероятностных моделей базисных переменных по мере накопления опытных данных и о необходимости выполнения аналогичных исследований для конструкций из других материалов.

Введение. Статистика аварий строительных конструкций не является настолько массовой, чтобы можно было получить на ее основе вероятностные параметры надёжности конструкций. В связи с этим широкое применение получил подход, когда на основании статистических исследований базисных переменных составляются вероятностные условия безотказной работы конструкций, из анализа которых получают оценки надёжности, такие как вероятность отказа или индекс надёжности.

Вероятность отказа не является фактическим показателем частоты наступления аварий строительных конструкций, но широко используется для сопоставления расчетных положений при рассмотрении разных комбинации нагрузок, различных материалов, различных видов отказов, типов конструкций и, в конечном счете, для относительного сравнения надёжности конструктивных решений. Эта величина связана с теоретической моделью, принятыми предпосылками (например, о типах распределений базисных переменных) и не может быть отделена от них. Вероятности отказа могут быть сопоставимы между собой только в том случае, если они найдены для моделей со сравнимыми предпосылками.

В нормах СССР не регламентировалась величина вероятности отказа. Поэтому при использовании в расчетах частных коэффициентов, полученных исходя только из установленной обеспеченности расчетного значения базисной переменной, конструкции имели разный уровень надёжности. В связи с этим профессор В.Д. Райзер, один из основных разработчиков ГОСТ 27751 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету», отмечает: «Невозможно найти сколь-нибудь разумного объяснения тому, что надёжность сооружений одного и того же назначения, выполненных из различных материалов, запроектированных по действующим нормам, оказывается различной» [1, с. 27]. Следует отметить, что советскими учеными были выполнены значительные исследования по проблеме надёжности в строительстве, в том числе были получены численные значения уровней надёжности. Однако нормативно они не были закреплены.

Анализ отечественных работ показывает, что в большинстве случаев для зданий среднего класса надёжности (жилые, промышленные и офисные) принимались значения вероятности отказа $10^{-4} \dots 10^{-2}$, однако при этом, как правило, не уточнялся базовый период рассмотрения [2; 3].

Согласно концепции надёжности строительных конструкций, сформулированной в международных и европейских нормах СТБ ISO 2394 [4], ТКП EN 1990 [5], введенных в действие на территории Республики Беларусь, проектирование конструктивных элементов следует выполнять на основе нормируемых целевых показателей надёжности, выраженных в значениях допустимых вероятностей отказа p_f или индексов надёжности β . Такой подход обеспечивает равнонадежность строительных конструкций. В ТКП EN 1990 [5] представлены целевые значения индекса надёжности для различных классов надёжности зданий и видов предельных состояний. Так, при расчетах по предельным состояниям несущей способности требуемое значения индекса надёжности принято равным 4,7 для периода эксплуатации 1 год и 3,8 – для 50-летнего периода, что соответствует вероятности отказа $1,6 \cdot 10^{-6}$ и $7,2 \cdot 10^{-5}$ соответственно. Это требование распространяется на конструктивные элементы среднего класса надёжности (жилые, офисные здания) для всех стран Европы, в которых проектирование конструкций осуществляется на основе Еврокодов. Однако индексы надёжности не относятся к параметрам, устанавливаемым на национальном уровне (NDP).

Технико-экономический анализ проектных решений, реализованных на основе ТНПА Республики Беларусь и Еврокодов прямого введения, свидетельствует о существенном повышении материалоемко-

сти стальных конструкции при использовании указанных индексов надежности. По мнению многих специалистов, они носят завышенный характер по сравнению с существующими в настоящее время в ряде стран Европы, США, Канаде. В связи с этим представляется целесообразным исследовать и уточнить их значения с учетом экономических и социальных особенностей, опыта проектирования, изготовления, возведения и эксплуатации зданий и сооружений в Беларуси.

Существует большое количество предложений по оценке требуемого (достаточного¹) уровня надежности. Общие принципы назначения и дифференциации вероятности наступления предельного состояния основываются на анализе и управлении рисках, что позволяет учесть не только вероятность отказов, но и тяжесть возможных последствий для общества. Ниже рассмотрены основные способы получения целевых значений индекса надежности. Особое внимание уделено альтернативному варианту определения значения индекса надежности на основании предыдущего опыта нормирования применительно к условиям Республики Беларусь.

Способы оценки (определения) требуемого уровня надежности

Оценка на основании рисков, существующих в повседневной жизни. В случае аварии строительных конструкций люди потенциально подвергаются риску ранения или гибели. Если исходить из того, что эти риски являются частью системы всех видов рисков человека, то допустимую вероятность предельного состояния несущей способности можно установить по частоте наступления несчастных случаев, происходящих в результате жизнедеятельности человека. Довольно обширные данные по частотам наступления несчастных случаев представлены в литературе (например, в [6; 7]).

Оценка на основании экономической оптимизации рисков. Значение вероятности отказа может устанавливаться также на основании экономической оптимизации затрат по ликвидации последствий в случае наступления прогнозируемого отказа. Здесь различают два случая возможности применения данного способа. Первый применим для объектов только с экономическими последствиями отказа (так называемая чисто экономическая оптимизация). Наглядным примером использования данного метода являются работы А.Я. Дривинга, который в 70-е годы разработал вероятностно-экономический метод расчета строительных конструкций с чисто экономическими последствиями отказа [8; 9]. Метод, предложенный А.Я. Дривингом, прошел первую апробацию в нормах проектирования тепличного строительства [8], допущен к применению в ряде случаев при проектировании стальных конструкций [10]. Второй способ экономической оптимизации позволяет учесть последствия ранений и гибели человека. Основная трудность при использовании данного способа заключается в выражении последствий ранения или гибели человека в денежных величинах. Наиболее прогрессивные положения данного способа отражены в работах J.S. Nathwani, N.C. Lind, R. Rackwitz, M.D. Pandey [11–13].

На основании результатов, полученных с помощью экономической оптимизации затрат, сделан важный вывод о том, что: «...при увеличении вероятности отказа по сравнению с оптимальным значением полные ожидаемые затраты растут гораздо быстрее, чем при уменьшении этой величины, т.е. избыток надежности стоит меньше недостатка надежности» [14, с. 48].

На основании анализа экономических показателей Республики Беларусь профессором В.В. Туром подтверждена возможность использования параметров надежности, регламентированных в Еврокоде [15].

Оценка на основании предыдущего опыта нормирования. В процессе развития норм проектирования достаточная надежность косвенно регулировалась посредством корректировки расчетных параметров на основании данных о последствиях отказов при эксплуатации сооружений. В тех случаях, когда в процессе эксплуатации в течение длительного периода времени не наблюдались отказы, судили о возможных резервах надежности. Частые отказы, причины которых не были связаны с нарушением нормативных требований к проектированию, изготовлению и эксплуатации, свидетельствовали о недостаточной надежности.

Профессор В.Д. Райзер, основываясь на высказываниях Б.В. Гнеденко, Б.А. Козлова и И.А. Ушакова, отмечает: «... при определении расчетных параметров несущих конструкций наряду с применением методов теории надежности ... решение принимается на основании интуиции специалистов, подкрепленной анализом существующего уровня качественных характеристик изделия. Конечно, здесь имеют место постоянные ошибки, однако в общем процессе развития техники происходит такой «естественный отбор», в результате которого слишком неправильно запроектированные изделия «вымирают». Таким образом осуществляется формулирование целесообразных норм многих характеристик, в том числе и характеристик надежности» [16, с. 3].

¹ Исторически сложилось, что первоначально больше использовалось понятие достаточного (как некая минимальная величина) уровня надежности. Последующие исследования показали, что следует говорить не о достаточном уровне надежности, а об оптимальном (целесообразном) значении.

Аналогичные суждения высказаны А.Я. Дривигом: «...нормативные значения нагрузок, свойств материала и система частных коэффициентов надежности обеспечивает определенный уровень надежности конструкций, достаточность которого подтверждается практикой проектирования и строительства» [8, с. 8].

Таким образом, оценка уровня надежности на основании предыдущего опыта нормирования и проектирования является альтернативным вариантом оценки целевого значения вероятности отказа (индекса надежности). По такому пути пошли многие страны в процессе нормирования параметров надежности, в том числе и страны Евросоюза (например, Нидерланды [17], Дания [18], Великобритания [19]). В процессе составления Еврокодов была принята предпосылка о том, чтобы индекс надежности не отличался существенно от значений, обеспечиваемых действующими в то время национальными нормами. С этой целью рабочая группа Международной ассоциации по проектированию мостов и конструкций (IABSE – International Association for Bridge and Structural Engineering) определила индексы надежности исходя из предыдущего опыта нормирования ряда стран. Обобщенные результаты этого исследования представлены в статье Т. Vrouwenvelder [20] (табл. 1).

Таблица 1

Значения вероятности отказа,
обеспечиваемые национальными и международными нормами ряда стран [20]

Страны	Вероятность в год
Аргентина	$1,4 \cdot 10^{-3} \dots 1,0 \cdot 10^{-7}$
Канада	$1,4 \cdot 10^{-3} \dots 5,4 \cdot 10^{-6}$
Китай	$1,4 \cdot 10^{-3} \dots 3,2 \cdot 10^{-5}$
Дания	$1,6 \cdot 10^{-4} \dots 2,1 \cdot 10^{-6}$
Эстония	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Германия	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Голландия	$2,3 \cdot 10^{-4} \dots 3,2 \cdot 10^{-5}$
Южная Африка	$4,8 \cdot 10^{-4} \dots 7,9 \cdot 10^{-7}$
Испания	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Швеция	$1,6 \cdot 10^{-4} \dots 1,3 \cdot 10^{-6}$
Великобритания	$7,9 \cdot 10^{-7}$
США	$2,3 \cdot 10^{-4} \dots 4,8 \cdot 10^{-5}$

При разработке Еврокода EN 1990 [5] имели место острые дискуссии о возможности принятия уровней надежности (значений индексов надежности, вероятности отказа) каждой страной самостоятельно, т.е. о придании индексу надежности статуса «национально устанавливаемый параметр» (NDP). В принятой редакции Еврокода установлены единые уровни надежности для всех стран-членов Евросоюза.

При определении уровня надежности на основании сложившейся практики проектирования и нормирования следует учитывать следующую особенность. На фактическую надежность кроме регламентированного уровня надежности (уровень надежности, который можно предполагать теоретически обеспеченным системой нормативных документов) влияют и традиции проектирования. Анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования показывает, что помимо различий в расчетных положениях (которые, как показывает анализ, являются в большинстве случаев незначительными) наблюдаются отличия в традиционно используемых видах конструкций, особенностях конструирования элементов, соединений и принимаемых идеализаций работы строительных конструкций под нагрузкой. Данные особенности зачастую скрывают значительные непроектные (не учитываемые при проектировании) резервы несущей способности, которые на данный момент трудно или практически невозможно оценить.

Особенно резко это проявляется при проектировании узлов сопряжения. В отечественной практике проектирования многие виды отказов исключались или ограничивались конструктивными мерами, что существенно упрощало их расчет. Еврокоды предусматривают возможность выполнить более точные расчеты, учитывающие напряженно-деформированное состояние каждого компонента узлового сопряжения. Данная ситуация обуславливает использование решений, не характерных отечественной практике. Заимствование таких конструктивных решений без должного расчетного обоснования может привести к отказам.

Описанная ситуация свидетельствует о том, что качество норм проектирования, устанавливаемое только по факту отсутствия массовых отказов, не может достоверно свидетельствовать об их корректности, в особенности для вновь используемых и нетрадиционных конструктивных решений. Поэтому ре-

зультаты, полученные из анализа уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования, должны рассматриваться в совокупности с оценками, полученными другими способами.

Анализ уровня надежности на основании предыдущего опыта нормирования при проектировании стальных конструкций на территории Республики Беларусь

Большинство нормативных документов преследуют цель – «достижение приемлемой вероятности отказа конструкций» при их проектировании. В общем случае данное условие можно записать в виде

$$P_f = P(g(\mathbf{X}) < 0) \leq p_b \quad (1)$$

где P_f – вероятность наступления предельного состояния; $g(\mathbf{X})$ – функция состояния, показывающая, что для конкретных реализаций значений вектора базисных переменных $\mathbf{X}$ конструктивный элемент пребывает в работоспособном состоянии при $g(x) \geq 0$ либо в состоянии отказа при $g(x) < 0$; p_b – целевое значение максимально допустимой вероятности отказа.

Функция состояния для предельного состояния несущей способности представлена в следующем виде:

$$g(\mathbf{X}) = K_R Z R_y - K_E [G + C_{0,Q1} Q_1(t) + C_{0,Q2} Q_2(t)]. \quad (2)$$

Здесь K_R – случайная переменная, характеризующая погрешность расчетной модели сопротивления; Z – геометрическая характеристика поперечного сечения элемента (площадь, момент сопротивления); R_y – случайная переменная, характеризующая прочность материала (предел текучести стали); K_E – случайная переменная, характеризующая погрешность расчетной модели эффекта воздействия; G – случайная переменная, характеризующая усилие от постоянного воздействия; $C_{0,Qi}$ – не зависящая от времени переменная, характеризующая погрешность модели i -го воздействия; $Q_i(t)$ – случайная переменная, характеризующая усилие от i -го переменного воздействия.

При наличии вероятностных моделей случайных переменных можно определить вероятность отказа за базовый период времени. По своей сути информация о базисных переменных представляет собой исходные данные для вероятностного расчета [6]. Следовательно, точность и адекватность вероятностной модели базисной переменной оказывает существенное влияние на результаты расчетов. Это требует, прежде всего, точного и достоверного определения статистических параметров распределения базисных переменных. В качестве первого приближения вероятностные модели базисных переменных для условий Беларуси приняты в соответствии с рекомендациями JCSS [21]. Вероятностные модели ветровой и снеговой нагрузок представлены с учетом актуальных исследований для территории Республики Беларусь [22–24]. Значения статистических параметров нагрузок существенно зависят от территориальных особенностей конкретного региона страны, например коэффициент вариации годовых максимумов снеговой нагрузки изменяется в пределах от 0,44 (для Витебска) до 0,72 (для Пинска) для всей территории Республики Беларусь [22]. Поэтому они представлены в интервальных значениях, а остальные параметры приняты усредненными. Статистические параметры функций распределения базисных переменных выражены через их нормативные значения, определенные согласно СНиП [25]. Все вероятностные модели, используемые для расчетов, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вероятностные модели базисных переменных

Переменная	Распределение	μ_X	V_X
Постоянная нагрузка	Нормальное	$(1,0 \dots 1,05)G_n$	0,07...0,10
Полезная нагрузка (50 лет)	Гумбеля	$(0,5 \dots 0,8)Q_n$	0,35...0,40
Погрешность модели полезной нагрузки	Нормальное	1,00	0,10
Снеговая нагрузка (50 лет)	Гумбеля	$(1,1 \dots 1,4)S_n$	0,19...0,21
Погрешность модели снеговой нагрузки	Нормальное	1,00	0,15
Ветровое воздействие (1 год)	Гумбеля	$(0,8 \dots 0,9)W_n$	0,22...0,27
Ветровое воздействие (50 лет)	Гумбеля	$(1,4 \dots 1,6)W_n$	0,14...0,17
Погрешность модели ветрового воздействия	Нормальное	0,80	0,30
Предел текучести	Логнормальное	$1,18R_{yn}$	0,08
Погрешность модели сопротивления обобщенного стального элемента	Логнормальное	1,10	0,10
Погрешность модели эффекта воздействия	Логнормальное	1,00	0,10

Базовый периода отнесения принят равным 50 лет. Для сочетания переменных нагрузок использовалось правило Turkstra. Учет различных соотношений усилий выполнен посредством безразмерных параметров нагружения χ и α . Параметр нагружения χ представляет собой долю переменных воздействий в полном значении воздействия:

$$\chi = (Q_{n,1} + Q_{n,2}) / (G_n + Q_{n,1} + Q_{n,2}). \quad (3)$$

Параметр нагружения χ может изменяться практически от 0 (подземные конструкции) до 1 (локальные эффекты в подкрановых балках). Анализ реальных объектов показывает, что наиболее вероятный интервал значения параметра нагружения χ составляет 0,3...0,7 для снеговой нагрузки и 0,4...0,9 для полезной нагрузки. Близкие значения данного параметра ($\chi = 0,4...0,8$) приняты для стальных конструкций в работе [26].

Соотношение значений усилий от переменных нагрузок характеризуется параметром нагружения

$$\alpha = Q_{n,2}/Q_{n,1}, \quad (4)$$

где $Q_{n,1}$ – переменная нагрузка, вызывающая большие усилия; $Q_{n,2}$ – переменная нагрузка, вызывающая меньшие усилия.

Указанные параметры положены в основу численных исследований индекса надежности. В таблице 3 представлена взаимосвязь индекса надежности и вероятности отказа.

Таблица 3

Соотношение индекса надежности и вероятности отказа

Индекс надежности	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Вероятность отказа	0,159	0,067	0,023	$6,21 \cdot 10^{-3}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$3,17 \cdot 10^{-5}$

Частные коэффициенты для детерминированного расчета приняты согласно СНиП 2.01.07 [25] с учетом изменения № 1. Коэффициент надежности γ_G для постоянной нагрузки зависит от составляющих компонентов этой нагрузки. Для большинства металлических конструкций среднее значение данного коэффициента находится в диапазоне 1,15...1,2. Коэффициент надежности для снеговой нагрузки согласно 5.7 [25] равен 1,5, за исключением элементов покрытия, для которых он принимается дифференцированно: $\gamma_S = 1,5$ при $G_n / S_n \geq 0,8$ и $\gamma_S = 1,6$ при $G_n / S_n < 0,8$. Коэффициент надежности для полезной нагрузки согласно [25] принимается равным 1,3 при полном нормативном значении менее 2,0 кПа и 1,2 при полном нормативном значении 2,0 кПа и более. Коэффициент сочетания $\psi_{Q,i} = 0,9$ для кратковременных нагрузок принят согласно [25]. Значение частного коэффициента γ_m зависит от государственного стандарта или технических условий на прокат. Для наиболее распространенного проката по ГОСТ 27772 он равен 1,025. Коэффициент условий работы γ_c учитывает особенности работы стали, элементов конструкций и их соединений, имеющие систематический характер, но не отражаемые непосредственно в расчетах [10]. Для упрощения принят $\gamma_c = 1$.

Таблица 4

Значения частных коэффициентов согласно СНиП

Параметры	Частные коэффициенты
Постоянная нагрузка	$\gamma_G = 1,15...1,2$
Полезная нагрузка	$\gamma_Q = 1,3$ или $1,2$; $\gamma_Q = 0,9$
Снеговая нагрузка	$\gamma_S = 1,5$ или $1,6$; $\gamma_S = 0,9$
Ветровая нагрузка	$\gamma_W = 1,4$; $\gamma_W = 0,9$
Предел текучести	$\gamma_c = 1$; $\gamma_m = 1,025$
Дифференциация надежности	$\gamma_n = 0,95$

Результаты представлены в виде графиков. По оси ординат отложены значения индекса надежности β , а по оси абсцисс – параметр нагружения χ . На рисунке 1 отображены верхняя и нижняя границы изменения β при одновременном действии постоянной и полезной нагрузок ($\alpha = 0$); на рисунке 2 – границы изменения β при действии постоянной и снеговой нагрузок ($\alpha = 0$). Для снеговой нагрузки частный коэффициент γ_S меняет свое значение приблизительно при $\chi = 0,56$, что соответствует $G_n / S_n = 0,8$.

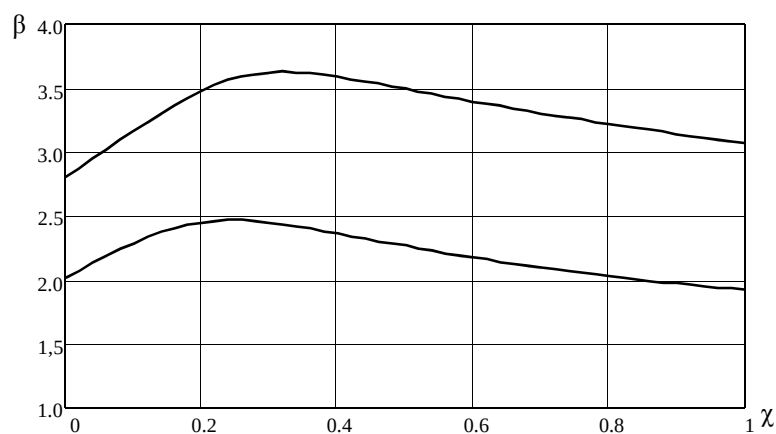


Рис. 1. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной и полезной нагрузки

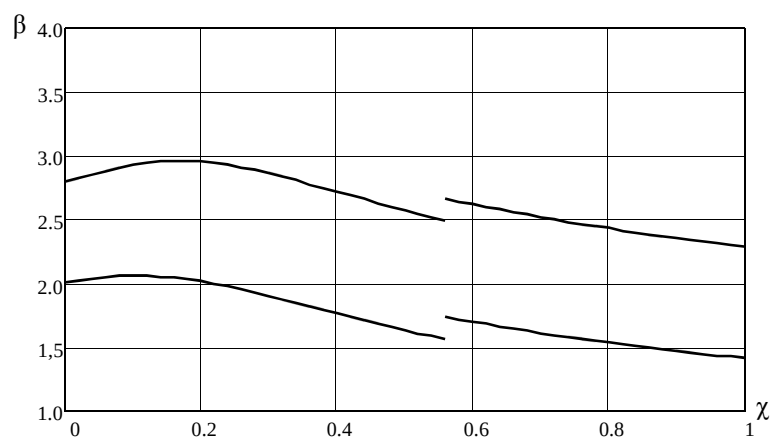


Рис. 2. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной и снеговой нагрузки

На рисунке 3 представлен диапазон изменения β при одновременном действии постоянной, полезной и ветровой нагрузок. Отношение усилия от ветровой нагрузки к усилию от полезной принято 0,3.

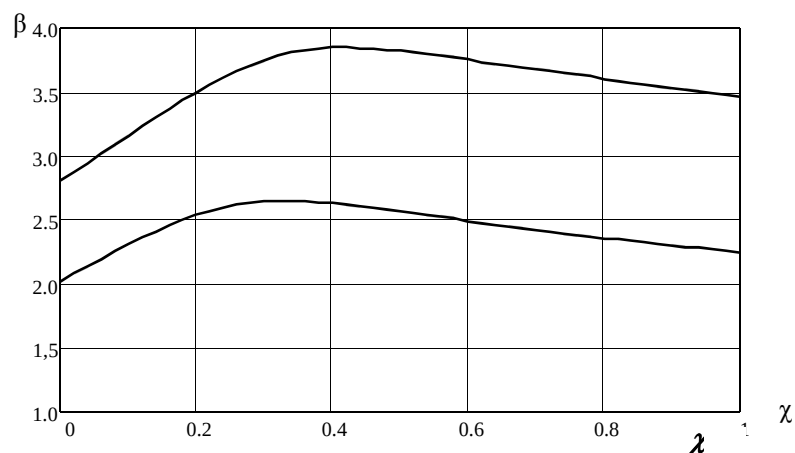


Рис. 3. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной, полезной и ветровой нагрузок

На рисунке 4 представлен диапазон изменения β при действии постоянной, снеговой и ветровой нагрузок. Отношение усилия от ветровой нагрузки к усилию от снеговой принято 0,3. Для снеговой нагрузки частный коэффициент γ_s меняет свое значение приблизительно при $\chi = 0,62$, что соответствует $G_n / S_n = 0,8$.

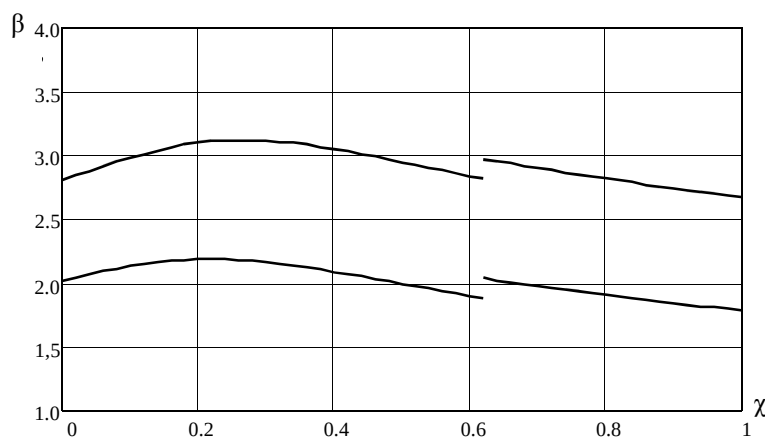


Рис. 4. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной, снеговой и ветровой нагрузок

Заключение. В результате проведенного исследования выполнен предварительный анализ требуемого уровня надежности конструкций на основе опыта предыдущего нормирования и сложившейся практики проектирования для условий Республики Беларусь. Анализ результатов позволил выявить следующие особенности в уровнях надежности по проектированию стальных конструкций:

- вероятность отказа (индекс надежности) для периода отнесения 50 лет при наиболее распространенных условиях применения стальных конструкций изменяется в пределах $1,5 \cdot 10^{-2} \dots 1,1 \cdot 10^{-4}$ (2,1...3,5) при сочетании постоянной и полезной нагрузок и $5,5 \cdot 10^{-2} \dots 2,5 \cdot 10^{-3}$ (1,6...2,8) при сочетании постоянной и снеговой нагрузок;

- при сочетании более двух нагрузок уровень надежности повышается;
- необходимо более детальное исследование вопроса обеспечения надежности стальных конструкций при высокой доле переменных нагрузок, в частности снеговой нагрузки (например, для легких большепролетных металлических конструкций);

- при данных вероятностных моделях базисных переменных и принятой системе частных коэффициентов вероятность отказа (индекс надежности) ниже уровня надежности, регламентируемого в ТКП EN 1990 «Основы проектирования конструкций».

Для более точного и достоверного определения уровня надежности стальных конструкции необходимо уточнить вероятностные модели базисных переменных на основе актуализированных опытных данных, в первую очередь характеризующих прочность сталей. Необходимо выполнить аналогичные исследования для конструкций и из других видов материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании / В.Д. Райзер. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 304 с.
2. Складнев, Н.Н. О методике определения коэффициента надежности по назначению / Н.Н. Складнев, А.А. Федяев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1987. – № 2. – С. 3–6.
3. Беляев, Б.И. О выборе формулы для общего коэффициента надежности при вероятностном методе расчета / Б.И. Беляев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – № 1. – С. 10–13.
4. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007. – Введ. 01.07.2008. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2007. – 69 с.
5. Еврокод. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2011. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2012. – 70 с.
6. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций / Г. Шпете; пер. с нем. О.О. Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с. – Переводное изд.: Gerhard Spaethe. – Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen.
7. Faber, M.H. Lecture Notes on Risk and Safety in Civil Engineering / M.H. Faber. – Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zürich), 2009. – 349 p.
8. Дривинг, А.Я. Вероятностно-экономический метод в нормах расчета строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – № 3. – С. 7–11.
9. Дривинг, А.Я. Рекомендации по применению экономико-статистических методов при расчетах сооружений с чисто экономической ответственностью / А.Я. Дривинг. – М.: ЦНИИСК, 1972. – 61 с.

10. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.
11. Pandey, M.D. Foundational Principles of Welfare Economics Underlying the Life Quality Index for Efficient Risk Management / M.D. Pandey, J.S. Nathwani // Int. J. Risk Assessment and Management. – 2007. – Vol. 7, 6/7. – P. 862–883.
12. Nathwani, J.S. A standard for determination of optimal safety in engineering practice / J.S. Nathwani, M.D. Pandey, N.C. Lind // Proc. IFIP Conference, May 23–25, Aalborg, Denmark. – 2005. – P.1–8.
13. Rackwitz, R. A new Approach for setting Target Reliabilities / R. Rackwitz // Proc IABSE Conf. Safety, Risk and Reliability – Trends in Engineering, Malta, 2001, IABSE, Zürich, – 2001. – P. 531–536.
14. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – М.: Изд. АСВ, 2007. – 256 с.
15. Тур, В.В. Обеспечение надежности строительных конструкций в свете требований европейских и национальных нормативных документов по проектированию / В.В. Тур // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 480–497.
16. Райзер В.Д. Развитие теории надежности и совершенствование норм проектирования / В.Д. Райзер // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – № 5. – С. 1–4.
17. Vrouwenvelder, A.C.W.M. Probabilistic calibration procedure for the derivation of partial safety factors for the Netherlands building codes / A.C.W.M. Vrouwenvelder, A.J.M. Siemes // Delft University of Technology, 1987. – HERON, 32 (4) – P. 9–29.
18. Sorensen, J.D. Calibration of partial safety factors for Danish structural codes / J.D. Sorensen, S.O. Hansen, T. Arnbjerg Nielsen // In: Proc. IABSE Conf. Safety, risk and reliability – trends in engineering, Malta, IABSE, Zurich, 2001. – P. 179–184.
19. Byfield, M.P. Steel design and reliability using Eurocode 3 / M.P. Byfield. PhD thesis, University of Nottingham, 1996.
20. Vrouwenvelder, T. Reliability based code calibration. The use of the JCSS probabilistic model code / T. Vrouwenvelder // Workshop on Reliability Based Code Calibration: Press Release, Zurich, March 21–22, 2002 [Electronic resource] / Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich). – 2002. – Mode of access: http://www.jcss.ethz.ch/events/WS_2002-03/WS_2002-03.html. – Date of access: 10.05.2011.
21. JCSS Probabilistic Model Code, Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001. <www.jcss.byg.dtu.dk>.
22. Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь / В.В. Тур [и др.] // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 27–45.
23. Марковский, Д.М. Калибровка значений параметров безопасности железобетонных конструкций с учётом заданных показателей надёжности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.М. Марковский. – Брест, 2009.
24. Черноиван, А.В. Нормирование ветровой нагрузки на здания и сооружения для климатических условий Республики Беларусь: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Черноиван; Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2012. – 24 с.
25. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
26. Holicky, M. Partial Factors for Light-Weight Roofs Exposed to Snow Load / M. Holicky, M. Sykora // In Bris R., Guedes Soares C., Martorell S. (eds.), Supplement to the Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2009, Prague, Czech Republic, 7–10 September 2009. – Ostrava: VŠB Technical University of Ostrava, 2009. – P. 23–30.

Поступила 17.05.2014

ESTIMATION OF TARGET LEVEL OF RELIABILITY BASED ON THE PREVIOUS EXPERIENCE STANDARDIZATION

V. NADOLSKI, I. MARTYNOV

The problem of regulation of reliability, expressed in the values of allowable probability of failure or reliability index is considered. The main methods of estimation the target values of reliability indices for building are presented. An alternative method of estimation the value of the reliability index on the basis of previous experience with respect to the conditions of the Republic of Belarus is discussed in more detail. The reliability index provided by the national system of regulations for the design of steel structures is analyzed. The features and quantitative reliability of steel structures are revealed on the received results. The conclusions of the necessity for further research into the improvement of the probabilistic models of basic variables and the necessity to perform a similar study for the construction made from other materials are drawn.

УДК 624.012.45

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ
И БЕТОНА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,
УСИЛЕННЫХ В ЗОНЕ СРЕЗА****Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ***(Полоцкий государственный университет)*

Представлено экспериментально-теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния основной и дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры и бетона в изгибаемых железобетонных элементах, усиленных в зоне среза. Выполнено сопоставление результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета по предлагаемой автором методике.

Целью данной работы явилось проведение экспериментально-теоретических исследований изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза путем установки дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры. Методика испытаний, а также характеристики опытных образцов приведены в [1].

**Напряженно-деформированное состояние поперечной арматуры
и бетона изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза**

При нагружении образцов Б-I-1, Б-II-1 и Б-III-1 до образования наклонных трещин относительные деформации поперечной арматуры равномерно увеличивались. После образования наклонных трещин в процессе дальнейшего нагружения вплоть до разрушения в поперечной арматуре опытных образцов наблюдалось более интенсивное увеличение относительных деформаций. По длине зоны среза относительные деформации в стержнях поперечной арматуры различались и составляли наибольшие значения в середине пролета среза, наименьшие – по концам зоны среза. При этом относительные деформации во всех стержнях (от двух до четырех – в зависимости от пролета среза) поперечной арматуры, пересекающих критическую наклонную трещину, на этапах, предшествовавших разрушению, достигали значений, соответствующих их пределу текучести. Графики зависимости средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций в стержнях поперечной арматуры, пересекающих критическую наклонную трещину, в зависимости от величины поперечной силы для образцов Б-I-1, Б-II-1 и Б-III-1 показаны на рисунке 1.

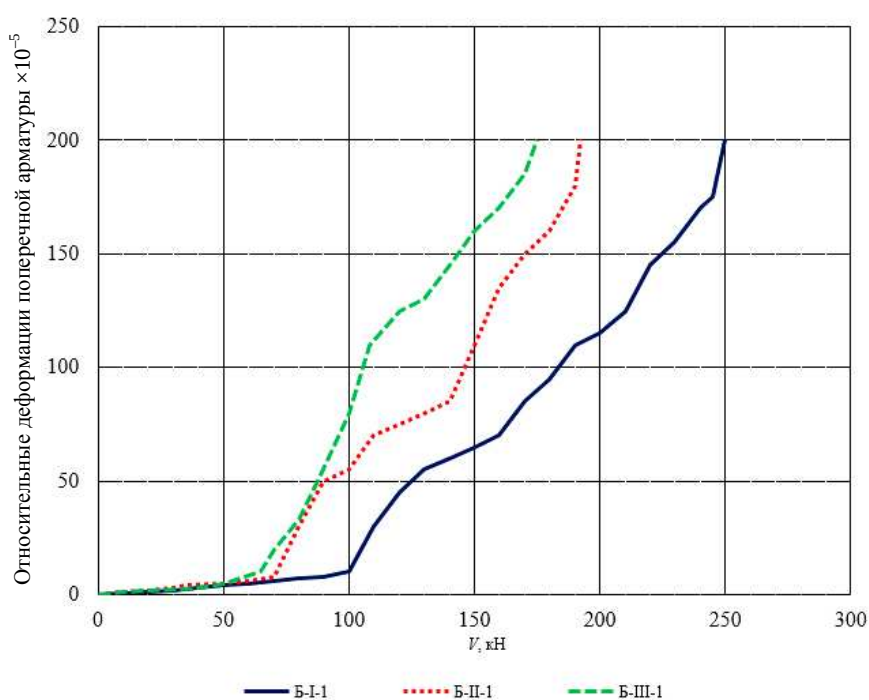


Рис. 1. Зависимость средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры от величины поперечной силы в опытных образцах Б-I-1, Б-II-1 и Б-III-1

Распределения относительных сдвиговых деформаций бетона по высоте поперечного сечения образцов Б-I-1, Б-II-1 и Б-III-1 в зоне среза, полученные в результате обработки измеренных относительных деформаций бетона с помощью тензометрических розеток на стадиях до образования наклонных трещин, приведены на рисунке 2.

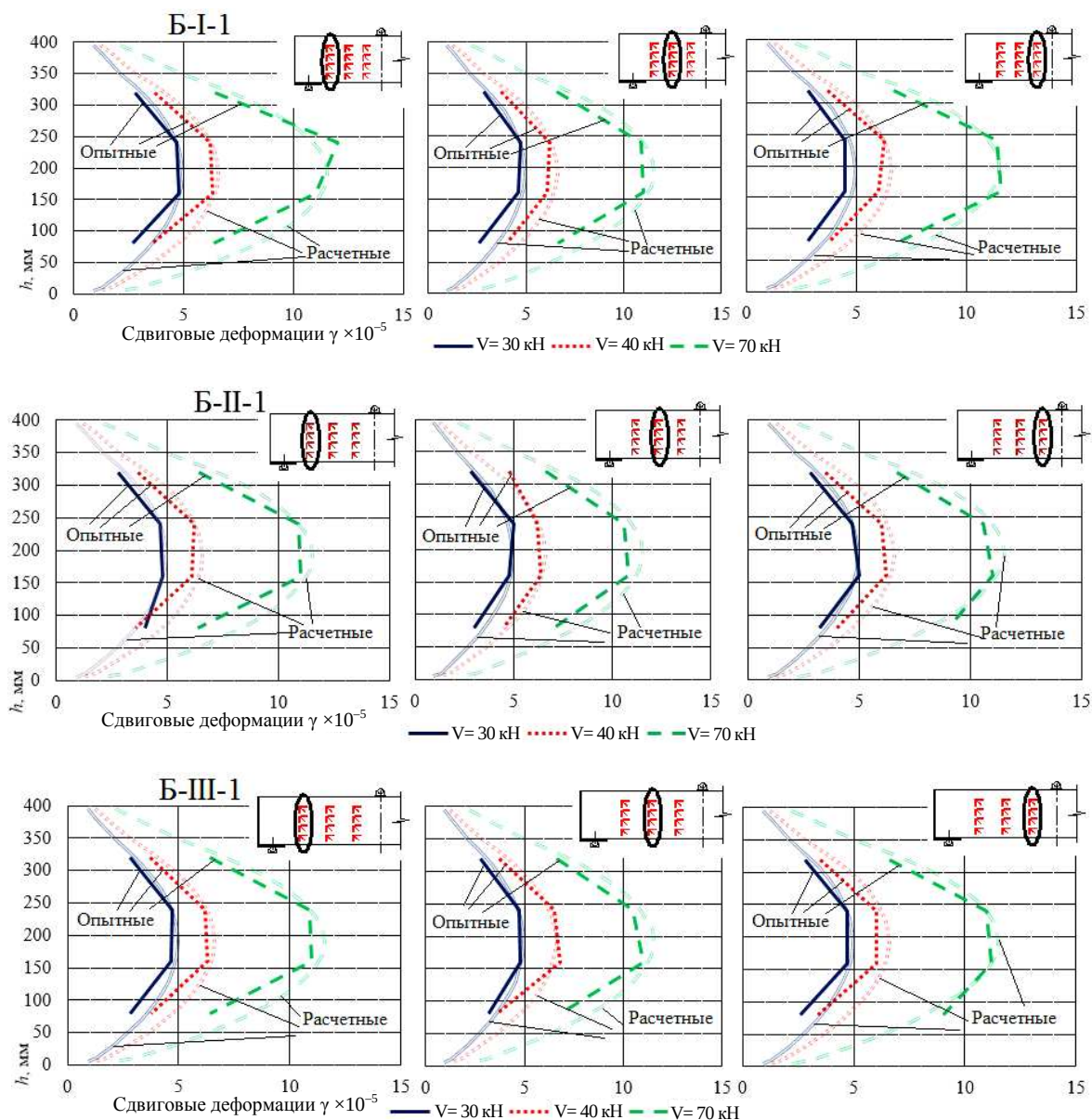


Рис. 2. Распределения по высоте поперечного сечения относительных сдвиговых деформаций в бетоне опытных образцов Б-I-1, Б-II-1, Б-III-1 (опытные и расчетные)

Характер работы стержней поперечной арматуры в образцах Б-I-2, Б-II-2, Б-III-2, усиленных в зоне среза путем установки дополнительной предварительно напряженной арматуры в исходном напряженно-деформированном состоянии, главным образом совпадает с характером работы стержней поперечной арматуры в эталонных образцах. Отличием является менее интенсивное увеличение относительных деформаций в основной поперечной арматуре с увеличением внешней нагрузки, связанное с положительным влиянием дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры, для исследуемых пролетов среза.

Зависимости средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций в стержнях основной и дополнительной поперечной арматуры, пересекающих критическую наклонную трещину, от величины поперечной силы для образцов Б-I-2, Б-II-2 и Б-III-2, усиленных путем установки дополнительной предварительно напряженной арматуры в исходном состоянии, приведены на рисунках 3–5.

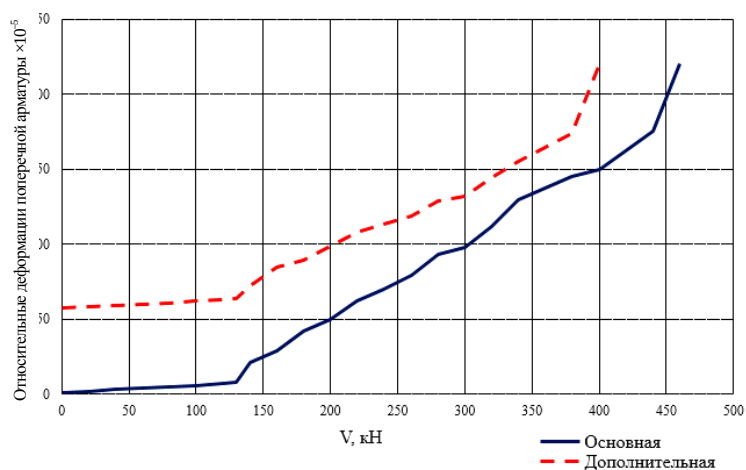


Рис. 3. Зависимость средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры от величины поперечного усилия в образце Б-I-2

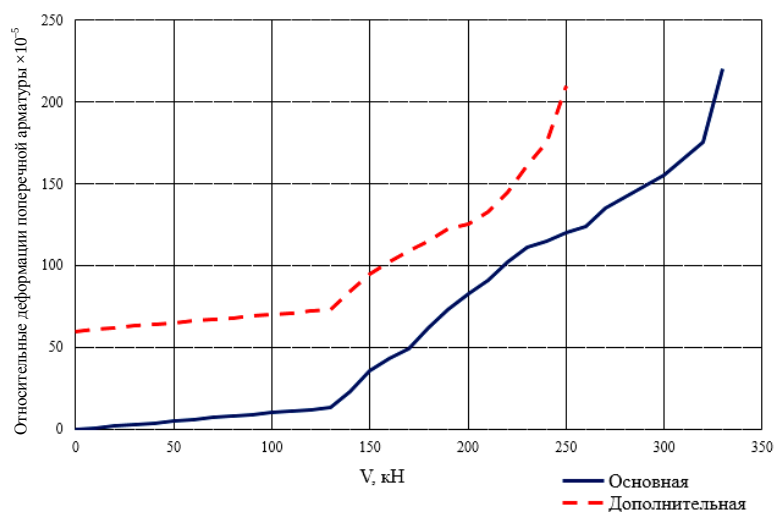


Рис. 4. Зависимость средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры от величины поперечного усилия в образце Б-II-2

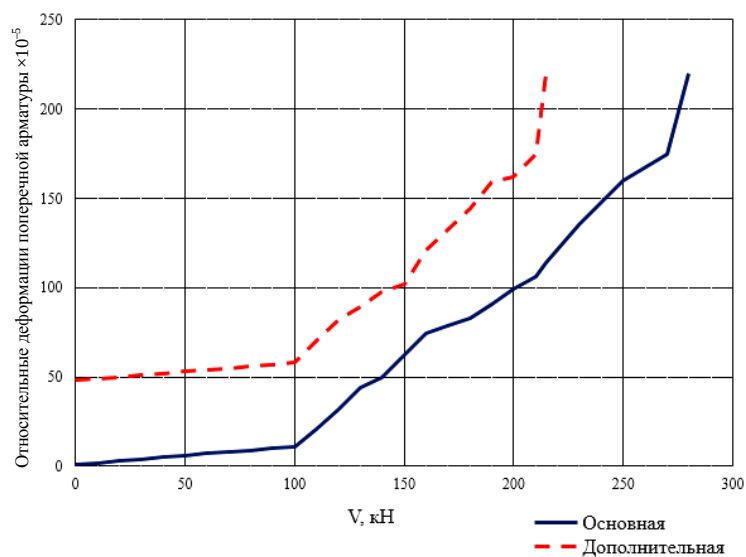


Рис. 5. Зависимость средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры от величины поперечного усилия в образце Б-III-2

Распределения относительных сдвиговых деформаций бетона по высоте поперечного сечения образцов Б-I-2, Б-II-2 и Б-III-2, усиленных в зоне среза в начальном напряженном состоянии путем установки дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры, полученные в результате обработки измеренных относительных деформаций бетона с помощью тензометрических розеток на стадиях до образования наклонных трещин, по форме схожи с соответствующими распределениями в эталонных образцах Б-I-1, Б-II-1 и Б-III-1 (рис. 6). Это подтверждается принятым [2] распределением касательных напряжений в зависимости от приращения комбинации внутренних усилий.

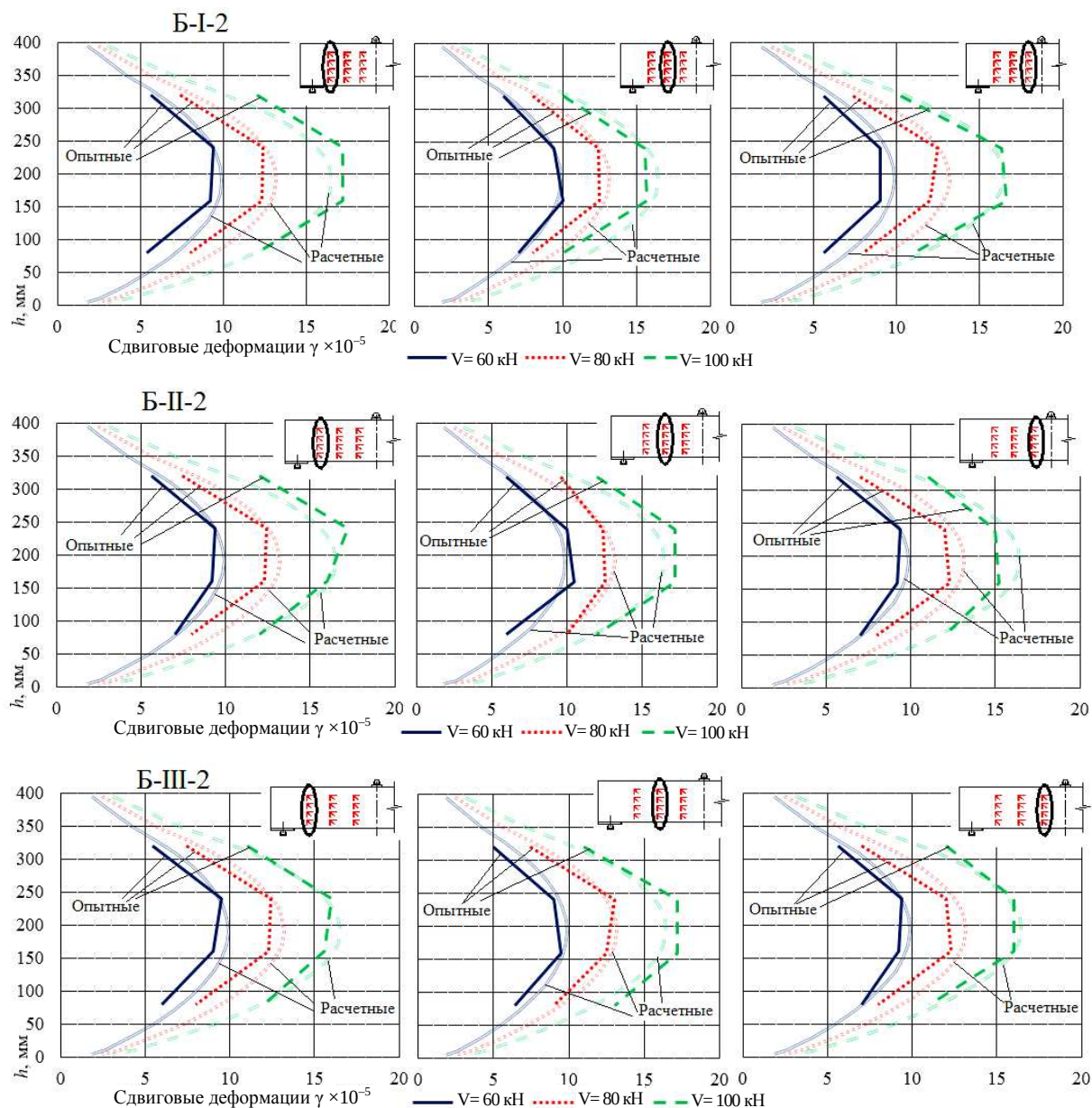


Рис. 6. Распределения по высоте поперечного сечения относительных сдвиговых деформаций в бетоне опытных образцов Б-I-2, Б-II-2, Б-III-2 (опытные и расчетные)

В образцах Б-I-3, Б-II-3, Б-III-3, усиленных под нагрузкой после образования критических наклонных трещин в зоне среза, зависимости средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры (рис. 7–9) показывают более высокую эффективность предварительного напряжения дополнительной поперечной арматуры для уменьшения относительных деформаций (нормальных напряжений) в основной поперечной арматуре на величину до $20...26 \cdot 10^{-5}$ ($42...54,6$ МПа). При этом уменьшение относительных деформаций (нормальных напряжений) в основной поперечной арматуре в образцах Б-I-2, Б-II-2, Б-III-2, усиленных установкой дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры в исходном состоянии, на порядок меньше: $1,5...2 \cdot 10^{-5}$ ($3,2...4,2$ МПа).

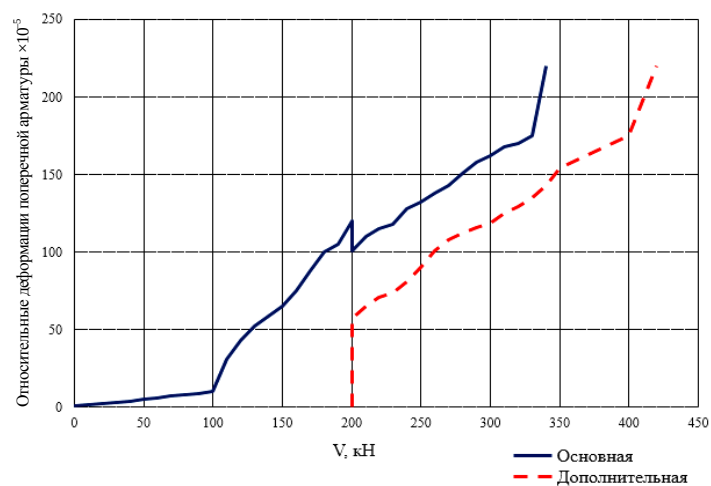


Рис. 7. Зависимость средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры от величины поперечного усилия в образце Б-I-3

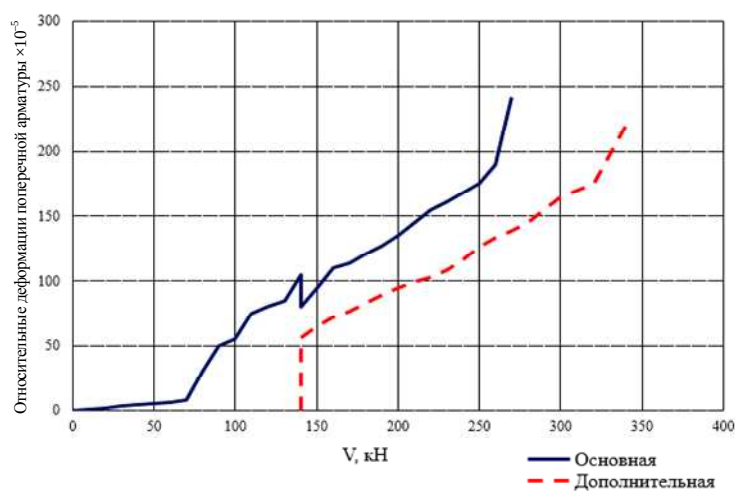


Рис. 8. Зависимость средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры от величины поперечного усилия в образце Б-II-3

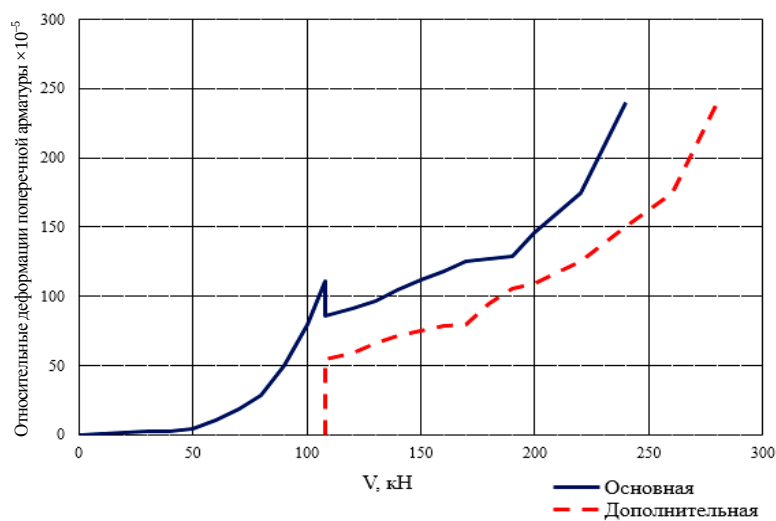


Рис. 9. Зависимость средних по длине проекции критической наклонной трещины относительных деформаций поперечной арматуры от величины поперечного усилия в образце Б-III-3

Во всех образцах, усиленных путем установки дополнительной предварительно напряженной арматуры, основная и дополнительная поперечная арматура класса S240 достигала значений относительных деформаций, соответствующих пределу текучести на разных этапах нагружения, не достигая относительных деформаций, соответствующих временному сопротивлению.

Закключение. Экспериментально подтверждено достижение в основной и дополнительной поперечной арматуре предела текучести при разрушении опытных образцов. Полученные по предлагаемой методике [2–4] расчетные данные распределения относительных сдвиговых деформаций по высоте поперечного сечения в зоне среза имеют удовлетворительную сходимость с результатами эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазовский, Е.Д. Экспериментально-теоретические исследования прочности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза установкой дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры / Е.Д. Лазовский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2013. – № 16. – С. 51–60.
2. Лазовский, Е.Д. Методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза / Т.М. Пецольт, Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2012. – № 16. – С. 54–59.
3. Лазовский Е.Д. Предпосылки, методика и программа для расчета напряженно-деформированного состояния усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов / Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2013. – № 16. – С. 33–39.
4. Применение мягких вычислений для сглаживающей аппроксимации сложных сингулярных зависимостей / Д.О. Глухов [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. – 2012. – № 12. – С. 2–5.

Поступила 02.06.2014

THE STRESS-STRAIN STATES OF THE TRANSVERSE REINFORCEMENT AND THE CONCRETE OF THE BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENT, STRENGTHENED IN SHEAR ZONE

Y. LAZOUSKI

In this article, the results of the experimental and theoretical studies of the main and additional pre-stressed transverse reinforcement and concrete stress-strain state of the bending reinforced concrete elements, strengthened in shear zone, are presented. In addition, there is the comparison between experimental results with obtained by calculation, using on the proposed method.

УДК 624.131.53.001.24

**К РАСЧЁТУ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЯЧЕЕК СИЛОСОВ
ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ****канд. техн. наук, проф. В.Д. ГРИНЕВ; доц. А.Г. ЩЕРБО
(Полоцкий государственный университет)**

Рассматривается методика расчета прямоугольных ячеек бункеров и силосов для хранения сыпучих материалов. Нагрузка от бокового давления представлена с учетом некоторого жесткого ядра и призмы обрушения, скользящей по поверхностям ядра. Приведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами расчета, выполненного при равномерном распределении нагрузки.

В различных отраслях производства емкости для хранения сыпучих материалов получили широкое распространение. Причем значительную их часть составляют емкости прямоугольной формы как наиболее технологичные в процессе их сооружения и эксплуатации. Расчет прочности таких силосов и бункеров производится на основе представлений о равномерном боковом давлении, определяемом широко известными методами Кульмана, Эри, Кеннена – Янсена. Указанные методы получили дальнейшее развитие в [1; 2], где обосновывается наличие в массе сыпучего тела, хранящегося в бункере, некоторого жесткого ядра и призмы обрушения, скользящей по его поверхностям. Боковое давление, как показано в [1], при этом значительно меньше, чем принятое ранее распределенное равномерно. На основании анализа результатов, полученных в [1], в [2] предлагается замена равномерно распределенного по периметру бокового давления (рис. 1) на нагружение прямоугольной ячейки силоса по схеме, приведенной на рисунке 2.

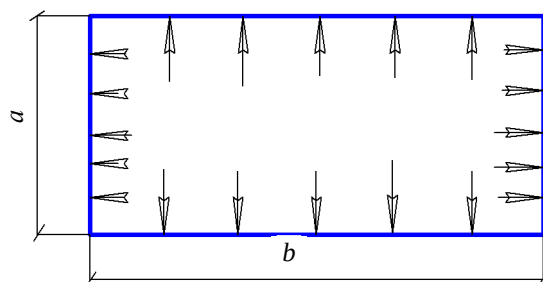


Рис. 1

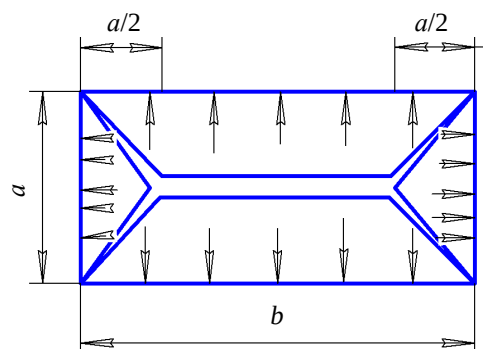


Рис. 2

Как следует из рисунка 2, давление по короткой стороне представляется в виде треугольника, по длинной – в виде трапеции, параметры которой определяются размерами бункера. Такое распределение горизонтального давления более точно учитывает его заниженную величину, что подтверждают результаты, представленные в [3]. Прямоугольная ячейка бункера является замкнутым контуром, т.е. системой трижды статически неопределимой, расчет данной рамы выполнен методом сил [4; 5].

На рисунке 3 представлена заданная система, где рассматривается предлагаемая по периметру нагрузка в виде треугольника и трапеции.

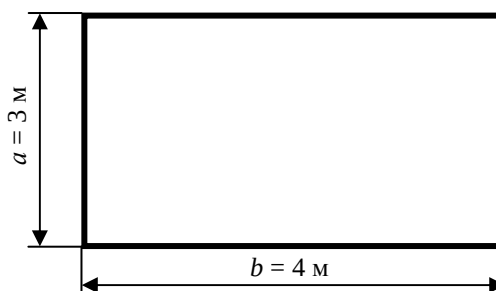


Рис. 3

Основная система метода сил показана на рисунке 4, а система канонических уравнений метода сил имеет вид, представленный формулой (1).

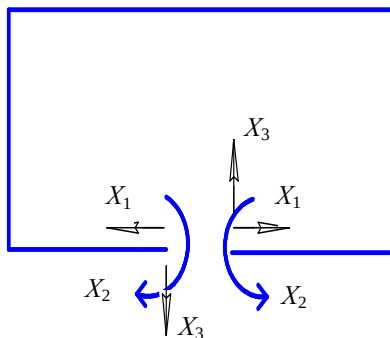


Рис. 4

$$\begin{cases} \sigma_{11}x_1 + \sigma_{12}x_2 + \sigma_{13}x_3 + \Delta_{1p} = 0; \\ \sigma_{21}x_1 + \sigma_{22}x_2 + \sigma_{23}x_3 + \Delta_{2p} = 0; \\ \sigma_{31}x_1 + \sigma_{32}x_2 + \sigma_{33}x_3 + \Delta_{3p} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Единичные состояния основной системы и соответствующие им эпюры моментов показаны на рисунке 5.

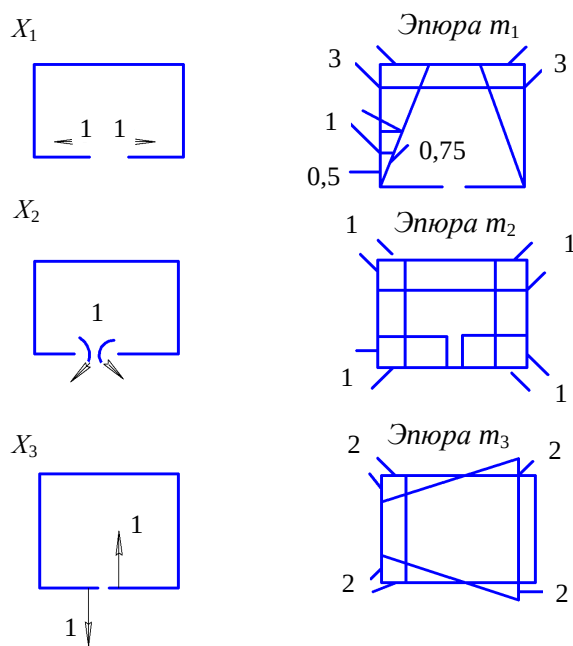


Рис. 5

Рассматриваемая основная система образована с использованием свойств симметрии, что позволяет разделить систему уравнений (1) на подсистемы:

$$\begin{cases} \sigma_{11}x_1 + \sigma_{12}x_2 + \Delta_{1p} = 0; \\ \sigma_{21}x_1 + \sigma_{22}x_2 + \Delta_{2p} = 0; \\ \sigma_{33}x_3 + \Delta_{3p} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Последнее из уравнений (2) превращается в тождество вследствие симметрии нагрузки, так как $\Delta_{3p} = 0$. Таким образом, задача сводится к решению системы двух уравнений (2).

При расчете рамы приняты размеры прямоугольника: $a = 3$ м, $b = 4$ м. Определение коэффициентов при неизвестных выполнено по правилу Верещагина, так как функции m_i являются линейными.

Для достижения наибольшей корректности решения определение свободных членов системы уравнений выполнено непосредственным интегрированием по формуле Максвелла – Мора:

$$\Delta_{ip} = \int_l \frac{M_p \cdot m_i}{EI} dl, \quad (3)$$

для чего на каждом из участков рамы составлены функции m_i и M_p . Эпюра M_p представлена на рисунке 6.

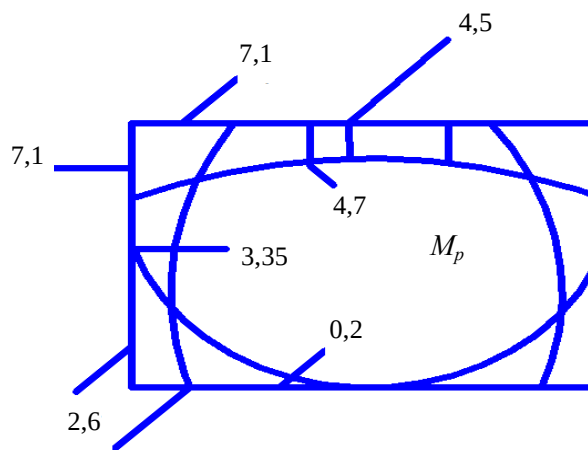


Рис. 6

Полученная система уравнений с численными коэффициентами и свободными членами имеет вид:

$$\begin{cases} 27x_1 + 10,5x_2 + 53,7 = 0; \\ 10,5x_1 + 7x_2 + 24,6 = 0. \end{cases}$$

Решение системы:

$$X_1 = -1,52; \quad X_2 = -1,22.$$

Окончательную эпюру моментов строим по формуле:

$$M = M_p + m_1x_1 + m_2x_2.$$

Эпюры $m_i x_i$ представлены на рисунке 7, окончательная эпюра моментов – на рисунке 8.

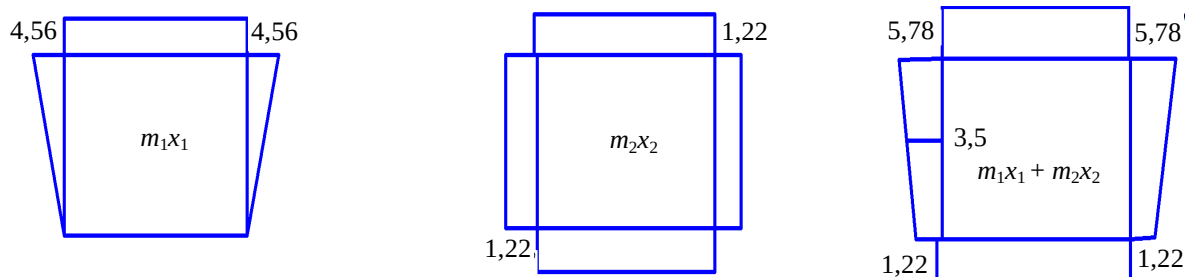


Рис. 7

Анализ решения задачи показывает, что наибольшая ошибка расчета составляет 4,6 %, что лежит в пределах допускаемой точности.

Сравнительный анализ полученного решения с результатами, представленными в [6; 7], где нагрузка рассматривается в виде равномерно распределенной по периметру рамы, показывает следующее:

- изгибающие моменты в среднем сечении длинной стороны меньше на 7 %;
- изгибающие моменты в среднем сечении короткой стороны меньше на 9 %;
- наибольшее уменьшение изгибающих моментов приходится на узлы рамы и составляет около 12 %.

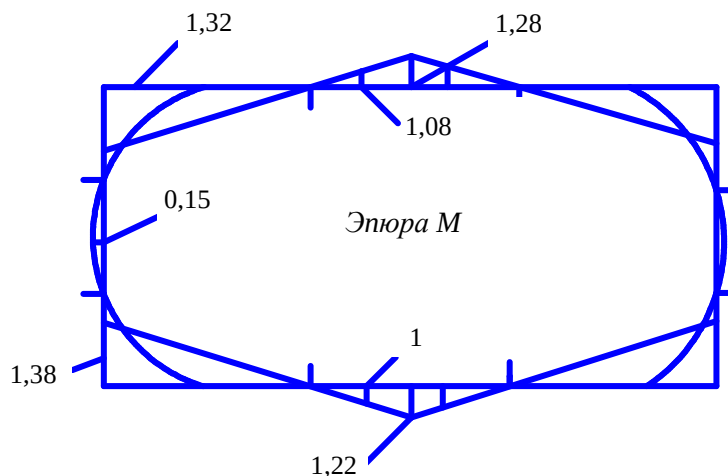


Рис. 8

Заключение. Проведенное исследование показало, что замена равномерного внутреннего давления в стенках бункера на нагружение по схеме, предлагаемой в данной работе, правомерна и позволяет более точно определить внутренние усилия в ячейках силосов и бункеров рассмотренной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. К определению давления сыпучих тел / В.Д. Гринев [и др.] // Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях: материалы междунар. конф., Сумы, 1994 г. – Сумы: ИПП «Мрія» ЛТД, 1994. – С. 188–189.
2. Гринев, В.Д. О распределении горизонтального давления сыпучих материалов по периметру стен / В.Д. Гринев // Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях: материалы междунар. конф., Сумы, 1994 г. – Сумы: ИПП «Мрія» ЛТД, 1994. – С. 192–193.
3. Кудзис, А.П. Железобетонные и каменные конструкции / А.П. Кудзис. – М.: Высш. шк., 1998. – Ч. 2: Конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений. – 218 с.
4. Прочность, устойчивость, колебания: справочник / И.А. Бергер [и др.]. Т. 1. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1988. – С. 487–489.
5. Писаренко, Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1975. – С. 328–331.
6. Сахновский, К.В. Железобетонные сооружения / К.В. Сахновский: Ленинград-Москва: Госстройиздат, 1933. – 332 с.
7. Справочник проектировщика промышленных сооружений / ОНТИ. – Москва-Ленинград, 1935. – Т. 4: Железобетонные конструкции. – 457 с.

Поступила 06.06.2014

TO CALCULATION OF RECTANGULAR CELLS OF SILOS WITH A HORIZONTAL PRESSURE

V. GRINJOV, A. SHCHERBO

In this article we consider the accounting method of orthogonal cells of the bunkers and silages for storage (keeping) loose materials. Strain from the late rail pressure is presented considering some haid core and collapsing prism moving on the core. There we also can see the comparative analysis of the received results with the results of calculation are made with a uniform strain distribution.

УДК 624.012+519.673

МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ СЕЧЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КАМЕННОЙ КЛАДКИ С УЧЕТОМ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

А.М. ХАТКЕВИЧ*(Полоцкий государственный университет)*

Рассматриваются вопросы построения полных диаграмм деформирования для бетона и каменной кладки при одноосном сжатии. В масштабе реальной конструкции кладка является анизотропным гомогенным материалом. Работу такого материала под нагрузкой можно описать диаграммами деформирования. Разработан алгоритм расчета нормальных к продольной оси сечений конструкций из каменной кладки с учетом диаграмм деформирования при центральном сжатии. Предпосылками для применения данного метода явилась возможность условной замены исходного материала из нескольких компонентов с различными свойствами на один, описываемый общим законом «напряжение – деформация». Выполнено сравнение результатов экспериментальных данных с вычисленными значениями разрушающих нагрузок.

Введение. Каменная кладка – монолитный анизотропный строительный материал, относящийся к композиционным. Под действием нагрузки в ней возникает сложное напряженное состояние, обусловленное различными прочностными и деформационными характеристиками камня и раствора. Опыт применения каменной кладки соизмерим с историей развития цивилизации, при этом каменные материалы до сих пор остаются одними из наиболее распространенных материалов, широко применяющихся для возведения как несущих, так и ограждающих конструкций. Несмотря на это теорию расчета каменных и армокаменных конструкций начали разрабатывать сравнительно недавно. Первоначально возведению зданий и сооружений не предшествовали инженерные расчеты, а строители руководствовались навыками и традициями, основанными на опыте эксплуатации. Из-за этого создавались громоздкие конструкции с большими коэффициентами запаса, что, однако, не предотвращало аварийных ситуаций.

Первые научные работы, посвященные прочности кладок, появились с возникновением мощного прессового оборудования в начале XX века и связаны с именами А.К. Говве, И.И. Ильина, В.А. Гастева, Н.А. Попова, В.П. Некрасова, Л.И. Онищика, В.А. Камейко, Л.Д. Проскуракова, Г.П. Передерия, И.П. Прокофьева и других ученых. Затем многочисленными специалистами была создана научная школа, нормы СНиП II-22-81 и Пособие к нему, содержащие указания по методам расчета и конструирования. На сегодняшний день изменились технология производства камня, представления о напряженном состоянии кладки, появились другие виды растворов и армирования. В то же время расчет по существующим нормам не всегда предохраняет от возникновения аварийных ситуаций, что требует уточнения существующих методов проектирования и расчета, возможности их реализации в прикладных вычислительных комплексах [1].

Зависимости между напряжениями и деформациями, диаграммы деформирования. Для обоснованного проектирования и возведения любого вида конструкций необходимо знать параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) строительного материала под действием различных нагрузок и воздействий. Значения расчетных сопротивлений конструктивных материалов получают путем деления критических напряжений на частный коэффициент безопасности по материалу, т.е. критерием разрушения выступает напряжение в пиковой точке диаграммы f с учетом коэффициента безопасности. Такой подход прочно укоренился в строительной практике и, что следует отметить, является достаточно надежным для простых конструкций и условий нагружения. Однако он рассматривает лишь одну составляющую НДС – «напряжения», в то время как «деформации» остаются вне поля зрения исследователя и проектировщика, являясь при этом важнейшей характеристикой взаимодействия «материал – нагрузка». Для выявления резерва несущей способности и оценки надежности принятых расчетных предпосылок необходим учет «закритической» области диаграммы, которая является ниспадающей ветвью. Построение полных диаграмм деформирования при одноосном сжатии на сегодняшний день ввиду отсутствия оборудования даже для бетона, не говоря о каменной кладке, в условиях Беларуси не получило распространения. Параметры ниспадающей ветви принимают на основании базы проведенных ранее испытаний и аналитических зависимостей. Типичные диаграммы деформирования при одноосном нагружении для хрупких материалов изображены на рисунке 1. Разрушение от растяжения происходит при постепенном уменьшении поперечного сечения. При сжимающих нагрузках, соответствующих ниспадающей ветви, ранее образовавшиеся микротрещины объединяются между собой, что приводит к последующему хрупкому разрушению.

Отличительной особенностью каменной кладки является ярко выраженная композиционная сущность и анизотропность поведения под нагрузкой. Композиты состоят из двух или более материалов со

своими уникальными свойствами, объединены воедино каким-либо связующим и образуют объемы с новыми физико-механическими свойствами. Основываясь на данном признаке, к композитам следует отнести не только явно выраженные материалы в виде каменной кладки, дерева, углеродных ламелей, но и бетон, и сплавы металла, состоящие из поликристаллов с порами и различными включениями.

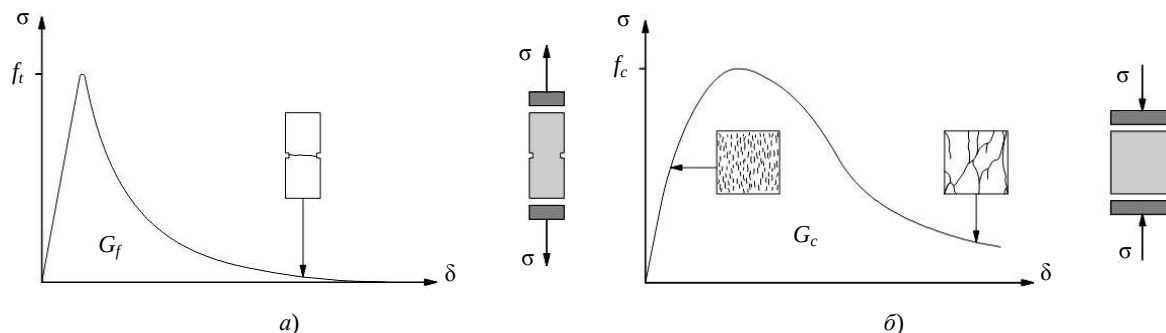


Рис. 1. Типичные диаграммы деформирования хрупких материалов при одноосном напряженном состоянии: при растяжении (а) и сжатии (б)

Кирпичная (в общем случае и каменная) кладка состоит из двух различных материалов: собственно кладочных элементов, расположенных в определенном порядке, и кладочного раствора. Работа данной гетерогенной (неоднородной) среды будет зависеть от прочностных и деформационных свойств составляющих материалов. Сама структура данного материала предопределяет возможность расчета методом конечных элементов путем разбиения всего объема конструкции на элементы со своими свойствами и нахождением в узлах значений искомых функций (перемещений, напряжений).

В зависимости от решаемой задачи кладка может рассматриваться в различных масштабах:

- *микромодель*: неоднородное **гетерогенное** тело, состоящее из камней и растворных швов. Конечные элементы принимаются с размерами, меньшими, чем камень и растворный шов. Критериями разрушения являются достижение ими прочности при одноосном сжатии и растяжении. При сложном напряженном состоянии необходимо несколько раз повторять расчет. Широкое распространение данная модель для реальных конструкций не получила из-за необходимости введения большого количества исходных данных (конечных элементов);

- *макромодель*: неоднородное тело каменной кладки заменяется однородным **гомогенным**. Размер конечного элемента соизмерим с размером камня. Критерием разрушения служит достижение конечным элементом определенного соотношения между нормальными и касательными напряжениями. Исходные данные в виде закона деформирования задаются по результатам испытаний фрагментов кладки.

В [2] было обосновано, что в случае реальной конструкции с большим количеством исходных единиц микромоделирование становится не всегда целесообразным. Рассматривая кладку в масштабе реальной конструкции, или макромасштабе, когда чередующиеся объемы однородного вещества значительно меньше размеров самой конструкции, для расчета НДС оправданным будет гомогенизация, или замена неоднородной структуры однородной изотропной либо анизотропной средой. Таким образом, на макроуровне кладку можно рассматривать в виде однородного пространства [3].

Так, для большинства реальных конструкций без потери точности расчета кладку можно рассматривать в масштабе макромодели, когда пренебрегают резко отличающимися свойствами камня и раствора; поведение такой «гомогенной» среды под нагрузкой можно описать диаграммами деформирования (усредненными напряжениями и деформациями), т.е. рассматривать однородный материал.

Зависимости между напряжениями и деформациями могут быть получены двумя различными подходами:

- путем непосредственного испытания фрагментов кладки в лабораторных условиях (в форме кривых) и последующего определения аналитических выражений (наиболее точный, но достаточно трудоемкий и дорогостоящий метод);
- путем прогнозирования поведения композиционного материала на основании его геометрической матрицы и физических законов, описывающих НДС исходных материалов.

Кладка является упругопластическим телом, ее деформации зависят как от скорости загрузки, так и от длительности приложения нагрузки. Наибольшее распространение получили испытания кратковременной нагрузкой. Зависимость между деформациями и напряжениями при этом криволинейна, т.е. модуль деформаций не является постоянной величиной. Различают начальный модуль деформаций E_0 , или модуль упругости, соответствующий начальному уровню нагружений (до 30 % от предельных напряжений), и действительный (касательный) модуль деформаций $E = d\sigma/d\varepsilon$.

В действующем СНиП II-22-81 диаграмма деформирования каменной кладки принята по зависимости Л.И. Онищика без ниспадающей ветви [4]. Во внедряемых европейских нормах (Еврокод 6, финские нормы SFS 5513, EN 1052-1) диаграмма деформирования кладки при осевом кратковременном сжатии принята нелинейной с параболическим очертанием [5–8]. В общем случае принимается диаграмма с нисходящей ветвью, допускается также использовать идеализированные нормативные параболические и расчетные параболически линейные диаграммы (рис. 2).

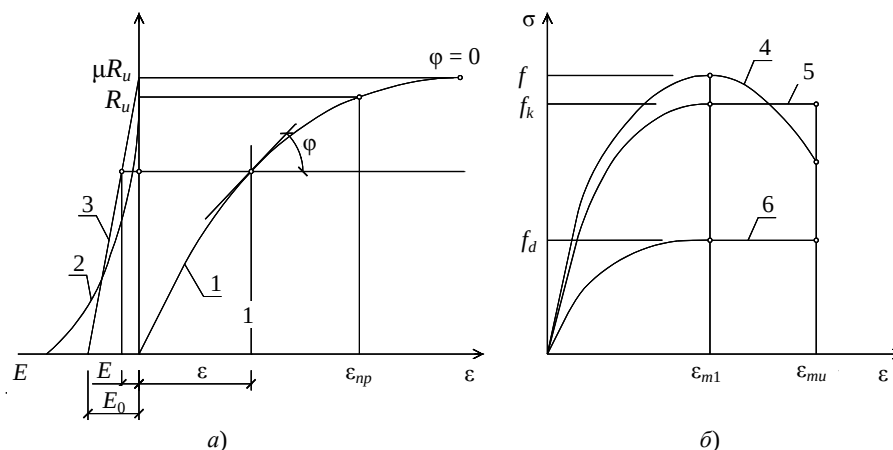


Рис. 2. Диаграммы деформирования (состояния) каменной кладки при осевом кратковременном сжатии по [4] (а), по [8] (б):

1 – зависимость по (3); 2 – по (1); 3 – по (2) таблицы 1;
4 – фактическая диаграмма; 5 – идеализированная нормативная; 6 – идеализированная расчетная

Таблица 1

Аналитические зависимости « $\sigma - \epsilon$ » для каменной кладки и бетона

Источник	Аналитическая зависимость
Л.И. Онищик	$E = \frac{d\sigma}{d\epsilon} = E_0 \left[1 - \left(\frac{\sigma}{R'} \right)^k \right], \quad (1)$ где $E_0 = \alpha R_u$ – начальный модуль деформаций; $R' = \mu R$ – предел текучести, при котором модуль деформаций равен нулю, т.е. кладка приобретает свойство идеально пластического тела; μ – коэффициент пластичности, зависящий от вида кладки; k – коэффициент, выражающий особенности отдельных видов растворов, значение которого колеблется в пределах от 0,3 до 1,3; R_u – предел прочности кладки
	При $k=1$ зависимость (1) преобразуется: $E = \frac{d\sigma}{d\epsilon} = E_0 \left(1 - \frac{\sigma}{R'} \right) \quad (2)$
	Интегрируя (2), имеем $\epsilon = -\frac{\mu}{\alpha} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{\mu R_u} \right) \quad (3)$
[9; 10]	$\sigma = E_0 \left(1 - \frac{\epsilon}{2\epsilon_u} \right) \epsilon \quad (4)$ или $E = \frac{d\sigma}{d\epsilon} = E_0 \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_u} \right), \quad (5)$ где ϵ_u – предельное значение деформаций при одноосном сжатии
[11; 12]	При $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu1}$: $\sigma_m = f_{cm} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \quad (6)$

Окончание таблицы 1

Источник	Аналитическая зависимость
[13]	При $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} $: $\sigma_c = f_c \cdot [2 \cdot \eta - \eta^2] \quad (7)$
[14]	При $0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c1} $: $\sigma_c = 0,85 \cdot f_c \cdot [2 \cdot \eta - \eta^2] \quad (8)$
	При $ \epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} $: $\sigma_c = f_c \cdot \left[1 - \frac{0,15 \cdot (\epsilon_c - \epsilon_{c1})}{0,0038 - \epsilon_{c1}} \right] \quad (9)$
В (6)–(8) коэффициент $\eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1}$; ϵ_{c1} – относительная деформация при максимальном (пиковом) значении напряжений f_{cm} ; $k = 1,05 E_{cm} \cdot \epsilon_{c1} / f_{cm}$ [12]; ϵ_c – относительные деформации в рассматриваемой точке; ϵ_{cu} – предельные относительные деформации.	

Зависимости между напряжениями и деформациями для каменной кладки и бетона представлены в таблице 1. Для построения полных диаграмм деформирования по аналитическим зависимостям (6)–(9) таблицы 1 необходимо иметь значения напряжений и деформаций для пиковой точки f и ϵ_{m1} , а также значение предельных относительных деформаций ϵ_{mu} .

В отношении назначения предельной относительной деформации (как каменной кладки ϵ_{mu} , так и бетона ϵ_{cu} конструкций) среди специалистов нет единого мнения. По определению профессора Г.В. Несветаева, под предельной сжимаемостью бетона понимают границу устойчивого деформирования сечения, равную деформации, соответствующей предельной потенциальной энергии структуры [15]. В научно-технической литературе приводятся значения предельной деформации бетона ϵ_{cu} , соответствующие произвольно выбранному (назначенному) уровню напряжений на нисходящей ветви диаграммы (в пределах 0,45...0,85), в [11] значения ϵ_{cu} приводятся в зависимости от прочностных показателей бетона.

Предложения по разработке метода расчета прочности сечений с учетом диаграмм деформирования. Деформационная расчетная модель нормальных сечений железобетонных элементов, подвергающихся воздействию продольных сил и изгибающих моментов, доказала свою состоятельность и нашла отражение в нормативных документах [11; 15]. Сущность методики заключается в учете помимо уравнений равновесия внутренних и внешних сил, решением которых ограничивался метод предельных усилий, условий деформирования расчетного сечения в виде гипотезы плоских сечений или уравнений совместности деформаций и физических уравнений, связывающих напряжения и деформации бетона и арматуры в виде диаграмм деформирования. Исходные уравнения преобразуются и решаются шагово-итерационными методами, условно разбивая исходное сечение на отдельные участки малой площади (метод численного интегрирования), что легко воплощается в жизнь благодаря использованию ЭВМ. Использование деформационной модели, являясь универсальным, позволяет рассчитывать сечения любой сложной формы с произвольным армированием. Краткое описание методов расчета представлено в таблице 2.

Таблица 2

Описание методов расчета нормальных сечений железобетонных элементов

Методика расчета	Область применения	Основные характеристики метода	Результат расчета
Деформационный метод	Сечения произвольной формы и армирования	Использование полной диаграммы деформирования, нахождение параметров напряженного состояния на любой стадии вплоть до разрушения. Критерий разрушения – предельные деформации	Несущая способность плоского сечения: предельные продольная сила и изгибающий момент, распределение напряжений и деформаций в любой точке сечения
Существующие методики (метод предельных усилий)	Сечения простой симметричной формы с арматурой, сосредоточенной у наиболее сжатой и растянутой зоны. На класс бетона накладываются ограничения	Критерий разрушения – достижение предельных напряжений растянутой арматурой и/или сжатым бетоном и сжатой арматурой	Несущая способность: предельная продольная сила и предельный изгибающий момент

Общим положением расчета неармированной каменной кладки при действии вертикальной нагрузки в Еврокоде 6 [5–8] являются следующие условия:

- сохранение плоскостности поперечных сечений;
- прочность при растяжении каменной кладки перпендикулярно горизонтальным швам равна нулю.

Расчет же армированных элементов каменных конструкций при действии изгибающих моментов, в том числе с центральным и внецентренным сжатии рекомендуется производить с учетом следующих условий:

- сохранение плоскостности поперечных сечений;
- арматура деформируется как прилегающая каменная кладка;
- прочность при растяжении каменной кладки равна нулю;
- максимальные относительные деформации каменной кладки при сжимающей нагрузке и стали при растяжении принимаются соответственно строительному материалу;
- диаграмму деформирования стали принимают параболической, параболически линейной или прямоугольной;
- предельное значение относительной деформации каменной кладки при сжатии для крайней наиболее сжатой грани сечения при внецентренном сжатии составляет максимально $\varepsilon_{mi} = -0,0035$ для каменной группы 1 и $\varepsilon_{mi} = -0,002$ для камней групп 2, 3 и 4.

Отмеченные выше основные расчетные положения соответствуют условиям применения деформационного метода расчета. Предполагаемый алгоритм расчета при центральном сжатии представлен на рисунке 3 в виде блок-схемы.

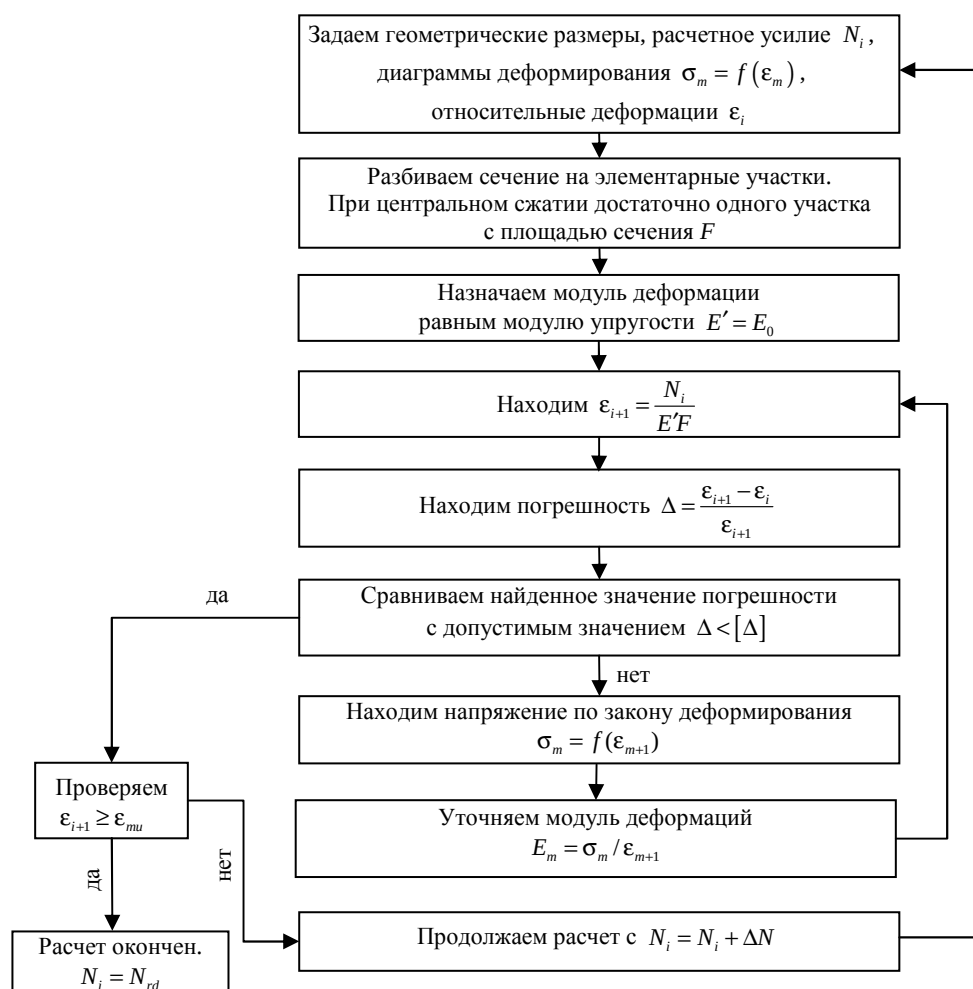


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета нормальных к продольной оси сечений конструкций из каменной кладки с учетом диаграмм деформирования при центральном сжатии

Сопоставление результатов расчета по предложенной методике с данными из экспериментальной базы. Первая промежуточная проверка теоретических предпосылок была выполнена на результатах

испытаний А.Г. Фигарова, выполненных в ЦНИИСКе и АзНИИСКе на образцах кладки из камней азербайджанских месторождений [16]. Данные результаты выбраны в связи с обширной программой испытаний:

- центральное сжатие неармированной кладки на растворах разной прочности;
- внецентренное сжатие неармированной кладки;
- центральное сжатие кладки с сетчатым армированием.

Предел прочности камня во всех испытанных сериях принят постоянным $R_1 (\text{const}) = 48 \text{ кг/см}^2$, предел прочности R_2 раствора колебался от нулевой прочности до 7,45 МПа.

Значения предела прочности R_u и начального модуля упругости E_0 в промежуточных точках определялись по построенным зависимостям на рисунке 4.

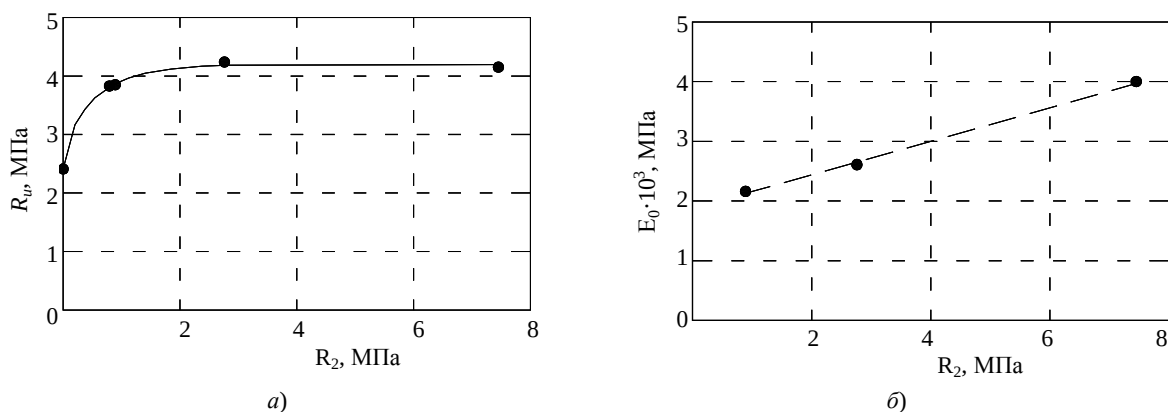


Рис. 4. Зависимость предела прочности кладки R_u (а) и начального модуля упругости E_0 (б) от предела прочности раствора R_2

В программе Mathcad на основании алгоритма (см. рис. 3) была проверена кладка по одной серии образцов (серия 1, табл. 3) с размерами сечения $0,4 \times 0,4 \text{ м}$ высотой 1,2 м. Из проведенных испытаний в качестве опытных данных были приняты: площадь сечения $F = 0,16 \text{ м}^2$; начальный модуль деформаций равный модулю упругости $E = 4002 \text{ МПа}$; упругая характеристика кладки $\alpha = 965$; предел прочности кладки $f_k = 4,15 \text{ МПа}$; относительные деформации в пиковой точке $\epsilon_{m1} = 0,00186$.

Предельные относительные деформации приняты по [8] $\epsilon_{mu} = 0,0035$.

Результаты расчета представлены ниже.

$$\begin{aligned} \text{fun}(z, x, y) := & \left| \begin{array}{l} \epsilon \leftarrow z \\ K_{si} \leftarrow 1 \\ E \leftarrow x \\ \epsilon_1 \leftarrow 0 \\ N_1 \leftarrow y \\ \text{while } K_{si} > 0.03 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \epsilon_1 \leftarrow \frac{N_1}{E \cdot F} \\ K_{si} \leftarrow \left| \frac{\epsilon_1 - \epsilon}{\epsilon_1} \right| \\ \sigma \leftarrow f_k \left[1 - e^{(-0.9 \cdot \epsilon_1 \cdot \alpha)} \right] \\ E \leftarrow \frac{\sigma}{\epsilon_1} \\ \epsilon \leftarrow \epsilon_1 \end{array} \right. \\ \epsilon \end{array} \right. \\ f(x) := & \left| \begin{array}{l} K_{si} \leftarrow 1 \\ \epsilon \leftarrow 0 \\ N_1 \leftarrow x \\ \text{while } \epsilon \leq \epsilon_{mu} \\ \quad \left| \begin{array}{l} \epsilon \leftarrow 1 \\ \epsilon \leftarrow \text{fun}(\epsilon, E, N_1) \\ N_1 \leftarrow N_1 + 10000N \end{array} \right. \\ N_1 \end{array} \right. \\ f(N) = & 6,6 \cdot 10^5 N \end{aligned}$$

Среднее значение разрушающего продольного усилия по серии в [16] $N = 667 \text{ кН}$. Таким образом, разница между рассчитанным и экспериментальным значением составляет 1,0 %.

Таблица 3

Сравнение экспериментальных данных по испытанию каменной кладки на центральное сжатие с результатами расчета

Серия	Размеры образца $a \times b \times h$, см	Количество образцов	Предел прочности раствора R_2 , кг/см ²	Предел прочности кладки (пиковая точка) $f(R_u)$, МПа	Начальный модуль упругости кладки E_0 , МПа	$\epsilon_{0,9} \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_{m1}^* \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_{mu} \cdot 10^{-3}$	Разрушающая нагрузка средняя по образцам в серии N_{exp} , кН	Разрушающая нагрузка рассчитанная $N_{sd, calc}$ (Beta), кН	$\frac{N_{exp} - N_{sd, calc}}{N_{exp}} \cdot 100 \%$
1	40×40×120	3	75,9	4,15	4002	1,69	1,86	3,5	667	667	0,0
2	40×40×120	3	28,1	4,24	2609	1,77	1,95	3,5	685	679	0,9
3	40×40×120	3	9,1	3,85	2161	1,85	2,04	3,5	602	617	-2,5
4	20×80×120	3	21,6	4,0	2485	1,79	1,97	3,5	631	645	-2,2

* – Деформации кладки $\epsilon_{m1} \cdot 10^{-3}$ на уровне нагрузки $N/N_u = 0,9$ находились по зависимости, рекомендованной автором в [16] $\epsilon_{0,9} = (3 - \sqrt[16]{R_2}) \cdot 10^{-3}$ (R_2 в кг/см²). Деформации кладки $\epsilon_{m1} \cdot 10^{-3}$ определены как $\epsilon_{0,9} \cdot 1,1$.

В Полоцком государственном университете профессором Д.Н. Лазовским и доцентом Д.О. Глуховым разработана программа «Beta» для расчета прочности и трещиностойкости нормального сечения железобетонных элементов, что позволяет производить расчет параметров напряженно-деформированного состояния, ширины раскрытия трещин в нормальном сечении на любом этапе нагружения железобетонных элементов. Используя режим «Произвольные диаграммы» в программе «BETA 4.0» возможно задать прочностные и деформационные характеристики каменной кладки и сравнить с опытными результатами.

Типичная диаграмма деформирования для кладки серии 1 (см. табл. 3) представлена на рисунке 5.

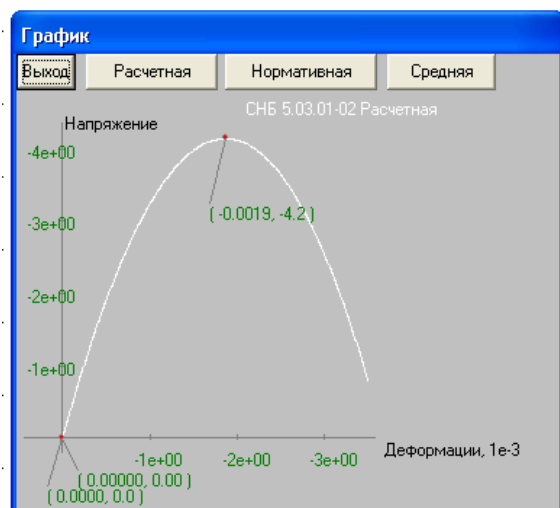


Рис. 5. Диаграмма деформирования каменной кладки по образцам серии 1, а также экспериментальная зависимость «нагрузка – деформации» образца СЗ [17]

Результаты расчетов в программе Beta и сравнения с экспериментальными данными представлены в таблице 3 и таблице 4. Для сравнения использовались также данные из [17].

Испытаны образцы кладки С1, С2 и С3 из кирпича марки М100 на растворе М100 на 200-тонном прессе со следующими техническими характеристиками: точность по нагрузке – 16 кг, по деформациям – 0,0036 мм.

Для проверки использовались данные по образцу С3, поскольку на С1 происходила отработка методики испытания, на С2 нагрузка прикладывалась в 2 этапа и имел место перекося обжимающей плиты, в

связи с чем полученные диаграммы деформирования не соответствовали традиционному виду. Разница между вычисленным значением и экспериментальным составила менее 2 %.

Таблица 4

Сравнение экспериментальных данных по испытанию кладки с сетчатым армированием на центральное сжатие с результатами расчета

Процент армирования размеры образца, см	Предел прочности раствора R ₂ , кг/см ²	Предел прочности кладки (пиковая точка) $f(R_u)$, МПа	$\varepsilon_{0,9} \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon_{m1} \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon_{mu} \cdot 10^{-3}$	Начальный модуль де- формаций, МПа	N_{exp} , кН	$N_{sd\ calc}$ (Beta), кН	$\frac{N_{exp} - N_{sd\ calc}}{N_{exp}} \cdot 100\ %$
$\mu = 0,27$	81	4,56	1,4	1,54	3,5	5199	694	628	9,5
39×39×127									
$\mu = 0,656$	72	4,58	1,78	1,96	3,5	3855	697	699	-0,3
39×39×127									
$\mu = 1,09$	52	4,81	2,46	2,71	3,5	3071	731	724	1,0
39×39×127									

Заключение. Предложенная методика расчета прочности нормальных к продольной оси сечений конструкций из каменной кладки является продолжением развития деформационного метода и базируется на использовании полных диаграмм деформирования. Критерием разрушения при этом выступает достижение предельных деформаций кладки. Ввиду отсутствия специального оборудования на определенном этапе построение диаграмм с ниспадающей ветвью можно выполнять на основании экспериментально-теоретических методов, используя для описания восходящей ветви экспериментальные данные, а остальные параметры определять с помощью математического аппарата на базе накопленного опыта.

Выявлена достаточно хорошая сходимость результатов расчета по предложенной методике, апробированной в программных комплексах Mathcad и Beta 4.0. В то же время необходимо увеличить исследуемую область как количественно на образцах других серий и испытаниях других авторов, так и качественно, продолжив разработку методики расчета для внецентренно сжатых и изгибаемых элементов.

Полученные данные будут использоваться в дальнейшем для развития теоретических методов расчета как при центральном сжатии, так и внецентренном, а также изгибе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, Б.С. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций / Б.С. Соколов, А.Б. Антаков. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 104 с.
2. Lourenço, P.B. Computational strategies for masonry structures: PhD-Thesis / P.B. Lourenço. – Delft University of Technology; Delft University Press, The Netherlands, 1996. – 220 p.
3. Pelà, L. Continuum model for inelastic behaviour of masonry: PhD-Thesis / L. Pelà, M. Cervera, P. Roca. – Technical University of Bologna, Italy, Technical University of Catalonia, Barselona, Spain (2011).
4. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81. – Введ. 31.11.81. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
5. Вольтри, В. Columbiakivi projekteerimisjuhend, vihikud 1–3 (Руководство по проектированию с использованием с цементных камней «columbiakivi», тетради 1–3). – 2002. – Режим доступа: <http://www.columbia-kivi.ee/viewer.php/176.285.286>. – Дата доступа: 10.05.2009.
6. European Standard EN 1996-1-1: Eurocode 6: Design of Masonry Structures, 2001. – 123 p.
7. Hendry, A.W. Design of Masonry Structures / A.W. Hendry, B.P. Sinha, S.R. Davies; third edition. – London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: An Imprint of Chapman & Hall, 2004.

8. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Ч. 1-1. Общие правила для армированных и неармированных каменных конструкций: СТБ EN 1996-1-1-2008. – Введ. 31.09.2008. – Минск: Госстандарт, 2009. – 86 с.
9. Гениев, Г.А. О критерии прочности каменной кладки при плоском напряженном состоянии / Г.А. Гениев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1979. – № 2. – С. 7–11.
10. Гениев, Г.А. О критериях прочности ортотропного материала типа каменной кладки при плоском напряженном состоянии / Г.А. Гениев, А.Н. Воронов // Труды ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Исследование и методы расчета строительных конструкций, 1985. – С. 94–101.
11. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Введ. 20.06.02. – Минск: М-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь, 2003. – 130 с.
12. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Ч. 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2010. – Введ. 10.12.2009. – Минск: М-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 191 с.
13. Hognestad, E. A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Member / E. Hognestad // Bulletin № 399, University of Illinois Engineering Experiment Station. – 1951. – 128 p.
14. Ibrahim, H. Modification of the ACI Rectangular Stress Block for High-Strength Concrete / H. Ibrahim, J. MacGregor // ACI Structural Journal. – 1997. – V. 94, № 1. – P. 40–48.
15. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования: учеб. пособие для студ. строит. спец. / Н.П. Блещик [и др.]; под ред. проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура. – Брест: БГТУ, 2003. – 380 с.
16. Каменная кладка из пильных известняков / С.В. Поляков [и др.]. – Кишинев: Изд-во «Картя Молдовеняскэ», 1973. – 345 с.
17. Кашеварова, Г.Г. Натурные и численные эксперименты, направленные на построение зависимости напряжения от деформации кирпичной кладки / Г.Г. Кашеварова, М.Л. Иванов // Приволжск. науч. вестн. – 2012. – № 8(12). – С. 10–15.

Поступила 04.06.2014

THE METHOD OF CALCULATING THE STRENGTH OF NORMAL SECTIONS TO THE LONGITUDINAL AXIS OF THE CONSTRUCTION OF MASONRY WITH REGARD DEFORMATION DIAGRAM

A. KHATKEVICH

The article examines the construction of complete deformation diagrams for concrete and masonry under uniaxial compression. Masonry is anisotropic homogeneous material on a scale of real construction. Work of such material under load can be described by diagrams of deformation. An algorithm is developed calculating the normal sections to the longitudinal axis of the construction of masonry considering deformation diagrams in the central compression. Prerequisites for the application of this method was the possibility of replacing the conventional raw material of several components with different properties to the one described by the general law of “stress – strain”. The comparison of experimental data with the calculated values of failure loads is performed.

УДК 624.072.1

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ, ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ

П.П. ЖУКЬЯН

(Полоцкий государственный университет)

Представлен обзор основных методов расчета прочности железобетонных плит перекрытий, работающих в двух направлениях. Проведены экспериментальные исследования на натурных конструкциях, в ходе которых получены экспериментальные данные о прочности и жесткости плит, что позволило выполнить сравнительный анализ методик расчета с учетом пространственной работы конструкции. Получена удовлетворительная сходимостъ экспериментальных данных и результатов расчета по методу конечного элемента и кинематическому методу, учитывающих пространственную работу железобетонной плиты, свободно опертой по контуру. Установлено, что наиболее объективным вычислительным методом расчета сложных пространственных конструкций на современном этапе расчета является метод конечных элементов, позволяющий оценить работу конструкции как единой пространственной системы.

Введение. Одним из основных и важнейших элементов здания является междуэтажное перекрытие. Известны различные методики расчета прочности и жесткости железобетонных плит, работающих на изгиб в двух направлениях, а также множество выполненных работ по их совершенствованию. Проведено большое количество экспериментальных исследований, отражающих особенность действительной работы плит перекрытий, работающих на изгиб в двух направлениях.

Сравнительный анализ представлен для прямоугольных плит ($L_1 / L_2 > 2$), свободно опертых на недеформируемый контур. Следует отметить, что речь идет о плитах, свободно опертых по контуру, края которых не защемлены, но могут быть прижаты. Данная расчетная схема опирания с целью упрощения принимается для большинства плит перекрытий из сборного железобетона. Такое опирание принимается для экспериментальных исследований и является своего рода эталоном для создания методов расчета с более сложными граничными условиями.

В разделе теории упругости начало созданию теории расчета пластин было положено трудами Кирхгофа, Лява, Навье. Немаловажный вклад в развитие расчета упругих пластин внесли И.И. Безухов, И.Г. Бубнов, Б.Г. Галеркин, Б.Н. Жемочкин, С.П. Тимошенко и другие ученые.

Основная часть. Методы и формулы теории упругости с минимальными поправками остаются востребованными и сегодня для расчета железобетонных плит по образованию трещин, а также прогибов в случаях, когда трещины не образуются, т.е. по предельным состояниям второй группы. Что касается прочности, то расчет по формулам теории упругости допустим лишь как исключение, поскольку существуют и применяются более близкие к действительной работе и эффективные методы расчета плит, например, на базе теории предельного равновесия и метода конечных элементов.

Одним из приближенных методов является *метод конечных разностей* (метод сеток). Согласно этому методу вся площадь пластины покрывается сеткой линий. В местах пересечения линий вводятся точки, которые называются узлами. За неизвестные принимаются значения прогибов в узлах сетки. Заменой производных, входящих в дифференциальное уравнение изогнутой поверхности пластины, их приближенными выражениями через конечные разности задача решения дифференциального уравнения сводится к решению линейных алгебраических уравнений относительно прогибов в узлах [1].

Наиболее простым и доступным является *метод предельного равновесия*, первооснователями которого можно считать А.А. Гвоздева и К. Йогансена. Метод основан на рассмотрении условий равновесия конструкций в предельном состоянии, при котором конструкция превращается в геометрически изменяемую систему элементов, соединенных между собой линейными пластическими шарнирами. Пластическим шарниром принято называть сечение, находящееся в предельном состоянии, когда одна из трещин раскрывается, и части, лежащие по бокам трещин, поворачиваются по отношению друг к другу так, как будто они соединены шарниром, расположенным в сжатой зоне над трещиной. Пластический шарнир существенно отличается от идеального шарнира тем, что момент в нем равен не нулю, а предельному моменту [2]. Основные предпосылки метода, принятые А.А. Гвоздевым, К. Йогансеном, состоят в том, что все стержни арматуры достигают предела текучести по некоторым линиями излома, в стержнях возникают лишь нормальные (вдоль оси стержня) напряжения, в процессе деформирования стержни не изменяют своей первоначальной ориентации.

Расчет конструкций методом предельного равновесия может осуществляться двумя способами: кинематическим или статическим. Статический способ метода предельного равновесия основан на условии равенства предельных внутренних сил внешней нагрузке. Расчет статически определимых систем таким способом довольно прост и производится при помощи обычных уравнений равновесия.

Сущность кинематического способа заключается в условии равенства работ внешних и внутренних сил на бесконечно малых возможных перемещениях. Основные положения кинематического способа изложены в [3]. При расчете плит с использованием этого способа сначала задаются различными схемами излома, а затем определяют для каждой из них значение несущей способности. Из всех возможных схем излома расчетной будет та, при которой несущая способность плиты имеет наименьшую величину. Для определения расчетной схемы излома необходимо найти угол наклона линии излома к стороне плиты. Экспериментально подтверждено, что на формирование схемы излома плит, работающих на изгиб в двух направлениях, оказывает влияние распределение арматуры в направлении обоих рабочих пролетов.

При прочностных расчетах сплошных шарнирно опертых по контуру плит перекрытий В.С. Зыряновым [2] предложено учитывать пространственную работу плиты путем введения в формулу расчета несущей способности коэффициента условий работы. Приведем формулу для определения суммарной площади арматуры по [2] в одном из направлений плиты:

$$A_{s1} = \frac{(3\lambda - 1)\lambda q l_1^3 K_{sp}}{24(\lambda + m) R_{s1} h_{01}},$$

где λ – отношение длинного l_2 и короткого l_1 расчетных пролетов $\left(\lambda = \frac{l_2}{l_1}\right)$; q – полная расчетная нагрузка на единицу площади длины; K_{sp} и m – коэффициенты, учитывающие пространственную работу (определяются в зависимости от λ); R_{s1} – расчетное сопротивление арматуры; h_{01} – рабочая высота сечения;

Что касается работы железобетонных плит в неупругой стадии, то следует отметить одно из направлений теории упругих анизотропных пластин с введением в уравнение прогибов жесткостных характеристик, учитывающих наличие трещин в бетоне. Наиболее детальные исследования в этом направлении провел Н.И. Карпенко [4]. Им получены выражения для определения значений жесткостных характеристик с учетом различных факторов: характера трещинообразования, работы арматуры внутри трещины и между трещинами, характера работы бетона при образовании трещины и др.

Наиболее мощным вычислительным методом расчета сложных пространственных конструкций на современном этапе развития численных методов является *метод конечных элементов*. В этом методе исследуемая конструкция разбивается на отдельные части – конечные элементы, которые соединены между собой в узлах. Формируется матрица жесткости элемента, связывающая перемещения узлов элемента и силы, действующие на них. Матрица жесткости системы формируется из матриц жесткости элементов. Так как матрица жесткости системы устанавливает связь между силами, приложенными к ее узлам, и перемещениями ее узлов, то, имея построенную матрицу жесткости системы и зная узловую нагрузку, можно найти перемещения всех узлов конечно-элементной схемы.

Одна из вычислительных программ, в которой реализован метод конечных элементов, – вычислительный комплекс SCAD. Следует отметить особенность данного комплекса, состоящую в том, что подбор арматуры в постпроцессоре основан на методике Н.И. Карпенко [4], которая описывает деформирование железобетона с трещинами с помощью модели анизотропного сплошного тела. Для каждого конечного элемента пластины перебором вариантов сочетаний проверяется прочность пластины (определяются ядровые моменты, выясняется возможная схема трещинообразования и т.д.), и если условия прочности не выполняются, увеличивается значение интенсивности армирования. Это выполняется до тех пор, пока не будут удовлетворены условия прочности или же обнаружится, что обеспечить условия прочности, не превосходя заданного максимального процента армирования, невозможно [5]. В вычислительном комплексе SCAD производится увеличение подобранной площади армирования на 5 %, что позволяет учесть возможное возрастание силовых факторов у краев элемента (при подборе арматуры используются значения усилий в центре конечного элемента).

Для подтверждения результатов выбранных методик расчета было проведено экспериментальное исследование на образце железобетонной плиты сплошного сечения, свободно опертой по контуру. Испытания проводились в лаборатории в соответствии с рекомендациями [6]. При этом по контуру образца устанавливались шарнирные подвижные шаровые опоры, а посередине трех сторон плит – шарнирные

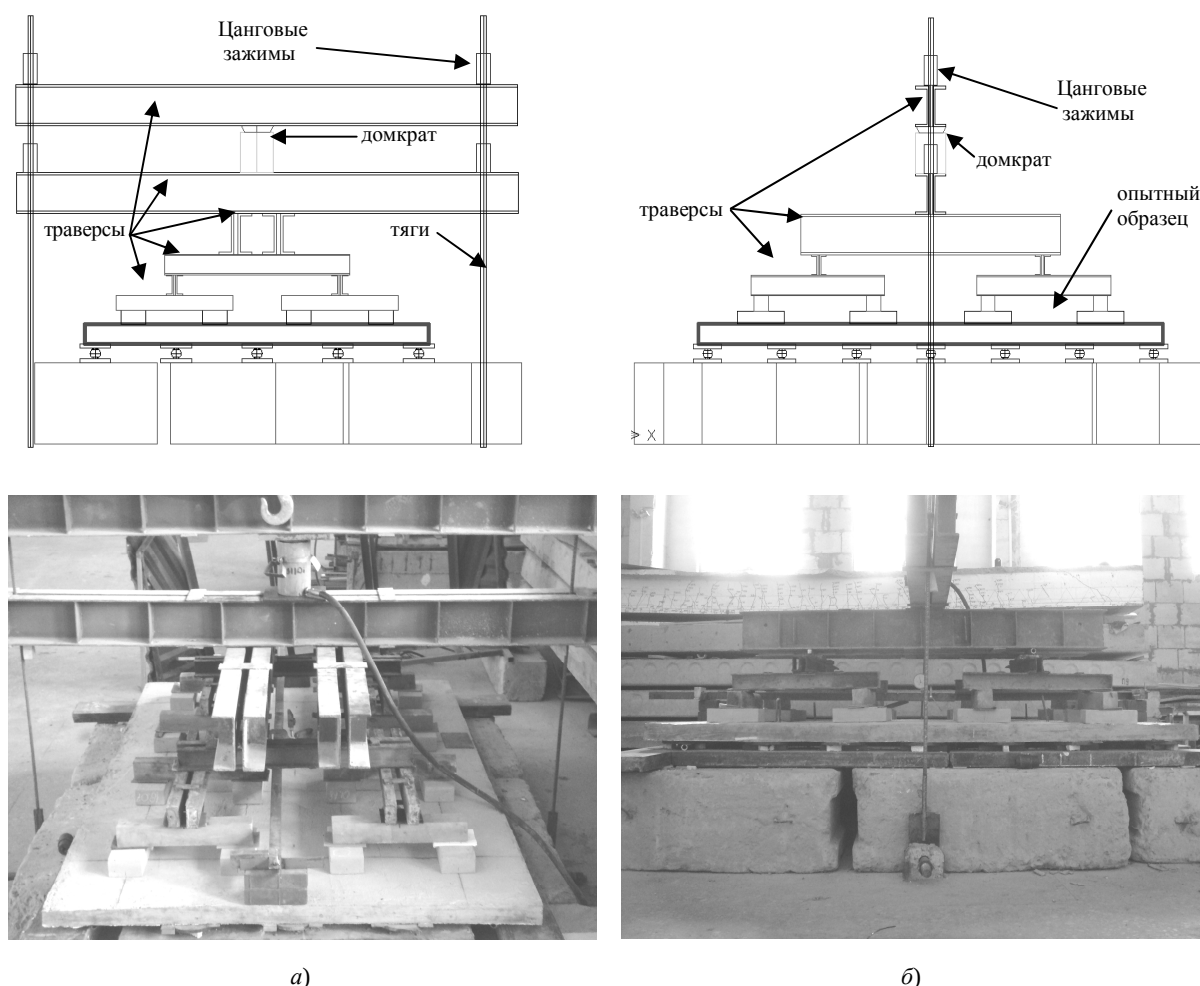
подвижные линейные опоры, две из которых, расположенные на противоположных сторонах, допускали поворот в одном направлении, а третья, расположенная на примыкающей стороне, – в противоположном этому направлению. Геометрические размеры исследуемого образца $1680 \times 2480 \times 70$ мм.

Армирование плиты было выполнено сварными сетками. По профилю поперечного сечения использовалась арматура гладкая $\varnothing 4$ мм с расчетными характеристиками: нормативное сопротивление растяжению – 656,47 МПа, модуль упругости – $1,7 \cdot 10^5$ МПа. Физико-механические характеристики бетона по результатам испытаний: призмная прочность бетона – 17,5 МПа, модуль упругости бетона – 28 ГПа.

Вертикальную нагрузку с помощью гидравлического домкрата, запитанного от насосной станции и системы распределительных траверс, передавали на плиту равномерно по площади в 16 точках. Нагрузка прикладывалась поэтапно с выдержкой на каждой ступени.

Расчетный пролет плит в длинном направлении составлял 2380 мм, в коротком – 1580 мм. Минимальная глубина опирания – 50 мм со стороны каждой грани элемента.

Общий вид испытательной установки и образца после испытаний представлены на рисунке 1 и 2 соответственно.



а)

б)

Рис. 1. Общий вид испытательной установки:
а – вид испытательной установки вдоль короткой стороны;
б – вид испытательной установки вдоль длинной стороны

Сравнительный анализ проводился в расчетном комплексе SCAD.

Создана расчетная схема и выполнено компьютерное моделирование сплошной железобетонной плиты, свободно опертой по контуру при равномерном нагружении в упругой стадии. Получены изополя напряжений (рис. 3), подтвержденные наблюдаемой картиной трещинообразования в процессе испытаний. В постпроцессоре подобрано необходимое количество армирования при заданных усилиях (исходя

из прочности экспериментальной плиты) без учета трещиностойкости. Выполнен расчет подбора армирования по методике В.С. Зырянова [2] с учетом пространственной работы конструкции.

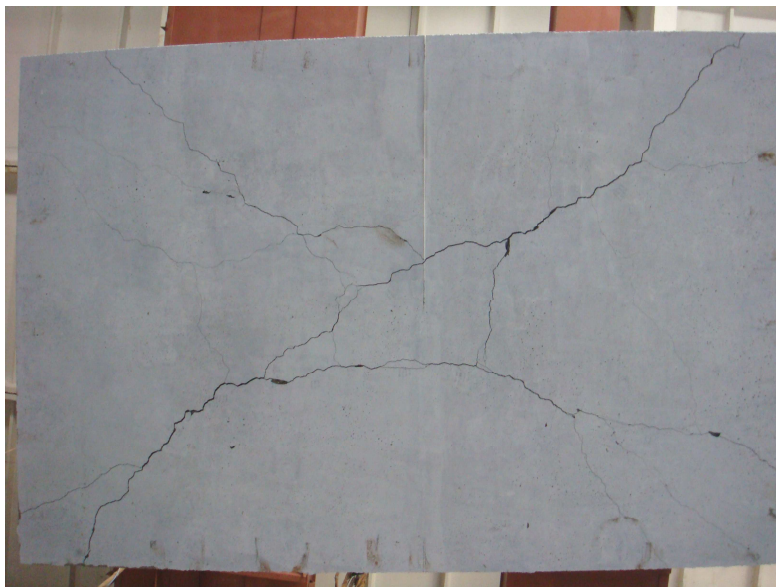
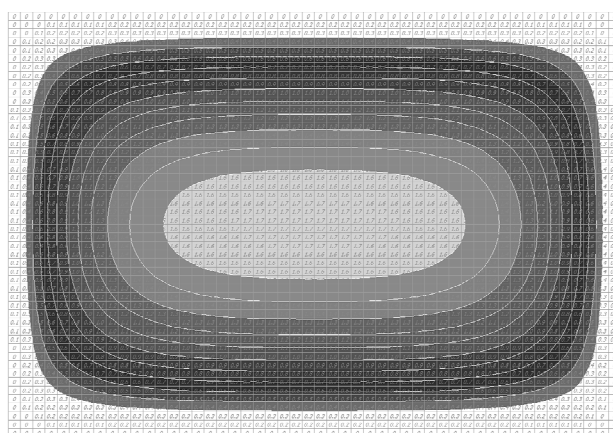
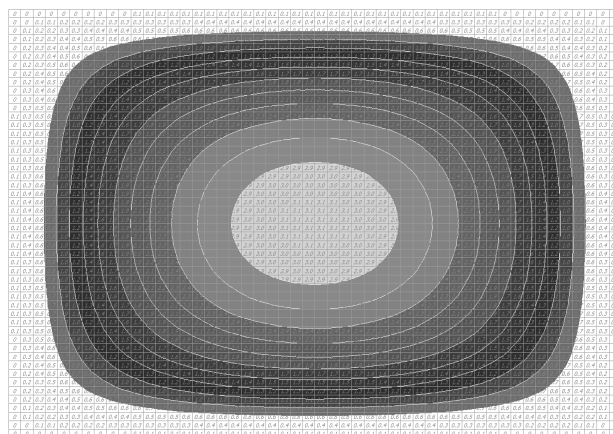


Рис. 2. Общий вид образца после испытаний



M_x



M_y

Рис. 3. Изополя напряжений в плоскости плиты по SCAD

Сравнение экспериментальных данных, результатов моделирования (МКЭ), расчета с учетом пространственной работы плиты представлено в таблице.

Сопоставление результатов расчета площади арматуры
вдоль длинной стороны с опытными данными

Опытный образец	Фактическое армирование (см ² /м)	Требуемая площадь армирования (см ² /м)		$\frac{A_{з(МКЭ)}}{A_{з(опыт)}}$	$\frac{A_{з(Зырянов)}}{A_{з(опыт)}}$
		метод конечных элементов (SCAD, с учетом 5 %)	кинематический метод (по Зырянову В.С.)		
Железобетонная плита, шарнирно опертая по контуру (1680×2480×70(h) мм)	1,005	1,107	1,057	1,1015	1,0517

Метод конечных элементов является наиболее универсальным, так как позволяет рассчитывать конструкции произвольной геометрии (наличие отверстий в конструкции и т.д.) при сложном характере нагружения. Совершенствование метода расчета как обычных железобетонных плит, работающих в двух направлениях, так и усиленных (например, увеличением поперечного сечения путем наращивания бетона сжатой зоны) сводится к совместному использованию метода конечных элементов и метода расчета по деформационной модели, позволяющих учитывать нелинейные свойства железобетона.

Вывод. Наиболее объективным вычислительным методом расчета сложных пространственных конструкций на современном этапе расчета является метод конечных элементов, позволяющий оценить работу конструкции как единой пространственной системы. Получена удовлетворительная сходимость экспериментальных данных и результатов расчета по методу конечного элемента и кинематическому методу, учитывающих пространственную работу железобетонной плиты, свободно опертой по контуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потанов. – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.
2. Зырянов, В.С. Пространственная работа железобетонных плит, опертых по контуру / В.С. Зырянов; ЦНИИЭП жилища. – М., 2002.
3. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с.
4. Карпенко, Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
5. SCAD OFFICE Вычислительный комплекс / В.С. Карпиловский [и др.]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 592 с.
6. Рекомендации по испытанию и оценке прочности, жесткости и трещиностойкости опытных образцов железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1987. – 36 с.

Поступила 05.06.2014

ANALYSIS OF TWO-WAY SLABS

P. ZHUKYAN

This paper presents an overview of existing methods for calculating the strength of reinforced concrete slabs working in two directions. Experimental studies on full-scale structures were held and experimental data on the strength of the slabs were received, which allowed to perform comparative analysis of the calculation methods taking into account the space behavior of the structure.

УДК 624.04:620.17

УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПЛОСКИЙ ИЗГИБ, СТЕСНЕННОЕ КРУЧЕНИЕ, КРУЧЕНИЕ С ИЗГИБОМ

*канд. техн. наук, доц. В.Н. КИСЕЛЕВ; И.Г. ЦЕЛУЙКО
(Полоцкий государственный университет)*

Демонстрируется экспериментальная установка, предназначенная для комплексных исследований на плоский изгиб, стесненное кручение и кручение с изгибом различных элементов и конструкций. Представлена принципиальная схема установки с описанием входящих в ее состав элементов. Внимание акцентируется на отдельных моментах проведения испытания конструкций.

Установка (рис. 1) предназначена для комплексных экспериментальных исследований на плоский изгиб, стесненное кручение и кручение с изгибом различных элементов 7 и конструкций, изготовленных из этих элементов, а именно: призматических стержней (рис. 2, а) замкнутого поперечного сечения (рис. 3, а, б), открытого профиля (рис. 3, в, г, д), предварительно напряженных шпренгельных систем (рис. 2, б), плоских рам, ферм, плит покрытия и перекрытия. Материалы исследуемых элементов и конструкций – железобетон, сталь, дюралюминий, пластмассы.

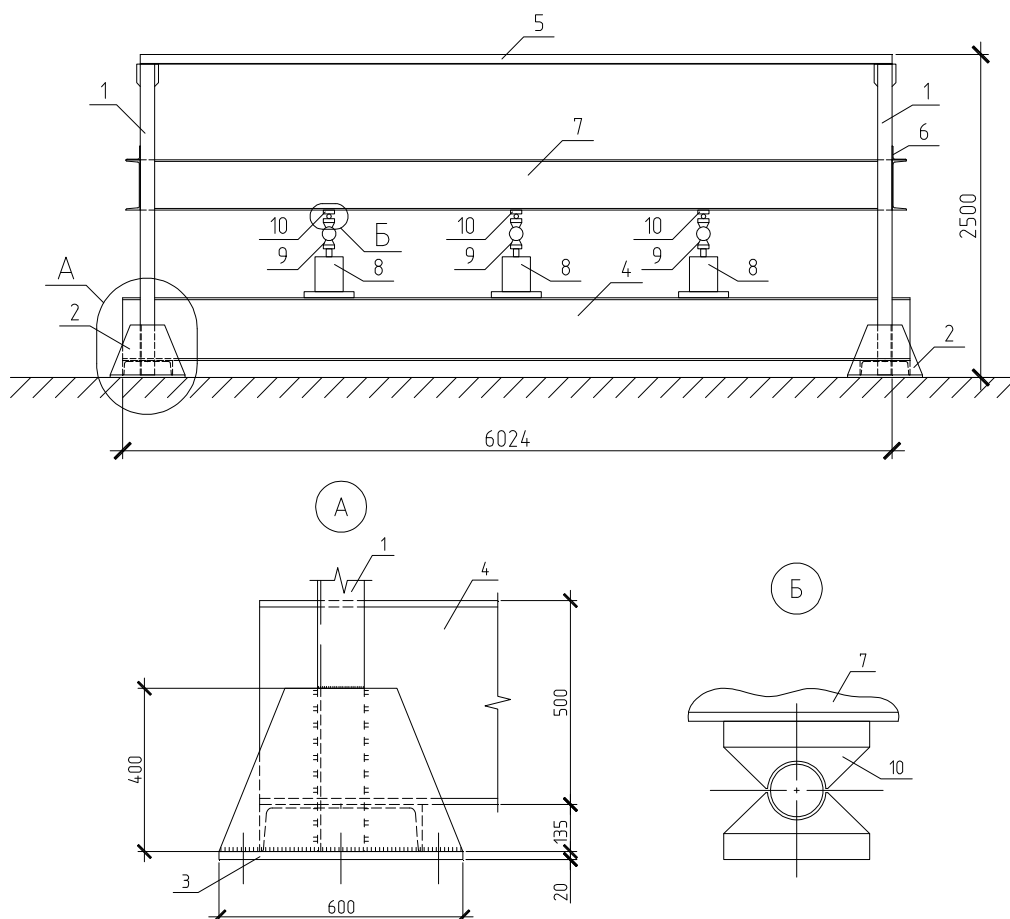


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Представленная установка состоит из двух жестких прямоугольных рам 1 (швеллер № 40), опирающихся на четыре базы 2, которые в свою очередь с помощью шести анкерных болтов диаметром 24 мм крепятся к основанию. В верхней части на болтах прикреплены уголки 5, которые увеличивают пространственную жесткость установки, а также служат закрепляющими элементами вертикально поставленных исследуемых конструкций. На нижние поперечные швеллера 3 № 40 устанавливаются двутавровые балки 4, на которых располагаются гидравлические домкраты 8, создающие вертикальную направленную снизу вверх нагрузку до 500 кН на каждый домкрат.

Нагрузка, измеряемая динамометром 9, с помощью цилиндрических опор 10 передается на исследуемую конструкцию 7 (плоский изгиб, включая чистый изгиб). При кручении с изгибом эта нагрузка от домкратов передается на специальную конструкцию, а затем уже на исследуемый элемент. В зависимости от профиля поперечного сечения конструкция, передающая крутильную нагрузку, будет различной. При испытании железобетонных труб (рис. 4) она состоит из двух обойм 11 и 12 и приваренной к ним консоли 13. Для увеличения трения между ними и трубой обоймы через прокладки 14, обладающие некоторыми упругими свойствами, стягиваются четырьмя высокопрочными болтами с помощью динамометрического ключа.

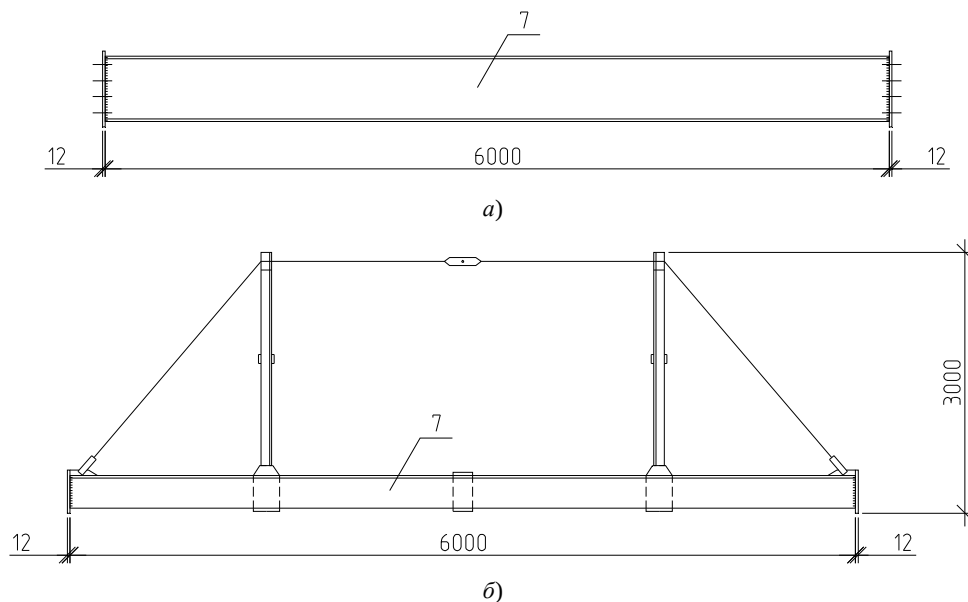


Рис. 2

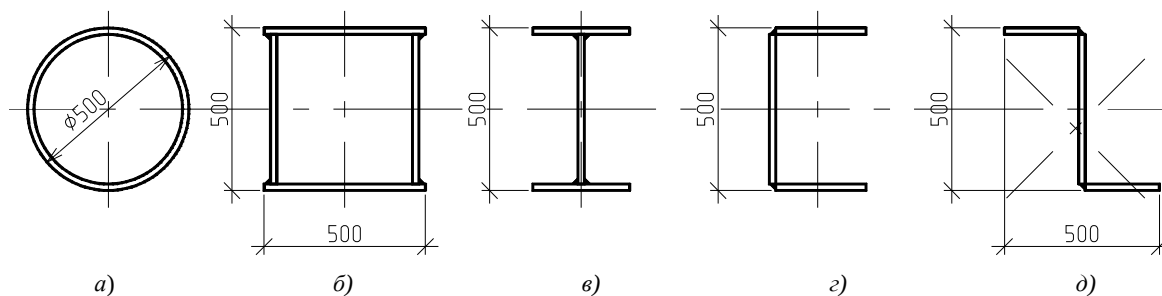


Рис. 3

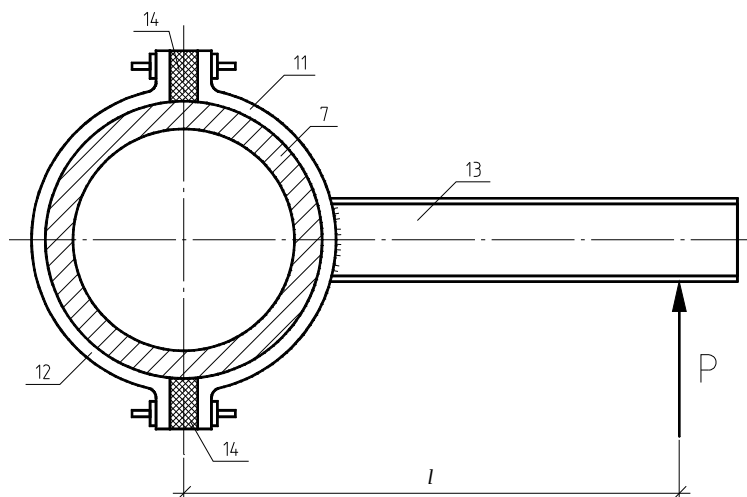


Рис. 4

В зависимости от геометрических параметров труб усилия от натяжения могут изменяться от 10 кН до 100...150 кН. Перемещая точку приложения нагрузки P по консоли 13, можно получить величину изгибных напряжений менее 5 % от напряжения стесненного кручения, т.е. учитывать в дальнейшем только крутильную деформацию. Универсальность установки обеспечивается набором съемных траверс 6 (рис. 5), которые крепятся к рамам 1, а к ним уже присоединяются исследуемые конструкции. Траверсы изготавливаются из сварного швеллера и неравнобокого уголка 16/10, который необходим для увеличения изгибной жесткости траверсы. Перед испытанием проводится предварительное нагружение установки с целью обмятия болтовых соединений, а при исследовании результатов эксперимента необходимо учитывать изгибные деформативные свойства как траверс, так и консолей.

Напряжения и деформации в отдельных сечениях исследуемой конструкции изменяются при помощи тензодатчиков сопротивления с коэффициентом тензочувствительности $\delta = 2,5...3,0$ индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм и прогибомеров Максимова.

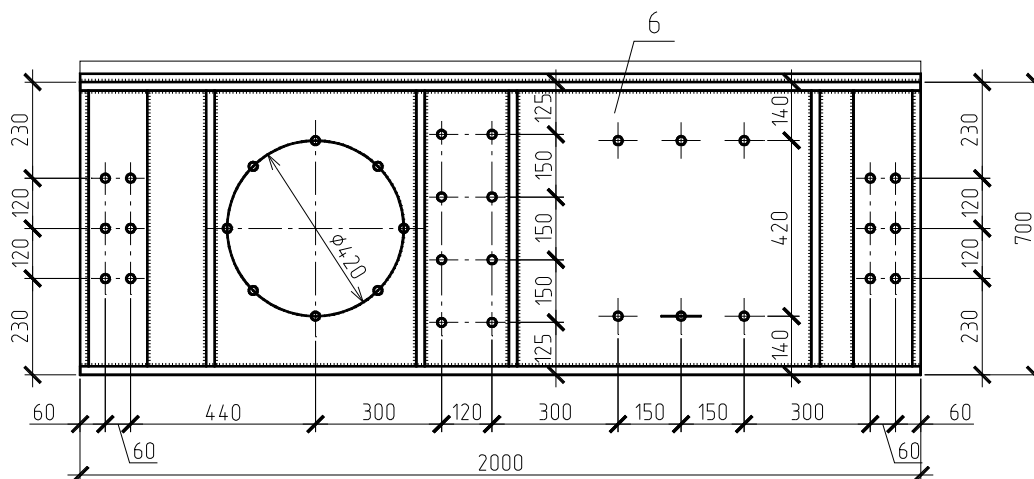


Рис. 5

Заключение. Результатом проведенного исследования явилась установка для проведения комплексных исследований на плоский изгиб, стесненное кручение, кручение с изгибом. Рекомендуемая область применения представленной установки – промышленное, гражданское и сельское строительство, машиностроение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов, В.З. Тонкостенные упругие стержни / В.З. Власов. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Физматлит, 1959. – 568 с.
2. Киселев, В.Н. Расчет тонкостенных металлических стержней / В.Н. Киселев, Ю.В. Попков, В.А. Фетисов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2010. – № 12. – С. 57–63.
3. Нормы проектирования. Стальные конструкции: СНиП II-23-81*. – М.: Госстрой СССР, 1982. – 96 с.
4. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Ч. 1-1. Общие правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1: 2010 / М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – 93 с.

Поступила 02.06.2014

INSTALLATION FOR INTEGRATED STUDY OF SIMPLE BENDING, RESTRAINED TORSION, TORSION BENDING

V. KISELYOV, I. CELUYKO

The article deals with an experimental installation designed for the integrated study on the simple bending, constrained torsion and bending torsion of different elements and structures. The authors introduce a schematic diagram of the installation with a description of its constituent elements, as well as some testing points of the structures.

УДК 69.036

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ОБЪЁМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ

О.А. КУДЁЛКО

(ЗАО «ЛЕКТ», Минск);

канд. техн. наук, доц. В.В. БОЗЫЛЕВ

(Полоцкий государственный университет)

Выявлены внешние (ограничивающие) и внутренние (целевые) факторы, влияющие на выбор объёмно-планировочных и конструктивных решений при проектировании транспортно-логистических центров и зданий складов. Систематизированы основные требования и критерии к их проектированию и строительству. На основе заданных критериев для выбора наиболее оптимального варианта компоновки зданий складского центра, формы и габаритов здания самого склада предложено использование метода имитационного моделирования. На предпроектной стадии учитываются технологии склада, которые определяют его параметры, варианты его конструктивного, объёмно-планировочного решения. Сделан вывод, что при определении себестоимости строительства будущего центра, уровня категоричности центра и склада необходимо учитывать и возможность применения при проектировании типовых или повторных проектных решений. На основании проведённых исследований показаны особенности и предложен состав проектных решений транспортно-логистических центров, а также методика их архитектурного проектирования.

При проектировании предприятий, зданий и сооружений производственного назначения должны учитываться решения, принятые в схемах и проектах районной планировки, а также в проектах планировки и застройки городов, других населённых пунктов. Предполагается, что важнейшим направлением в проектировании *транспортно-логистических центров (ТЛЦ)* должна быть максимальная унификация конструкций и изделий, а также широкое применение типовых проектных решений.

Постановка задачи. Если систематизировать запросы инвесторов, можно резюмировать, что проектировщикам в процессе разработки проектов транспортно-логистических центров приходится либо определять конфигурацию и возможные размеры зданий, вписывая их в участки земли совершенно произвольной формы, либо создавать складские технологии для конкретных сооружений, реконструируемых под склады. Заказчиков (инвесторов) можно условно разделить на следующие группы:

- 1) строящих новые склады для дальнейшего развития собственного бизнеса (торговля и дистрибуция);
- 2) реконструирующих под склады бывшие промышленные здания (торговля и дистрибуция);
- 3) использующих под производственные склады промышленные здания при изменении профиля производства);
- 4) строящих новые склады для оказания складских услуг.

Понятно, что применить принципы типизации и унификации при проектировании, а тем более типовые проекты, наиболее эффективно будет в первом и четвёртом случаях.

Все инвесторы рассматривают склад как инструмент для получения определенного дохода (путем сдачи в аренду складских площадей либо оказания более широкого спектра услуг). Но они часто изначально не имеют полного представления о структуре склада, о его назначении и потенциальных клиентах.

Основная задача проектировщиков – максимизировать пятно застройки, сделать склад как можно более гибким и универсальным под постоянно меняющиеся условия бизнеса. При этом должны быть рассмотрены разные строительные решения, связанные с различными параметрами сеток колонн отечественных и импортных производителей, возможной высотности здания, а также ряд других факторов.

Методы исследований. Для выбора наиболее оптимального варианта компоновки зданий складского центра, формы и габаритов здания самого склада предлагается использовать метод имитационного моделирования и имитации [1] с учётом критериев, определяемых Заказчиком.

Имитационная модель – логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта.

1. Факторы, влияющие на выбор вариантов объёмно-планировочных и конструктивных решений зданий транспортно-логистических центров

Поскольку для большинства Заказчиков характерно желание построить единый современный функциональный комплекс, даже ценой затрат на снос существующих на месте застройки ранее возведённых зданий, то для применения типовых объёмно-планировочных и конструктивных решений (ОПКР) имеются

все условия. Установлено, что, кроме наличия у проектировщиков на предпроектной стадии технологии склада, определяющей его параметры, варианты его конструктивных и объёмно-планировочных решений, себестоимости строительства будущего центра, уровня категоричности (класса) центра и склада необходимо ещё учитывать и возможность применения при проектировании типовых или повторных проектных решений. Это, по сути, и есть параметры факторов, которые можно использовать в качестве критериев оценки.

Перечисленные выше факторы являются внутренними (целевыми). Также установлено, что на выбор ОКТР могут оказывать влияние и другого рода факторы, а именно внешние (ограничивающие). К ним можно отнести ситуацию, когда «вписывать» технологию будущего объекта приходится в существующие цеха, переходить на индивидуальные проектные решения, чтобы поместить объект на стеснённой площадке, вынужденно снижать класс объекта в ходе строительства из-за недостатка средств у инвестора и др.

2. Состав и особенности проектных решений транспортно-логистических центров

• **Концепция транспортно-логистического центра.** Концепция формируется на основании маркетинговых исследований, допущений о технологических функциях складского комплекса, типах грузов и операционных объемах, а также с учетом практики и предпочтений заказчика. Как правило, концепция в себя включает:

- концептуальное определение складского комплекса;
- базисное планировочное решение (схема генерального плана);
- базисную логистическую модель;
- имитационную модель складского комплекса.

Концептуальное определение складского комплекса формируется на основании маркетинговых исследований и оценки территории застройки.

Базисное планировочное решение комплекса позволяет выбрать оптимальную схему расположения складов и операционных площадок, офисных, инженерных и иных зданий и сооружений на территории ТЛЦ, определить оптимальную схему движения транспорта по территории, а также оценить требуемые мощности инженерных сетей.

Разрабатываются варианты базисного планировочного решения, включающие:

- расположение и размеры складов (существующих и новых) и операционных площадок (контейнерные площадки, площадки кросс-докинга);
- расположение офисных, административно-хозяйственных и инженерно-технических зон;
- схему транспортных потоков по территории: зоны въезда/выезда, выгрузки/погрузки, стоянок и маневрирования автомобильного транспорта.

Каждый вариант базисного планировочного решения сопровождается кратким описанием его преимуществ и недостатков. Варианты базисного планировочного решения разрабатываются с учетом этапов застройки территории.

Составляется экспертное заключение по преимущественному варианту. Утвержденный Заказчиком вариант базисного планировочного решения транспортно-логистического центра является основой для дальнейшего формирования базисной логистической модели.

Базисная логистическая модель ТЛЦ разрабатывается по специальному заданию заказчика с целью наглядного представления функционирования будущего комплекса в динамике и включает:

- топологию технологических зон (для каждого терминала и операционной площадки): размеры, варианты конструктивных решений зданий, размещение внутренних технологических зон и состав помещений, схему расстановки технологического оборудования (стеллажей и т.п.), схему внутренних потоков техники и персонала;
- технологические решения (для каждого терминала и операционной площадки): требования к составу и объемам логистических операций; общая схема материальных потоков; структурная транспортно-технологическая схема переработки грузов; расчет потребности в персонале и технике;
- требования к конструкциям и инженерным системам (для каждого терминала и операционной площадки): рекомендации по конструкциям новых терминалов и реконструкции существующих, устройство напольных покрытий, температурный, влажностный режим, требования к иным инженерным системам, необходимым для функционирования терминала/операционной площадки;
- аксонометрические изображения складского комплекса (3D-виды) для утвержденного Заказчиком базисного планировочного решения.

Имитационная модель складского комплекса с учетом внешних и внутренних транспортных потоков наглядно демонстрирует функционирование ТЛЦ в динамике и разрабатывается на основе базисной логистической модели и с использованием пакета имитационного моделирования. Позволяет точно, с применением динамической графической визуализации рассчитать максимальные (критические) и оптимальные транспортные нагрузки по ТЛЦ, а также учесть влияние транспортных потоков функционирующего центра на загрузку примыкающих транспортных путей, развязок и транспортных узлов.

• **Проект генерального плана транспортно-логистического центра.** При проектировании генерального плана необходимо ознакомиться с существующими решениями аналогичных предприятий в отечественной и зарубежной практике. На основании данных выбранной для строительства площадки разрабатывают генеральный план ТЛЦ, который является проектным документом, определяющим размеры необходимой территории, размещение зданий и сооружений, их габариты, инженерную организацию и благоустройство территории будущего центра.

Проект генерального плана ТЛЦ должен включать:

- краткую характеристику согласованной в установленном порядке площадки для строительства;
- обоснование решений по внутриплощадочным транспортным путям, выбора видов транспорта, погрузо-разгрузочного фронта, прилегающей инфраструктуры;
- основные планировочные решения и решения по вертикальной планировке и благоустройству территории;

- технические средства для обслуживания территории;

- устройство ливнестоков, решения по инженерным сетям и коммуникациям;

- организацию охраны предприятия.

Погрузо-разгрузочный фронт может быть расположен как с одной стороны складского здания, так и с двух сторон, при условии ограничения площади участка застройки. Наиболее эффективным с точки зрения показателя застройки участка является размещение погрузо-разгрузочного фронта с одной стороны складского здания при расстановке доков в каждой секции стены склада через каждые 6 м.

Ввиду многообразия зданий применяют различные приемы планировки и застройки складской территории. Возможны следующие застройки: квартально-панельная, павильонная, сплошная-секционно-гребенчатая. Главный вход на территорию центра следует предусмотреть со стороны основного подхода или подъезда. По условиям эксплуатации и охраны предприятия требуется ограждение его территории по всему периметру. В качестве материалов дорожных одежд на проездах и площадках применяется асфальтобетон, бетон, а на тротуарах – тротуарные плитки и мелкозернистый асфальт.

Наиболее выгодной формой склада является прямоугольник с расположением погрузо-разгрузочного фронта с одной, наиболее длинной, стороны склада. Такая форма склада и расположение погрузо-разгрузочного фронта позволяет увеличить площади основных производственных зон склада (экспедиций, зон приемки, отгрузки и комплектации). Критериями выбора варианта застройки являются: максимальная плотность застройки, соответствие задачам бизнеса.

Для обеспечения максимальной скорости и простоты возведения здания склада рекомендуется применять модульный принцип построения объемов складов – сборное здание прямоугольной формы в виде серии модулей, соединенных между собой. Для транспортно-логистических центров рекомендуется предусматривать автономное инженерное обеспечение. В современных условиях такие центры – это уже не только склады. Их архитектура получает иное, более весомое значение. Теперь этот тип промышленно-складских объектов может включать в себя помимо складов целый ряд дополнительных объектов [2].

Еще одним качеством, отличающим производственные комплексы нового поколения, можно назвать гибкость и мобильность объемно-планировочных, конструктивных и инженерных решений, способствующих более эффективному использованию производственных площадей. Для логистических объектов автономное инженерное обеспечение имеет немаловажное значение, так как транспортно-логистические центры обычно располагаются в отдалении от города, с его системой коммуникаций.

• **Объемно-планировочное решение складского здания.** Смысл возведения любого промышленного здания состоит в оптимальном решении, с одной стороны, инженерно-технологических проблем, с другой – социальных. Первая группа проблем – размещение технологического оборудования, транспортное и другие виды его обслуживания, обеспечение производства всеми необходимыми энергетическими и сырьевыми ресурсами. Вторая группа обусловлена пребыванием человека в цехе и связана с необходимостью создания комфортного микроклимата, системы бытового обслуживания работающих, обеспечения надежной охраны труда.

Объемно-планировочное решение складского здания в первую очередь определяется особенностями технологического процесса, характером оборудования и параметрами внутрицеховой среды.

В основу объемно-планировочных решений склада следует положить такие принципы:

- четкое функциональное зонирование производственных площадей с максимальной протяженностью технологических потоков;

- максимальная унификация строительных параметров зданий;

- компактное размещение производственных участков;

- обеспечение комфортных условий труда и бытового обслуживания рабочих и служащих.

Основными параметрами складского здания при проектировании являются: пол и погрузочная высота склада, рабочая высота складирования грузов, форма (длина и ширина) склада, расположение здания склада на участке, расположение офисных помещений, разгрузочно-погрузочный фронт.

Основные архитектурно-пространственные решения здания склада, которых рекомендуется придерживаться: использование оригинальных (для индивидуального проектирования) или простых (для типового проектирования) архитектурных форм, модульный принцип компоновки здания склада, его вертикальное развитие, автономное инженерное обеспечение [3].

Практически в мире при строительстве транспортно-логистических центров применяется модульный принцип архитектурно-планировочного решения и использование вертикального направления технологического процесса [4].

Модульное проектирование отражает определенную технологию проектирования, в соответствии с которой любая часть системы синтезируется из более мелких фрагментов (модулей). Модульное проектирование хорошо согласуется с *эволюционным подходом*, при котором приходится строить и анализировать совокупность последовательно улучшаемых моделей.

Принципиальная компоновка технологического потока склада, выбор длины и ширины здания определяются на стадии разработки генерального плана такого логистического центра. На данном этапе имеет место уточнение габаритов здания и его архитектурно-конструктивная разработка. Для упрощения решения узлов и сопряжений, сокращения числа размеров сборных элементов установлены правила привязки элементов производственных зданий к модульным разбивочным осям [5]. В соответствии с принципиальной компоновкой технологического потока цеха и основными параметрами производственного здания определяются площади помещений цеха, уточняется связь между планировкой отделений, принятой сеткой колонн и взаимным расположением пролетов в здании. Площадь каждой части склада может занимать несколько пролетов или один пролет, а также часть его по длине. Следует добиваться того, чтобы границы отделений совпадали с сеткой колонн здания.

В настоящее время при проектировании складских комплексов есть технические возможности строительства складских корпусов с шагом колонн с точностью до 30 см. Это дает возможность оптимизировать ширину прохода под конкретное подъемно-транспортное оборудование и увеличить емкость склада (паллетоместа на метр квадратный площади склада). Данный метод проектирования системы складирования приведет к корректировке ширины складского здания и, возможно, генплана. В настоящее время опытным путем установлено, что спроектированный и построенный склад на основании логистического решения позволяет значительно сократить инвестиционную стоимость проекта. Площадь пожарных отсеков определяется в соответствии с противопожарными нормами и соответствует определенной степени огнестойкости зданий [6]. Проект здания склада может разрабатываться как для зданий, которые имеют разработанную детальную технологию, так и для зданий, где нет жесткой зависимости от технологических процессов. В первом случае проектирование выполняется на основе результатов технологического проектирования, а во втором – проект здания склада может и должен разрабатываться с применением типовых технологических решений на основе технического задания и требований Заказчика.

Технологический процесс в складе предопределяется:

- производственно-технологической схемой, в которой установлена определенная последовательность операций;
- намеченным технологическим оборудованием и характером его расстановок;
- видом и грузоподъемностью внутрискладского транспорта;
- номенклатурой, размерами и последовательностью расположения помещений;
- внутренним температурно-влажностным режимом;
- местами поступления товара и вспомогательных материалов, отгрузки товара, удаления отходов производства;

- местами ввода инженерных сетей.

Постановочные задачи для проектирования здания склада следующие:

- определение класса склада в соответствии с СТБ 2047 и СТБ 2133;
- определение оптимальной площади склада;
- определение функций склада, которые он будет выполнять;
- выявление товарных и транспортных потоков, которые будут действовать внутри этого здания;
- подбор оборудования, необходимого для решения вопросов хранения и обработки грузов;
- расчёт необходимого количества ворот для решения вопросов приемки-отгрузки товара;
- выбор оптимального шага колонн для размещения внутри склада стеллажных конструкций;
- размещение административно-бытовых помещений.

На этапе разработки внутренних компоновок определяются такие характеристики, как высота здания, шаг колонн, места размещения перекрытий, количество ворот и т.д. Рабочая высота здания (высота от уровня пола до низа инженерных конструкций) определяется габаритами стеллажного оборудования зоны хранения товара. Общая высота стеллажа с товаром в 1,5- и 2-метровых паллетах, как правило, составляет около 12 м. Здания склада выполняются с шагом колонн по поперечным осям 12 м и с шагом колонн в продольном направлении 18 м, 24 и 36 м. По внешним осям шаг колонн может ус-

танавливаться 6 м, с целью применения навесных панелей. Колонны, расставленные с таким шагом, падают между ниток стеллажей и не влияют на работу склада.

Административно-бытовые и офисные помещения удобно размещать на перекрытии над зоной погрузки/разгрузки автотранспорта. Высота перекрытия обычно принимается на отметке 5,5...6 м от уровня пола склада. Оптимальная ширина перекрытия составляет 9...12 м, длина принимается равной длине погрузочно-разгрузочного фронта. При рабочей высоте склада в 12 м возможно устройство 2...3 уровней, на которых размещаются все требуемые помещения. Часто перекрытия (1 или 2 уровня) над зоной приемки/отгрузки используется также для размещения товара с ограниченным доступом или для выполнения дополнительной обработки товара. В этом случае необходимо учесть значительное увеличение нагрузки на перекрытие.

• **Конструктивные решения склада.** Здание склада по конструктивной схеме рекомендуется проектировать каркасным и многопролётным. Основные элементы каркаса принимаются железобетонными, металлическими или смешанными.

Выбор конструктивной схемы влияет на объёмно-планировочное решение здания и определяет тип его основных конструкций. В случае каркасной системы здание склада проектируется многопролётным, с шагом колонн по поперечным осям 12 м и с шагом колонн в продольном направлении 8 м, 24 и 36 м. По внешним осям шаг колонн может устанавливаться 6 м, с целью применения навесных панелей.

Наиболее эффективными несущими конструкциями покрытий являются стальные стропильные и подстропильные фермы. Стропильные фермы применяют для пролетов 18, 24, 30, 36 м и более.

Утепление кровли склада выполняется материалами из минеральной базальтовой ваты повышенной жесткости, пенополистирола или экструдированного пенополистирола (пеноплекса) по профилированному настилу или железобетонным плитам покрытия. Для гидроизоляции применяют полимерные мембраны или наплавляемые модифицированные материалы рулонного типа.

Наружные ограждающие конструкции проектируются самонесущими или навесными. Материалом стен могут служить железобетон в виде стеновых панелей различных конструкций, металл в виде стеновых панелей с эффективным утеплителем типа «сэндвич», природные и искусственные камни.

Основные требования к полу в складских помещениях. Термином «промышленные полы» называются полы, выдерживающие различные виды нагрузок при промышленной эксплуатации:

- статические нагрузки – нагрузки от стационарного технологического оборудования, стеллажей, контейнеров, штабелей материалов и др.;
- динамические нагрузки – возникающие от работы машин и оборудования с динамическими нагрузками (станки, прессы, грузоподъёмный транспорт);
- абразивные нагрузки – от движения грузоподъёмного транспорта (погрузчики, тележки и т.п.);
- ударные воздействия при производственных процессах, ремонте, демонтаже, перемещении и монтаже оборудования, а также случайные падения предметов;
- температурные воздействия – возникающие в результате локальных понижений или повышений температуры (вблизи внешних проёмов здания, высокотемпературных печей, воздействия разогретых жидкостей и предметов при их взаимодействии с полом и др.), а также при эксплуатации низкотемпературных промышленных складов-холодильников;
- химические воздействия – воздействия агрессивных химических веществ (кислот, щелочей, масел и др.).

При устройстве верхнего освещения, сброса избыточного тепла, в случае пожара, для дымоудаления (при необходимости, по расчёту) на кровле здания предусматривают специальные автоматически открывающиеся люки.

Конструкции для заполнения оконных проёмов зданий складов выполняют из пластика или алюминия.

Колонны и обрамления проёмов в складских зданиях в местах интенсивного движения напольного транспорта должны быть защищены от механических повреждений и окрашены в соответствии с ТКП 45-3.02-95.

В проектах склада необходимо предусматривать указания о тщательной заделке отверстий для пропуска трубопроводов (в стенах, перегородках и перекрытиях) и сопряжений ограждающих конструкций помещений (внутренних и наружных стен, перегородок между собой и с полами или перекрытиями).

Ширина пандусов для проезда напольных транспортных средств должна не менее чем на 0,6 м превышать максимальную ширину груженого транспортного средства. Уклон пандусов следует принимать не более 16 % при размещении их в закрытых помещениях и не более 10 % при размещении снаружи зданий.

Отметка края погрузочно-разгрузочной рампы для автомобильного транспорта со стороны подъезда автомобилей должна составлять 1,1...1,2 м. Это является обязательным условием для складов, работающих с крупнотоннажным автомобильным транспортом. Для обслуживания мало- и среднетоннажного транспорта необходимо использовать рампы, компенсирующие высоту платформы обслуживаемого транспорта.

• **Инженерное обеспечение.** Основная цель при проектировании инженерного обеспечения для транспортно-логистических центров – обеспечение максимально полной автономности функционирования объекта при высочайшем уровне безопасности и комфорта. К современным инженерным системам нормативная база относит: отопление с регулируемым температурным режимом, вентиляцию, пожарную сигнализацию и автоматическую систему пожаротушения, охранную сигнализацию и систему видеонаблюдения, учет и контроль доступа сотрудников, наличие оптико-волоконных телекоммуникаций, наличие автономной электроподстанции и котельной.

Однако современная нормативная база не в полной мере отражает возможности значительного сокращения энергопотребления при обогреве и вентилировании больших объёмов здания склада. Поэтому для выбора оптимального решения по вопросу проектирования систем энергообеспечения и безопасности конкретного объекта на стадии проектирования необходимо проводить сравнительный анализ применения различных систем.

Заключение. В результате исследования подходов в проектировании транспортно-логистического центра и входящего в его состав здания склада с целью типизации решений, возможности повторного применения проектных решений, рационализации процесса выбора вариантов разработаны наиболее экономичные варианты объёмно-планировочных и конструктивных решений здания склада ТЛЦ. Эти разработки положены в основу «Рекомендаций по проектированию транспортного логистического центра и по подбору объёмно-планировочных и конструктивных решений здания склада в составе центра» [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Строгалева, В.П. Имитационное моделирование / В.П. Строгалева, И.О. Толкачева. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008. – С. 697–737.
2. Транспортно-логистический центр. Требования к техническому оснащению и транспортно-экспедиционному обслуживанию: СТБ 2046-2010. – Минск: Стройтехнорм, 2010. – 27 с.
3. Складские здания: ТКП-45-3.02-95-2008. – Минск: Стройтехнорм, 2009. – 23 с.
4. Клименко, П.Я. Современные тенденции в архитектурных решениях транспортно-логистических комплексов / П.Я. Клименко // Архитектон: Изв. вузов. – Ростов н/Д, 2012. – № 38. – С. 29–35.
5. Шерешевский, И.А. Конструирование промышленных зданий и сооружений / И.А. Шерешевский. – Л.: Стройиздат, 1979. – 176 с.
6. Здания и сооружения. Отсеки пожарные. Нормы проектирования: ТКП 45-2.02-34-2006. – Минск: Стройтехнорм, 2007. – 63 с.
7. Рекомендации по проектированию транспортно-логистического центра и по подбору объёмно-планировочных и конструктивных решений здания склада в составе центра: Р-1.02.123-2013. – Минск: Стройтехнорм, 2013. – 39 с.

Поступила 06.06.2014

TO THE QUESTION OF CHOICES SPACE-PLANNING AND CONSTRUCTIVE DECISIONS AT DESIGNING TRANSPORT AND LOGISTICS CENTERS

O. KUDELKO, V. BOZYLEV

External (limiting) and internal (target) factors influencing the choice of the space-planning and constructive decisions in the design of the transport and logistics centres (TLC), and warehouses, have been identified. Basic requirements and criteria for the design and construction of TLC have been systematized. On the basis of given criteria for selecting, the optimal layout of the buildings of the storage center, shape and dimensions of a building of the storage using the method of imitation modeling are proposed. At the preliminary stage warehouse technology is accounted. This technology defines its parameters, ways of its construction, space-planning solutions. When determining the cost of construction of the future center, level of category of the centre and the warehouse it is necessary to take into account the possibility of its application in the design of the model or in re-design solutions. This is, in fact, are the parameters of the factors to be used as evaluation criteria. On the basis of the conducted research features and proposed design solutions of TLC, and also a technique of their architectural design have been listed.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 691.3:666.97

КОМПОЗИТНЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ С ДРЕВЕСНОЙ ЗОЛОЙ

канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЕНОВА; Ю.В. КУЛИКОВА
(Полоцкий государственный университет)

Представлены результаты комплекса экспериментально-теоретических исследований влияния древесной золы на физико-механические свойства бетонов. Установлено, что зола увеличивает водопотребность, отдаляет начало схватывания золоцементного теста, снижает тепловыделение цемента и приводит к снижению прочности цементного камня, а полиакрилонитрильная фибра позволяет компенсировать эффект снижения прочности цементного камня, вызванный введением древесной золы взамен части цемента. Определено оптимальное сочетание компонентов композитной цементной системы. Выявлено, что замена части цемента древесной золой эффективна при совместном введении с пластифицирующей добавкой «Стахемент 2000М Ж30», когда прочность бетона на сжатие выше контрольного значения на 19 %, прочность на изгиб – на 5 %; при замене цемента древесной золой в количестве 5 % от массы цемента и введением стальной фибры прочность бетона на сжатие не ниже контрольного значения.

Введение. Бережное и рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Решение этой актуальной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счет комплексного использования сырья. Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья при получении различного вида продукции, и прежде всего строительного назначения.

В Беларуси ежегодно образуется в среднем около 50 000 тонн золных отходов от сжигания различных видов твердого топлива. Почти 80 % этого объема приходится на золу от сжигания древесины, в которой содержание золы колеблется от 0,5 вес. % (на сухую массу) для мягких пород древесины, до 4...8 вес. % для коры [1; 2]. Реализация Государственной программы строительства энергоисточников на местных видах топлива приведет к увеличению потоков золных отходов до 300 000 тонн ежегодно, что составит почти 10 % суммарного годового количества коммунальных и промышленных отходов [3]. Поэтому научные разработки, связанные с вопросами утилизации зол-уноса и золошлаковых отходов тепловых электростанций в цементах и бетонах, заслуживают особого внимания.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями [4–8] показано, что золошлаковые отходы и золы-уноса, в том числе пылевидные фракции, являющиеся отходами тепловых электростанций и котлов, дисперсные золошлаковые отходы мусоросжигательных заводов, золы от сжигания осадка сточных вод, летучие золы от сжигания твердых городских отходов могут быть использованы в производстве цемента, в качестве добавки в тяжёлых, лёгких бетонах и растворах, а также кремнеземистого компонента при изготовлении изделий из ячеистых бетонов.

Установлено [4; 5], что при изготовлении тяжелого бетона золошлаковая смесь может частично заменить цемент или песок. При этом эффективно вводить золошлаковую смесь вместо мелкозернистого песка, требующего повышенного расхода цемента. В то же время при изготовлении сборных и монолитных элементов и конструкций все большее применение находят фибробетоны, которые обладают более высокими прочностными характеристиками, ударной вязкостью, трещиностойкостью, морозостойкостью и водонепроницаемостью, износостойкостью [9]. В связи с этим изучение свойств композитных цементных систем с добавкой древесной золы, введенной взамен части цемента или песка, является актуальным.

Экспериментальные исследования. Основными характеристиками химического состава зол служат модуль основности M_0 (отношение массовых долей основных оксидов к суммарному содержанию кислых оксидов) и силикатный модуль M_c (отношение реакционноспособного диоксида кремния к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа).

Для основных шлаков и зол $M_0 > 1$; для слабокислых $M_0 = 0,9...1,0$; для кислых $M_0 = 0,6...0,9$; для сверхкислых $M_0 < 0,6$. Однако более целесообразно, согласно работам П.И. Боженова [10], вместо модуля основности применять коэффициент основности $K_{осн}$, который выражается следующим образом:

$$K_{осн} = \frac{(CaO + 0,93MgO + P_2O_5) - (0,55Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_3 + 1,27CO_2)}{0,93SiO_2}. \quad (1)$$

Соотношение компонентов золы предопределяет ее активность и вяжущие свойства. При этом основным критерием, определяющим вяжущие свойства золы, является наличие свободных оксидов кальция и магния. В работе [6] введены понятия свободной открытой, свободной закрытой и свободной суммарной извести. При этом

$$\text{CaO}_{\text{сум.св}} = \text{CaO}_{\text{откр. св}} + \text{CaO}_{\text{закр. св}} \quad (2)$$

Определено [6], что содержание свободного оксида кальция в золе пропорционально как ее основности, так и степени предварительного измельчения золы. При этом часть свободной извести закрыта для анализа без измельчения золы. Доля вскрываемой при помоле свободной извести может составлять от 30...40 до 90 %.

Таким образом, в зависимости от химического состава золы подразделяются на (низкокальциевые) кислые, и высококальциевые (основные).

Установлено [4], что кислые золы состоят в основном из реакционноспособных диоксида кремния SiO_2 с массовым содержанием не менее 25 % и оксида алюминия Al_2O_3 , при этом содержание оксида кальция не превышает 10 %, а массовая доля свободного оксида кальция $\text{CaO}_{\text{св}}$ составляет не более 1 %. Основные золы состоят в основном из реакционноспособных оксида кальция CaO , диоксида кремния SiO_2 и оксида алюминия Al_2O_3 . Массовая доля оксида кальция составляет не менее 10 %.

В бетонной смеси зола играет роль не только активной минеральной добавки, увеличивающей общее количество вяжущего, но и микронаполнителя, улучшающего гранулометрию песка и активно влияющего на процессы структурообразования бетона.

Введение наполнителей в бетонные смеси производится двумя принципиально различными способами: наполнитель вводится по объему взамен части цемента (содержание дисперсных частиц в смеси не меняется) и взамен части мелкого заполнителя – кварцевого песка (вся вводимая добавка идет на увеличение содержания дисперсных частиц в смеси).

Как считает В.К. Власов [11], увеличение количества наполнителя выше оптимального приводит к разбавлению цементного камня наполнителем, к нарушению непосредственных контактов между гранулами клинкера и уменьшению прочности.

Явление повышения прочности вяжущих при введении в их состав микронаполнителей И.М. Красный [12], помимо гидравлической активности, объясняет образованием наиболее мелкими зернами микронаполнителя (коллоидных размеров) центров кристаллизации в контактной зоне цемента.

Замещение части цемента золой приводит к уменьшению усадочных деформаций бетона, которые проявляются при снижении водопотребности бетонной смеси. Уменьшение усадки объясняется [4] тем, что зола адсорбирует из цемента растворимые щелочи и образует устойчивые, нерастворимые алюмосиликаты.

Для проведения исследований применялась подовая древесная зола сухого удаления, химический состав которой, согласно данным работы [2], представлен следующими основными оксидами: CaO – 32,6 %; MgO – 3,0 %; K_2O – 6,6 %; P_2O_5 – 0,9 %. Определение гранулометрического состава золы показало, что содержание зерен размером 0,63...0,315 мм составляет 26,2 %; 0,315...0,14 мм – 71,1 %; менее 0,14 мм – 2,7 %. Согласно ГОСТ 25592-91 [13] – это среднезернистая золошлаковая смесь, модуль крупности $M_k = 1,24$. Водопотребность золы составила 55 %, насыпная плотность 600 кг/м³, истинная плотность 2270 кг/м³.

Экспериментально установлено, что зола увеличивает водопотребность цементного теста. Введение золы в количестве 5 и 10 % соответственно увеличило водопотребность на 4,6 и 9,5 %. При замене части цемента золой начало схватывания золоцементного теста отдалось на 34 мин и 2 ч 51 мин соответственно при содержании золы 5 и 10 %. Введение золы привело к снижению прочности цементного камня. Уменьшение водоводовязущего отношения с 0,3 до 0,25 при введении добавки «Стахемент 2000 МЖ30» позволило увеличить прочность золоцементного камня на 23,6 %.

Исследованиями, проведенными в работе [14], показано, что применение полиакрилонитрильного волокна в качестве армирующего элемента (фибры) позволяет: увеличить стойкость к истиранию на 21,7 %; повысить ударную выносливость бетона в 1,5 раза; повысить прочность при сжатии и изгибе до 6 %; уменьшить трещиностойкость бетона.

Для изучения совместного влияния добавки древесной золы и фибры на прочность и водопоглощение цементного камня использовалось планирование эксперимента. Предполагая, что в выбранных диапазонах варьирования количества золы и фибры прочность изменится линейно, выбран двухфакторный план первого порядка. Приготовление составов выполнялось путем сухого перемешивания портландцемента и золы в соотношениях 90:10, 85:15 и 95:5. Фибра вводилась в виде отрезков волокна длиной 2 см в количестве 0,05, 0,2 и 0,35 % от массы вяжущего. Водоцементное отношение принято постоянным и равнялось 0,3. Из полученного золоцементного теста изготавливались кубики с размером ребра 2 см. Образцы хранились в камере нормально-влажностного твердения при температуре 20 ± 2 °C и относительной влаж-

ности воздуха не менее 90 %. Кубики испытывались в возрасте 28 суток. План эксперимента и результаты определения прочности и водопоглощения золоцементного камня представлены в таблице.

Прочность и водопоглощение золоцементного камня, армированного полиакрилонитрильным волокном

Номер состава	Расход материалов, г			Прочность цементного камня на сжатие, $R_{сж}$		Водопоглощение, W , в возрасте 1 сут, %
	цемент	зола	фибра	МПа	%	
1	100	–	–	27,52	100	12,86
2	90	10	0,2	28,0	101,7	14,26
3	85	15	0,35	31,62	114,89	13,62
4	95	5	0,35	33,18	120,6	11,53
5	85	15	0,05	20,65	75	15,45
6	95	5	0,05	26,48	96,2	12,40

Обработка результатов эксперимента с использованием методов математической статистики и произведенная проверка значимости найденных коэффициентов с учетом критерия Стьюдента позволила получить полиномиальные модели прочности и водопоглощения золоцементного камня, армированного полиакрилонитрильным волокном.

В натуральных обозначениях факторов модели имеют следующий вид:

- прочность в возрасте 28 суток

$$R_{28} = 28,12 + 4,42 \cdot \Phi,$$

где Φ – количество полиакрилонитрильного волокна, % от массы вяжущего;

- водопоглощение в возрасте 1 суток

$$W_{1\text{сут}} = 13,23 + 1,285 \cdot Z,$$

где Z – количество древесной золы, % от массы цемента.

Анализ дисперсии адекватности по критерию Фишера свидетельствует, что при принятом уровне значимости уравнения адекватно представляют результаты эксперимента.

Как показывает анализ результатов испытаний, при содержании фибры в количестве 0,35 % и древесной золы в количестве 5 % от массы цемента прочность бетона на сжатие увеличивается на 20,6 % (состав 4, таблица). Этот же состав имеет минимальное значение водопоглощения – 11,53 %, т.е. более плотную структуру. Таким образом, оптимальное сочетание компонентов: древесная зола – 5 % от массы цемента; добавка «Стахемент 2000МЖ30» – 0,3 % от массы цемента; фибра – 0,35 % от массы вяжущего.

Можно предположить, что в результате введения в смесь фибры происходит сближение частиц цемента, что приводит к ограничению их свободного перемещения, т.е. к повышению связности смеси. При этом армирующие волокна, обладая достаточной длиной (20 мм), переплетаются друг с другом, образуя пространственный каркас.

Изучение кинетики изменения температуры золоцементного теста показало, что после затворения водой рост температуры цементного теста с золой происходит менее интенсивно, т.е. добавка золы снижает тепловыделение цемента, которое напрямую связано со степенью его гидратации.

Эффективность добавки древесной золы, введенной вместо части цемента в количестве 5 % от массы цемента и вместо части песка в количестве 30 % от массы песка, оценивали по прочности бетона на сжатие в возрасте 28 сут.

Экспериментально установлено, что замена 5 % цемента древесной золой и введение в состав бетонной смеси стальной фибры позволяет получить бетон, прочность на сжатие которого не ниже контрольного значения и соответствует бетону класса С20/25. Данный класс бетона один из самых востребованных в строительстве. Бетонная смесь имела подвижность класса П4, т.е. относится к высокоподвижным, требующим минимального времени уплотнения. При замене золой 30 % песка прочность на сжатие в возрасте 28-суток снизилась на 57 %. При этом значительно увеличилась водопотребность бетонной смеси. Для получения равноподвижных бетонных смесей класса по подвижности П1 водоцементное отношение было увеличено с 0,39 до 0,64. Таким образом, очевидно, что замена песка золой в количестве 30 % от массы песка не рациональна.

Заключение. В результате проведенного исследования получены математические модели прочности золоцементного камня, армированного полиакрилонитрильной фиброй. Экспериментально показано, что древесная зола сухого удаления может эффективно применяться в композитных цементных

системах в сочетании с суперпластификатором «Стахемент 2000МЖ30». Определено оптимальное сочетание компонентов композитной золоцементной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 09.08.2010 № 1180 [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2010. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 02.09.2010.
2. Вильдбахер, Н. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе / Норберт Вильдбахер. – Минск: Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации, 2007. – 28 с.
3. Охрана труда и технико-экономические аспекты обращения с зольными отходами котельных установок на древесном топливе, загрязненном радионуклидами / В.Н. Соловьев [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – № 16. – 2011. – С. 111–117.
4. Данилович, И.Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов: учеб. пособие для СПТУ / И.Ю. Данилович, Н.А. Сканави. – М.: Высш. шк., 1988. – 72 с.
5. Энтин, З.Б. Золы ТЭС – сырье для цемента и бетона / З.Б. Энтин, Л.С. Нефедова, Н.В. Стржалковская // Цемент и его применение. – № 2. – 2012. – С. 40–46.
6. Закономерности изменения состава и свойств высококальциевых зол и их статистическая оценка / В.Б. Францен [и др.] // Ползуновский вестн. – 2012. – № 1/2. – С. 113–117.
7. Дворкин, Л.И. Эффективные цементно-зольные бетоны: моногр. / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, Ю.А. Корнейчук. – Ровно, 1998. – 195 с.
8. Путилин, Е.И. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / Е.И. Путилин, В.С. Цветков. – М.: Гос. дор. науч.-исслед. ин-т ФГУП «СОЮЗДОРНИИ», 2003. – 57 с.
9. Распространенный стройматериал фибробетон, производство технология. Фибробетонные полы и их преимущества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://therappirly.ucoz.com>. – Дата доступа: 01.10.2013.
10. Боженков, П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология: учеб. пособие / П.И. Боженков. – М.: АСВ, 1994. – 186 с.
11. Власов, В.К. Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя / В.К. Власов // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 9–11.
12. Красный, И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей / И.М. Красный // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5. – С. 10–11.
13. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия: ГОСТ 25592-91. – Введ. 01.07.91. – М: ИПК Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.
14. Качан, М.С. Влияние полимерной фибры на физико-механические свойства бетона: дис. ... магистра техн. наук / М.С. Качан. – Новополоцк, 2012. – 57 с.

Поступила 02.06.2014

COMPOSITE CEMENT SYSTEMS WITH WOOD ASH

L. PARFENOVA, Y. KULIKOVA

The results of the complex experimental and theoretical studies of the wood ash effect on the physical and mechanical properties of concrete are presented. It is established that wood ash increases water demand and the setting time of wood ash and water-cement paste, decreases heat emission of cement and reduces the strength of cement stone. It was established that polyacrylonitrile fiber makes it possible to compensate for the effect of reducing the strength of the cement stone, caused by the introduction of the wood ash instead of a portion of cement. The optimal combination of components of the composite cement system is defined. It is shown that the replacement of a portion of cement with wood ash proves effective when introduced together with plasticizer “Stahement 2000M ZH30” and when concrete compressive strength is above the reference value by 19 % and flexural strength – by 5 %. Wood ash can be used in steel fibre reinforced concrete. With the replacement of a portion of cement with wood ash in an amount of 5 % of the total mass of the cement and the introduction of steel fiber the compressive strength of concrete is not less than the reference value.

УДК 693.542.4

**СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ
И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В БЕТОННЫЕ СМЕСИ**

*канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ; канд. хим. наук, доц. С.Ф. ЯКУБОВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет);
А.А. ШВЕДОВ
(ОАО «Нафтан», Новополоцк)*

Приведены запатентованные технологии синтеза пластифицирующих добавок в бетонные смеси. Выполнен анализ сырьевой базы получения пластифицирующих добавок, на основе которого получена информация, свидетельствующая о том, что ведется интенсивный поиск по замене нафталина при производстве добавок в бетонные смеси на менее дефицитный продукт с одновременной разработкой технологий синтеза. Предлагаемые технологии, однако, содержат противоречивые данные по режимам синтеза (температура, время и т.д.), также в них отсутствует взаимосвязь режимов синтеза с характеристиками используемого сырья. Вследствие этого в данной работе рассмотрена технология основного процесса синтеза – сульфирования, выполнен анализ его особенностей при использовании в качестве сырья для получения пластифицирующих добавок непредельных углеводородов.

Введение. Добавки-пластификаторы в бетонные смеси, используемые в строительной отрасли, значительно отличаются технологией их изготовления и исходным сырьём, а конечные продукты близки по своей эффективности. Поэтому вопрос стоимости добавок пластификатора выходит на первое место. Немаловажным остается в настоящий момент вопрос доступности сырьевых ресурсов, особенно это касается Республики Беларусь, где запас природных углеводородов незначителен. Предлагаемые решения по использованию для производства пластификаторов вторичных ресурсов имеют много общего в технологических решениях, но и противоречивы, поэтому пока не находят широкого применения на строительном рынке.

Основная часть. Используемые в настоящее время в строительстве суперпластификаторы (диспергаторы) представляют собой, как правило, специально синтезированные химические вещества с высокой степенью чистоты, имеют высокую стоимость и требуют специальных химических технологий и оборудования для их производства.

В зависимости от состава исходного сырья, на основе которого ведётся синтез суперпластификаторов, их можно объединить в следующие группы: сульфированные меламинаформальдегидные смолы и комплексные добавки на их основе; продукты конденсации нафталиносulфокислоты и формальдегида и комплексные добавки на их основе; модифицированные (очищенные и практически не содержащие сахара) лигносульфонаты и комплексные добавки на их основе.

Нафталиносulфокислоты для производства наиболее широко используемого суперпластификатора С-3 получают из каменноугольной смолы. В связи с сокращением добычи угля сокращается и объём производства последней. Поэтому объёмы производства каменноугольного нафталина не в полной мере удовлетворяют потребностям химической промышленности, в том числе и строительной отрасли. В сложившейся ситуации особый интерес представляет проблема замены нафталина как сырья для производства добавок в бетонные смеси. Для Республики Беларусь ввиду отсутствия коксохимической промышленности поиск новых высокоэффективных и недорогостоящих суперпластификаторов – особенно актуальная задача.

В одной из первых работ [1] в этом направлении был предложен способ получения пластификатора для бетонных смесей путём сульфирования углеводородного сырья с последующей нейтрализацией сульфомассы, отличающийся тем, что с целью упрощения процесса получения и повышения пластифицирующих свойств полученного продукта, сульфированию подвергают тяжёлые жидкие продукты пиролиза жидких углеводородов, а в качестве сульфорирующего агента используют отработанную серную кислоту, получаемую после очистки жидких парафиновых углеводородов, причём процесс сульфирования осуществляют при весовом соотношении отработанной серной кислоты к тяжёлым жидким продуктам пиролиза жидких углеводородов 1:0.29...1:1.20 и температуре 42...151 °С.

Для совершенствования способа получения пластификатора в работе [2] предлагается в жидкие продукты пиролиза вводить $C_6...C_{10}$ олефины в количестве 0,08...8,7 мас. %, а в работе [3] сульфированию подвергают смесь смол пиролиза, состоящую из 70...95 мас. % тяжёлой смолы пиролиза с температурой кипения 190...450 °С и 5...30 мас. %, смолы процессов термического и/или каталитического гид-

родеалкилирования алкилароматических углеводородов при массовом соотношении смеси смол и серно-кислотных отходов, равном 1:1,25...6,66 и температуре 70...170 °С.

Работа [4] включает способ приготовления пластификатора для бетонной смеси путем сульфирования отхода нефтехимического производства, содержащего ароматические углеводороды, с последующей конденсацией образующихся сульфокислот с формальдегидом и нейтрализацией полученного продукта. Этот способ отличается тем, что с целью повышения прочности бетона и расширения сырьевой базы по производству пластификаторов в качестве отхода нефтехимического производства используют отходы производства этилена, этилбензола либо отход от разгонки стирола, при этом процесс конденсации осуществляют при температуре 110...140 °С.

Предложенный авторами [5] способ приготовления пластификатора цементных смесей путём сульфирования нефтяных ароматических углеводородов концентрированной серной кислотой при нагревании с последующей нейтрализацией гидроокисью натрия до pH 8,0 состоит в том, что с целью повышения пластифицирующих свойств в качестве нефтяных ароматических углеводородов используют фракции товарной нефти с температурным интервалом выкипания 250...450 °С, а сульфирование ведут в среде кипящего органического растворителя из группы: гексан, гептан, петролейный эфир, причём соотношение серной кислоты к фракциям нефти по массе составляет соответственно 1:1,5...3,0; выделяющуюся в процессе сульфирования воду удаляют в виде азеотропа; после окончания выделения воды не вступившие в реакцию сульфирования углеводороды экстрагируют гептаном, а полученный остаток растворяют в воде и нейтрализуют сухой гидроокисью натрия.

Авторы работы [6] предлагают способ получения добавки в бетоны и растворы, включающий сульфирование исходного ароматического углеводородного сырья, конденсацию сульфированного сырья с формальдегидом с последующей нейтрализацией полученного продукта. При этом в качестве исходного сырья используют кубовый остаток, выкипающий при температуре выше 210 °С, от производства ароматических углеводородов процесса каталитического риформинга бензина.

Предлагаемый авторами работ [7; 8] способ получения поверхностно-активного вещества, включающий сульфирование углеводородного сырья с последующей нейтрализацией сульфомассы, отличается тем, что в качестве углеводородного сырья используют тяжелые вторичные продукты пиролиза углеводородов, имеющие температуру кипения выше 170 °С, а сульфирование осуществляют в присутствии добавок, в качестве которых используется малеиновый ангидрид в количестве 5...15 % к сульфируемой массе, спирты (предпочтительно C₃...C₅) в количестве 5...10 %, а также фенол в количестве 3...7 к сульфируемой массе.

Предложен способ [9] получения пластификатора бетонных смесей сульфированием тяжелой смолы пиролиза отработанной серной кислотой процесса очистки жидких парафинов при массовом соотношении смолы и кислоты, равным 1:(1,8...2,0), и температуре 140...150 °С в течение 4...8 мин с последующей нейтрализацией сульфомассы гидроксидом натрия. В качестве сульфируемого продукта используют неподвергаемую ректификации тяжелую смолу пиролиза, приливаемую к нагретой до температуры реакции отработанной серной кислоте.

В соответствии с [10] способ получения пластифицирующей добавки для бетонной смеси включает сульфирование ароматических углеводородов серной кислотой, конденсацию полученных сульфокислот с формальдегидом, нейтрализацию продукта конденсации сульфокислот щелочью, компаундирование продукта конденсации с лигносульфонатом и отличается тем, что нейтрализацию продукта конденсации сульфокислот щелочью осуществляют после его смешения с техническим лигносульфонатом, а в качестве ароматических углеводородов используют концентраты бициклических ароматических углеводородов, выделенные из жидких продуктов пиролиза или риформинга бензина. Смешивание компонентов предпочтительно осуществлять при следующем их соотношении, %: продукт конденсации сульфокислот ароматических углеводородов с формальдегидом – 78...94; 50 %-ный водный раствор технического лигносульфоната – 6...22.

В соответствии с технологией работы [11] способ получения пластификатора бетонных смесей состоит из сульфирования при температуре 100...160 °С углеводородного сырья при массовом соотношении сульфирующего агента к углеводородному сырью 1,5...2,5:1 с последующей нейтрализацией полученной сульфомассы гидроокисью металла или аммиака, при этом в качестве углеводородного сырья используют тяжелые вторичные продукты пиролиза углеводородов с температурой выкипания 170...360 °С, с плотностью 1000...1050 кг/м³ при 20 °С, йодным числом 30...70 I₂/100 г, с групповым составом: парафинонафтоновые углеводороды до 3 мас. %; легкие ароматические углеводороды до 7 мас. %; средние ароматические углеводороды до 30 мас. %; тяжелые ароматические углеводороды до 58 мас. %; асфальтосмолистые вещества не более 3 мас. %. При этом сульфирование осуществляют в присутствии или малеинового ангидрида в количестве 5...15 мас. %, или спиртов в количестве 5...10 мас. %, или фенола в количестве 3...7 мас. % по отношению к углеводородному сырью.

Способ получения пластификатора [12] для бетонной смеси, включающий сульфирование нафталиновой фракции нефтехимического производства с последующей конденсацией с формальдегидом и нейтрализацией щелочью полученного продукта, отличается тем, что в качестве нафталиновой фракции используют нафталиновую фракцию технологического потока производства бензола следующего состава, мас. %: нафталин 96,4...99,5 метилнафталины 0,01...0,2 дифенил 0,001...0,1 легкокипящие примеси, в том числе алкилбензолы, метилинден, тетралин 0,5...3,6.

Автор патента [13] предлагает получать пластификатор, используя тяжелые жидкие продукты пиролиза жидких углеводородов с молекулярной массой 180...200, температурой кипения 200...350 °С, плотностью при 20 °С 0,954...1,067 г/см³ и йодным числом 40...50 г J₂/100г, сульфорирующихся путем вливания кислоты с температурой 15...30 °С в указанные продукты пиролиза, нагретые до 105...150 °С при массовом соотношении кислоты и продуктов пиролиза 1: (0,35...1), а полученную сульфомассу необходимо разогреть до 110...150 °С и нейтрализовать до pH 5...8 путем вливания сульфомассы в раствор щёлочи.

Для наглядности проведения анализа данные о сырье и режимах синтеза суперпластификатора по технологиям, предложенным в разных литературных источниках, сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Используемое сырьё и режимы синтеза суперпластификатора по данным работ 1-13

Источ- ник	Используемое сырьё	Режим сульфирования		Процент поликон- денсации
		температура, °С	время, мин	
[1]	Тяжёлые жидкие продукты пиролиза жидких углеводородов	42...151		–
[2]	Жидкие продукты пиролиза + олефины C ₆ ...C ₁₀	160	5	–
[3]	Тяжёлая смола пиролиза + смола процессов термического и/или каталитического гидродеалкилирования алкилароматических углеводородов	100...140	5...7	–
[4]	Отход производства этилена, этилбензола на основе диалкилбензолов или отход от разгонки стирола	130...150		+
[5]	Фракции товарной нефти с температурным интервалом выкипания 250...450 °С	кипение		–
[6]	Кубовый остаток производства ароматических углеводородов процесса каталитического риформинга бензина	150...160	480	+
[7]	Тяжелые вторичные продукты пиролиза углеводородов, имеющие температуру кипения выше 170 °С	153...160	17	–
[8]	Узкие фракции тяжелых вторичных продуктов пиролиза углеводородов, имеющих температуру кипения выше 170 °С, а сульфирование осуществляют в присутствие добавки	140...150	5...12	–
[9]	Сульфированием тяжелой смолы пиролиза отработанной серной кислотой из процесса очистки жидких парафинов	кипение		–
[10]	Концентраты бициклических ароматических углеводородов, выделенные из жидких продуктов пиролиза или риформинга бензина	40...60		+
[11]	Тяжелые вторичные продукты пиролиза углеводородов с температурой выкипания 170...360 °С	100...160	5	–
[12]	Нафталиновая фракция технологического потока производства бензола следующего состава, мас. %: нафталин 96,4...99,5 метилнафталины 0,01...0,2 дифенил 0,001...0,1 легкокипящие примеси, в том числе алкилбензолы, метилинден, тетралин 0,5...3,6	160...165	~270	+
[13]	Тяжелые жидкие продукты пиролиза жидких углеводородов с молекулярной массой 180...200, температурой кипения 200...350 °С, плотностью при 20 °С 0,954...1,067 г/см ³ и йодным числом 40...50 г J ₂ /100 г	110...150	5...7	–

Анализ данных таблицы 1 показывает, что для производства эффективных добавок в бетонные смеси используется практически идентичное сырьё. Причём при использовании ароматических углеводородов обычно в технологии синтеза присутствует процесс поликонденсации с формальдегидом. При наличии в сырье непредельных соединений операция поликонденсации, как правило, отсутствует, причём в качестве сырья, содержащего непредельные соединения, как правило, используются тяжёлые жидкие продукты пиролиза.

Количественное содержание компонентов тяжелой смолы пиролиза (ТСП) достаточно точно представлено в работе [14] данные которой приведены в таблице 2.

Таблица 2

Количественное содержание компонентов ТСП, мас. %

№ п/п	Компоненты	Фракционирование
1	3-Метил-,(2)-1,3,5-гексатриен	0,11
2	1,3-Циклогептадиен	0,20
3	1,3-бис (метилен)-циклопентен	0,13
4	Толуол	0,59
5	1-Этинил-3-метилен-циклопентен	0,06
6	Стирол	0,23
7	3а,4,7,7а-тетрагидро-4,7метано-1Н-инден	0,33
8	Инден	1,13
9	Метил-дициклопентадиен	0,82
10	1Метил-2-циклопропен-1-ил-бензол	0,94
11	1-Метил-1,2-пропан-диенил-бензол	0,13
12	2-Метилинден	0,83
13	Диметил-дициклопентадиен	0,14
14	1,4-Дигидронафталин	0,61
15	Нафталин	14,37
16	1,3-Диметил-1Н-инден	0,23
17	2-Метилнафталин	2,45
18	1-Метилнафталин	2,02
19	Дифенил	9,02
20	2-Этилнафталин	0,21
21	1-Этилнафталин	0,10
22	2,7-Диметилнафталин	0,09
23	1,6-Диметилнафталин	0,19
24	1,4-Диметилнафталин	0,11
25	Дифенилметан	0,09
26	2,3-Диметилнафталин	0,1
27	4-Метил-1,1-Бифенил	0,29
28	Аценафтен	0,15
29	3-Метил-1,1Бифенил	0,04
30	Флуорен	0,28
31	9-Метил-9Н-Флуорен	0,1
32	Фенантрен и антрацен	0,14
33	Нелетучая часть	-52
34	Неидентифицированные вещества	-10

В данной работе определены компоненты летучей части тяжелых смол пиролиза и оценено содержание высокомолекулярной части. Особый состав смолы пиролиза и физико-химические свойства предоставляют возможность ее переработки в конкурентоспособную продукцию, в частности в качестве сырья для получения поверхностно-активных веществ и диспергаторов. Такой способ открывает экономические перспективы использования продуктов производства как для химиков, так и для строителей.

При получении практически всех суперпластификаторов используется такой технологический процесс, как сульфирование. Так как речь идёт о замене нафталина коксохимического производства на более доступный сырьевой ресурс – богатые нафталиновыми соединениями смолы пиролиза в составе которых согласно показателю «йодное число, в пределах $I_2/100 \text{ г } 60$ » много непредельных соединений, рассмотрим процессы, протекающие при взаимодействии смол пиролиза с серной кислотой.

Основываясь на данных работы [15], можно предположить, что при взаимодействии фракций тяжёлой смолы пиролиза с концентрированной серной кислотой протекают несколько параллельных процессов:

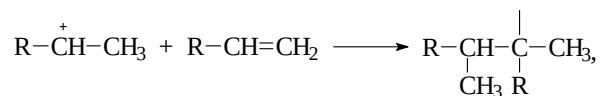
- реакции сульфирования;
- катализируемые кислотой реакции полимеризации непредельных соединений;
- катализируемое серной кислотой алкилирование отдельных соединений.

Все эти реакции в процессе реагирования смол пиролиза с серной кислотой протекают одновременно, но преимущественное развитие в начале процесса получают реакции полимеризации непредельных соединений, а в конце реакции – алкилирование.

Непредельные углеводороды в присутствии серной кислоты подвергаются полимеризации, идущей по карбонийонному механизму:



При этом сначала образуются димеры:



а затем тримеры, тетрамеры и т.д., вплоть до продуктов относительно высокой степени полимеризации. При этом серная кислота выделяется в свободном виде.

Различные непредельные соединения полимеризуются по-разному. Легкокопирующие непредельные соединения полимеризуются глубоко с большим выделением тепла. Продуктом их полимеризации являются густые и вязкие смолы очень сложного строения. Образование продуктов высокой степени полимеризации способствует увеличению вязкости, уменьшению растворимости полимеров в воде. В связи с этим процесс полимеризации следует остановить на более ранней стадии.

В результате реакций полимеризации получаемые соединения имеют разное строение и разную молекулярную массу. Во многих работах отмечается необходимость использования в составе суперпластификаторов комплекса соединений различного состава и строения.

Автор работы [16] отмечает: «Проведя ряд уникальных для своего времени экспериментов, обобщив и проанализировав результаты, мы уже в середине 80-х годов вывели однозначное утверждение: именно молекулярный состав и определяет качество и эффективность суперпластификаторов. Утверждение это базировалось на результатах испытаний стандартных растворных и бетонных образцов. Тогда же были разработаны и критерии оптимального молекулярно-массового распределения (ММР) для нафталинформальдегидных суперпластификаторов и предложены различные доступные методы определения (либо контроля за изменением) характеристик ММР».

Эффективная добавка – пластификатор в бетон [17] на основе олигомерных продуктов конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида – включает, мас.: олигомеры с 2...4 ядрами нафталина – 5...8; олигомеры с 5...9 ядрами нафталина – 12...18; олигомеры с 10...12 ядрами нафталина – 6...14; олигомеры с 13...14 ядрами нафталина – 12...18; олигомеры с 15...17 ядрами нафталина – 40...48; олигомеры с числом ядер нафталина более 17 – 3...7. Бетон с указанным суперпластификатором имеет прочность до 72,5 МПа, морозостойкость до 350.

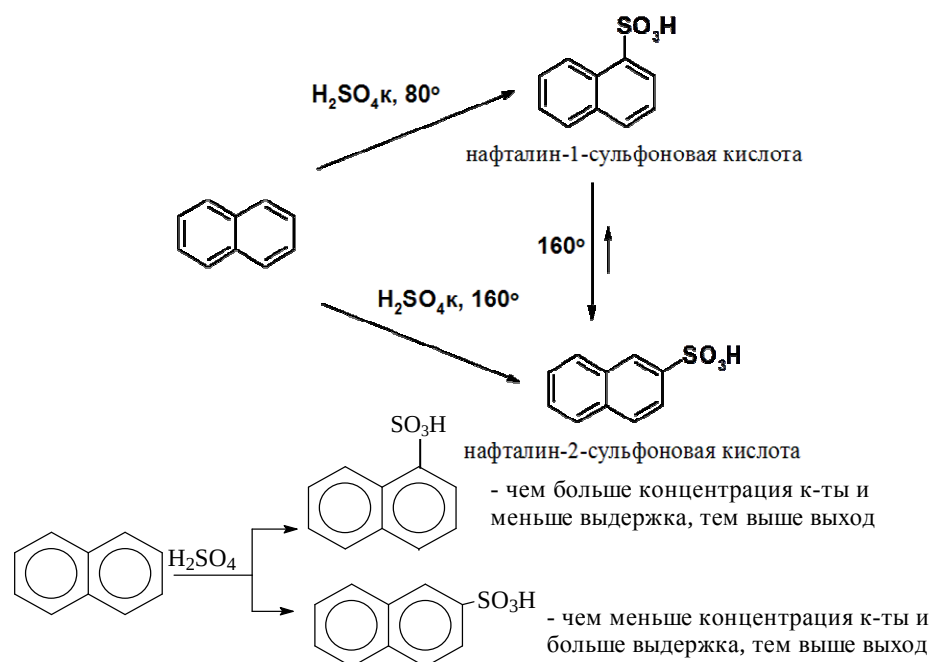
Авторы [6] считают, что «Пластифицирующие свойства продукта поликонденсации (добавки) обусловлены наличием в кубовом остатке алкилбензолов, метилнафталинов, метилдифенилов, антраценофенантреновых углеводородов. Кроме того, кубовый остаток содержит углеводороды, которые после сульфирования способны создавать “сшивающие” мостики между вышеприведенными углеводородами, а это способствует снижению расхода конденсирующего компонента – формальдегида. Благодаря тому, что в цепи полимеров молекулы метилнафталинов, создающие наибольший “экранирующий” эффект для гидратации цемента, перемежаются молекулами, не препятствующими молекулам воды вступать в реакцию гидратации цемента, замедления твердения не наблюдается. Это позволит применять добавку в повышенных дозировках. Кроме того, заявляемый способ позволит получать добавку, которая несколько снижает поверхностное натяжение на границе вода/воздух, что обеспечит вовлечение в бетонную смесь некоторого количества воздуха. Это придаст бетонной смеси, кроме пластифицирующего эффекта, повышенную морозостойкость».

Реакции сульфирования протекают с выделением тепла за счет разбавления кислоты образующейся водой. Теплота реакции зависит от природы сульфорирующего агента и сульфорируемого соединения. Реакциям сульфирования подвергаются все углеводороды, входящие в состав смолы пиролиза, но сульфорируются они по-разному. С повышением температуры эти процессы усиливаются.

Поскольку процесс сульфирования описывается рядом параллельных и последовательных реакций, максимальный выход целевого продукта, может быть достигнут не только при определенной температуре, соотношении реагентов, концентрации серной кислоты, но и при определенной продолжительности ведения процесса.

Состав смолы пиролиза характеризуется наличием большого количества ароматических углеводородов. Необходимо также учитывать и тот фактор, что, как отмечено в [18], ароматические углеводороды не одинаково легко подвергаются сульфированию. Степень их сульфирования зависит от расположения алкильных групп. Трудность сульфирования ароматических углеводородов возрастает с увеличением длины и числа боковых цепей. Полициклические нафтоароматические углеводороды подвергаются сульфированию при большом расходе кислоты.

При выборе режима сульфирования необходимо учитывать и то, что, например, нафталин в зависимости от температуры и концентрации кислоты образует различные сульфокислоты



При более высоких температурах и более длительном времени реакции образуются три- и тетра-сульфоновые кислоты.

Дифенил, входящий в состав смол пиролиза, слабо реакционноспособен по общим реакциям ароматических углеводородов (нитрование, сульфирование и т.д.).

Метилнафталины сульфуются так же как и нафталин. Сульфирование при температурах до 80 °С приводит к α-сульфокислотам, с повышением температуры – к β-изомерам; из 1-метил при 20 °С образуется 1-метилнафталин-4 сульфокислота; при 110 °С – смесь 3- и 7-сульфокислот; при 170 °С – главным образом – 7-сульфокислота; из 2-метил при 40 °С – преимущественно 2-метилнафталин-8-сульфокислота; при 90...95 °С – 6-сульфокислота; при 160 °С – 7-сульфокислота.

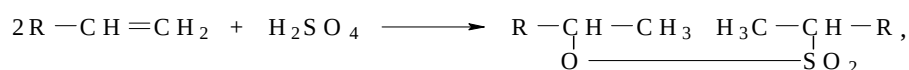
Образующиеся нафталинсульфокислоты имеют различные свойства, в частности разную температуру плавления (табл. 3).

Таблица 3

Температура плавления нафталинсульфокислот

Соединение	Температура плавления, °С
Нафталин-1-сульфокислота	139...140
Нафталин-2-сульфокислота (моногидрат)	124...125
Нафталин-1,5-дисульфокислота	240...245 (с разложением)
Нафталин-1,6-дисульфокислота	125 (с разложением)
Нафталин-2,6-дисульфокислота (дигидрат)	129
Нафталин-2,7-дисульфокислота	199
Нафталин-1,3,6-трисульфокислота (гексагидрат)	170

Часть непредельных соединений [18], реагируя с серной кислотой, образует так называемые «средние эфиры»:



которые растворяются в ароматических углеводородах, но при нагревании до 100...150 °С на стадии окончательного сульфирования при получении суперпластификатора, образуя коксообразный углеродистый остаток и диоксид серы.

Непредельные углеводороды реагируют с серной кислотой, образуя ее кислые и средние эфиры и продукты полимеризации. Кислые эфиры образуются при действии на непредельные углеводороды серной кислоты в условиях относительно низких температур. При этом они растворимы в воде, при нейтрализации образуют соответствующие соли. При действии воды и особенно водного раствора щелочи они легко гидролизуются с образованием соответствующих спиртов.

Кислые эфиры серной кислоты, реагируя с ароматическими углеводородами при низких температурах, образуют алкилзамещенные углеводороды. При взаимодействии с непредельными углеводородами эти эфиры получают полимеры – густые смолообразные вещества.

Средние эфиры серной кислоты образуются при взаимодействии серной кислоты с непредельными углеводородами при повышенных температурах (выше 40 °С), а также при нагревании кислых эфиров серной кислоты.

При сульфировании смол обычно используют купоросное масло 92...98 %-ную серную кислоту. Дальнейшее увеличение концентрации кислоты нецелесообразно из-за усиления образования средних эфиров и увеличения глубины полимеризации непредельных соединений.

От выбора концентрации сульфировющего агента зависит место вхождения сульфогруппы в ароматическое ядро. Например, для получения α -нафталинсульфокислоты рационально применять более концентрированную кислоту, чтобы предотвратить ее десульфирование. При получении β -нафталинсульфокислоты следует брать серную кислоту несколько меньшей концентрации, чтобы способствовать гидролизу побочного α -изомера (β -изомер в этих условиях не десульфируется).

Однако следует иметь в виду, что повышение концентрации сульфировющего агента может привести к нежелательным побочным эффектам (образование полисульфокислот, сульфонов, окисление реакционной массы и т.д.).

Поскольку процесс сульфирования описывается рядом параллельных и последовательных реакций, максимальный выход целевого продукта может быть достигнут не только при определенной температуре, соотношении реагентов, концентрации серной кислоты, но и при определенной продолжительности ведения процесса. В работе [19] предложен способ двухстадийного сульфирования. Данный способ позволяет снизить концентрацию серной кислоты, не прибегая практически к её разбавлению водой, что увеличивает выход нафталинсульфокислоты, и провести сульфирование в широком диапазоне температур, т.е. провести более полное сульфирование компонентов смолы пиролиза, а не их возгонку при высокой температуре.

Заключение. При выборе режимов синтеза пластификаторов в бетонные смеси необходимо в связи с использованием комплексного сырья, к которому относятся смолы пиролиза, проводить процесс сульфирования в большом температурном диапазоне. Время проведения процесса сульфирования, по всей видимости, будет зависеть от многих факторов, например, таких как состав смолы пиролиза, скорость подъема температуры, интенсивность перемешивания и т.д. Но отдельные факторы также будут иметь свои зависимости, например, скорость подъема температуры определяется соотношением объема сульфомассы и площадью её контакта с теплоотдающей поверхностью, зависит от теплопроводности самой сульфомассы. В то же время в процессе сульфирования меняется и вязкость сульфомассы, и её теплопроводность, поэтому для определения конкретных режимов необходимо выполнить большой объем дополнительных исследований

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ получения пластификатора для бетонных смесей: а. с. 1094274 СССР, МКИ С11Д 3/065 / И.Н. Ахвердов, Л.Ф. Калмыков, В.Г. Тетерук, А.П. Шведов, С.Ф. Якубовский, Э.А. Шиманский, В.И. Чайков, В.И. Лукашевич. – № 3509719/31-04; заявл. 22.01.1982.
2. Способ получения пластификаторов для бетонных смесей: а. с. 1340063 СССР, МКИ С07С 139/06; С04В 24/16 / А.П. Шведов, Л.Ф. Калмыков, В.Г. Тетерук, В.М. Дмитриев, И.П. Шведов, А.А. Артюх, В.В. Сасковец, В.В. Коньков. – № 3929642/31-04; заявл. 17.07.1985.
3. Способ получения пластификаторов бетонных смесей: а. с. 1427779 СССР, МПК С07С 139/06 / А.Д. Беренц, Е.Я. Гамбург, В.В. Сасковец, Л.Ф. Калмыков, В.Р. Фаликман, К.Г. Чесновицкий, В.Г. Тетерук, В.О. Мейнцнер, В.Г. Батраков, А.П. Шведов. – № 4193756/31-04; заявл. 10.02.1987.
4. Способ получения пластификатора для бетонной смеси: пат. 2054401 Рос. Федерации, МПК С04В24/22, С07С303/00 / М.И. Рудь, В.Г. Правдин, И.Т. Тагавов, Т.В. Раевская, М.В. Ефременко, В.М. Слюнин, Н.Р. Малкин, А.А. Пыханова, В.Г. Гермашев, В.Г. Беденко, Р.А. Караханов, В.А. Винокуров, Е.Г. Гаевой. – № 4843833/04; заявл. 27.06.1990.
5. Способ приготовления пластификатора цементных смесей: а. с. 1669888, МКИ С 04 В 24/20 / В.В. Ан, И.А. Порубенко, Н.А. Пшеничная, А.К. Головкин. – № 4634045/33; заявл. 15.08.1991.

6. Способ получения добавки в бетоны и растворы: пат. 2122986 Рос. Федерации, МПК С04В28/04, С04В24/22, С07С303/06 / Д.М. Хабиров, Б.У. Имашев, С.С. Мингараев, Р.Н. Хайруллин, Р.И. Бурангулов, В.В. Яковлев, И.Р. Хайрудинов, А.Ф. Ахметов, М.А. Танатаров. – № 96107593/04; заявл. 16.04.1996.
7. Способ получения поверхностно-активного вещества для бетона: заявка на изобретение: 97102303, МПК С07С309/62 / Н.Б. Урьев, В.В. Сасковец, Чой Санг Вон. – № 97102303/04; заявл. 14.02.1997.
8. Способ получения поверхностно-активного вещества: заявка на изобретение: 97116923 МПК С07С309/62 / Н.Б. Урьев, В.В. Сасковец, Чой Санг Вон, А.П. Ижик. – № 97116923/04; заявл. 06.10.1997.
9. Способ получения пластификатора для бетонной смеси: пат. 2145947 Рос. Федерации, МПК С04В24/00, С04В24/16, С04В24/34, С07С303/06 / Б.С. Стрельчик, В.М. Смагин, И.В. Саблукова, В.Г. Рыжиков, Л.В. Шалимова, С.Ф. Коренькова, Л.Н. Безгина, О.В. Лысова, В.А. Иващенко, В.И. Бескровный. – № 98116530/04; заявл. 31.08.1998.
10. Способ получения пластифицирующей добавки для бетонной смеси: пат. 2199499 Рос. Федерации, МПК С04В24/22, С04В28/04, С07С303/06 / И.Р. Хайрудинов, Д.М. Хабиров, Б.У. Имашев, О.В. Хрущёва, Э.Г. Теляшев. – № 2001117782/04; заявл. 26.06.2001.
11. Способ получения пластификатора бетонных смесей: пат. 2233253 Рос. Федерации, МПК С04В24/16, С04В28/02 / Н.Б. Урьев, А.П. Ижик. – №2002127479/04; заявл. 15.10.2002.
12. Способ получения пластификатора: пат. 2245856 Рос. Федерации, МПК С04В28/00, С04В28/00, С04В24/22, С04В103/32 / А.В. Амитин, Л.И. Бляхман, Р.Ф. Валетдинов, О.Л. Елин, Е.К. Крылова, С.И. Мячин, В.А. Панфилов, А.В. Прокопенко, С.В. Сапронова, А.А. Шерстобитов. – № 2003124990/03; заявл. 14.08.2003.
13. Способ получения пластификатора: пат. 5754 Респ. Беларусь, МКИ С07С 303/06, С 04 В 24/20 / В.В. Бозылев; заявл. 03.30.99.
14. Хроматографическое определение химического состава тяжёлых смол пиролиза / М.А. Лебедева [и др.] // Изв. Томск. политехн. ун-та. – 2010. – Т. 316. – № 3. – С. 102–105.
15. Лейбович, Р.Е. Технология коксохимического производства / Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А.Б. Филатов. – М.: Металлургия, 1982. – 359 с.
16. Вовк, А.И. О качестве нафталинформальдегидных суперпластификаторов / А.И. Вовк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: korytov.su/library/articles/41/81/.
17. Суперпластификатор: пат. 1676209 SU, МПК С04В28/02 / А.С. Титаренко, Л.К. Гончаренко, В.Н. Сердюк, В.Р. Фаликман, А.И. Вовк, О.В. Илингин, Н.Ф. Башлыков, В.Г. Батраков, Ш.Т. Бабаев.
18. Очистка серной кислотой (Краткие сведения о процессе) 09.07.2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [nektion-sea.ru/articles/Ochistka_sernoy_kislotoy_\(Kratkie_svedeniya\)](http://nektion-sea.ru/articles/Ochistka_sernoy_kislotoy_(Kratkie_svedeniya)).
19. Способ получения пластификатора для цементных систем: пат. 12015 Респ. Беларусь, МПК С04В 24/00 / А.П. Шведов, С.Ф. Якубовский, В.В. Хорушкин. – № 20051301; заявл. 26.12.2005.

Поступила 27.05.2014

THE STRUCTURE OF HYDROCARBON RAW MATERIALS AND FEATURES OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR PRODUCING PLASTICIZERS IN THE CONCRETE MIX

A. SHVEDOV, S. JAKUBOWSKY, A. SHVEDOV

In the article patented technologies of synthesis of plasticizers in concrete mixtures are given. The analysis of the raw material base of producing plasticizers is done. On the basis of this analysis information is received indicating that an intensive search for the replacement of naphthalene in the manufacture of additives in the concrete mixture to less deficient product with simultaneous development of synthesis techniques. But the proposed technologies contain discrepant data on the synthesis conditions (temperature, time, etc.) They also don't have relationship with the characteristics of mode synthesistics of raw materials. Therefore, in this paper we consider the basic process technology synthesizer sulfonation; the analysis of its features, with the usage of the raw material for plasticizers, unsaturated hydrocarbons is done.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 620.19

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А.В. СТАХЕЙКО; канд. техн. наук, доц. А.Г. КУЛЬБЕЙ
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается проблема износа технологических трубопроводов большинства нефтеперекачивающих станций, связанная с долгим сроком их службы. Описаны сложности оценки технического состояния технологических трубопроводов нефтеперекачивающих станций. Рассмотрены существующие способы оценки технического состояния трубопроводов нефтеперекачивающих станций, выявлены их недостатки. Предложен нетрадиционный путь оценки технического состояния технологических трубопроводов нефтеперекачивающих станций. Описан алгоритм разработки и применения нового способа. Сделаны выводы об актуальности его разработки.

Введение. Нефтеперекачивающие станции Беларуси эксплуатируются более 30-ти лет, это значит, что текущее техническое состояние технологических трубопроводов многих станций не исключается вероятность возникновения аварийной ситуации [1]. Последствия аварий на нефтеперекачивающих станциях (НПС) отличаются негативными особенностями: вылившаяся нефть загрязняет почву, может негативно повлиять на животный и растительный мир, пагубно влияет на здоровье людей. Таким образом, существует необходимость проводить оценку технического состояния технологических трубопроводов НПС станций при каждом принятии решения о работоспособности станции.

Постановка проблемы. Спектр предлагаемых методов оценки технического состояния технологических трубопроводов весьма широк, однако ни один из них не отличается универсальностью.

Так, например, *диагностика внутритручными снарядами* обладает высокой чувствительностью, избирательностью и точностью, но необходимо отметить её высокую стоимость и невозможность к применению на технологических трубопроводах НПС.

Методы наружного контроля предполагают остановку перекачки на продолжительный период времени и используются либо при пуске в эксплуатацию новых (отремонтированных) участков трубопроводов, либо могут быть применены как методы дополнительного диагностического контроля при подозрении на наличие дефекта. Кроме того, некоторые методы наружного контроля имеют серьезные дополнительные недостатки, например, радиоактивный метод – неэкологичный, акустический – наукоёмкий, ультразвуковой – низкопроизводительный.

Используются также *параметрические методы*, которые являются наиболее востребованными и широко применяемыми в системах управления трубопроводами. В настоящее время более 50 фирм предлагают свои наработки на рынке систем обнаружения утечек в магистральных трубопроводах, отличающиеся как физическими основами, так и особенностями их реализации. Подавляющая доля рынка мониторинговых систем принадлежит зарубежным компаниям, предлагающим системы обнаружения утечек, базирующиеся на различных алгоритмах. Следует, однако, отметить, что системы обнаружения утечек, не ориентированы на обнаружение дефектов труб.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что эффективного способа получения актуальной диагностической информации о техническом состоянии технологических трубопроводов НПС в настоящее время не существует.

На сегодняшний день по методикам оценки риска аварийных выходов из строя технологического оборудования на опасных производственных объектах можно получить неоднозначные результаты. В частности, для проведения анализа риска необходимо иметь полную диагностическую информацию о техническом состоянии оборудования, участвующего в технологическом процессе, что зачастую не является возможным, следовательно, процесс оценки технического состояния опасных производственных объектов может быть необъективным. По результатам такой оценки некоторые узлы, признанные не годными и подлежащими замене, на самом деле могут безаварийно проработать ещё несколько лет. С другой стороны, узлы, признанные годными к дальнейшей эксплуатации, могут содержать опасные дефекты.

Пути решения проблемы. В настоящий момент для того, чтобы иметь актуальную информацию о техническом состоянии технологических трубопроводов НПС существует несколько вариантов:

- проведение инструментальной диагностики оборудования как можно чаще;
- применение методов непрерывного получения информации, которые позволяют отображать информацию о текущем состоянии трубопроводов;
- разработка новых методов оценки технического состояния.

При частом *инструментальном диагностировании* трубопровода информация о его состоянии будет актуальной, однако такие диагностические мероприятия, как внутритрубная диагностика при помощи сложных роботизированных систем либо проведение полного шурфования технологических трубопроводов для доступа к их наружной поверхности, негативно сказываются на рабочем режиме станции (необходимо понижать рабочий режим или производить полную остановку перекачки), а также являются дорогостоящими, что приводит к их редкому использованию на практике, что в совокупности с частым использованием делает применение этих методов неоправданными экономически. С другой стороны, преимуществом таких методов является возможность обнаружения вновь образовавшихся дефектов в технологическом трубопроводе.

Методы, обеспечивающие *непрерывное получение информации* о состоянии трубопровода, обеспечивают наиболее полную актуальную информацию. Однако для их использования необходимо установить большое количество датчиков (ультразвукового контроля, магнитного контроля и пр.) на технологическом трубопроводе и в режиме реального времени отслеживать их показания, конечная стоимость установки и использования такой системы перекроет все положительные аспекты этого варианта.

Таким образом, авторами предлагается направить усилия на разработку новых методов и/или методик, которые позволят произвести оценку технического состояния технологических трубопроводов в условиях ограниченной информации. В итоге предполагаемой работы ожидается получение такой методики, которая позволит при принятии решений о работоспособности НПС опираться на опыт специалистов, не участвующих в данный момент в оценке технического состояния конкретного оборудования.

В настоящий момент разрешение дальнейшей эксплуатации или назначение ремонта технологических трубопроводов осуществляется по наличию или отсутствию определённых видов дефектов и величине развитости этих дефектов, что определяется требованиями существующих технических нормативно-правовых актов. Например, в АК «Транснефть» действует РД 23.040.00-КТН-090-07, в котором рассматриваются эти вопросы [2]. Однако в таких документах не учитываются факторы, влияющие на развитие дефектов (уровень грунтовых вод, наличие блуждающих токов, состояние изоляционного покрытия труб и т.д.).

Разрабатываемая методика оценки технического состояния технологических трубопроводов должна удовлетворять следующим требованиям: отслеживать вероятность появления новых дефектов; не снижать работоспособность станции; её применение не должно требовать больших экономических затрат.

Одним из возможных способов достижения поставленной цели является использование *метода экспертной оценки*.

Предполагается, что процесс создания разрабатываемой методики будет состоять из следующих этапов:

- 1) подбор экспертов;
- 2) составление опросных листов для экспертов;
- 3) проведение анкетирования;
- 4) проведение самокорректировки мнения экспертов при анкетировании;
- 5) проведение математической обработки результатов анкетирования;
- 6) разработка методики оценки технического состояния для конкретного объекта;
- 7) проведение оценки технического состояния технологических трубопроводов.

Этап 1. *Подбор экспертов* для оценки технического состояния технологических трубопроводов нефтеперекачивающих станций должен начинаться с анализа персонала предприятий нефтяной промышленности и сотрудников научных учреждений. Проведенный анализ позволит составить список кандидатов в эксперты.

Методика предусматривает проведение опроса кандидатов в эксперты без отрыва от производства, что значительно расширяет географию их поиска. Кроме того, у каждого из кандидатов в эксперты необходимо получить рекомендации для привлечения других людей в кандидаты, и этот процесс должен продолжаться до тех пор, пока в списке не перестанут появляться новые фамилии [3].

После формирования списка кандидатов в эксперты необходимо перейти к формированию непосредственно экспертной комиссии. Для этого необходимо выяснить квалифицированность каждого из кандидатов. Таким образом, у каждого из кандидатов в эксперты сформируется свой ранг, который позволит (или не позволит) специалисту войти в экспертную комиссию, а также будет использоваться в дальнейшей работе оценки (математической обработке).

Этап 2. *Составление опросных листов для экспертов* осложняется тем, что необходимо предусмотреть все воздействия на трубопровод для оценки пагубности их влияний. Кроме того, необходимо узнать мнение каждого из экспертов о том, как наиболее точно в оперативном порядке определять по различным показателям, в том числе исходя из различных воздействий на трубопровод, техническое состояние технологических трубопроводов. После чего можно приступать к созданию опросных листов.

Вопросы должны быть составлены так, чтобы суть каждого из них была предельно понятна каждому эксперту без дополнительных пояснений. При составлении вопросов надо руководствоваться некоторыми правилами: вопросы должны быть понятными, конкретными и рассчитанными на данную категорию опрашиваемых. Вопрос не должен быть двусмысленным и должен относиться только к одной теме. Следует избегать вопросов, которые предусматривают ответ, т.е. вопросы не должны начинаться словами «Согласны ли вы...», «Владеете ли вы...», «Умеете ли вы...». В противном случае опрашиваемые могут даже не вникнуть в суть вопроса, дав ответ равный положительному ответу на первые слова такого вопроса. Также следует сформулировать несколько вариантов ответа для того, чтобы упростить принятие решения. Расположение вопросов должно быть таким, чтобы те из них, на которые ответ дать проще, были в начале анкеты. Это позволит больше стимулировать респондентов и не допустит формирования негативных эмоций. В конце опросного листа есть резон поместить вопросы-детекторы. Это те вопросы, которые уже встречались в анкете ранее, но перефразированы на новый лад. В случае если ответы на эти одинаковые вопросы будут разные, можно сделать предположение о том, что респондент либо не был предельно честен, либо не ответственно отнёсся к своей задаче.

Этап 3. *Проведение анкетирования* предполагает, прежде всего, ранжирование экспертов и формирование экспертной комиссии. После вхождения в экспертную комиссию каждый эксперт получит опросные листы с вопросами, внимательно их изучит и на основе собственного опыта ответит на эти вопросы.

После сбора опросных листов производится их первичная математическая обработка и определяется первичный результат.

Этап 4. *Проведение самокорректировки*. Суть самокорректировки состоит в том, чтобы каждый эксперт, ответивший на вопросы самостоятельно, мог иметь доступ к результату первичного опроса и изменить либо оставить прежним своё мнение в ответах опросного листа, после чего производится пересчет первичного результата. Этот этап повторяется до тех пор, пока каждый из экспертов не перестанет изменять свое мнение. Следует отметить, что при доступе респондента к результату первичного или предыдущего опроса ему не известны конкретные личности, которые ответили на вопросы. Это делается для того, чтобы исключить возможность влияния авторитетного мнения и отображения собственного мнения респондента. Причина, по которой проводится самокорректировка, – вероятная ошибочность мнения какого-либо эксперта в первом приближении и вероятность невозможности заметить ошибку без обзора результатов. В итоге формируются окончательные ответы экспертов.

Этап 5. *Проведение математической обработки результатов анкетирования*. Ответы экспертов включаются в таблицу (матрицу опроса). Матрица опроса – это итоги опроса, которые представляют собой проранжированные по степени пагубного воздействия факторы этого воздействия на исследуемый трубопровод. Эксперты присваивают ранги каждому фактору исходя из собственного опыта. После сведения всех рангов в таблицу производится определение суммы рангов для каждого фактора, общая сумма рангов и средняя сумма рангов (математическое ожидание), определяются значения весовых коэффициентов каждого фактора G_i . Кроме того, определяются значения балльных оценок B_i для каждого фактора влияния.

С целью определения значений баллов факторов B_i в рамках каждого фактора выделены градации воздействий каждого фактора – признаки факторов Q_i . Назначение пороговых значений факторов для оценки признака каждого фактора, т.е. создание диапазона квантификационной шкалы, осуществлялось на основании действующей нормативной документации и, дополнительно, с учётом особенностей работы оборудования, анализа накопленной статистической информации об авариях на НПС, закладываемого уровня требуемой надёжности и т.д.

Для назначения баллов каждому признаку факторов Q_i использован метод нормирования, в котором каждый эксперт каждому признаку фактора ставит в соответствие оценку по 10-ти балльной шкале, отражающую интенсивность его влияния.

Этап 6. *Составление модели «обходного листа»*. По итогам математической обработки будет создан специальный «обходной лист» для технологических трубопроводов каждой конкретной нефтеперекачивающей станции. Проходя по пунктам такого «обходного листа», любой квалифицированный инженер сможет получить актуальную информацию о техническом состоянии оцениваемого объекта. Основная статья затрат здесь – разработка «обходного листа», после которой можно уже получать актуальную оценку технического состояния технологических трубопроводов конкретной нефтеперекачивающей станции.

Этап 7. Проведение оценки технического состояния технологических трубопроводов НПС. По полученной методике мы планируем провести оценку технического состояния технологических трубопроводов конкретных НПС.

Индекс технического состояния рассчитывается по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n G_i \cdot B_i,$$

где R – индекс технического состояния; n – общее количество факторов; G – весовой коэффициент каждого фактора; B_i – балльная оценка фактора.

Из вышесказанного можно сделать *вывод* о том, что разрабатываемый метод окажет положительное влияние на осведомлённость персонала и, в частности, лица, принимающего решение о работоспособности станции, путём получения оценки технического состояния технологических трубопроводов НПС исходя из силы негативных влияний и данных последнего исследования трубопроводов.

Заключение. Разработка методики экспертной оценки технологических трубопроводов НПС позволит получать относительную оценку технического состояния технологических трубопроводов конкретных НПС без больших затрат ресурсов предприятий, осуществляющих перекачку нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные аспекты оценки технического состояния технологических трубопроводов / Р.А. Шайбаков [и др.] // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2013. – № 4. – С. 258–270.
2. Классификация дефектов и методы ремонта дефектов и дефектных секций действующих магистральных нефтепроводов / ОАО «АК «Транснефть», 2007.
3. Орлов, А.И. Организационно-экономическое моделирование / А.И. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – Ч. 2: Экспертные оценки.

Поступила 06.06.2014

PROVIDING ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF TECHNOLOGICAL PIPELINES OF OIL PUMPING STATIONS OF BELARUS

A. STAKHEIKO, A. KULBEI

In this article authors consider a problem of an assessment of the technical condition in relation to the technological pipelines of oil pumping stations. In introduction it is spoken about existence of a problem of wear of the majority of the oil pumping stations connected with long service life. Negative impacts of accidents and failures are described. Problems of an assessment of technical condition of technological pipelines of oil pumping stations are described. Existing ways of an assessment of technical condition of a TP of PS are described and their shortcomings are revealed. Some solutions of a problem are presented and shortcomings of these ways are revealed. The alternative way of an assessment of technical condition of a TP of PS is offered. The algorithm of development and application of this way is described. Each stage of this algorithm is in detail described. Conclusions are drawn on relevance of development of a new way.

УДК 697.9

ВЫБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ИСПОЛНЕНИЯ ПРОФИЛЬНОГО ЛИСТА ОРЕБРЕНИЯ ТРУБНЫХ ПУЧКОВ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ТЕРМОЭКОНОМИКИ**В.А. ЗАФАТАЕВ***(Полоцкий государственный университет)*

Показана возможность выбора геометрического исполнения профильного листа оребрения трубного пучка водяного воздухоподогревателя с точки зрения приоритетности единовременных капиталовложений или эксплуатационных расходов при технологически оптимальном режиме работы теплообменника. Дана оценка энергоэффективности процесса теплопередачи в воздухоподогревателе для условий «сухого» теплообмена.

Повышение эффективности и полноты использования теплоты в теплообменных аппаратах в условиях недостатка в стране собственных источников энергоресурсов и роста цен на энергоносители является важным этапом национальной стратегии энергосбережения. Выполнение поставленной задачи следует начинать с изучения особенностей процесса передачи теплоты и в дальнейшем к его интенсификации и удешевлению, что сводится в итоге к необходимости проведения анализа и разработки методик математического моделирования теплообменных процессов, учитывающих сложную взаимосвязь конструктивных, термодинамических и экономических критериев.

Постановка задачи. Объект исследования – рекуперативные теплообменники-воздухоподогреватели с теплоносителем «вода», применяемые в системах вентиляции и кондиционирования воздуха [1].

При сравнении и оптимизации тепловых схем применяется метод математического моделирования [2], основанный на математическом выражении связей между определяемыми и определяющими параметрами. Математическая модель реального объекта есть некоторый математический объект, поставленный в соответствие данному физическому объекту. Основными задачами метода математического моделирования являются *создание математической модели-описания*, достаточно полно и точно отражающей физические процессы как в отдельных звеньях, так и в объекте в целом, и *реализация этой модели в виде алгоритма функционирования*. Разработка математических моделей теплоиспользующих установок и решение на их основе оптимизационных задач в некоторых случаях позволяет исключить необходимость проведения натурных экспериментов, сопряжённых с непропорционально большими затратами времени и материальных средств на их подготовку и проведение относительно получаемого эффекта оптимизации теплообменной установки. При этом охватываются термодинамические, расходные и конструктивные характеристики. Выбор варианта решения определяется способом постановки задачи оптимизации, выбором определяемых и определяющих критериев и заданием на них технических ограничений.

Оценка энергоэффективности процесса теплопередачи произведена для водяных воздухоподогревателей типа ВНВ с помощью разработанного в рамках НИР [3] алгоритма поверочного интервально-итерационного расчёта с определением показателей эффективности и формированием комплексного показателя эффективности воздухоподогревателя. Процесс теплообмена представлен в виде статической математической модели, в которой воздухоподогреватель рассматривается на макроуровне как гетерогенная среда, а геометрическая характеристика назначается для его функционального объёма, где производится осреднение локальных характеристик. Далее анализ эффективности теплообменника проводится по осреднённым значениям. Этот способ позволяет более корректно оценивать влияние геометрии на общую эффективность теплообменного аппарата, чем при использовании обобщённых характеристик теплообмена.

В качестве критерия оптимума выступают приведенные годовые затраты на единицу эксергии [4]. Они включают две основные статьи затрат: переменную составляющую, зависящую от требуемой мощности на прокачку теплоносителей через аппарат, стоимости теплоносителя, тепловой энергии на его получение, отчислений от инвестиций, интенсивности теплопередачи; постоянную составляющую, зависящую от величины поверхности теплообмена (она же определяет величину закупочных цен на оборудование и затрат на строительно-монтажные работы, подключение к сетям и пуско-наладку). В общем виде эту функцию можно представить следующим образом:

$$k = \frac{c_e}{\eta_e} + \frac{Iz}{E_n n}, \quad (1)$$

где c_e – удельная цена эксергии, руб./кДж; η_e – эксергетический КПД процесса; I – инвестиции, руб.; z – нормативный коэффициент окупаемости инвестиций; E_n – эксергетический эффект процесса, кДж/ч; n – годовое число часов эксплуатации установки.

В то же время последующий анализ результатов расчётов позволил выявить необязательность применения в подобной постановке оптимизационной задачи критериев эффективности на основе NTU [5],

относительного различия цен «продукта» и «топлива» r_k , эксергоэкономического фактора f_k [6] и эксергетического КПД Грассмана [7], так как они практически «не реагируют» на изменение варианта исполнения поверхности теплообмена в нагревателях одного класса. NTU фактически зависит от температурных напоров теплоносителей и никак не отражает изменение конфигурации оребрения. На величину эксергетического КПД Грассмана большое влияние оказывают потери потенциала (эксергии) потоков из-за гидравлических сопротивлений подогревателей, которые оказываются на порядок-два выше потерь потенциала (эксергии) от охлаждения потока. Во всех вариантах расчётов величина эксергоэкономического фактора f_k получается близкой к единице, что говорит о первостепенном влиянии на величину годовых эксергетических затрат экономических факторов издержек.

Исследовательская часть

Исходные данные: размеры корпуса $A_{\text{фронт}}$, $B_{\text{фронт}}$ аппарата (принимаются соответствующими модели № 9 ряда по ГОСТ 26548-85); геометрия теплопередающих элементов (рис. 1) [1]: для воздушонагревателей с синусоидальным оребрением: угол раскрытия гофр γ ; основание сектора b или шаг гофрировки S_R ; поперечная разбежка гофр a ; размеры фронтального сечения теплообменника $A_{\text{фронт}}$, $B_{\text{фронт}}$; H ; наружный диаметр трубок d_0 ; толщина стенки труб δ_1 и толщина пластин Δ ; шаг установки пластин S ; продольный и поперечный шаги труб S_1 , S_2 ; число поперечных рядов труб z_p ; две температуры из набора t'_1, t'_2, t''_1, t''_2 (могут быть заданы все четыре); температура отсчёта эксергии; давления теплоносителей P_1 и P_2 на входе [1]; схема тока [1]; оптимальная скорость одного из теплоносителей [8]; компоновка пучка труб [1]; величины тарифов на электро- и тепловую энергию; отчисления на закупку и монтаж установки и нагнетательных устройств [9–12]; годовое число часов и неравномерность эксплуатации установки.

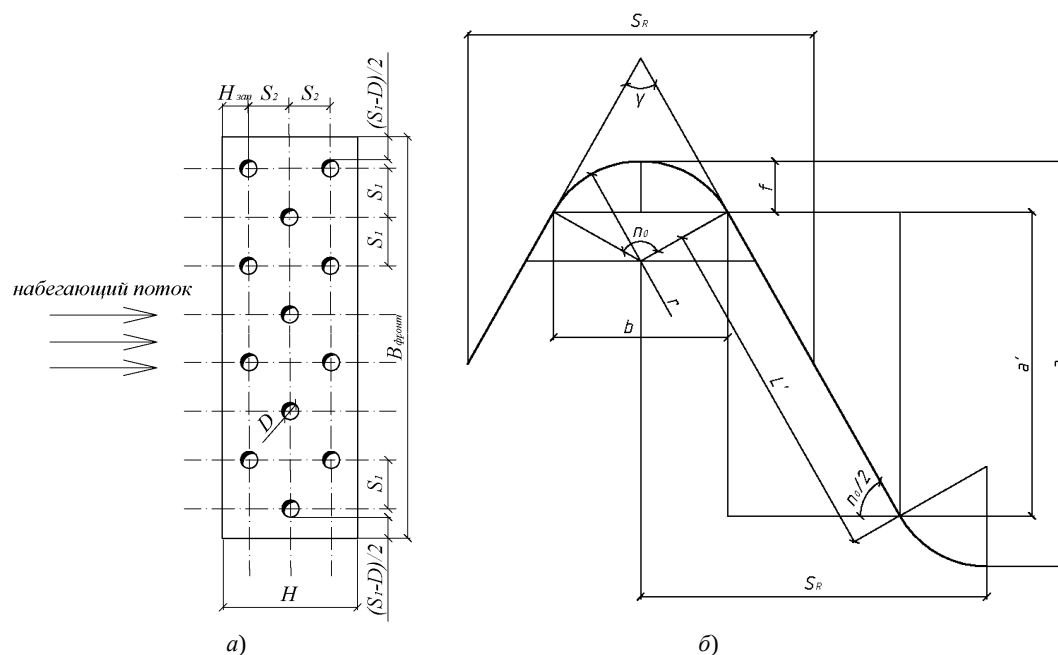


Рис. 1. Геометрические характеристики теплообменной поверхности:

a – вид шахматного пучка в обечайке воздушонагревателя; b – фрагмент синусоидальной гофры в разрезе

Габаритные размеры водяных трубчатых воздушонагревателей должны соответствовать ГОСТ 7201. При этом параметры оребрения могут изменяться в широких пределах.

Размеры обечайки $A_{\text{фронт}} = 905$ мм; $B_{\text{фронт}} = 503$ мм; $H = 80$ мм (три поперечных ряда трубок), $H = 100$ мм (4 поперечных ряда трубок); поперечный шаг трубок $S_1 = 50$ мм; продольный шаг $S_2 = 25$ мм; наружный диаметр медных трубок $d_0 = 12$ мм; толщина стенки трубки $\delta_1 = 0,4$ мм; шаг оребрения S принимается равным 1,8; 2,0; 2,5 и 4,5 мм; толщина листа оребрения $\Delta = 0,2$ мм; число ходов по горячей воде принимается $z_{\text{ход}} = 2$; 4; 6; 8; 10; технологически рекомендуемая скорость воды $w_{\text{воды}} = 0,8 \dots 1,5$ м/с.

Рассчитаны теплогидравлические и эксерго-экономические характеристики синусоидальных профильных листов оребрения с поперечной разбежкой гофр 4 мм, шагом оребрения 1,8, 2,5 и 4,5 мм. Угол раскрытия гофр $\gamma = 90^\circ$ и число ходов по воде $z_{\text{ход}} = 6$ не изменялись.

Из рассматриваемых конфигураций оребрения выберем ту, для которой годовые затраты, приведенные на единицу полезной эксергии, минимальны.

Результаты расчётов представлены в виде диаграмм (рис. 2–3).

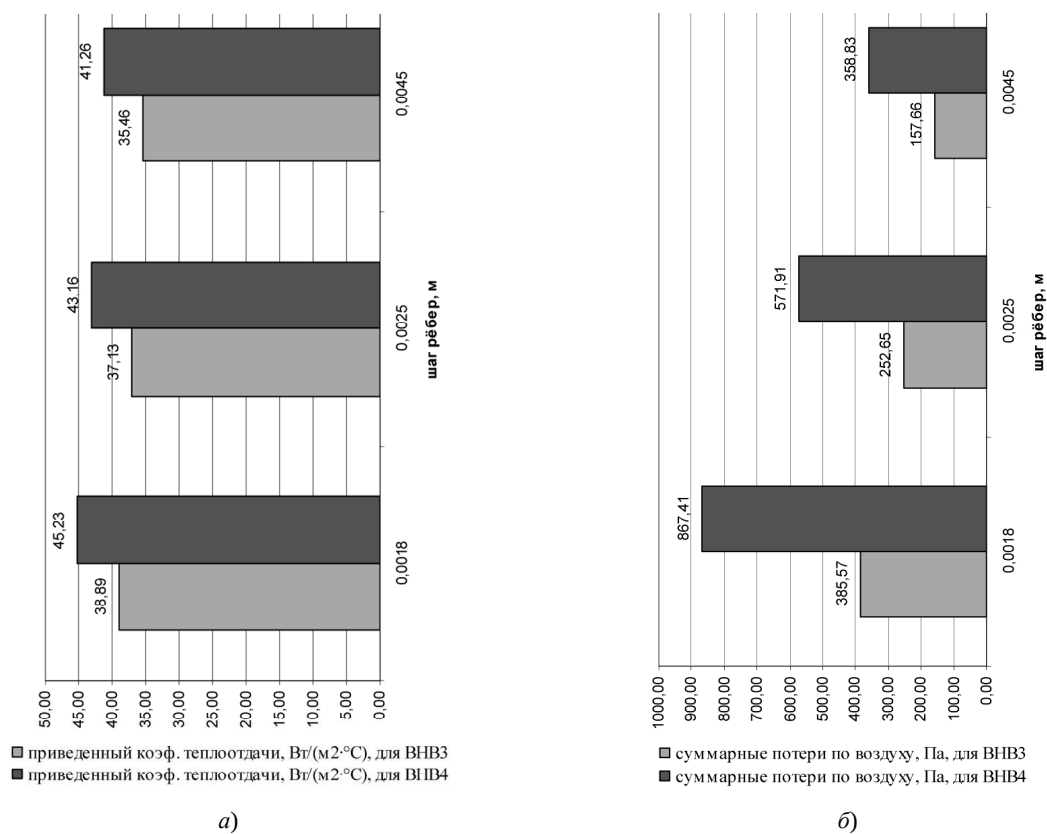


Рис. 2. Величина приведенного коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°С), (а) и суммарных потерь давления по воздуху, Па, (б) в зависимости от шага рёбер

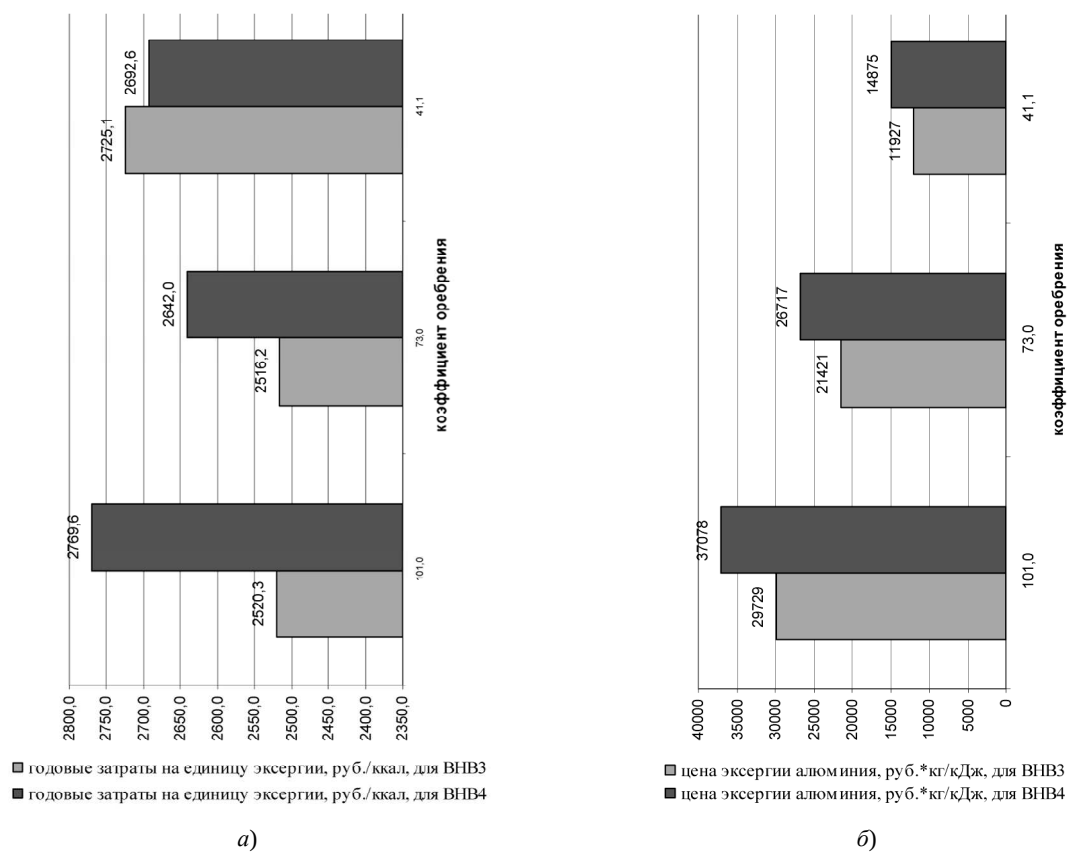


Рис. 3. Величина годовых эксергетических затрат, руб./ккал (а) и цена эксергии алюминия, руб./кг·кДж, (б) в зависимости от степени оребрения

Увеличение поперечной разбежки гофр при сохранении постоянного шага оребрения практически не влияет на величину коэффициента теплоотдачи к воздуху, что видно из диаграммы (рис. 4).

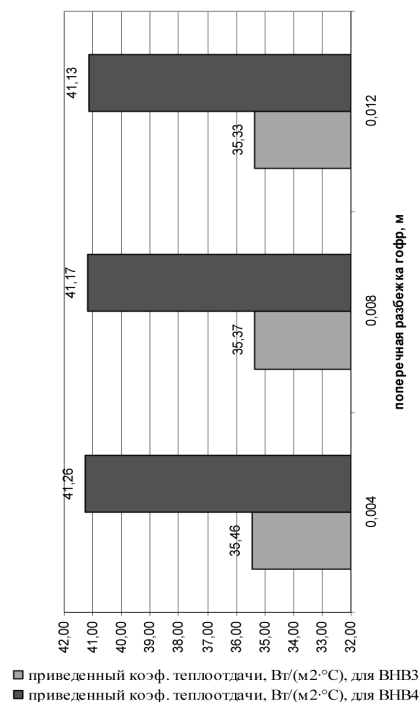


Рис. 4. Величина приведенного коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°C), в зависимости от поперечной разбежки гофр

Рассчитаны теплогидравлические и эксерго-экономические характеристики синусоидальных профильных листов оребрения с поперечной разбежкой гофр 4 мм, шагом оребрения 4,5 мм, число ходов по воде $z_{ход} = 6$. Увеличивался угол раскроя гофр γ . Результаты расчетов представлены в виде диаграмм (рис. 5–6).

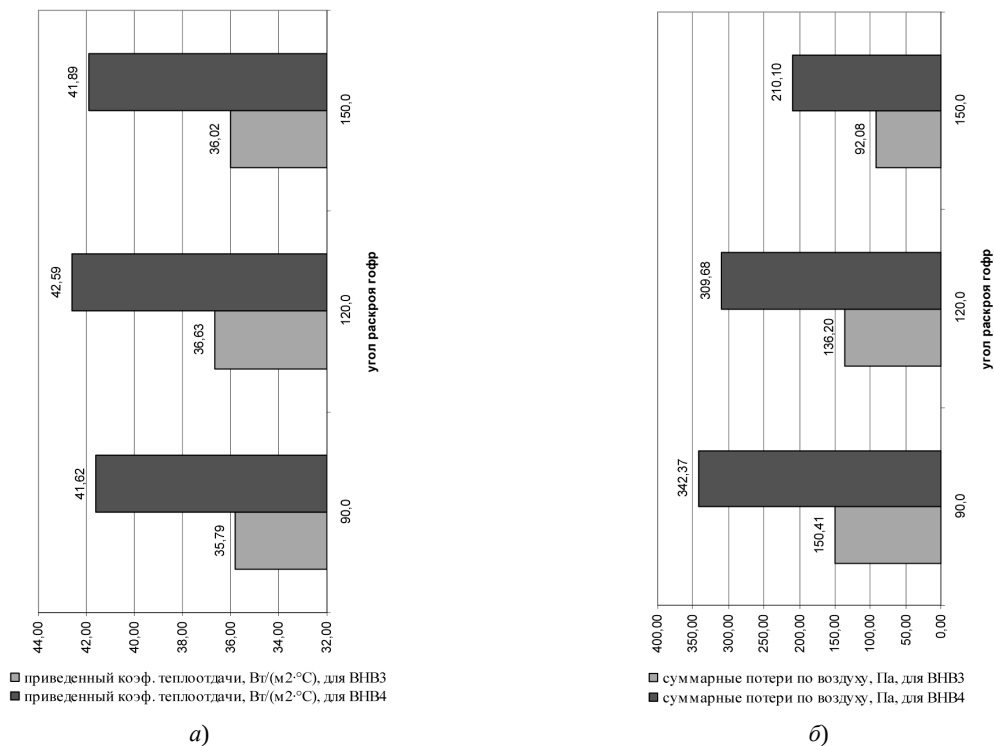


Рис. 5. Величина приведенного коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°C), (а) и суммарных потерь давления по воздуху, Па, (б) в зависимости от угла раскроя гофр

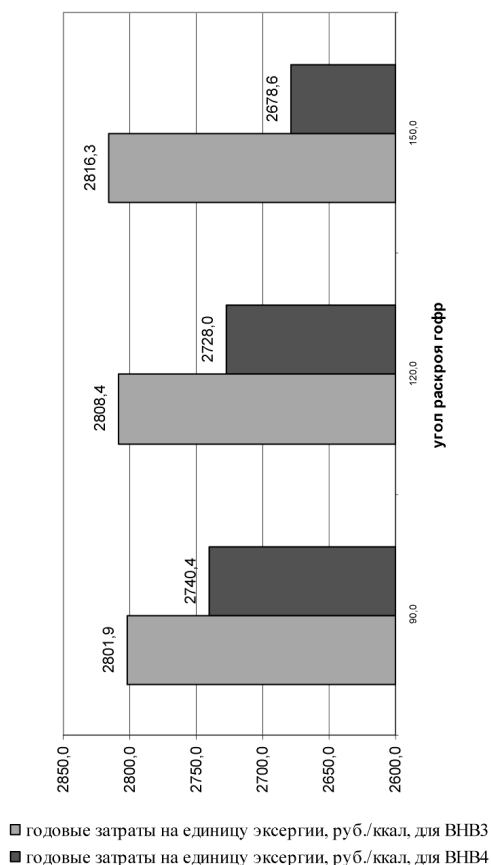


Рис. 6. Величина годовых эксергетических затрат, руб./ккал, в зависимости от угла раскря гофр

Результаты теоретических исследований. При увеличении шага оребрения S в 1,4...1,8 раз приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{пр}$ к воздуху уменьшается в среднем на 4,5 % (рис. 2, а), а потери давления по воздушному тракту падают на 34...38 % (рис. 2, б).

Минимум годовых эксергетических затрат наблюдается для установки с шагом оребрения $S = 2,5$ мм, о чем свидетельствуют данные, отображенные на рисунке 3, а. Если бы себестоимость воздушонагревателя находилась в прямой зависимости от цены термической эксергии металла оребрения [13], то самой недорогостоящей являлась бы модель с шагом оребрения $S = 4,5$ мм (рис. 3, б), но исходя из рисунка 3, а она же является самой энергоёмкой в эксплуатации из трёх сравниваемых конфигураций.

Угол раскря гофр $\gamma = 120^\circ$ позволяет достичь наибольших значений $\alpha_{пр}$ по воздуху (рис. 5, а), а потери давления по воздушному тракту с увеличением γ , как и ожидалось, уменьшаются, но по явно выраженной степенной зависимости (рис. 5, б).

Неоднозначную картину по годовым эксергетическим затратам сформировали определяющие параметры задачи (рис. 6). Детальное изучение хода расчёта позволило выявить особенность распределения инвестиционной и эксплуатационной составляющих в сравниваемых вариантах: инвестиционная – увеличивалась, а эксплуатационная – уменьшалась. При этом были отмечены два расчётных параметра, изменение которых оказало наибольшее влияние на итоговую картину – это площадь поверхности теплоотдачи со стороны воздуха и прирост его эксергии.

Заключение. Приведена графическая интерпретация количественной и качественной связи между физическими величинами и параметрами, влияющими на функцию годовых эксергетических затрат, полученная на основании разработанной автором математической модели сухого теплообмена в водяных рекуперативных воздухоподогревателях. Многообразие получаемых зависимостей ограничено лишь числом возможных постановок цели исследования и назначенной исследователем весомости целевых параметров.

Полученные результаты можно использовать для оценки энергоэффективности теплообменников-воздухоподогревателей в условиях эксплуатации, подбора оборудования, разработки технологических режимных карт работы по заданным характеристикам и условиям функционирования.

Достоверность полученных результатов обосновывается качественным совпадением выводов настоящей работы с выводами отечественных учёных, проводивших экспериментальные исследования конвективной теплоотдачи в рекуперативных теплообменниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бялый, Б.И. Тепломассообменное оборудование воздухообрабатывающих установок ООО «ВЕЗА» / Б.И. Бялый. – М.: ООО «Инфорт», 2005. – 280 с.
2. Кафаров, В.В. Оптимизация теплообменных процессов и систем / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, Л.В. Гурьева. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 191 с.
3. Оценка термодинамической и термoeкономической эффективности теплообменных установок: отчёт о НИР (заключ.) / Полоц. гос. ун-т; рук. темы Т.И. Королёва, отв. исп. В.А. Зафатаев. – Новополоцк, 2013. – 114 с. – № ГР 20130524.
4. Нитч, Р. К эксергетической теории формирования затрат / Р. Нитч // Энергия и эксергия: сб. ст.; под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1968. – С. 94–105.
5. Бажан, П.И. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селивестров. – М.: Машиностроение, 1989. – 367 с.
6. Тсатсаронис, Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Дж. Тсатсаронис; перев. Т.В. Морозюка. – Одесса: Студия «Негоциант», 2002. – 152 с.
7. Грассман, П. К обобщённому определению понятия коэффициента полезного действия / П. Грассман // Вопросы термодинамического анализа (эксергетический метод): сб. ст.; под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1965. – С. 15–27.
8. Сынков, И.В. Влияние турбулентности и неравномерности воздушного потока на теплогидравлические характеристики теплообменников систем кондиционирования воздуха: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / И.В. Сынков; Моск. энергет. ин-т. – М., 2007. – 176 л.
9. Ресурсно-сметные нормы на строительные конструкции и работы. Отопление – внутренние устройства: РСН 8.03.118-2007. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2007.
10. Ресурсно-сметные нормы на строительные конструкции и работы. Вентиляция и кондиционирование воздуха: РСН 8.03.120-2007. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2007. – 385 с.
11. Ресурсно-сметные нормы на монтаж оборудования. Теплосиловое оборудование: РСН 8.03.206-2007. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2007.
12. Ресурсно-сметные нормы на монтаж оборудования. Компрессорные машины, насосы и вентиляторы: РСН 8.03.207-2007. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2007.
13. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела; перев. Ю.И. Батурина и Д.Ф. Стржижовского. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.

Поступила 13.05.2014

**THE CHOICE OF PROFILE SHEET RIBBING GEOMETRICAL MODIFICATION
IN AIR-HEATERS TRUMPET BUNCHES VIA THE THERMOECONOMY METHOD**

V. ZAFATAYEU

The profile sheet ribbing geometrical modification choice possibilities in water air-heater trumpet bunch from the point of lump sum capital investments or running costs priority is shown at technologically optimal heat exchanger's operation mode. The energy-efficiency heat transfer process estimation in "dry" heat exchange conditions is given.

УДК 628.161.2

ВЛИЯНИЕ АЭРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИЮ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СЕРОВОДОРОДА

д-р техн. наук, проф. Ю.П. СЕДЛУХО; Ю.О. СТАНКЕВИЧ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Рассмотрен характер протекающих процессов при аэрации сероводородных вод. Установлена неэффективность применения аэрационных методов очистки подземных вод от сероводорода как самостоятельных. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению характера протекающих процессов в ходе аэрации и их влияния на состав и свойства сероводородных вод. Установлено, что основной причиной образования трудноудаляемой коллоидной серы является интенсивная аэрация обрабатываемой воды, которая используется в большинстве методов её очистки от сероводорода.

Введение. Одними из распространенных методов удаления сероводорода из подземных вод являются аэрационные. Наиболее известные из них – продувка, дождевание, фонтанирование, выветривание с поверхности в длинном желобе, пропуск через градирни. В свое время изучением данных методов занимались С.А. Дуров (1930–1934), А.А. Кастальский (1957), С.Н. Линевиц (1979) и другие ученые [1–3]. Предварительная аэрация обрабатываемой воды необходима также и при использовании физико-химических и биологических методов. Однако характер происходящих процессов при аэрации остается малоизученным до настоящего времени.

Особенности свойств сероводородных вод и методов их очистки. Принципиально важным при выборе способа удаления сероводорода является понятие того, что подразумевается под этим термином. Растворенный в воде сероводород – это суммарное содержание недиссоциированных молекул газообразного H_2S , ионов гидросульфида HS^- и, весьма редко, сульфидов S^{2-} (при $pH > 10$). Количественные соотношения между указанными формами приведены в таблице [4]. Соотношение определяется главным образом величиной pH воды, в меньшей степени влияют температура и минерализация.

Мольные доли сероводорода, гидросульфидов и сульфидов в воде
в зависимости от pH при температуре 25 °С и минерализации 0,5 г/дм³

pH	Мольная доля, %		
	H_2S	HS^-	S^{2-}
5,5	96,5	3,5	–
6	89,8	10,2	–
6,5	73,6	26,4	–
7	46,9	53,1	–
7,5	21,8	78,2	–
8	8,1	91,9	–
8,5	2,7	97,3	–
9	0,9	99,1	–
9,5	0,3	99,6	0,1
10	0,1	99,6	0,3
10,5	–	98,9	1,1
11	–	96,8	3,2

Таким образом, аэрация в качестве самостоятельного метода очистки сероводородных вод возможна только при небольших концентрациях сероводорода и низких значениях pH воды. Особо следует акцентировать внимание на том обстоятельстве, что при относительно небольшом изменении pH (даже на единицу) может измениться соотношением молекулярно растворенного H_2S и ионно-растворенного HS^- в 5...10 раз. Эта особенность сероводорода сводит к минимуму эффективность его удаления аэрацией, особенно при высоких значениях pH , так как при $pH > 8$ более 90 % сероводорода находится в виде гидросульфидного иона HS^- , удаление которого аэрацией невозможно. В подземных условиях сероводородсодержащая вода в отсутствие растворенного кислорода находится в восстановительных условиях, которые характеризуются низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала (E_h). Сдвиг этих условий в сторону окисления происходит в процессе насыщения воды кислородом воздуха и удаления растворенных газов (сероводорода и уголекислоты).

Дуровым С.А. были произведены исследования и сравнение эффективности следующих методов аэрации: продувка, дождевание, фонтанирование, выветривание с поверхности в длинном желобе, пропуск через градири [1]. При выветривании в желобе и продувке воздухом наблюдалась опалесценция обрабатываемой воды. С помощью градири удалось удалить всего лишь 60 % сероводорода. Из всех рассмотренных способов аэрации наилучший результат, по данным С.А. Дурова, дало фонтанирование. Однако дальнейшие, более тщательные исследования не были проведены. По утверждению С.А. Дурова, методы аэрирования не приводят к уменьшению прозрачности воды и дают высокий эффект очистки от сероводорода. Однако это утверждение противоречиво и вызывает много сомнений.

Кастальским А.А. было предложено удалять сероводород с помощью дегазатора с насадкой из пластмассовых или керамических колец, работающих в условиях противотока воды и воздуха, подаваемого вентилятором. Сам автор в своей работе [2] отмечал, что для очистки от сероводорода данным методом необходимо предварительное подкисление до $\text{pH} = 5$ или менее. Кастальским А.А. не были также решены проблемы образования элементарной серы и карбоната кальция. Поэтому даже хордовая насадка из деревянных реек имела некоторое преимущество перед насадкой из колец Рашига.

Вопросами дегазационной обработки сероводородных вод занимался С.Н. Линевич [3]. Исследования проводились на трех экспериментальных установках: дождевальной, барботажной колонке и дегазаторах с насадками из колец Рашига. В результате было установлено, что эффект удаления сероводорода на дождевальной установке составил 30 %, на барботажной колонке после 60 минут обработки – 56 %, на дегазаторах с кольцами Рашига – 56 %. После этих исследований С.А. Линевич предлагал метод удаления из воды сероводорода способом пенной дегазации и способом напорной аэрации. Было установлено, что при использовании пенной дегазации и закрытой аэрации можно повысить эффект удаления сероводорода из воды на 20...25 % [5]. Однако ни один из исследованных методов не смог обеспечить эффективное удаление сероводорода до норм, установленных для питьевой воды.

Как показали многочисленные исследования физико-химических методов (С.А. Дуров, А.А. Кастальский) и опыт эксплуатации станций биохимического удаления сероводорода (г. Ейск Краснодарского края, г. Великие Луки), применение аэрационных процессов неразрывно связано с образованием трудноудаляемой коллоидной серы. Она придает воде мутность и молочную окраску.

Это связано с тем, что сероводород относительно легко окисляется кислородом воздуха и при использовании биохимических методов возникает необходимость применения коагулянтов, флокулянтов и дополнительных методов осветления. Это обстоятельство вызывает необходимость усложнения технологических схем и приводит к существенному увеличению себестоимости очистки. Кроме того, в процессе аэрации происходит десорбция CO_2 и H_2S , что приводит к увеличению pH и нарушению сульфидно-карбонатного равновесия и, как следствие данного процесса, зарастанию («цементация») насадок [2; 3].

Механизм протекания аэрационных процессов при очистке сероводородных подземных вод и возможность предотвращения вышеупомянутых недостатков не изучены до сих пор в полном объеме. В различных литературных источниках не существует единого мнения и данных о необходимой степени аэрации, особенно при биохимическом удалении сероводорода.

Вопросом очистки подземных вод от сероводорода биохимическим методом начал заниматься еще в 1956 году В.Д. Плешаков [6]. Предложенная им технология была реализована на станции водоподготовки г. Ейска Краснодарского края. Сероводородные воды Ейской провинции распространяются от побережья Азовского моря в юго-восточном направлении от Ейска до станицы Атаманская с убыванием концентрации сероводорода от 50 мг/л до 1...3 мг/л [4]. Метод, предложенный В.Д. Плешаковым, представлял собой сочетание частичной десорбции сероводорода аэрацией и биологического окисления серобактериями. Окисление сероводорода происходило в аэроокислителе с усиленной аэрацией – традиционном биофильтре с искусственной вентиляцией. Автор считал, что окисление осуществлялось тионовыми бактериями типа *Th. thioragus*. Вода в аэроокислителе, загруженном шлаком, разбрызгивалась оросителем. С помощью вентилятора снизу в аэроокислитель подавался сжатый воздух. После аэроокислителя вода поступала на загруженные песком скорые фильтры, где осуществлялась механическая очистка от серы и биопленки. Для интенсификации процесса перед фильтрами вводился коагулянт. Как показал опыт эксплуатации водоочистных сооружений Ейска, вследствие десорбции свободной двуокиси углерода вода становилась нестабильной по карбонату кальция, нагрузка зарастала и выходила из строя. Усиленная аэрация являлась причиной образования трудноудаляемой коллоидной серы, что потребовало доочистки обрабатываемой воды.

С учетом исследований В.Д. Плешакова, Г.Ю. Ассом был разработан биохимический метод удаления сероводорода из подземных вод с использованием аэрируемого биореактора и последующего фильтрования [7]. Реактор для биохимического окисления представлял собой резервуар, загруженный щебнем или гравием. На дне располагались две системы дырчатых труб: одна – для распределения воды, другая – для воздуха. Сероводородная вода пропусклась снизу вверх через затопленную зернистую загрузку и при этом барботировалась воздухом. Через 2...3 недели развивались микроорганизмы, окис-

ляющие сероводород до серы и сульфатов. Для интенсификации процесса в воду добавлялись биогенные элементы: азот (N) и фосфор (P).

Вода очищалась от сероводорода на 90...95 % за 30 мин – 1 час пребывания ее в установке при расходе воздуха 3...5 м³ на 1 м³ воды. Такая эффективность не обеспечивала нормативного содержания сероводорода в питьевой воде (0,003 мг/л), поэтому на заключительном этапе обработки воды предусматривалось хлорирование, коагуляция и фильтрование через песчаные фильтры

Впервые в работах Г.Ю. Асса отмечалось, что интенсивная аэрация не способствует процессу биохимической очистки. Данный факт был подтвержден в опытах Г.А. Соколовой и Г.И. Каравайко [8]. Оптимальный эффект очистки обнаружился при интенсивности аэрации: 1 объем воздуха на 1 объем воды ($rH_2 = 13...16$). При интенсивной аэрации, равной 10 объемам на 1 объем воды ($rH_2 = 20...23$), эффект очистки ухудшался.

Технология, предложенная Г.Ю. Ассом, была реализована на станции водоподготовки в Великих Луках. Однако она не исключает образование элементарной серы, придающей воде опалесценцию, а одноступенчатый биохимический процесс не обеспечивает снижение концентрации сероводорода до нормативных требований (0,003 мг/л). Опыт работы станции в Великих Луках послужил основанием для рекомендации применения этой технологии Пособием к СНиП 2.04.2-84 [9].

Результаты экспериментальных исследований по определению влияния аэрационных процессов на состав и свойства сероводородных вод. Для более полного понимания характера протекающих процессов в ходе аэрации и их влияния на состав и свойства исследуемых сероводородных вод нами были проведены экспериментальные исследования на реальной сероводородной воде станции Староминская Краснодарского края. Концентрация сероводорода составила 2,5 мг/л, $pH = 8,55$, $E_h = -230$ мВ. Для эксперимента в емкость отбиралось 6...8 л воды непосредственно из скважины объекта исследования, которая непрерывно аэрировалась микрокомпрессором в течение 1,5 ч. Через определенные промежутки времени (15 мин) отбирались пробы воды, в которых определяли pH , концентрации растворенного кислорода O_2 и сероводорода H_2S , температуру, E_h и rH_2 .

Одним из основных показателей, характеризующих способность к окислению тех или иных соединений в воде, является окислительно-восстановительный потенциал (E_h), который при определенных значениях pH определяет состояние этих соединений (диаграммы Пурбе). Более определенным показателем окислительных или восстановительных свойств системы является величина rH_2 , которая нивелирует влияние pH :

$$rH_2 = E_h / 0,029 + 2 pH. \quad (1)$$

Суммарная концентрация сероводорода определялась фотометрическим методом с N, N-диметил-п-фенилендиамин по РД 52.24.450-2010. Прежде всего, необходимо отметить, что все изменения состава и свойств аэрированной воды связаны исключительно с физико-химическими процессами, так как ввиду практического отсутствия растворенного кислорода и серобактерий в исходной воде влияние биохимических процессов не может быть существенным. Результаты исследований представлены на рисунках 1 и 2.

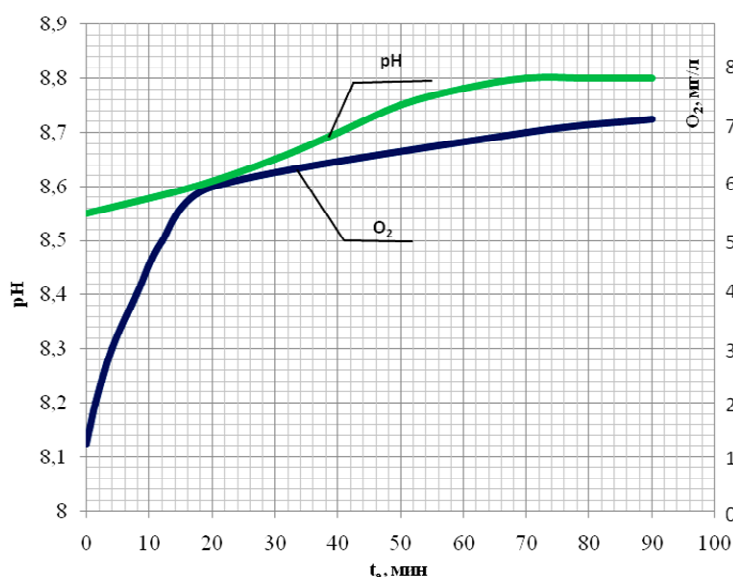


Рис. 1. Изменения величины pH и концентрации растворенного кислорода O_2 в период аэрации

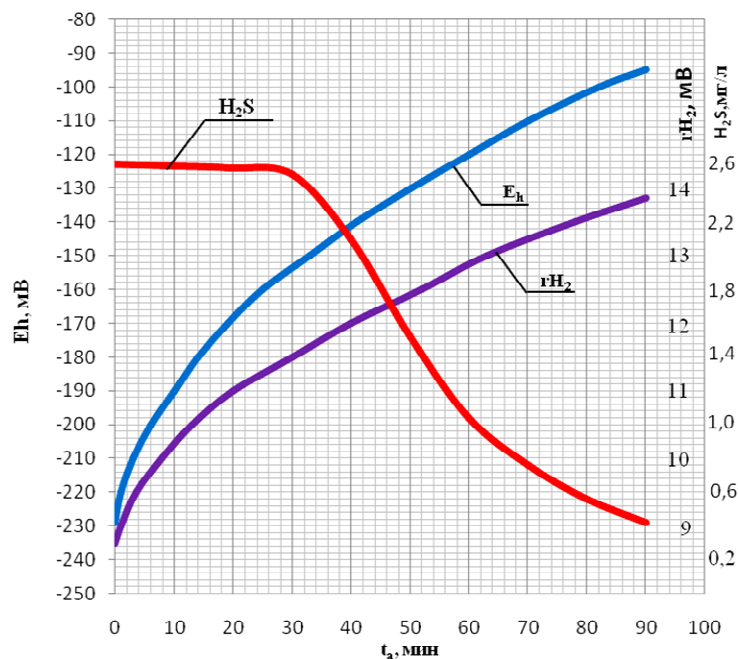


Рис. 2. Изменение концентрации сероводорода H_2S и окислительно-восстановительного потенциала в период аэрации

Анализ результатов выполненных исследований показал, что значение pH исследуемой воды за 30-минутный период аэрации возрастает незначительно (на 0,1...0,15), а за 1,5 часа на 0,2...0,25 единиц. Это свидетельствует об относительно небольшом содержании свободной углекислоты (см. рис. 1).

По мере насыщения воды кислородом (через 30 минут) вода вначале приобретала черноватый оттенок, что связано с образованием сульфидов железа. При последующем аэрировании вода становилась белой, что вызвано образованием коллоидной серы. Этому соответствует и характер изменения концентрации сероводорода, которая в первые 30 минут была практически неизменна, а за последующие 60 минут снизилась с 2,5 до 0,4 мг/л. При этом E_h возрос с -230 до -95 мВ, rH_2 — с 9,2 до 14,3 (см. рис. 2).

Практически неизменная концентрация сероводорода в первые 30 минут аэрации при постоянно растущем уровне растворенного кислорода свидетельствует о низкой эффективности его отдувки. Согласно данным в вышепредставленной таблице при значениях pH = 8,55 только около 2 % его находится в виде растворенного газа. А основная масса сероводорода (98 %) находится в виде гидросульфид-ионов (HS^-), которые достаточно эффективно окисляются кислородом до элементарной серы, что подтверждает резкое снижение сероводорода в последующие 60 минут при практически неизменной концентрации кислорода в воде.

Проведенные исследования показали, что при высоких значениях pH эффективность отдувки сероводорода весьма низкая, а его окисление кислородом воздуха протекает не полностью и зависит от интенсивности аэрации и степени насыщения воды кислородом. При насыщении до 50 % его растворимости окисление практически не происходит.

Таким образом, установлено, что основной причиной образования трудноудаляемой коллоидной серы является интенсивная аэрация обрабатываемой воды, которая используется в большинстве методов очистки воды от сероводорода. Удаление коллоидной серы требует применения дополнительных методов очистки (коагуляция, флокуляция, осветление).

В то же время исследованиями С.Н. Виноградского установлено, что нитчатые серобактерии окисляют сероводород в две стадии [10]:



Особенность этого процесса заключается в том, что в первой стадии сероводород окисляется до элементарной серы и накапливается в виде глобул внутри микробной клетки. При этом коллоидная сера в объеме воды не образуется. На второй стадии при недостатке сероводорода серобактерии окисляют внутриклеточную серу до серной кислоты, которая нейтрализуется избыточной щелочностью воды с образованием безвредных сульфатов.

Закключение. Полученные результаты проведенных исследований дают основание для следующего предположения: при умеренном насыщении воды кислородом воздуха, обеспечивающем только достаточные аэробные условия развития серобактерий, можно реализовать эффективный процесс биохимического окисления сероводорода и его производных с фиксацией образовавшейся серы внутри микробных клеток. Это позволит избежать образования трудноудаляемой коллоидной серы, карбонатных обложений и загазовывания воздушной среды сероводородом, что неизбежно имеет место при интенсивной аэрации. Реализация двухступенчатого биохимического процесса может существенно упростить технологическую схему, обеспечить глубокую очистку воды от сероводорода без применения химических реагентов и снизить ее себестоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дуров, С.А. Очистка питьевой воды от сероводорода / С.А. Дуров. – Ростов н/Д: АЗЧЕРКУКХ, 1935. – 99 с.
2. Кастальский, А.А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки / А.А. Кастальский. – М.: Стройиздат, 1957. – 120 с.
3. Линевиц, С.Н. Очистка природных и сточных сероводородных вод: учеб. пособие / С.Н. Линевиц. – Новочеркасск, 1979. – 56 с.
4. Алексин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алексин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 413 с.
5. Линевиц, С.Н. Применение метода контактной коагуляции в технологии обработки сероводородных вод и некоторые вопросы работы контактных осветлителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Линевиц. – Новочеркасск, 1958. – 18 с.
6. Плешаков, В.Д. Удаление сероводорода из артезианских вод / В.Д. Плешаков. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1956. – 44 с.
7. Золотова, Е.Ф. Очистка воды от железа, фтора, марганца сероводорода / Е.Ф. Золотова, Г.Ю. Асс. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
8. Соколова, Г.А. Физиология и геохимическая деятельность тионовых бактерий / Г.А. Соколова, Г.И. Каравайко. – М.: Наука, 1964. – 334 с.
9. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84): утв. приказом НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Памфилова от 09.04.1985 № 24. – М.: Изд-во ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 76 с.
10. Виноградский, С.Н. Микробиология почвы: Проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований / С.Н. Виноградский. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1952. – 792 с.

Поступила 16.04.2014

THE IMPACT OF AERATION PROCESSES ON THE METHODS AND TECHNOLOGY OF PURIFICATION OF UNDERGROUND WATER FROM HYDROGEN SULFIDE

Y. SEDLUHO, Y. STANKEVICH

This article considers the nature of the processes during aeration sulfurous waters. The inefficiency of application of aeration methods of purification of underground waters from hydrogen sulfide as independent is established. The results of experimental studies to determine the impact and nature of the processes during aeration on the composition and properties of hydrogen sulfide waters. It is established that the main reason for stubborn colloidal sulfur is intensive aeration of processed water is the most widely used methods of water purification from hydrogen sulfide.

УДК 534.142

УСТАНОВКА ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГАЗОВЫХ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д.В. НОВОСЕЛЬЦЕВА*(Брестский государственный технологический университет)*

Предложена установка для термического обезвреживания газовых и вентиляционных выбросов с использованием процесса слоевого пульсирующего горения, отличающаяся малошумностью работы, возможностью дожигания вредных газообразных компонентов низких концентраций в выбросах, с наличием встроенного теплообменника-утилизатора теплоты уходящих газов и возможностью частичной рециркуляции выбросного газа в зону горения.

Введение. Одной из важнейших проблем в природоохранной деятельности является защита атмосферы от загрязнений, которые в значительных масштабах выбрасываются различными источниками, в основном промышленными. Присутствие в атмосфере дурнопахнущих веществ создает дискомфортные условия жизни людей. В то же время границы такой зоны дискомфорта не являются фиксированными, а зависят от направления и скорости ветра.

Химический состав дурнопахнущих веществ биологического происхождения многократно изучался учеными разных стран, в результате было показано, что это хорошо известные соединения: сероводород, меркаптаны, индол и скатол, одновременное присутствие которых в воздухе в определенных соотношениях вызывает резкий неприятный запах. Концентрации каждого компонента в составе дурнопахнущих веществ часто низкие и часто не превышают ПДК. Единственный способ решения этой проблемы – очистка газообразных отходов от дурнопахнущих веществ перед его выбросом в атмосферу. Очистка технологических выбросов осуществляется уже много десятилетий, поэтому накоплен большой опыт, позволяющий в каждом конкретном случае выбрать оптимальный вариант такой очистки. В любом случае это не улавливание (накопление) дурнопахнущих соединений, а их деструкция – окисление в конечном счете до CO_2 и H_2O , а сернистых соединений – до сульфатов. Наиболее простым и самым известным способом очистки таких газов является термическое дожигание. Однако при низких концентрациях загрязняющих веществ эффективность данного метода (как в принципе и других) существенно снижается. Возможно создание высокоэффективных огневых устройств, в том числе для термического обезвреживания промышленных отходов, на основе процесса пульсирующего горения. В [1] и [2] было показано, что при пульсирующем горении скорость химической реакции увеличивается, а следовательно увеличивается и эффективность очистки.

Установка со слоевым пульсирующим горением. Топочные устройства, применяемые для обезвреживания газовых выбросов отходов, использующие известные способы сжигания топлив, имеют некоторые недостатки. Для сжигания газовых выбросов целесообразно использование высокоэффективного способа сжигания топлива – пульсирующего горения. Физическая картина слоевого пульсирующего горения следующая [5]. В любой трубе могут происходить свободные колебания газового столба. Если в момент сжатия нагревать газ, то газовая система способна производить работу расширения, по аналогии с циклом тепловой машины. В момент расширения теплоподвод к газу должен быть минимальным. Проникая через слой, воздух получает тепло при движении снизу вверх и почти не подогревается в противоположном направлении (при смещениях, о которых идет речь). Акустическое смещение максимально по

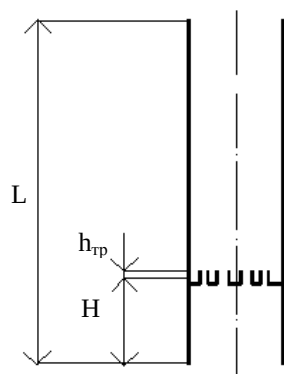


Рис. 1. Устройство со слоевым пульсирующим горением

торцам трубы, поэтому эффект переменного теплоподвода максимален в этих местах, однако он должен реализовываться в фазе сжатия, т.е. зону горения необходимо размещать между пучностями давления и скорости (пучность акустических смещений и узел давлений находятся на торце трубы, а узел смещений и пучность давления – посередине трубы). Таким образом, горящее топливо должно располагаться на $\frac{1}{4}$ от нижнего торца трубы.

На рисунке 1 показан пример возможного автоколебательного пульсационного устройства со слоевым пульсирующим горением. В вертикальном канале на $\frac{1}{4}$ от нижнего торца трубы установлена горелка в виде плоскости с трубками. В пространство между трубками подается жидкое топливо или жидкие горючие отходы, которые поджигаются снизу или сверху пусковым факелом, пары топлива загораются над горелкой, за счет самотяги или принудительной тяги продукты сгорания движутся вверх, воздух поступает снизу. В канале устанавливается стоячая акустическая волна.

Существует устройство для обезвреживания газовых выбросов [3], в котором обезвреживание происходит путем воздействия на газовые выбросы пульсирующего потока продуктов сгорания камеры *факельного* пульсирующего горения и в слое огнеупорного кускового материала, где реагенты окисляются кислородом воздуха при наличии высокой температуры и пульсаций. Однако в этой установке применяется камера факельного пульсирующего горения, которая излучает высокий уровень шума (110...120 дБА).

Известно устройство для обезвреживания газовых выбросов [4], в котором обезвреживание происходит путем воздействия на газовые выбросы пульсирующего потока продуктов сгорания камеры *слоевого* пульсирующего горения и в слое огнеупорного кускового материала, где реагенты окисляются кислородом воздуха при наличии высокой температуры и пульсаций.

Недостатки этих установок – отсутствие устройств для дожигания газовых выбросов, большие бесполезные теплотери корпуса устройства.

Таким образом, целесообразно создание простой и недорогостоящей установки для обезвреживания газовых выбросов с устройством по их дожиганию для снижения концентраций вредных веществ. Нами предлагается установка для обезвреживания газовых выбросов со слоевым пульсирующим горением, показанная на рисунке 2.

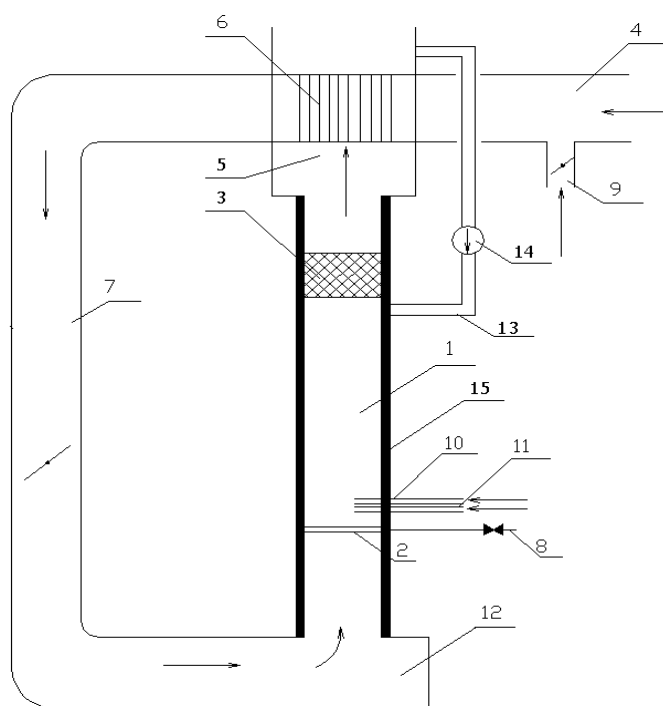


Рис. 2. Установка для обезвреживания газовых выбросов со слоевым пульсирующим горением

Установка для обезвреживания газовых выбросов работает следующим образом. В слоевую горелку 2, представляющую собой коробку с соплами для жидкого и газообразного топлива и отверстиями для воздуха, расположенную на $\frac{1}{4}$ длины цилиндрического резонирующего канала 1, по топливопроводу 8 подается топливо, а воздух поступает из приемного газохода 4 вместе с обезвреживаемым газовым выбросом, подаваемым по патрубку 9, в количестве, необходимом для горения топлива и окисления обезвреживаемых веществ (коэффициент избытка воздуха больше 1). При помощи электросвечи или любым другим запальником, не показанным на чертеже, топливо загорается. Обезвреживаемый выброс и воздух, необходимый для горения топлива и окисления газовых выбросов, подается к горелке снизу – из короба 12 по соединительному газоходу 7. В том случае, когда обезвреживается особо ядовитый выброс с малой концентрацией и расходом, чтобы избежать его разбавления и утечки, предусмотрена подача непосредственно в зону горения выброса по патрубку 10 и окислителя топлива по патрубку 11. Продукты сгорания топлива и основная часть прореагировавшего выброса движутся по цилиндрическому резонирующему каналу 1 через слой огнеупорного кускового материала 3, занимающий все его сечение и расположенный на $\frac{3}{4}$ длины цилиндрического резонирующего канала 1 от его нижнего торца. Непрореагировавшие органические вещества разлагаются на поверхности кускового огнеупора под действием высокой температуры и пульсаций. В цилиндрическом резонирующем канале 1 газы движутся вверх в пульсирующем режиме.

Обработанные газовые выбросы далее проходят через поверхностный теплообменник 6, нагревая поступающий на обезвреживание выброс и воздух для горения, и выбрасываются наружу через выхлопной газоход 5. При наличии в уходящих из установки дымовых газах большого количества остаточных концентраций вредных веществ включается осевой вентилятор 14 и по трубопроводу для частичной рециркуляции газовых выбросов 13 подает непосредственно перед слоем огнеупорного кускового материала 3 в цилиндрический резонирующий канал 1 на дожигание до 50 % общего удаляемого объема выбросов. За счет утеплителя 15, который расположен с обеих сторон цилиндрического резонирующего канала, отсутствуют бесполезные потери теплоты установки в окружающую среду и устойчивее режим слоевого пульсирующего горения. Техничко-экономический эффект заключается в небольшой стоимости установки и ее стабильной работе по обезвреживанию газовых выбросов за счет применения процесса слоевого пульсирующего горения, утепления цилиндрического резонирующего канала, отсутствия проскока вредных веществ в уходящих дымовых газах за счет применения рециркуляции.

Целью проведенных нами экспериментальных исследований (рис. 3) являлось определение эффективности очистки газообразных отходов низкой концентрации термическим окислением в стационарных и нестационарных условиях на примере модельного газа.



а)



б)

Рис. 3. Экспериментальная установка:
а – измерение концентраций газа; б – измерение пульсаций давления

При проведении эксперимента в качестве модельного газа использовался сероводород – сильный яд, вызывающий острые и хронические отравления. Этот газ оказывает местное раздражающее и общетоксическое действие; порог осязаемости его запаха составляет 0,014...0,03 мг/м³; основными источниками являются предприятия по изготовлению сахара, коксохимической, текстильной и кожевенной промышленности, нефтеперерабатывающие, нефтепромыслы, а также канализационные сети.

Экспериментальные исследования показали, что применение устройств на основе пульсирующего горения для очистки выбросов низкой концентрации (например, для термического обезвреживания запахов) более эффективно по сравнению с устройствами, использующими традиционные способы сжигания [2].

Заключение. В результате проведенных экспериментальных исследований предложена впервые усовершенствованная конструкция установки со слоевым пульсирующим горением для обезвреживания газовых выбросов. Эта установка может быть использована на промышленных предприятиях для обезвреживания газовых и вентиляционных выбросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новосельцева, Д.В. Суммарное действие нестационарного давления и температуры на скорость химической реакции / Д.В. Новосельцева // Вестн. БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – 2013. – № 2.
2. Северянин, В.С. Экспериментальные исследования эффективности обезвреживания газовых выбросов в пульсирующем потоке / В.С. Северянин, Д.В. Новосельцева // Вестн. БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – 2014. – № 2.
3. Авторское свидетельство: а. с. СССР 1779882, F 23G 7/06.
4. Способ обезвреживания газовых выбросов: пат. 3430 Респ. Беларусь, F 23G 7/06, F 23J 15/00 / В.С. Северянин; заявитель Брестский политехн. ин-т. – № 970281; заявл. 29.05.1997; опубл. 30.06.2000 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2000.
5. Технологическое пульсационное горение / под ред. В.А. Попова. – М.: Энергоатомиздат, 1993.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю профессору Северянину Виталию Степановичу за постановку задачи исследования, выбор направления дальнейших научных поисков.

Поступила 30.05.2014

INSTALLATION FOR NEUTRALIZATION OF GAS AND VENTILATION EMISSIONS OF AGRICULTURAL OBJECTS

D. NOVOSELTSEVA

The article suggests the installation of thermal neutralization of gas and air emissions and using the workflow layer pulsating combustion, differing by low-noisiness, possibility of harmful low concentration gaseous components reburning in air emissions, with the built-in utilizer of leaving gases heat and the possibility of leaving gases partial recirculation in a burning zone.

ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ

УДК 528.482

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНА СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

канд. техн. наук, доц. А.М. ДЕГТЯРЕВ; канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ
(Полоцкий государственный университет)

На основе анализа современных методов производства и обработки геодезических измерений рассматривается возможность более качественного и эффективного определения кренов сооружений башенного типа. Показано преимущество использования современных методов для решения подобных задач как с точки зрения измерений, например, электронными тахеометрами, так и с точки зрения вычислений, используя, в частности, встроенные алгоритмы оптимизации, или метода Каса на основе метода наименьших квадратов. Выявлены некоторые дополнительные факторы, влияющие на точность решения задачи, такие как выраженная несферичность и неровность поверхности конструкций, требующие учета и исследования. Даются рекомендации по рациональному использованию предложенных методик.

Введение. Ряд важных геодезических работ за счет их измерительной и вычислительной сложности ранее выполнялся с использованием разного рода упрощений и приближений. Очевидно, что в некоторых случаях это приводило к значимой потере точности полученных результатов, но давало выигрыш во времени. С бурным развитием в геодезическом производстве измерительных и вычислительных средств необходимость в ряде упрощений и приближений отпадает, а рационально используя эти средства, мы незначительно увеличив затраты времени, сохраним высокую точность и продуктивность. Один из таких видов работ – это наблюдение за деформациями в виде крена инженерных сооружений башенного типа.

К сооружениям башенного типа относятся: дымовые и вентиляционные трубы, градирни, ректификационные колонны, грануляционные башни, копры над стволами шахт, водонапорные башни, радиотелевизионные антенные опоры, силосные башни и другие сооружения.

Крен – наиболее характерный показатель общей деформации высокого сооружения. Он возникает из-за неравномерных осадок фундамента, изменения гидрогеологии несущих грунтов, тектонических и техногенных процессов, искривлений верхней части конструкции и других факторов. Существенное влияние на величину и направление крена оказывают ветровые нагрузки и односторонний солнечный нагрев, в результате чего верх сооружения совершает амплитудно-частотные колебания.

Существует значительное количество способов определения крена высоких зданий и сооружений башенного типа:

- способ координат;
- способы на основе угловых измерений;
- способ вертикального проектирования;
- способы на основе нивелирования;
- способы с применением клинометров;
- способ с использованием лазерного сканирования;
- способы с использованием GPS-приемников;
- комбинированные;
- некоторые другие способы.

Постановка задачи. В статье [1] профессора Г.А. Шеховцова предлагается новый способ определения крена высоких сооружений башенного типа круглой формы (например, дымовых труб, градирен, нефтехранилищ и т.п.) с помощью электронного тахеометра. Современные электронные тахеометры позволяют измерять расстояния без отражателя до 200...500 и более метров с точностью 1...3 мм и, помимо прочего, определять координаты точек визирования. Способ назван автором «односторонний координатный», в отличие от других (например, от известного способа направлений), этот способ не требует видимости образующих такого сооружения, для его реализации достаточно наблюдать лишь часть тела сооружения.

Сущность способа заключается в следующем (рис. 1). Устанавливают прибор на некотором расстоянии от сооружения и в произвольной системе прямоугольных координат определяют координаты

любых трёх точек, расположенных в заданном сечении. Предполагая, что сечение имеет форму окружности по всей форме, записываем координатное уравнение окружности:

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = R^2, \quad (1)$$

где x_0 и y_0 – координаты центра сооружения.

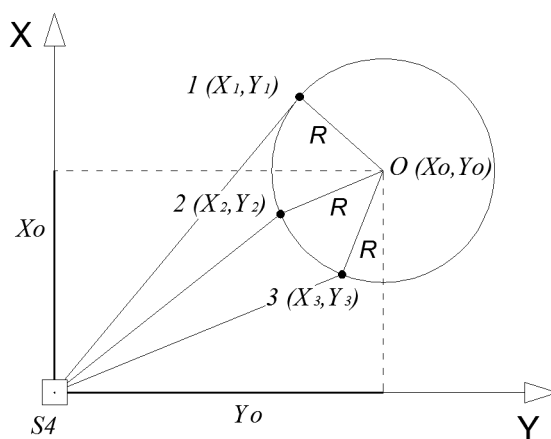


Рис. 1. Схема определения крена односторонним способом

Для определения координат центра окружности при неизвестном радиусе необходимо решить систему из трех уравнений, используя координаты определенных точек:

$$\begin{aligned} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 &= R^2, \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 &= R^2, \\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 &= R^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Предлагается вычисления производить по следующим формулам:

$$x_0 = \frac{\Delta_x}{\Delta}; \quad y_0 = \frac{\Delta_y}{\Delta},$$

где

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix} = 4(x_1 - x_2) \cdot (y_1 - y_3) - 4(x_1 - x_3) \cdot (y_1 - y_2);$$

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} 2(x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix};$$

$$\Delta_x = 2(y_1 - y_3)((x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2)) - 2(y_1 - y_2)((x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2));$$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} 2(y_1 - y_2) & (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \\ 2(y_1 - y_3) & (x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2) \end{vmatrix};$$

$$\Delta_y = 2(y_1 - y_2)((x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2)) - 2(y_1 - y_3)((x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2)).$$

Также рекомендуется для повышения точности и надёжности получаемых результатов увеличить количество наблюдаемых точек. Тогда для четырёх точек получаем четыре значения координат центра: для пяти – десять значений, для шести – двадцать, и т.д. В качестве конечных результатов берутся соответствующие средние.

Анализ методики измерений и вычислений, предложенной Г.А. Шеховцовым, позволяет сделать выводы, что по ряду причин односторонние наблюдения для определения крена сооружений башенного типа не всегда оптимальны, а методика обработки может дать приближенные конечные результаты.

Цель данной работы – доказать практически результаты анализа и предложить более оптимальную схему измерений и вычислений, решающую поставленную задачу с наименьшей потерей точности и наименьшими временными затратами.

Решение. Для практического доказательства были взяты данные определения крена дымовой трубы высотой 120 м двумя методами: методом прямой угловой засечки (эталон) и односторонним координатным способом (предложен Г.А. Шеховцовым). Схема измерений и результаты вычислений для первого способа приведены на рисунке 2 и в таблице 1, а для способа 2 – на рисунке 3 и в таблице 2.

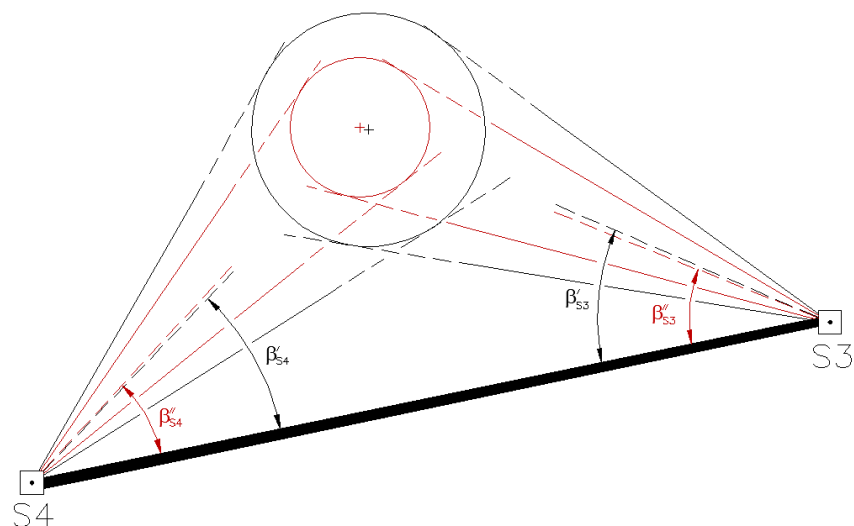


Рис. 2. Схема определения крена прямой угловой засечкой

Таблица 1

Результаты вычислений крена методом прямой угловой засечки

Измеренные горизонтальные углы β_i				Координаты пунктов наблюдения		Сечение	Координаты центров трубы	
$\beta'_{S3} =$	26°	11'	26"	$X_{S3} =$	50,601 м	Нижнее	$X'o =$	94,346 м
$\beta'_{S4} =$	28°	45'	33"	$Y_{S3} =$	271,524 м		$Y'o =$	115,204 м
$\beta''_{S3} =$	26°	10'	10"	$X_{S4} =$	0,000 м	Верхнее	$X''o =$	94,382 м
$\beta''_{S4} =$	28°	51'	18"	$Y_{S4} =$	0,000 м		$Y''o =$	114,855 м
Общий крен $Q =$								351 мм
Направление крена $A =$								275,9°

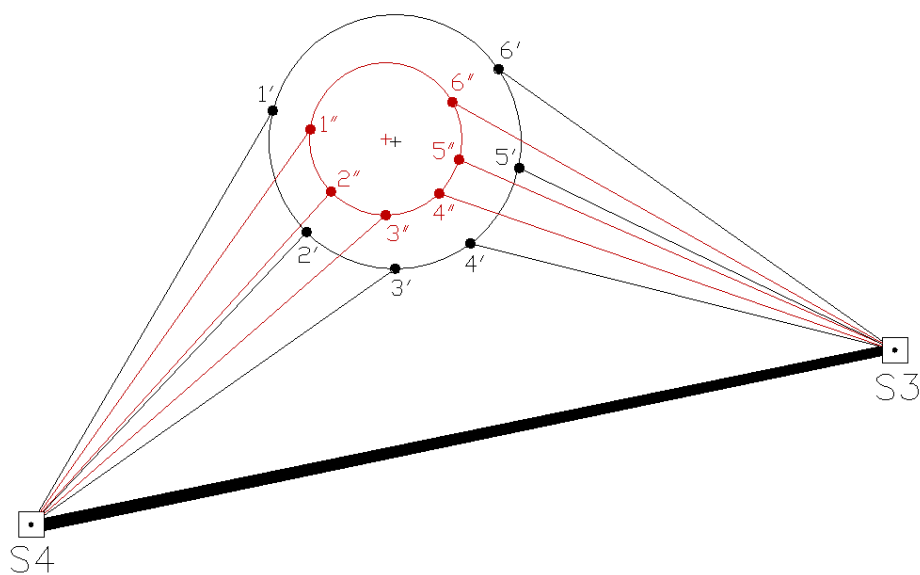


Рис. 3. Схема определения крена односторонним координатным способом

Таблица 2

Результаты вычисления крена односторонним координатным способом

Определение крена со станции S ₄				Определение крена со станции S ₃			
Нижнее сечение				Нижнее сечение			
X'1 =	95,485 м	Δ	–59,3972	X'4 =	89,949 м	Δ	–45,2921
Y'1 =	110,116 м	Δx =	–5608,55	Y'4 =	118,056 м	Δx =	–4271,49
X'2 =	90,911 м	Δy =	–6849,34	X'5 =	92,780 м	Δy =	–5214,96
Y'2 =	111,339 м	Координаты центра		Y'5 =	120,158 м	Координаты центра	
X'3 =	89,125 м	X'o =	94,424 м	X'6 =	97,255 м	X'o =	94,310 м
Y'3 =	115,063 м	Y'o =	115,314 м	Y'6 =	119,481 м	Y'o =	115,140 м
Верхнее сечение				Верхнее сечение			
X''1 =	95,101 м	Δ	–18,3317	X''4 =	92,037 м	Δ	–11,4011
Y''1 =	111,699 м	Δx =	–1729,19	Y''4 =	117,104 м	Δx =	–1076,38
X''2 =	92,696 м	Δy =	–2103,8	X''5 =	93,776 м	Δy =	–1307,71
Y''2 =	112,057 м	Координаты центра		Y''5 =	118,018 м	Координаты центра	
X''3 =	91,222 м	X''o =	94,328 м	X''6 =	96,122 м	X''o =	94,410 м
Y''3 =	114,182 м	Y''o =	114,763 м	Y''6 =	117,612 м	Y''o =	114,700 м
Общий крен Q =			560 мм	Общий крен Q =			451 мм
Направление крена A =			260,1°	Направление крена A =			282,8°

Как видно из полученных результатов, величина крена отличается на 109 мм, изменение направления крена составило 22,7°, а это не допустимо, что и требовалось показать.

Такой результат можно объяснить, во-первых, локальными неровностями на поверхности дымовой трубы, возникшими при бетонировании (рис. 4), а во-вторых, тем, что сооружение, принимаемое за окружность по всей протяженности в одностороннем методе, не обязательно является таковым.



Рис. 4. Возможные неровности формы сооружений башенного типа

Для нашего примера (по шесть точек в одном сечении) возможно вычислить значения координат центра окружности в одном сечении, используя различные комбинации точек. И таких комбинаций будет 20, что значительно увеличивает объем вычислений, а усреднение их значений может привести к не совсем математически корректным результатам.

Более корректный подход обработки результатов измерений с математической точки зрения – это решение системы нелинейных уравнений под условием минимизации функции качества вида

$$F = \sum v_i^2 \Rightarrow \min.$$

Современные вычислительные средства дают разные возможности решения этой задачи с сохранением точности и математической строгости.

Для решения запишем уравнение окружности (1) в развернутом виде. Если все точки принадлежат окружности, то разность между правой и левой частью уравнения равна нулю. Но так как мы имеем от-

клонения от окружности по форме и из-за точности измерений, эта разность будет иметь какое-то не нулевое значение v_i для i -й точки вида

$$x_i^2 + y_i^2 - 2x_ix_0 - 2y_iy_0 + x_0^2 + y_0^2 - R^2 = v_i. \quad (3)$$

Здесь x_0 и y_0 – координаты центра окружности; R – радиус окружности, x_i и y_i – координаты i -й точки на окружности.

Полученную систему для n точек с тремя неизвестными (x_0, y_0, R) можно решить под условием, что $F = \sum v_i^2 \Rightarrow \min$, на основе метода наименьших квадратов. Наиболее рациональный метод решения таких систем – это метод Каса (2), описанный также в учебнике по обработке результатов измерений для геодезистов в (3). В этом методе уравнение (1) после раскрытия скобок группируется следующим образом:

$$x_i^2 + y_i^2 - 2x_ix_0 - 2y_iy_0 + x_0^2 + y_0^2 - R^2 = a_1(x_i^2 - y_i^2) + a_4x_i + a_5y_i + a_6 = 0, \quad (4)$$

в котором принято

$$\begin{aligned} a_4 &= -2x_0; \\ \begin{cases} a_1 = 1; \\ a_5 = -2y_0; \end{cases} \\ a_6 &= x_0^2 + y_0^2 - R^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Записывая уравнения (4) для n точек, получим систему уравнений, которую в матричном виде можно представить как

$$A_1 \cdot a_1 + A_2 \cdot x_2 = 0, \quad (6)$$

где

$$A_1 = \begin{pmatrix} x_1^2 + y_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 \end{pmatrix}, \quad \hat{x}_2 = \begin{pmatrix} \hat{a}_4 \\ \hat{a}_5 \\ \hat{a}_6 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Тогда вектор решения значения $\hat{x}_2$ можно получить по формуле

$$\hat{x}_2 = (A_2^T A_2)^{-1} A_2^T A_1. \quad (8)$$

Выполним вычисления по приведенным выше формулам, используя данные таблицы 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчета на основе алгоритма Каса

Нижнее сечение			Верхнее сечение		
№	X, м	Y, м	№	X, м	Y, м
1	95,485	110,116	1	95,101	111,699
2	90,911	111,339	2	92,696	112,057
3	89,125	115,063	3	91,222	114,182
4	89,949	118,056	4	92,037	117,104
5	92,780	120,158	5	93,776	118,018
6	97,255	119,481	6	96,122	117,612

В результате вычислений получим:

- для нижнего сечения:

$$A'_1 = \begin{pmatrix} 21242,938 \\ 20661,149 \\ 21182,722 \\ 22027,999 \\ 23046,076 \\ 23734,251 \end{pmatrix}, \quad A'_2 = \begin{pmatrix} 95,485 & 110,116 & 1 \\ 90,911 & 111,339 & 1 \\ 89,125 & 115,063 & 1 \\ 89,949 & 118,056 & 1 \\ 92,780 & 120,158 & 1 \\ 97,255 & 119,481 & 1 \end{pmatrix}, \quad \hat{x}'_2 = \begin{pmatrix} -188,646 & -188,646 \\ -230,411 & -230,411 \\ 22142,185 & 22142,185 \end{pmatrix}$$

- для верхнего сечения:

$A_1'' =$	21520,728	95,101	111,699	1	$\hat{x}_2'' =$	-188,777	-188,777
	21149,217	92,696	112,057	1		-229,701	-229,701
	21358,957	91,222	114,182	1		22089,194	22089,194
	22184,115	92,037	117,104	1			
	22722,124	93,776	118,018	1			
	23072,115	96,122	117,612	1			

Окончательные результаты определение величины и направления крена приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты определение величины и направления крена

Сечение	Нижнее, м	Верхнее, м
$X_0 =$	94,323	94,388 м
$Y_0 =$	115,206	114,850 м
$R =$	5,195	3,246
Величина крена Q , мм	361	
Направление крена A°	280,4	

Для контроля решение системы нелинейных уравнений было выполнено с использованием поиска минимума функции квадратичного вида на основе функции «Поиск решения» из программного продукта Excel (рис. 5). Здесь исходные координаты помещены в ячейках В9-14:С9-14; Н9-14:И9-14, приближенные значения неизвестных – в ячейках В3:В5 и Н3:Н5. В столбце D вычисляется значение v_i (в метрах) из формулы (3) для поправок v_i

$$x_i^2 + y_i^2 - 2x_i x_0 - 2y_i y_0 + x_0^2 + y_0^2 - R^2 = v_i.$$

В ячейке D4 вычисляется $\sum v_i^2$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Нижнее сечение						Верхнее сечение				
2	Параметры						Параметры				
3	$X_0 =$	94,323	м	Целевая функция			$X_0 =$	94,388	м		
4	$Y_0 =$	115,206	м	0,387817			$Y_0 =$	114,850	м		
5	$R =$	5,195	м				$R =$	3,246	м		
8	№	X_i , м	Y_i , м	v_i , м	δR , мм		№	X_i , м	Y_i , м	v_i , м	δR , мм
9	1	95,485	110,116	0,270	26		11	95,101	111,699	-0,098	-15
10	2	90,911	111,339	-0,394	-38		12	92,696	112,057	0,130	20
11	3	89,125	115,063	0,053	5		13	91,222	114,182	-0,067	-10
12	4	89,949	118,056	0,270	26		14	92,037	117,104	0,072	11
13	5	92,780	120,158	-0,086	-8		15	93,776	118,018	-0,133	-20
14	6	97,255	119,481	-0,113	-11		16	96,122	117,612	0,096	15

Рис. 5. Решение задачи минимизации в программе Excel

Результаты вычислений всеми методами сведены в общую таблицу 5.

Таблица 5

Сводные результаты вычислений

Способ определения		Общий крен Q , мм	Направление крена A°
Прямой угловой засечки		351	275,9
Односторонний координатный способ:			
со станции S3		451	282,8
со станции S4		560	260,1
МНК	по формулам (4-8)	361	280,4
	MS Excel «Поиск решения»	361	280,4

Закключение. Результаты вычислений по формулам (4)–(8) метода Каса и на основе функции «Поиск решения» в программе Excel полностью совпадают, но отличаются от решения на основе одностороннего метода.

Как можно видеть из результатов вычисления крена, любая классическая схема измерений с равномерным распределением точек или достаточным охватом (например, координатный метод или метод угловой засечки) и способом обработки по строгой схеме метода наименьших квадратов в каком-либо виде (метод Каса, поиск экстремума и т.д.) также практически идентичны (разница составляет 10 мм при допустимой величине крена для данной трубы 0,50 м согласно [4]).

Предложенный профессором Шеховцовым «односторонний метод» нужно использовать очень осторожно. В силу того, что метод «односторонний» его результаты существенно зависят от реальной формы объекта и качества поверхности объекта. Поэтому объекты, крен которых определяется «односторонним координатным методом», должны иметь достаточно правильную геометрическую форму, то есть быть симметричными относительно области наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеховцов, Г.А. Теоретические основы одностороннего координатного способа определения крена сооружений башенного типа / Г.А. Шеховцов // Изв. вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2012. – № 5. – С. 30–31.
2. Kása, I. A Circle Fitting Procedure and Its Error Analysis / I. Kása // IEEE transactions on instrumentation and measurement, march 1976. – P. 8–14.
3. Jäger, R. Klassische und robuste Ausgleichungsverfahren – ein Leit faden für Ausbildung und Praxis von Geodäten und Geoinformatikern / R. Jäger, T. Müller, H. Saler, R. Schwäble. – Wichman, 2005. – 340 p.
4. Основания и фундаменты зданий и сооружений: СНБ 5.01.01-99 / МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 1999. – 36 с.

Поступила 05.06.2014

DEFINITION OF TOWER BUILDING TILT WITH THE HELP OF MODERN METHODS

A. DEGTJAREV, V. JALTYHOV

Based on the analysis of the modern methods of carrying out and processing geodetic measurements, the article discusses the possibilities of more efficient definition of tower building tilt. The advantages of using up-to-date methods are demonstrated for solving these problems not only for measurement purposes, for instance, with the help of a total station, but also for data processing, for instance, with the help of the optimization procedure or Kasa method based on least square adjustment. The article reveals a few additional factors, which have impact on the results accuracy, such as expressed non-sphericity and unevenness of construction surface, requiring consideration and research. The author provides recommendations for the rational implementation of the suggested techniques.

УДК 625.725

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА СПИТАКСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

канд. техн. наук Л.В. МАНУКЯН

(Ереванский государственный университет архитектуры и строительства, Республика Армения)

Представлен анализ материалов геодезических наблюдений, выполненных на территории Армении с разной периодичностью. Приведены данные о хронологии мониторинговых геодезических измерений, расположении Спитакского геодинамического полигона, карт схема современных вертикальных движений земной коры. Отмечено применение современных приборов и технологий для исследования в районе Спитакского геодинамического полигона. С целью изучения вертикальных движений земной коры на Спитакском геодинамическом полигоне предусматривается выполнение нивелирования I класса, причем в зоне активного разлома нивелирные работы необходимо производить 3-мя циклами, по одному циклу в год.

Территория Армении находится в зоне соприкосновения Арабской и Евразийской платформ. По современным спутниковым наблюдениям, Арабская платформа по отношению к Евразийской движется к северо-западу со скоростью 28 ± 3 мм в год. По этой причине постоянно происходит деформация Земной коры в зоне Арабской и Евразийской платформ вообще и в Армении в частности.

В недалеком прошлом для решения задач исследования на геодинамических полигонах с целью анализа предвестников землетрясений наиболее широко применялось только многократное геометрическое нивелирование коротких линий, расположенных в сейсмоактивных районах. Сегодня для этих задач эффективным является использование непрерывных спутниковых GPS-измерений коротких базовых линий, расположенных в сейсмоактивных районах и дублирующих указанные линии многократного геометрического нивелирования. Целесообразно организовывать одновременные спутниковые и классические нивелирные измерения на прогностических линиях с целью геодинамического анализа, а также анализа точности определения разностей превышений спутниковыми методами, что на сегодня является недостаточно изученным вопросом. С целью повышения надежности выводов о геодинамической активности региона и оценки пространственных закономерностей деформирования земной поверхности в сейсмоактивных районах целесообразно создавать геодинамические полигоны и выполнять GPS-измерения [1].

Основная часть. Как известно, цель геодезических измерений на геодинамических полигонах – выявление предвестников землетрясения, геодезического мониторинга движений земной коры, решение целого ряда задач микросейсмрайонирования для проектирования и строительства критичных к движениям земной коры инженерных сооружений: атомных электростанций, тоннелей, магистральных нефтяных и газовых трубопроводов, крупных мостов и т.п.

Крайне необходимо наряду с мероприятиями, проводимыми Национальной службой сейсмической защиты Республики Армения, параллельно организовывать изучение движений земной коры на геодинамических полигонах при помощи геодезических измерений, так как анализ результатов повторных измерений позволяет выявлять кинематические предвестники готовящихся землетрясений. На рисунке 1 представлена схема расположения Спитакского геодинамического полигона.

Периодически в районе Спитакского землетрясения прокладывались повторные нивелирные линии начиная с 1910–1911 годов, которые затем продолжились в 1938–1940 годах. 9 июня 1972 года в Ереване приказом Главного Управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР в системе Главного управления геодезии и картографии была организована мощная организация – Армянский Государственный институт инженерно-геодезических изысканий и съёмок (АрмГИИГИС), которая была обеспечена передовым на тот период геодезическим оборудованием. АрмГИИГИС возобновил выполнение Государственного высокоточного нивелирования I и II классов с целью изучения геокинематики современных вертикальных движений земной коры.

В районе Спитакского землетрясения были выполнены работы в октябре–ноябре 1988 года, а также после разрушительного землетрясения декабря 1988 года, затем в январе и марте 1989 года.

На основании повторных нивелировок было установлено, что в очаге Спитакского землетрясения происходят вертикальные движения земной коры с интенсивной скоростью.

Анализируя карту современных вертикальных движений земной коры масштаба 1:2 500 000 (рис. 2), составленную на южную окраину Кавказа по результатам геодезических измерений, видно, что максимальный подъём земной поверхности происходит от Гюмри (Ленинакан) на север, достигая скорости +13,5 мм/год. На местности в этом районе было увеличено количество закладных точек геодези-

ских реперов. В самом эпицентре расположено Арпиличское водохранилище на высоте более 2000 м протяженностью 700 м. Водохранилище находится между городом Гюмри (Ленинакан) и городом Ахалкалаки. Вдоль автомобильной дороги между этими городами на протяжении 90 км были заложены реперы разной конструкции для исследований причин столь значительных движений земной коры [2].



Рис. 1. Схема расположения Спитакского геодинамического полигона

В настоящее время в Зоне Спитакского землетрясения имеем следующую геодезическую изученность:

- 1) 1969–1972 годы – Тбилиси – Нахичеван – Алят;
- 2) 1977–1980 годы – объект А.03.0052 «Эчмиадзин – Спитак»;
- 3) 1979–1981 годы – объект 4.03.0085 «Джавахетский»;
- 4) 1987–1988 годы – объект «Акстафа – Фантан»;
- 5) 1989–1990 годы – объект «Зона Землетрясения»;
- 6) 2002–2006 годы – реконструкция Главной высотной основы Республики Армения.

После реконструкции Главной высотной основы стало возможным решить целый ряд научных, экспериментальных и практических задач, таких как исследование продольных и поперечных линий разломов после землетрясений на территории Армении и создание локальных геодинамических сетей для

исследования динамических движений земной коры. Впервые в Армянской Республике реконструкция Главной высотной основы успешно осуществилась с применением новых цифровых технологий.



Рис. 2. Карта современных движений земной коры по результатам геодезических измерений

Имея геодезическую изученность в Зоне Спитакского землетрясения (работы 1–6, разные периоды 1969–2006 годов), стало возможным произвести анализ результатов измерений прежних лет, результаты которого проиллюстрированы диаграммой (рис. 3).

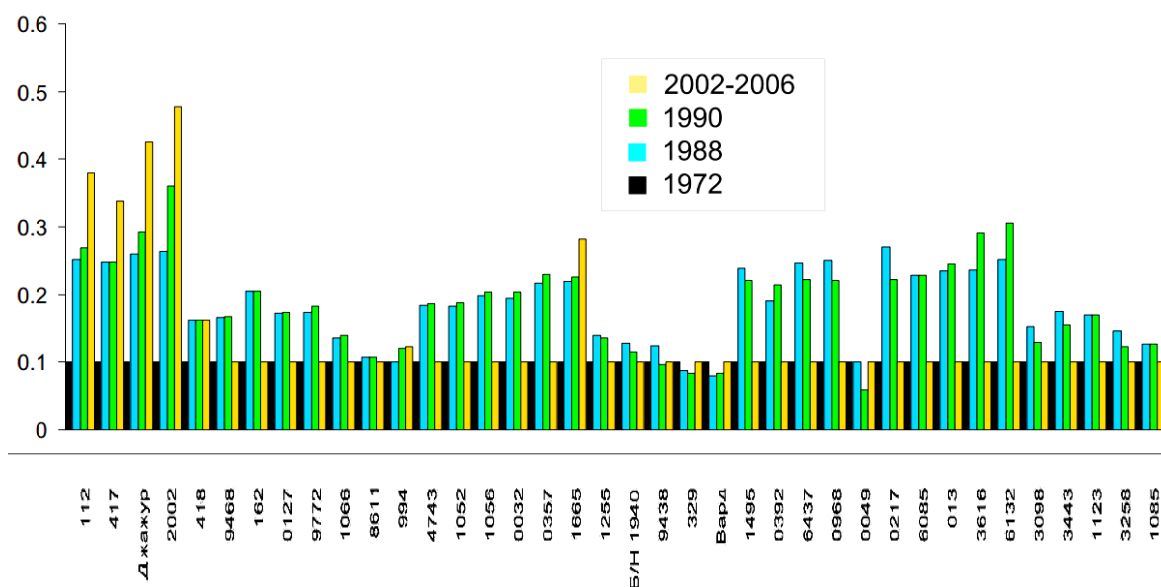


Рис. 3. Хронологический мониторинг результатов измерений в Зоне Спитакского землетрясения

Анализ ведомости превышений, а также анализ высот реперов и марок показал, что за прошедший период максимальный подъем земной поверхности на территории юго-западного региона Спитакского геодинамического полигона составляет 4,7 мм (см. ст. марка Б/Н Джаджур, реперов 2002, 112, 418, 417 и 1255), что подтверждается также картой современных вертикальных движений земной коры, представленной на рисунке 2). Исследования по линии с интервалом в 16 лет показали, что сохранилось всего 6 реперов, остальные в результате землетрясения и разных причин уничтожены [3].

Разность между превышениями, полученными при повторном и первом нивелировании, определяется по следующей формуле:

$$\Delta h = h_{\text{нов.}} - h_{\text{стар.}}$$

Относительно первого знака подсчитано накопление этих разностей $\sum \Delta h$.

Скорости современных движений между смежными знаками можно вычислить следующим образом:

$$\Delta V = \frac{\Delta h}{\Delta T} = \frac{h_{\text{нов.}} - h_{\text{стар.}}}{\Delta T}.$$

В 2013 году работы в Зоне Спитакского землетрясения вновь возобновлены и это предоставляет возможность, имея результаты прежних измерений на вышеперечисленных объектах, произвести геодезический мониторинг движений земной коры. С целью изучения вертикальных движений земной коры на Спитакском геодинамическом полигоне предусматривается выполнение нивелирования I класса, причем в зоне активного разлома нивелирные работы необходимо производить 3-мя циклами, по одному циклу в год. Техническая оснащённость в настоящее время позволяет получать большую точность геодезических измерений, чему способствует наличие на вооружении Комитета кадастра недвижимости цифровых нивелиров НА-3003 и применение инварных реек типа GPCL3. В результате уравнивания всех циклов измерений могут быть получены значения скоростей современных вертикальных движений земной поверхности в узловых реперах сети, имеющих два и более циклов нивелирования.

По результатам геодезических измерений открывается возможность создания карт современных движений земной коры на Спитакском геодинамическом полигоне. Данные о современных вертикальных движениях вдоль линий повторного нивелирования и карты современных вертикальных движений позволяют выявить локальные районы с интенсивными вертикальными деформациями, что необходимо для принятия решений о детальном изучении путей создания геодинамических и техногенных полигонов.

Закключение. На основании геодезических наблюдений в сейсмоактивных зонах Республики Армения можно спрогнозировать предполагаемый эпицентр будущего землетрясения. Анализ результатов измерений станет возможным только после завершения необходимых геодезических наблюдений и окончательного уравнивания на Спитакском геодинамическом полигоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манукян, Л.В. Применение новых цифровых технологий с целью изучения геокинематики современных вертикальных движений земной коры / Л.В. Манукян // Изв. Армянской с.-х. акад. – 2005. – № 5. – С. 92–96.
2. Ященко, В.Р. Геодезический мониторинг движений земной коры (по материалам Кавказского региона) / В.Р. Ященко, Х.К. Ямбаев. – М., 2007. – 208 с.
3. Манукян, Л.В. Исследование вертикальных движений земной коры с применением новых цифровых технологий / Л.В. Манукян // Сб. ст. Ереванского гос. ун-та архит. и стр-ва. – 2005. – Т. III(25). – С. 151–154.

Поступила 24.01.2014

GEODESIC MONITORING OF THE EARTH'S CRUST MOVEMENT ON THE SPITAK GEODYNAMIC POLYGON

L. MANUKYAN

In the article the analysis of materials of geodesic observations is presented. These observations were made on the territory of Armenia at different intervals. The data about the chronology of monitoring geodesic measurements; about the location of the Spitak geodynamic polygon, the map of modern vertical movements of the Earth's crust are given. The application of modern devices and technologies for the research in the Spitak geodynamic polygon are observed. To study the vertical movements of the Earth's crust in the considered area leveling of the first class is necessary. Moreover, in the active fault zone leveling operation must be carried out by 3 cycles of one cycle per year.

УДК 528.8(476)

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОВТОРНО ЗАБОЛОЧЕННЫХ УЧАСТКОВ
ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ
ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ СРЕДНЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ****А.А. ЯНОВСКИЙ;****акад., д-р с.-х. наук, проф. Н.Н. БАМБАЛОВ****(Институт природопользования НАН Беларуси, Минск)**

Рассматривается автоматизация тематического картографирования поверхности повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений Беларуси по спутниковым снимкам с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне с пространственным разрешением 10...15 м без непосредственного участия человека, с применимостью методики к торфяным месторождениям без использования наземных данных на примере VNIR каналов спектрорадиометра ASTER, причем предлагаемая методика не требует использования наземных данных и применима к различным торфяным месторождениям Беларуси. Показано, что при картографировании повторно заболоченных выработанных участков торфяных месторождений по указанным данным дистанционного зондирования в автоматическом режиме возможно выделение открытой воды, обнаженных торфяной и торфяно-минеральной, органоминеральной и постторфяной почв и растительного покрова с выделением из последнего в отдельный класс сомкнутой лиственной древесной растительности.

Введение. Большие площади выработанных торфяных месторождений Беларуси требуют повторного заболачивания, при этом мозаичность расположения образующихся после его проведения вариантов наземного покрова препятствует проведению их картографирования путем интерактивной обработки данных дистанционного зондирования, приводя к необходимости автоматизации картографирования.

Повторное заболачивание выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Беларуси к настоящему времени проведено только на относительно небольшой части от их общей площади (43 тыс. га из более 450 тыс. га, с учетом выработанных торфяных месторождений пойменного залегания, которые самостоятельно превратились в неглубокие водоемы после прекращения работы насосных станций). Суть повторного заболачивания заключается в подъеме уровня грунтовых вод до поверхности выработанного торфяного месторождения или выше нее с последующим зарастанием территории болотной растительностью. После осуществления мероприятий по повторному заболачиванию необходима количественная оценка полученных результатов, при этом наиболее информативным является картографирование поверхности повторно заболоченного участка. Проведение данного картографирования наземными методами является затратным по времени, трудоемким и дорогостоящим, а на труднодоступных участках – неприменимым. В связи с этим возрастает интерес к использованию для этого данных дистанционного зондирования. Необходимо отметить, что идентификация водно-болотной растительности – более трудная задача, чем идентификация суходольной растительности, поскольку травянистая растительность болот характеризуется высокой спектральной и пространственной изменчивостью вследствие крутых градиентов факторов окружающей среды, что приводит к коротким экотонам и резкому разделению элементов растительности. При этом спектры отражения различных растительных сообществ болот часто очень сходны и на них накладывается спектр отражения воды на поверхности торфа и/или спектр отражения торфа [1]. Болотная растительность повторно заболоченных участков, как правило, характеризуется существенно меньшим видовым разнообразием по сравнению с растительностью болот в естественном состоянии, что упрощает проведение картографирования. Однако картографирование повторно заболоченных участков выработанных торфяных месторождений усложняется по сравнению с картографированием ненарушенных болот вследствие того, что в результате повторного заболачивания выработанного торфяного месторождения формируется сложный комплекс из неглубоких водоемов, суходольных участков и участков, заросших болотной растительностью. Мозаичность расположения упомянутых вариантов наземного покрова препятствует картографированию результатов повторного заболачивания путем интерактивной классификации данных дистанционного зондирования, поэтому данную тематическую обработку следует автоматизировать.

В опубликованных материалах отсутствуют методики автоматизированного картографирования по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и начальной области ближнего ИК-диапазона одновременно всей поверхности повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений. Многие работы содержат отдельные элементы автоматизации, однако используемые в них методики требуют участия человека либо идентификации каждого из получаемых при кластеризации классов с конкретным типом поверхност-

ного покрова, т. е. данные методики не являются действительно автоматизированными, при этом сама идентификация требует для каждого торфяного месторождения наземные данные (эталонные участки), либо требуют обширных наземных измерений типов поверхности картографируемого торфяного месторождения для получения обучающей выборки, что также говорит об отсутствии автоматизации.

Основная часть. Новизна данной работы заключается, во-первых, в определении классов поверхностного покрова повторно заболоченных участков выработанных торфяных месторождений Беларуси, которые возможно одновременно определить по спутниковым снимкам с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и начальной области ближнего ИК-диапазона с пространственным разрешением 10...15 м без непосредственного участия человека при автоматизации всего процесса обработки спутниковых снимков, начиная от минимального уровня их обработки и до получения конечных карт, причем предлагаемая методика не требует использования наземных данных и применима к различным торфяным месторождениям Беларуси; во-вторых, в определении последовательности выделения картографируемых классов поверхности и выборе соответствующих способов его проведения. Выбор пространственного разрешения 10...15 м обусловлен 1) возможностью получения для исследования неподвергавшихся передискретизации снимков спектрорадиометра ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer*, пространственное разрешение VNIR – *Visible Near Infrared* – каналов которого равно 15 м в надире, и 2) целью показать перспективы использования для решения данной задачи снимков Белорусского космического аппарата (БКА), пространственное разрешение мультиспектральных каналов которого равно 10,5 м в надире. В настоящее время снимки БКА можно получить только без коэффициентов радиометрического пересчета, необходимых для проведения радиометрической калибровки, поэтому в данной работе они не используются.

Снимки спектрорадиометра ASTER уровня обработки L1A получены из Распределенного центра хранения данных по наземным процессам (Land Processes DAAC) Геологической службы США в рамках образовательного проекта. Их автоматизированная обработка от уровня L1A до тематических карт проведена с помощью разработанной нами программы (реализована на языке программирования Python с использованием расширения NumPy и оберток к библиотекам GDAL и OTB). Радиометрическая коррекция включала радиометрическую калибровку, коррекцию пропущенных строк и атмосферную коррекцию по модифицированному методу DOS (Dark Object Subtraction), автоматизация которой подробно описана в публикации [2]. Программа позволяет получать геопривязанные результаты в векторном виде, при этом масштаб каждой получаемой векторной карты зависит от точности геопривязки, количества и распределения по снимку используемых наземных контрольных точек, а также от используемой цифровой модели рельефа (при ее наличии), и в данной работе не рассчитывается.

Для разработки методики использован снимок ASTER Гричино-Старобинского торфяного месторождения с датой съемки 09.09.2009. Подспутниковые измерения проведены 19–20 сентября 2012 года.

Используемый в работе оптический прибор VNIR спектрорадиометра ASTER имеет 3 канала со спектральными характеристиками, представленными в таблице 1 [3].

Таблица 1

Спектральные характеристики оптического прибора VNIR спектрорадиометра ASTER

Канал	Центральная длина волны, нм	Центральный момент, нм	Ширина канала по уровню 0,5 полосы пропускания фильтра, нм
1	556	556	90
2	659	661	60
3N	807	807	100

Картографирование в автоматическом режиме по VNIR каналам ASTER отдельных классов поверхностного покрова повторно заболоченных выработанных торфяных месторождений в данной работе проводится путем комбинаций пороговой обработки VNIR каналов и рассчитанных по ним индексов. Работа классификатора начинается с выделения открытой воды. Ее выделение основано на присущей воде низкой отражательной способности в видимом и особенно в ближнем ИК-диапазоне длин волн, при этом, в отличие от спектрального коэффициента отражения растительности и почвы, значения спектрального коэффициента отражения воды в синей и зеленой областях спектра превосходят его значения в ближней ИК-области (рис. 1).

К классу «открытая вода» относятся пиксели, удовлетворяющие следующим требованиям:

$$\text{канал } 3N < 0,04 \text{ или } (NDWI > -0,1 \text{ и } NDVI < 0,1). \quad (1)$$

Использование пороговой обработки канала 3N основано на том, что в данной области спектра значение коэффициента отражения чистой воды существенно ниже, чем коэффициента отражения торфяной почвы (рис. 1), при этом из всех каналов прибора VNIR на данном канале минимальна вариация соответствующих воде значений пикселей относительно их среднего значения [8]. В то же время особенность спектра отражения воды, заключающаяся в том, что значение ее спектрального коэффициента отражения в зеленой области спектра превосходит значение в ближней ИК-области, используется в индексе NDWI (Normalized Difference Water Index [9]).

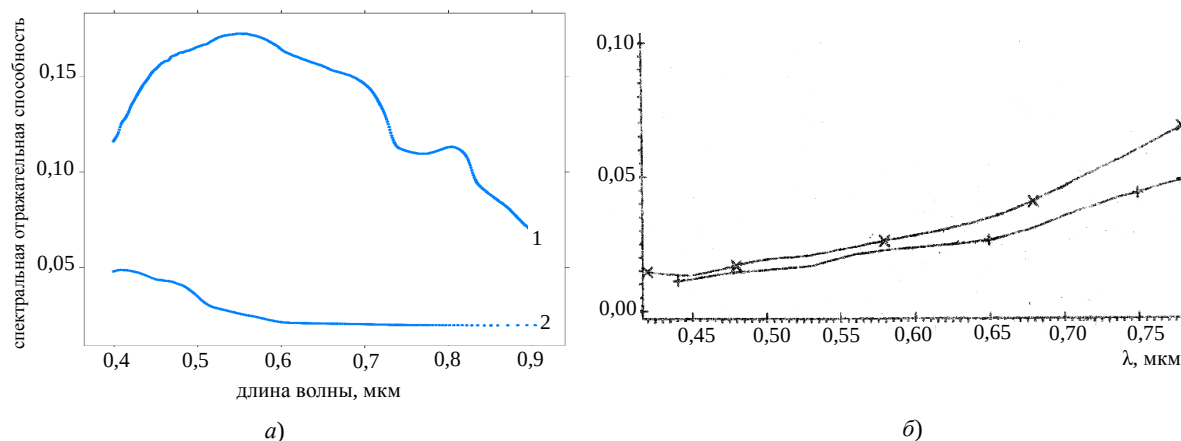


Рис. 1. Спектральная отражательная способность (а) воды (1 – мутная вода, 2 – чистая вода), торфяной почвы (б), измеренная в полевых условиях при влажности почвы 311,5 % (+), 206,5 % (×)

Примечание. Спектры воды взяты из библиотеки спектров USGS Digital Spectral Library [4], торфяной почвы – из работы [5]. Визуализация спектров USGS Digital Spectral Library проведена с помощью пакета Rcmdr [6] программной среды вычислений R [7].

Определение используемых в формуле (1) пороговых значений канала 3N и NDWI проведено с использованием программы [10] путем сопоставления результатов картографирования с наземными подспутниковыми измерениями, анализа заполненности получаемых участков открытой воды (отсутствия островов) и сопоставления результатов картографирования со снимками сверхвысокого пространственного разрешения в Google Earth. Стоит отметить, что полученные в данном исследовании пороговые значения NDWI (–0,1) и канала 3N (0,04) совпадают с таковыми соответственно в работах [11; 12], что подтверждает правильность их определения. Используемое в формуле (1) пороговое значение для индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index [13]) взято из работы [12].

Следует также отметить случаи, когда формула (1) может приводить к ошибкам картографирования: мелководье с высоким значением спектрального коэффициента отражения дна; наличие значительного количества расположенной близко к поверхности и погруженной в воду растительности (попадает в класс «прочая растительность»); вызванное водорослями или цианобактериями «цветение» воды; наличие водной растительности (попадает в класс «прочая растительность»); обусловленная взвешенными минеральными частицами высокая мутность воды.

Выделение растительности является классической задачей обработки данных дистанционного зондирования. Ее выделение основано на использовании присущего зеленой растительности очень низкого значения коэффициента отражения в красной области спектра вследствие поглощения фотосинтетически активного излучения растительными пигментами и весьма высокого значения коэффициента отражения в ближней ИК-области вследствие рассеяния почти всего падающего излучения на границах раздела воздух – вода в листьях и между листьями в пологе. Из использования для выделения растительности указанных свойств следует, что источником вариации при данном выделении является изменение содержания фотосинтетических пигментов в пересчете на проективную площадь, структуры тканей листьев, индекса листовой поверхности и распределения угла наклона листьев в масштабе полога. Содержание фотосинтетических пигментов снижается у листьев в состоянии длительного стресса, а также при их старении. Структура листьев меняется по мере их развития, кроме того, виды с более плотными листьями и более толстыми клеточными стенками листьев имеют меньше воздушных полостей, меньше воды и пониженное рассеяние на поверхности раздела воздух – вода, вследствие этого характеризуются более низким значением коэффициента отражения в ближнем ИК-диапазоне, чем рыхлые листья [14; 15].

Благодаря тому, что различия на уровне листьев усиливаются на уровне полога за счет его трехмерной архитектуры, приводящей к множественному рассеянию, становится возможным выделить в от-

дельный класс по VNIR каналам ASTER представленную лиственными видами сомкнутой древесную растительность (формула (2)):

$$(\text{канал } 2 / \text{NDVI} < 0,03) \text{ и } (\text{NDVI} > 0,6). \quad (2)$$

Используемое при картографировании сомкнутой древесной растительности отношение *канал 2 / NDVI* взято из работы [16], авторы которой выполнили картографирование по снимкам Landsat TM и ETM + нарушений лесного покрова для всей территории США и Канады по специально разработанному для этого алгоритму. Данное соотношение основано на том, что сомкнутая лиственная древесная растительность характеризуется сильным поглощением в красной области спектра (канал 2 ASTER) и высоким значением NDVI, что одновременно снижает получаемые по данной формуле значения. Кроме того, использование пороговой обработки отношения *канал 2 / NDVI* по сравнению с пороговой обработкой NDVI приводит к увеличению роли содержания в растительности фотосинтетических пигментов в пересчете на проективную площадь, которая напрямую связано с количеством наземной фотосинтезирующей биомассы и к снижению влияния структуры тканей листьев и распределения угла их наклона в масштабе полого, что в результате делает выделение сомкнутой древесной растительности более устойчивым, по сравнению с ее выделением по NDVI. Использование в формуле (2) также индекса NDVI обусловлено тем, что для лесной растительности известно его нижнее граничное значения, равное 0,6 [17], которое и применяется при пороговой обработке NDVI в формуле (2). Определение используемого в формуле (2) порогового значения отношения *канал 2 / NDVI* проведено путем сопоставления результатов картографирования с наземными подспутниковыми измерениями и со снимками сверхвысокого пространственного разрешения в Google Earth с использованием программы [10].

Важно отметить, что самолетные и спутниковые измерения отраженного солнечного излучения в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне являются прежде всего мерой условий поверхности в том смысле, что они содержат информацию о биофизических характеристиках наземного покрова, которые, с одной стороны, могут оказаться близкими у разных видов или функциональных типов растений, а с другой – различны у одного и того же вида на разных фенологических фазах и при разном физиологическом состоянии. Информация о видовом составе и структуре исследуемого наземного покрова определяется уже на основе измеренных биофизических характеристик, и поскольку основное влияние на них оказывают доминантные виды верхнего яруса полого, дистанционные измерения отраженного солнечного излучения в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне способствуют классификациям, основанным на фитоценозах, а не на отдельных видах. В то же время высокая изменчивость биофизических характеристик существенно ограничивает число растительных сообществ, которые можно выделить на основании измерений в данных диапазонах, поэтому при исследовании крупномасштабных процессов в экосистемах более практичной альтернативой является определение непрерывной изменчивости необходимых функциональных свойств, непосредственно связанных с дистанционно измеряемыми биофизическими характеристиками [18]. Данный подход используется в настоящей работе при выделении класса «сомкнутая лиственная древесная растительность», поскольку при этом напрямую не определяется ни принадлежность растительности к древесной, ни ее сомкнутость, а вместо этого рассчитывается комбинация каналов, значения которой зависят от количества фотосинтезирующей фитомассы и ее вертикального распределения (последнее влияет на коэффициент отражения за счет множественного рассеяния отраженного излучения).

После выделения представленной лиственными видами сомкнутой древесной растительности оставшаяся растительность выделяется путем пороговой обработки индекса NDVI, при этом согласно [19; 20] к растительности относятся пиксели со значением индекса NDVI > 0,2.

Качественно выполненное повторное заболачивание выработанного участка торфяного месторождения предполагает отсутствие после его проведения обнаженной торфяной и деградированной торфяной почвы. Однако по экономическим причинам повторное заболачивание данных участков в Беларуси, как правило, ограничивается перекрытием только магистральных и коллекторных каналов, поэтому на повторно заболоченных участках торфяных месторождений могут встречаться также обнаженные торфяные и деградированные торфяные почвы. Автоматизация их картографирования по спутниковым снимкам в видимом диапазоне и ближнем ИК-диапазоне с пространственным разрешением 10...15 м подробно рассмотрена авторами в работе [21], поэтому в данной работе указаны только основные моменты.

Согласно [22], существует 3 стадии деградации торфяных почв: торфяно-минеральные (содержание органического вещества (ОВ) 15...30 %); органо-минеральные (ОВ – 15...3 % или 15...2 % в зависимости от гранулометрического состава материнской породы); постторфяные (ОВ ≤ 2 для подстилаемых песками и ОВ ≤ 3 % для подстилаемых супесями и суглинками). Их картографирование проводится путем пороговой обработки канала 2 ASTER после выделения описанных выше классов поверхностного покрова. Нижние и верхние граничные значения канала 2 ASTER для торфяной и торфяно-минеральной

почвы (один класс при картографировании) равны соответственно 0,02 и 0,06; для органоминеральной – 0,06 и 0,15; для постторфяной – 0,15 и 0,6. Верхнее граничное значение для постторфяной почвы выбрано на основе результатов работы [23] и равно верхней границе возможных значений спектрального коэффициента отражения песка в спектральном диапазоне канала 2 ASTER при воздушно-сухой влажности песка. Объединение при картографировании торфяной и торфяно-минеральной почв в один класс обусловлено тем, что их спектральная отражательная способность при 660 нм при воздушно-сухой влажности почвы различается незначительно, при этом разность их спектральной отражательной способности при 660 нм сопоставима с изменением спектральной отражательной способности каждой из них при наблюдаемых в полевых условиях изменениях влажности почвы. В то же время для дальнейших стадий деградации спектральная отражательная способность при 660 нм существенно отличается и в сравнении с торфяной почвой, и между собой [21; 24], при этом влияние влажности почвы на результаты картографирования постепенно уменьшается по мере увеличения содержания в почве песка.

На рисунке 2 показаны результаты автоматизированного картографирования повторно заболоченного после выработки участка Гричино-Старобинского торфяного месторождения по снимку ASTER, полученному 09.09.2009, а также снимок данного участка со сверхвысоким пространственным разрешением за 2014 год, взятый из Google Earth. Для лучшего представления результатов картографирования их пространственное разрешение увеличено в 8 раз со сглаживанием границ классов с использованием фильтра Ланцоша. Весь процесс обработки спутникового снимка ASTER от уровня обработки L1A (минимальный доступный уровень их обработки) до представленной на рисунке тематической карты проведен в полностью автоматизированном режиме.

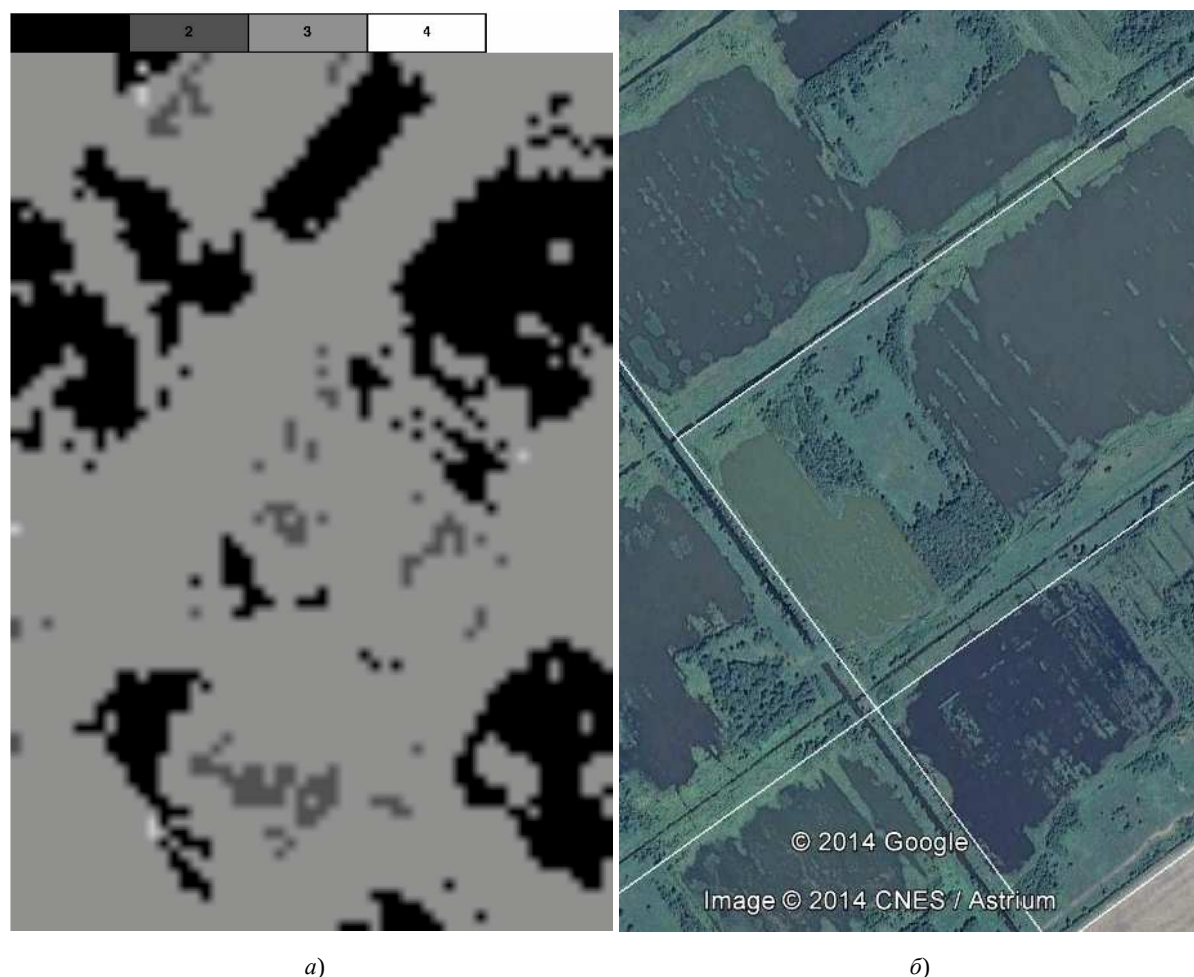


Рис. 2. Автоматизированное картографирование поверхности повторно заболоченного после выработки участка Гричино-Старобинского торфяного месторождения по снимку ASTER (а):
1 – открытая вода, 2 – сомкнутая листовая древесная растительность,
3 – прочая растительность, 4 – обнаженные торфяные и торфяно-минеральные почвы;
б – данный участок на снимке из Google Earth

В отношении описанной выше методики необходимо также отметить, что временные грунтовые дороги, расположенные среди повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений, в отдельный класс не выделялись и в соответствии со своими спектральными свойствами попадали в класс «постторфяные почвы».

Заключение. При картографировании повторно заболоченных после выработки участков торфяных месторождений Беларуси по спутниковым снимкам с широкими спектральными каналами в видимом диапазоне и начальной области ближнего ИК-диапазона с пространственным разрешением 10...15 м в автоматическом режиме возможно выделение открытой воды, обнаженных торфяной и торфяно-минеральной, органо-минеральной и постторфяной почв и растительного покрова с выделением из последнего в отдельный класс сомкнутой листовенной древесной растительности.

Поскольку используемый в работе метод атмосферной коррекции принимает равной единице величину прозрачности атмосферы и равной нулю величину спектральной плотности на уровне поверхности обусловленного рассеянием в атмосфере падающего потока излучения, увеличение содержания в атмосфере аэрозолей приводит к снижению точности автоматизированной обработки. Кроме того, метод DOS не учитывает поглощение излучения водяным паром и озоном, что из VNIR каналов ASTER в наибольшей степени влияет на атмосферную коррекцию канала 3N. Для повышения точности определения предложенных классов поверхностного покрова следует при проведении атмосферной коррекции вместо метода DOS перейти к использованию модели переноса излучения (применяющей оперативные данные о параметрах атмосферы и проводящей атмосферную коррекцию на уровне отдельных пикселей или групп пикселей), при этом, вероятно, потребуется скорректировать полученные в данной работе пороговые значения для канала 2 ASTER и отношения канал 2 / NDVI. Для увеличения количества картографируемых классов поверхностного покрова следует перейти к использованию данных дистанционного зондирования с лучшими пространственным и спектральным разрешениями и более широким диапазоном длин волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adam, E. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review / E. Adam, O. Mutanga, D. Rugege // *Wetlands Ecology and Management*. – 2010. – Vol. 18, № 3. – P. 281–296.
2. Яновский, А.А. Автоматизация радиометрической коррекции спутниковых снимков при картографировании деградированных торфяных почв Беларуси / А.А. Яновский // *Природопользование*. – Минск, 2014. – Вып. 26.
3. ASTER User's Guide Part I. General. (Ver. 4.0). Earth Remote Sensing Data Analysis Center. – July, 2005.
4. USGS digital spectral library splib06a / R.N. Clark [et al.] // U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231. – 2007.
5. Исследование оптических и физико-химических свойств почв Беларуси / А. Ю. Жумарь [и др.] / Респ. науч.-техн. центр дистанционной диагностики природной среды Акад. наук Беларуси и Гос. ком. Беларуси по экологии, Ин-т физики Акад. наук Беларуси, БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск, 1992. – Ч. 1: Каталог спектральных и физико-химических свойств почв Беларуси (Препринт № 8). – 107 с.
6. Fox, J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R / J. Fox // *Journal of Statistical Software*. – 2005. – Vol. 14, № 9. – P. 1–42.
7. R: A language and environment for statistical computing [Electronic resource] / R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria, 2014. – Mode of access: <http://www.R-project.org/>.
8. Frazier, P.S. Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data / P.S. Frazier, K.J. Page // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2000. – Vol. 66, № 12. – P. 1461–1467.
9. McFeeters, S. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features / S. McFeeters // *Int. J. Remote Sens.* – 1996. – № 17. – P. 1425–1432.
10. VISAT Version 5.0 [Electronic resource] / Brockmann Consult and contributes. – 2014. – Mode of access: <http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/>.
11. An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery / H. Jiang [et al.] // *Remote Sens.* – 2014. – Vol. 6. – P. 5067–5089.
12. Vermote, E. LEDAPS surface reflectance product description. Version 2.0 / E. Vermote, N. Saleous. – January, 2007. – 21 p.
13. Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C.J. Tucker // *Remote Sens. Environ.* – 1979. – № 8(2). – P. 127–150.
14. Abrams, M.D. Leaf structural characteristics of 31 hardwood and conifer tree species in central Wisconsin – influence of light regime and shade-tolerance rank / M.D. Abrams, M.E. Kubiske // *Forest Ecology and Management*. – 1990. – № 31. – P. 245–253.

15. Ustin, S.L. Remote sensing of plant functional types / S.L. Ustin, J. A. Gamon // *New Phytologist*. – 2010. – № 186. – P. 795–816.
16. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record / J.G. Masek [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2008. – Т. 112, № 6. – С. 2914–2926.
17. Zhu, Z. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery / Z. Zhu, C.E. Woodcock, P. Olofsson // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – № 122. – P. 75–91.
18. Functional convergence in regulation of net CO₂ flux in heterogeneous tundra landscapes in Alaska and Sweden / G. R. Shaver [et al.] // *Journal of Ecology*. – 2007. – № 95. – P. 802–817.
19. Carlson, T.N. On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index / T.N. Carlson, D. A. Rizley // *Remote Sens. Environ.* – 1997. – № 62. – P. 241–252.
20. Indices of Vegetation Activity / A. Huete [et al.] // *Biophysical Applications of Satellite Remote Sensing*; eds. J.M. Hanes. – Springer, 2013. – P. 1–41.
21. Яновский, А.А. Автоматизация картографирования деградированных торфяных почв Беларуси по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения / А.А. Яновский, Н.Н. Бамбалов // *Природопользование*. – Минск, 2014. – Вып. 26.
22. Бамбалов, Н.Н. Агрогенная эволюция осушенных торфяных почв / Н.Н. Бамбалов // *Почвоведение*. – 2005. – № 1. – С. 29–37.
23. Sadiq, A. Remote sensing and spectral characteristics of desert sand from Qatar Peninsula, Arabian/Persian Gulf / A. Sadiq, F. Howari // *Remote Sensing*. – 2009. – Т. 1, № 4. – С. 915–933.
24. Разработать прогноз изменения структуры почвенного покрова (СПП) и плодородия мелиорированных почв: отчет о НИР (заключ.) / ИПИПРЭ Акад. наук Беларуси; науч. рук. д-р с.-х. наук Н.Н. Бамбалов. – Минск, 1995. – 148 с.

Поступила 03.06.2014

**THE AUTOMATION OF MAPPING OF REWETTED AFTER CUT-OFF SITES
OF PEATLANDS OF BELARUS ON THE BASIS OF SATELLITE IMAGES
OF MEDIUM SPATIAL RESOLUTION**

A. YANOVSKIY, N. BAMBALOV

Large areas of cut-off peatlands of Belarus require rewetting, the mosaic arrangement of the elements of their surface cover after rewetting impedes their mapping by interactive processing of remote sensing data, leading to the necessity to automate mapping. In the paper we show the automation of the thematic mapping of the surface of rewetted after cut-off sites of peatlands of Belarus on the basis of broadband satellite images in the visible and near infrared (the beginning of NIR region) spectral bands with a spatial resolution of 10...15 m without direct human intervention, with the applicability of the methodology to peatlands of Belarus without using ground data. When mapping the surface of rewetted after cut-off sites of peatlands of Belarus on the basis of the above mentioned remote sensing data in automatic mode it is possible to single out open water, bare peat and peat-mineral (one class when mapping), organo-mineral and postpeat soils and vegetation cover, with the possibility of separating closed deciduous woody vegetation into a distinct class.

УДК 332.33

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

М.Г. ГЛЕБКО, Е.Е. ТРЕТЬЯК
(Полоцкий государственный университет)

Демонстрируются результаты исследования повышения эффективности использования и охраны земельных ресурсов, совершенствования земельных отношений в различных странах на примере уменьшения количества категорий земель. Представлен анализ решения рассматриваемой проблемы. Сделаны выводы о возможности применении опыта по системе деления земель в других странах, в частности в США, с целью повышения эффективности управления земельными ресурсами в Республике Беларусь.

Введение. Как показывает анализ публикаций последних лет [1–4 и др.], по оценкам ряда международных организаций и отдельных экспертов в условиях постоянного роста населения нашей планеты, глобального потепления климата, развития процессов опустынивания и деградации земель постоянно возрастает роль и значение земельных ресурсов. Количество и качество таких ресурсов становятся стратегическими показателями, определяющими экономический, социальный, экологический потенциал любой страны.

Земельно-ресурсный потенциал Республики Беларусь достаточно велик. Данные Государственного земельного кадастра свидетельствуют, что состав и структура земельного фонда страны близки к оптимальным. По общей площади земель, а также площади наиболее ценных видов земель, приходящихся на одного жителя, наша страна превосходит большинство развитых стран мира. Таким образом, в Беларуси земля является основным природным ресурсом и национальным богатством, а повышение эффективности использования и охраны земельных ресурсов, совершенствование земельных отношений являются неотъемлемым условием и предпосылкой устойчивого социально-экономического развития страны, а также основной задачей государственной земельной политики.

Вместе с тем, как показывает практика, в рассматриваемой области еще немало нерешенных проблем. Уже неоднократно в Республике Беларусь поднимался вопрос об изменении категорий земель и повышении их охраны.

Основная часть. Земли Республики Беларусь в соответствии со статьей 6 Кодекса Республики Беларусь о земле (КоЗ) [5] делятся на 7 категорий, выделяемых по основному целевому назначению и имеющих определенный законодательством правовой режим использования и охраны. Кроме того, информация о площади категории земель в соответствии с формой ведомственной отчетности «Отчет о наличии и распределении земель» (форма 22-зем) дается справочно. Форма 22-зем заполняется на основании данных Государственного земельного кадастра, содержащихся на кадастровых картах (планах), в электронной базе данных реестра земельных ресурсов или экспликаций земель землепользователей. Учет наличия и распределения земель ведется по видам земель и по категориям землепользователей, их 12. Суммарная площадь категорий землепользователей составляет общую площадь Республики Беларусь. На основании площади категорий землепользователей рассчитывается справочная информация по отдельным категориям земель. Так, площадь категории земель сельскохозяйственного назначения определяется как сумма земель категории землепользователей сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств и земель граждан, использующих участки для огородничества, для сенокошения и выпаса скота, для других сельскохозяйственных целей, служебных наделов. Но, в отличие от Беларуси, Россия и США действительно реализуют эти идеи. Особое внимание в этих странах уделяется землям сельскохозяйственного назначения. Принимаются меры по решению следующих проблем:

- защита земель сельскохозяйственного назначения от изъятия для несельскохозяйственных целей, проводимые на основе зонирования не только городских, но и сельских территорий;
- экономическое стимулирование организации рационального использования, консервации, резервирования и охраны земель сельскохозяйственного назначения;
- поддержка развития сельскохозяйственного производства, мелиорируемых и осваиваемых в сельскохозяйственный оборот земель и диверсификации сельскохозяйственного производства с учетом природных и экономических условий землеустраиваемой территории.

В США также сформировалась система законов, ограничивающих перевод земель сельскохозяйственного назначения в другие категории. Примерами таких законодательных актов могут служить: Федеральный закон о защите сельскохозяйственных земель (Farm Bill, 1981 г.); Закон (доктрина) продо-

вольственной безопасности (Food Security Act, 1985 г.); Федеральный закон о развитии и реформе сельского хозяйства (Federal Agricultural Improvement and Reform Act, 1996 г.); Закон о продовольствии, охране природы и энергетике (The Food, Conservation, and Energy Act, 2008 г.). Использование земель, находящихся в федеральной собственности, регулируется Федеральным законом «О федеральной земельной политике и государственном землеустройстве» (Federal Land Policy and Management Act) от 1976 года [6].

В Российской Федерации данная программа находится лишь в стадии разработки. Разрабатывается проект Федерального закона «О внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации в части отмены отдельных категорий земель и признании утратившим силу Федерального закона «О переводе земель и земельных участков из одной категории в другую». По мнению его разработчика – Минэкономразвития России, законопроект кардинально изменит классификацию земель и упростит земельные отношения в стране. Главная новация – отказ от традиционного деления земель на семь категорий, остаются только три особых категории: земли особо охраняемых природных территорий, земли лесного фонда и земли водного фонда. Все, что туда не попадает, останется вне категории и будет классифицироваться по 13 территориальным зонам в зависимости от назначения. Директор Департамента недвижимости Минэкономразвития Андрей Ивакин считает, что принятие данного законопроекта сократит как минимум в два раза сроки перевода земель из одной зоны в другую, а главное – процедура станет прозрачнее, но это не означает, что будет приниматься произвольное решение.

Вопрос изменения и уменьшения категорий земель для Республики Беларусь особенно актуален. Мы предлагаем вариант, который давно работает в США, где выделяют две основные категории земель: лучшие и уникальные сельскохозяйственные земли, а также две дополнительные категории: значимые в масштабах штата и сельскохозяйственные земли местного значения (таблица).

Классификация наиболее значимых для сельского хозяйства земель в США

Виды (категории) земель	Характеристика	Виды разрешенного использования
Первая категория (исключительно сельскохозяйственная зона) – лучшие сельскохозяйственные земли	Наиболее пригодные по природным и производственно-технологическим характеристикам для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства	Исключительно для сельскохозяйственных целей
Вторая категория – уникальные сельскохозяйственные земли	Пригодные для выращивания культур специфической ценности и качества	Под специальные культуры, например под клюкву, на осушенных кислых торфянистых почвах
Первая дополнительная категория (значимые сельскохозяйственные земли в масштабах штата)	Пригодные для ведения сельскохозяйственного производства	Для сельскохозяйственных целей с разрешенным использованием части участков для коммерческого лесоразведения, отдыха городского населения, сельского туризма и др.
Вторая – дополнительная категория (сельскохозяйственные земли местного значения)	Ограниченно пригодные для сельскохозяйственного производства (почвы легкого механического состава, склоновые и другие эрозийно опасные земли)	Возможно изъятие из сельскохозяйственного оборота, консервация, почвозащитное лесоразведение, залужение с сенокосшением, нормированный (ограниченный) выпас и др.
Вспомогательная категория	Не пригодные для ведения сельскохозяйственного производства	Под строительство промышленных и других несельскохозяйственных объектов, для городской застройки, разработки местных строительных материалов

Для оценки уровня эрозии в США применяется также показатель толерантности (T), при котором T означает максимальный среднегодовой размер потерь почвы, не приводящий к падению урожайности.

В американской классификации, кроме того, имеется специальный подкласс, отражающий климатические условия, тогда как в белорусской природно-хозяйственной группировке земель климатические условия показывают более обобщенно. Единицы землепригодности являются наименьшими подразделениями данной системы. Они объединяют равноценные в хозяйственном отношении почвы, имеющие одинаковую потенциальную продуктивность и требующие одинаковых агротехнических приемов и мер противозерозионной защиты. Бонитировочно-классификационная система используется в США для качественного учета земель на всех уровнях административного деления страны. Материалы такого учета являются составной частью информационного обеспечения ряда функций управления земельными ресурсами.

Земли сельскохозяйственного назначения в Беларуси имеют несколько иную классификацию, нежели земли сельскохозяйственного назначения США [6]. В составе земель сельскохозяйственного назна-

чения Республики Беларусь выделяются сельскохозяйственные угодья, земли, занятые внутрихозяйственными дорогами, коммуникациями, лесными насаждениями, предназначенными для обеспечения защиты земель от воздействия негативных (вредных) природных, антропогенных и техногенных явлений, водными объектами, а также зданиями, строениями, сооружениями, используемыми для производства, хранения и первичной переработки сельскохозяйственной продукции.

Закключение. Система деления земель, используемая в США, имеет место применения и в Республике Беларусь. Для Беларуси сельское хозяйство – это приоритетное направления использования земель (согласно статье 5 КоЗ Республики Беларусь) и основная отрасль, дающая большую часть доходов страны (около 55 %). С переходом на такую систему выращивание некоторых культур может стать ещё более рентабельным. А исключение из этой категории земель, занятых дорогами, строениями и прочим, поможет вести более точный их учёт. Важно знать конкретные цифры о количестве земли в целом, чтобы иметь возможность её реального распределения между землепользователями и повысить рациональность использования земель по назначению.

В Беларуси не существует классификации по подклассам, характеризующим природу ограничивающего фактора, а также специального подкласса, отражающего климатические условия. На наш взгляд, именно эта проблема должна быть решена белорусским законодателем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шавров, С. Управление недвижимостью: перспективные направления научных исследований для Беларуси / С. Шавров, О. Бурдыко // Земля Беларуси. – 2013. – № 1. – С. 22.
2. Шавров, С. Управление недвижимостью: перспективные направления научных исследований для Беларуси / С. Шавров, О. Бурдыко // Земля Беларуси. – 2013. – № 2. – С. 15.
3. О внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации в части отмены отдельных категорий земель и признании утратившим силу Федерального закона: Проект Федерального Закона «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую» // Российская газета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2011/10/13/zemlya-kategorii-site-dok.html>.
4. Смольякова Т. Земельный вопрос / Т. Смольякова // Российская газета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2011/10/14/zemlya.html>.
5. Кодекс Республики Беларусь о земле: 23 июля 2008 г. К 57 № 452-З. – Минск: Амалфея, 2013. – 140 с.
6. Волков, С.Н. Экономический механизм регулирования использования земель сельскохозяйственного назначения в США / С.Н. Волков // Землеустройство, кадастр и мониторинг. – 2012. – № 6. – С. 32.
7. Помелов, А.С. Структурирование земельных ресурсов и регулирования землепользования в Беларуси / А.С. Помелов. – Минск: РУП «БелНИЦзем», 2013. – 528 с.

Поступила 19.02.2014

TO THE QUESTION ABOUT THE EFFICIENCY OF LAND RESOURCES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

M. HLEBKO, A. TRATSIK

In the article the research results of the increase effectiveness usage and protection of land resources; the improvement of land relations in different countries by the example of reducing the number of categories of land. The author gives the analysis of the solution of this problem. Conclusions about the possibility of applying the experience about the division of land in other countries particularly in the United States to improve the management of land resources in the Republic of Belarus are made.

УДК 630*181:561.24:564

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РЕПЕРНЫХ ЛЕТ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ХВОЙНЫХ ПОРОД В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «НАРОЧАНСКИЙ»

канд. с-х. наук, доц. А.А. БОЛБОТУНОВ; Е.В. ДЕГТЯРЕВА
(Полоцкий государственный университет)

Воздействие экстремальных климатических ситуаций на природную среду и человека требует внимательного изучения, в том числе и методами дендрохронологического мониторинга. Рассматриваются возможности анализа реперных лет минимального и максимального радиального прироста древесины хвойных пород в Национальном парке «Нарочанский» в зависимости от климатических показателей и солнечной активности в числах Вольфа. Разработана программа, осуществляющая сопряженный анализ величин радиального прироста и факторов среды, соответствующих условиям формирования максимального и минимального прироста.

Насаждения особо охраняемых природных территорий, к которым относится и Национальный парк «Нарочанский», представляют собой ненарушенные естественные лесные массивы, наилучшим образом подходящие для анализа влияния экстремальных климатических ситуаций как территории, в меньшей степени зависимые от хозяйственной деятельности человека.

Управление особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) является сложным процессом, во время которого изучается пространство, готовятся новая информация и данные о процессах и явлениях, анализируются последствия природной и человеческой деятельности. Согласно концепции «адаптивного управления» процесс управления рассматривается как динамический циклический процесс, в котором мониторингу отводится важное место. Проведение мониторинга растительного покрова связано с лесоустройством, землеустройством, территориальным планированием на основе информационного взаимодействия, принятием оперативных и перспективных управленческих решений. Основоположающими принципами концепции комплексного мониторинга экосистем ООПТ являются: использование современных геоинформационных систем (ГИС), переход от наземных к дистанционным методам мониторинга, анализ количественных данных о состоянии природных экосистем.

На рисунке 1 приведен вариант блок-схемы управления земельными ресурсами НП «Нарочанский».



Рис. 1. Блок-схема управления земельными ресурсами НП «Нарочанский»

Характерная особенность представленной блок-схемы состоит в том, что объект располагается на территории трех административных областей (Минской, Витебской и Гродненской) и четырех административных районов. Важно отметить, что из четырех районов в составе парка только два имеют четко установленные границы (Мядельский и Поставский) в соответствии с ЗИС и земельным учетом [1–4].

Основой ЗИС является зонирование территории (функциональные зоны Национального парка «Нарочанский» показаны на рисунке 1). Основные пробные площади дендроклиматохронологического мониторинга расположены в заповедной зоне (ПП 271–277 в районе природного комплекса «Голубые озера») и одна – в рекреационной зоне (ПП 270). Около 70 % территории относится к гослесфонду.

В ряде работ отмечается, что принципиальная особенность климата современной эпохи – потепление, которая определяет в современных условиях направленное изменение состояния окружающей среды. Глобальное изменение климата важно изучать для оценки его влияния на природную среду, хозяйственную деятельность человека, состояние здоровья населения. Отмечается важность и необходимость картографирования изменений температурного режима разных временных интервалов [5–7]. В качестве стандартного периода для оценки климатических переменных по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) используется период в 30 лет: 1961–1990 годы (в Беларуси по 1988 г). Термин «норма» по умолчанию означает среднее значение переменной величины именно за указанный период, а отклонение этой величины от нормы называют аномалией. Специальные справочники и информационные системы сообщают эти данные.

В формировании климатической изменчивости важная роль принадлежит центрам действия атмосферы. Их роль заключается в том, что они определяют траектории перемещения циклонических серий. На климат европейской территории существенное влияние оказывает североатлантическое колебание – NAO (North Atlantic Oscillation), выражающееся в холодное время года и представляющее собой колебание атмосферного явления в центрах Исландской депрессии и Азорского антициклона.

Таблица 1

Различия среднемесячной температуры воздуха за период 1966–1987 и 1988–2012 годов по климатическим зонам Беларуси, °C

Месяц	1966–1987 гг.	1988–2012 гг.	разница (±)	1966–1987 гг.	1988–2012 гг.	разница (±)	1966–1987 гг.	1988–2012 гг.	разница (±)
	Северная часть			Центральная часть			Южная часть		
январь	–8,5	–4,3	4,2	–7,8	–3,8	4,0	–6,8	–3,2	3,6
февраль	–7,2	–4,8	2,4	–6,4	–3,9	2,5	–5,3	–2,9	2,4
март	–2	–0,2	1,8	–1,2	0,5	1,7	0	1,6	1,6
апрель	5,3	6,8	1,5	6,2	7,6	1,4	7,4	8,6	1,2
май	12,5	12,5	0,0	13,1	13,1	0,0	14,1	14,2	0,1
июнь	15,3	16,1	0,8	16	16,5	0,5	16,9	17,4	0,5
июль	16,7	18,4	1,7	17,1	18,9	1,8	17,9	19,7	1,8
август	15,9	16,8	0,9	16,5	17,5	1,0	17,2	18,3	1,1
сентябрь	10,8	11,6	0,8	11,6	12,2	0,6	12,5	13,0	0,5
октябрь	5,6	6,0	0,4	6,2	6,5	0,3	7,1	7,3	0,2
ноябрь	0,5	0,4	–0,1	1,1	0,9	–0,2	1,8	1,7	–0,1
декабрь	–3,8	–3,7	0,1	–3,6	–3,3	0,3	–2,8	–2,7	0,1
Средняя	5,1	6,3	1,2	5,7	6,9	1,2	6,7	7,8	1,1

Анализ различий среднемесячной температуры воздуха за периоды 1966–1987 и 1988–2012 годов (период потепления климата) по северной части Беларуси указывает на разницу в 4,2 °C в январе и 2,4 °C – в феврале. Обращает внимание отсутствие разницы за май и некоторое увеличение температуры за летний период, а также снижение температуры за период потепления в ноябре на 0,1 °C и незначительную разницу в декабре, что по-новому характеризует зимний период. Изменение климата повлекло за собой смещение границ агроклиматических областей Беларуси, но при этом Нарочанский регион остается в прежней северной климатической зоне.

Основными объектами исследований при разработке вековых дендрошкал Национального парка «Нарочанский» послужили уникальные территории, расположенные севернее деревни Константиново, где приурочены водно-ледниковые и зандровые ландшафтные комплексы с волнистым и плосковолнистым рельефом (170...230 м), а также водоохранные зоны и прибрежные полосы озёр Нарочь, Болдук, Глухое и реки Страча. Основные работы по закладке пробных площадей были выполнены в 2004 году. Подбору и рекогносцировке проб содействовало наличие картографических материалов (топокарт М 1:100000 и М 1:10000), тематических материалов лесоустройства, аэро- и космической фотосъемки. Инвентаризация

насаждений на пробных площадях производилась в 2008 и 2012 годах. Разработаны дендрошкалы сосны и ели протяженностью от 90 до 170 лет. Типологическая структура представленных насаждений довольно разнообразна – от автоморфных до гидроморфных условий местопроизрастания на песчаных и супесчаных почвах для сосны; еловые насаждения представлены черничными и мшистыми типами леса на суглинках. Подробные характеристики объектов дендрохронологического мониторинга приведены в таблице 2.

Таблица 2

Объекты дендроклиматохронологического мониторинга на территории Национального парка «Нарочанский»

№ проб	Квартал, лесничество/месторасположение	Порода	Возраст, лет	Кол-во деревьев (кернов)	Протяженность шкалы, годы лет	Эдафотоп, тип леса	Примечание
270	69, 71, Нарочь, отель	сосна	88	25	1924–2008 85	A ₂ С мш	Водоохранная зона оз. Нарочь, рекреация
271	3, Константиновское/оз. Болдук	сосна	104	28	1898–2008 101	B ₂ –C ₂ С мш-черн	Северная экспозиция, следы эрозионных процессов
272	117, Константиновское	сосна	155	28	1854–2008 150	B ₂ –B ₃ С мш-черн	Полнота неравномерная
273	13, Константиновское/р. Страча	ель	110	10	1903–2008 106	C ₃ –C ₄ Е разн-черн	Припойменная дренируемая ложина и подножье склона
274	22, Константиновское/оз. Глухое	сосна	175	18	1840–2008 169	A ₅ С сф	Прибрежная полоса зарастающего озера
276	152, 153, 160, Константиновское	ель	155	10	1853–2008 151	A ₃ –B ₃ С черн-бр	Урочище Барановка, включая придорожную полосу
277	152, Константиновское	ель	161	10	1846–2004 159	B ₂ –B ₃ Е мш-черн	Урочище Барановка, усыхающие деревья

На рисунке 2 представлена дендрошкала, созданная для пробной площади 270. На первом графике (рис. 2, а) ширина годичного кольца показана в миллиметрах, на втором (рис. 2, б) для удобства анализа шкала сглажена методом скользящего среднего и дана в относительных единицах (процентах).

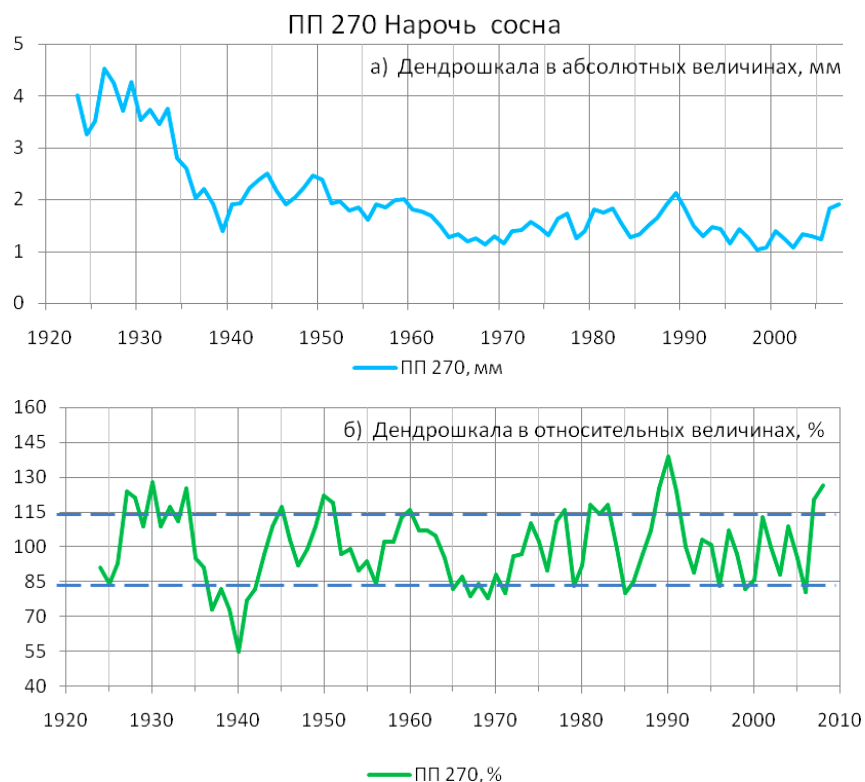


Рис. 2. Дендрошкала радиального прироста сосны для пробной площади 270 Национального парка «Нарочанский»: а – в миллиметрах; б – в процентах

Годы с шириной годичного кольца, выходящей за установленный барьер $\pm 15\%$ (от 115 до 85 %), можно считать годами экстремального прироста или реперными годами.

Для автоморфных условий местопроизрастания ПП 270 реперными годами максимального прироста явились 1950–1951, 1960, 1978, 1981–1983, 1989–1991, 2004, 2007–2008; минимального – 1956, 1965, 1967–1969, 1971, 1979, 1985, 1996, 1999, 2006. Разработанные дендрошкалы радиального прироста хвойных пород с учетом их типологической структуры и базы климатических данных позволили осуществить анализ зависимости радиального прироста от факторов тепловлагообеспеченности за различные временные периоды, а также от ряда комплексных показателей: гидротермический коэффициент (ГТК), индекс континентальности Конрада и солнечной активности в числах Вольфа. Это позволяет установить роль лимитирующих прирост факторов в оценке формирования прироста. Разработанная программа осуществляет сопряженный анализ величин радиального прироста и факторов среды, соответствующих условиям формирования максимального и минимального прироста, и выдает результаты в виде таблицы (табл. 3), где отражается долевое участие в процентах и в абсолютных единицах в заданном интервале.

На первом этапе анализа представлено 23 климатических показателя, в том числе осадки и температура за различные временные периоды, а также текущего (m_0) и предыдущего (m_1) года, солнечная активность в числах Вольфа. Вычислены средние значения этих показателей. Отобраны показатели, соответствующие реперным годам, а также вычислены средние величины, соответствующие максимальному приросту (более 115 %), и средние минимальные, соответствующие приросту менее 85 %. Отклонения средних величин за весь исследуемый период от средних показателей за годы минимального и максимального прироста представлены в абсолютных и относительных величинах. На втором этапе выбраны факторы с наиболее значимыми отклонениями (в %). Таким образом, установлены лимитирующие прирост факторы, среди которых солнечная активность и осадки в летний период,

По сравнению с другими, этот метод выявления лимитирующих прирост факторов приемлет малые выборки, не требует знания закона распределения и более понятен с физической точки зрения процесса. Тем не менее выполненный ранее корреляционный анализ [8; 10] не противоречит полученным результатам: значимые значения коэффициентов корреляции указывают на те же факторы.

На основе разработанных дендрошкал радиального прироста для сосны и ели в разных типологических условиях Национального парка «Нарочанский» представлено моделирование радиального прироста до 2025 года (рис. 3). Отмечается высокое сходство аппроксимирующей функции и фактического радиального прироста – коэффициенты корреляции $r = 0,74$ и $r = 0,82$. Для подтверждения величин максимального и минимального прироста с 2009 по 2013 год выполняется верификация прогнозного моделирования.

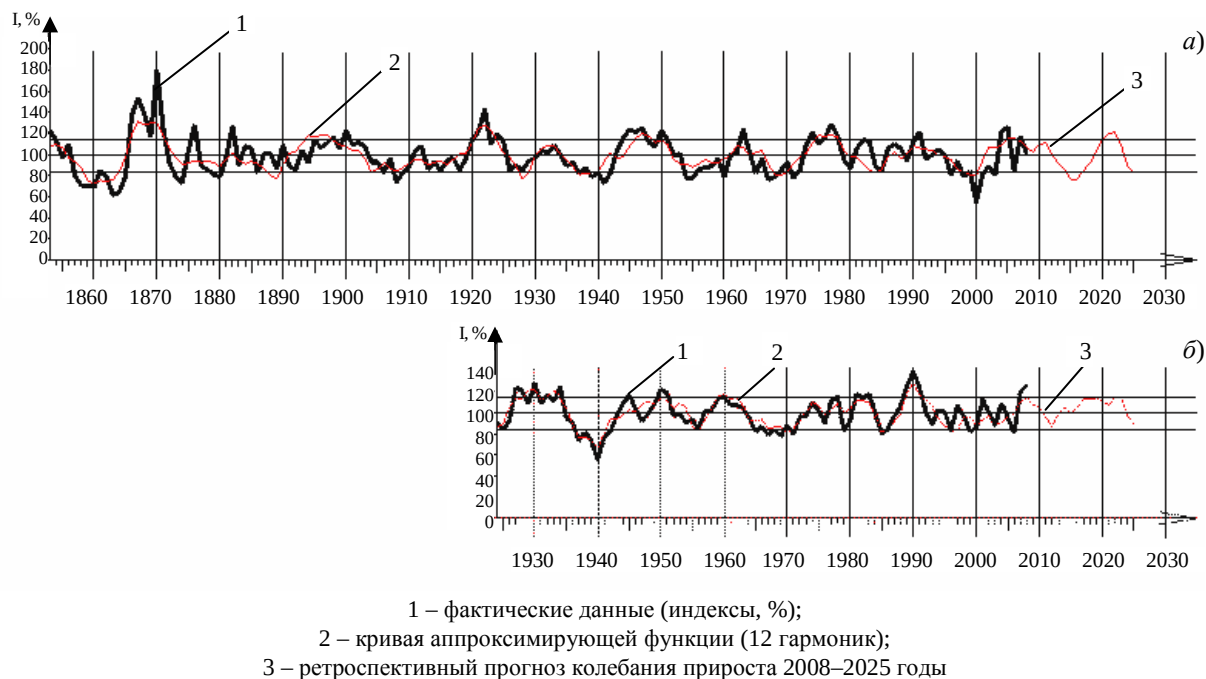


Рис. 3. Динамика радиального прироста:

а – ели ПП 276 Константиновское лесничество, сосняк черничный, $r = 0,74$;

б – сосны ПП 270 Нарочанское лесничество, рекреационная зона отеля «Нарочь», сосняк мшистый, $r = 0,82$

Таблица 3

Результаты сопоставления реперных лет экстремального прироста с климатическими факторами и солнечной активностью

Годы	дни	ам0	О5-7m0	О5-9m1	О5-9m0	О6-7m0	О8-9m0	Оm1	Оm2	Оm0	Оm0m1	Оm0m1m2	Т12-1m0	Т12-2m0	Т4m0	Т5m0	Т5-7m0	Т5-9m1	Т5-9m0	Т6-9m0	Т7-8m0	Т8-9m0	Т9m0	Тm0
Ср.		74,4	231	385	382	170	167	755	754	752	1506	2260	-4,8	-5,2	5,3	14,5	14,1	14,1	12	14,7	19,3	13,3	11	5,3
max																								
1950	122	103	244	463	535	217	291	769	804	844	1613	2417	-7	-5,5	8,7	14,3	14,3	13,8	12	14,2	15,1	13,4	11,7	5,8
1951	119	71,1	234	535	295	153	61	844	798	1642	2411	2411	-4,6	-5,2	6,5	13,5	13,8	14,2	9,2	15,4	17	15,2	12,4	5,3
1960	116	121	332	198	497	236	165	545	799	822	1367	2166	-7,4	-7,3	4,8	15,2	14,6	14,2	12	14,8	16,7	12,8	9,8	4,5
1978	116	73,5	229	396	478	287	249	779	525	824	1603	2128	-5,4	-6,3	4,4	12,7	13,2	12,3	9,5	13	14,8	11,7	8,7	4,6
1981	118	144	202	376	339	197	137	619	800	750	1369	2169	-4,3	-4,4	2,9	15,6	12,8	14,6	14	14,8	16	13,1	11,5	5,5
1983	118	83,2	252	357	315	179	63	741	750	738	1479	2229	-0,5	-2,4	7,5	15,4	13,8	15,1	15	15,1	16,4	14,6	13,2	7
1989	125	109	308	372	451	155	143	699	751	812	1511	2262	-2	-0,9	6,9	15,3	15,2	14,5	13	14,9	15,9	13,3	11,8	6,8
1990	139	143	287	451	548	276	261	812	699	950	1762	2461	-2,1	-0,5	7	13,4	14,5	12,9	11	13,4	15	12,2	9,1	6,6
1991	124	147	225	548	361	264	136	950	812	719	1669	2481	-2,7	-3,7	5,8	13,9	12,9	14	9,7	15,1	17	14,4	12,1	6,2
2007	120	7,5	219	378	293	153	74	618	864	665	1283	2147	1,3	-2,3	5,7	13,4	15,5	15,4	15	15,8	17,2	14,9	11,7	7,6
2008	126	2,9	137	293	242	69	105	665	618	630	1295	1913	-1,5	-0,9	8,1	10,5	14,2	15,3	14	15	17,1	14	10,8	6,9
Ср. max		91,2	242,6	397,0	395,8	198,7	152,2	731,0	744,6	777,5	1508,5	2253,1	-3,3	-3,6	6,2	13,9	14,1	14,2	12,3	14,7	16,2	13,6	11,2	6,1
Разность, %		16,8	11,6	12,0	13,8	28,7	-13,8	-24,0	-9,4	25,5	2,5	-6,9	1,5	1,6	0,9	-0,6	0,0	0,1	0,6	0,0	-3,1	0,3	0,2	0,8
min		22,6	5,0	3,1	3,6	16,9	-8,3	-3,2	-1,2	3,4	0,2	-0,3	-31,4	-31,1	17,2	-3,9	-0,2	0,8	4,8	-0,1	-16,1	2,3	1,5	14,6
1956	84	115	247	398	425	212	178	866	782	873	1739	2521	-6,2	-9,3	1,8	14,6	14,3	13,3	11	13,9	14,2	11,3	9,3	3,6
1965	82	13	264	289	447	180	183	662	616	915	1577	2193	-4,1	-5,5	3,6	12,5	14,5	13	7,8	14	14,7	13,8	13,2	4,6
1967	79	83,3	95	411	244	38	149	848	915	653	1501	2416	-8,3	-7,1	5,6	15,7	14,7	15,3	14	15,6	16,9	14,7	13,2	5,7
1968	84	107	215	244	382	121	167	653	848	853	1506	2354	-9,3	-8,3	6,6	14,1	15,3	13,9	10	14,9	15,7	13,8	11,3	5,2
1969	78	107	183	382	323	121	140	853	653	590	1443	2096	-8,3	-8,3	4,5	14,3	13,9	13,7	11	14,3	16,2	12,8	10,4	3,7
1971	80	72,3	128	255	219	86	91	706	590	572	1278	1868	-4	-4,1	4,4	15	14,2	14,5	13	14,8	17,1	13,7	9,9	5,5
1979	83	139	183	478	405	152	222	824	779	800	1624	2403	-10	-9,9	4	14,6	12,3	14,3	13	14,6	14,7	13,8	11,3	4,5
1985	80	18,1	250	385	425	170	175	677	738	777	1454	2192	-8,2	-10,2	4,5	14	13,6	13,8	13	14,1	16,4	13,6	9,5	4
1996	83	9,3	238	369	322	160	84	817	831	618	1435	2266	-9	-9,1	6	14,3	14,8	13,7	13	13,9	16,2	12,9	8,5	4
1999	82	82,3	153	447	239	200	86	906	677	593	1499	2176	-4,2	-4,6	8,9	16,2	14,1	15,5	9,6	16,9	17,9	14,3	12,7	6
2006	81	15,2	138	457	378	38	240	864	740	618	1482	2222	-5,8	-6,8	5,6	11,2	15,7	14,6	15	16,5	18,4	15	13,1	5,5
Ср. min		69,1	190,4	374,1	346,3	134,4	155,9	788,7	742,6	714,7	1503,5	2246,1	-7,1	-7,6	5,0	14,2	14,3	14,1	11,9	14,9	16,2	13,6	11,1	4,8
Разность, %		-5,3	-40,6	-10,9	-35,7	-35,6	-11,1	33,7	-11,4	-37,3	-2,5	-13,9	-2,3	-2,4	-0,3	-0,3	0,2	0,0	0,2	0,2	-3,1	0,3	0,1	-0,5
%		-7,1	-17,6	-2,8	-9,4	-21,0	-6,6	4,5	-1,5	-5,0	-0,2	-0,6	47,2	45,5	-4,8	-1,9	1,5	0,3	2,1	1,1	-16,0	2,3	1,2	-10,3

Закключение. В результате проведенного исследования выявлены климатические факторы, обуславливающие радиальный прирост хвойных пород (сосны, ели) Национального парка «Нарочанский», сделан прогноз колебания этого прироста до 2025 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фоменко, П.Н. Использование WEB-технологий в управлении земельными ресурсами / П.Н. Фоменко // Землеустройство, кадастры и мониторинг. – 2014. – № 1. – С. 64–72.
2. Мороз, Г. О причинах несовпадения площадей районов / Г. Мороз // Земля Беларуси. – 2013. – № 4. – С. 6–11.
3. Помелов, А.С. Основные направления оптимизации, содержания, технологии и порядка ведения государственного кадастра Земля Беларуси / А.С. Помелов. – 2013. – № 4. – С. 9–16.
4. Установление (восстановление и закрепление границ земельных участков). Порядок проведения: ТКП 289-2010 (03150).
5. Божилина, Е.А. Картографирование изменений температурного режима европейской территории России за различные временные периоды (1881–1935 и 1961–1990 гг.) / Е.А. Божилина, В.Н. Сорокина, Н.З. Салихова // Геодезия и картография. – 2014. – № 2. – С. 27–35.
6. Логинов, В.Ф. Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы северного полушария по Б.Л. Дзердзиевскому / В.Ф. Логинов, Ю.А. Бровка, В.С. Микуцкий // Природопользование. – 2013. – Вып. 24. – С. 5–10.
7. Болботунов, А.А. Радиальный прирост насаждений хвойных пород Беларуси и информационное обеспечение прогнозирования его динамики / А.А. Болботунов, М.В. Рымашевская // Природопользование: экология, экономика, технологии: материалы междунар. науч. конф., Минск 6–8 окт. 2010 г. – Минск: Минсктипроект, 2010. – С. 34–38.
8. Болботунов, А.А. Стратегическая схема развития и управления ООПТ Беларуси до 2015 года / А.А. Болботунов, Е.В. Дегтярева // Труды междунар. науч.-техн. конф., посв. 50-летию Новополоцка, 2–4 дек. 2008 г.; под ред. В.П. Подшивалова. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – С. 344–354.
9. Болботунов, А.А. Пространственно-временной анализ радиального прироста сосны обыкновенной в автоморфных условиях Беларуси / А.А. Болботунов, М.В. Рымашевская // Геодезия, картография и геоинформационные системы: тр. междунар. науч.-техн. конф.; под общ. ред. В.П. Подшивалова. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – С. 355–365.
10. Болботунов, А.А. Анализ реперных лет минимального и максимального радиального прироста хвойных пород в Национальном парке «Нарочанский» / А.А. Болботунов, Е.В. Дегтярева // Современные технологии в деятельности ООПТ. ГИС-Нарочь 2014: тез. междунар. науч.-техн. конф.; под общ. ред. В.А. Сипача, В.С. Люштыка. – Нарочь, 2014. – С. 13–14.

Поступила 02.06.2014

**DENDROCHRONOLOGICAL MONITORING OF POINTER YEARS
OF EXTREME VALUES OF RADIAL INCREMENT OF CONIFERS
IN THE NATIONAL PARK “NAROCHANSKIY”**

A. BOLBOTUNOV, E. DEGTARYOVA

Exposure to extreme climatic situations on the environment and human requires careful study, including by dendrochronological methods of monitoring. This article discusses the possibility of analysis of pointer years of minimum and maximum radial increment of coniferous in the national park “Narochanskiy” depending on climatic parameters and solar activity in the Wolf numbers. A program was developed for conjugate analysis of the values of the radial increment and environmental factors, that are appropriate for forming maximum and minimum increment.

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА

<i>Орловская Е.Ю., Реутская И.П.</i> Объёмно-планировочная организация и элементы общественного обслуживания молодёжного жилого комплекса как нового типа здания	2
<i>Колосовская А.Н.</i> Архитектура католических монастырей Беларуси второй половины XIX века	9
<i>Ожешковская И.Н.</i> Сравнительный анализ крестово-купольных униатских храмов Витебской губернии во второй половине XVIII века	15

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

<i>Киселев В.Н., Целуйко И.Г.</i> Экспериментальное исследование двутавровых сварных балок, подкреплённых наклонными ребрами жесткости, на плоский изгиб	21
<i>Надольский В.В., Мартынов Ю.С.</i> Оценка требуемого (целевого) уровня надежности на основании предыдущего опыта нормирования	27
<i>Лазовский Е.Д.</i> Напряженно-деформированное состояние поперечной арматуры и бетона изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза	35
<i>Гринев В.Д., Щербо А.Г.</i> К расчёту прямоугольных ячеек силосов при горизонтальном давлении	41
<i>Хаткевич А.М.</i> Метод расчета прочности нормальных к продольной оси сечений конструкций из каменной кладки с учетом диаграмм деформирования	45
<i>Жукьян П.П.</i> Расчет железобетонных плит, опертых по контуру	54
<i>Киселев В.Н., Целуйко И.Г.</i> Установка для проведения комплексных исследований на плоский изгиб, стесненное кручение, кручение с изгибом	59
<i>Кудёлко О.А., Бозылев В.В.</i> К вопросу выбора вариантов объёмно-планировочных и конструктивных решений при проектировании транспортно-логистических центров	62

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Парфенова Л.М., Куликова Ю.В.</i> Композитные цементные системы с древесной золой	68
<i>Шведов А.П., Якубовский С.Ф., Шведов А.А.</i> Состав углеводородного сырья и особенности технологического процесса получения пластифицирующих добавок в бетонные смеси	72

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

<i>Стахейко А.В., Кульбей А.Г.</i> Обеспечение оценки технического состояния технологических трубопроводов нефтеперекачивающих станций Республики Беларусь	80
<i>Зафатаев В.А.</i> Выбор геометрического исполнения профильного листа оребрения трубных пучков воздухоподогревателей методом термоэкономики	84
<i>Седлухо Ю.П., Станкевич Ю.О.</i> Влияние аэрационных процессов на методы и технологию очистки подземных вод от сероводорода	90
<i>Новосельцева Д.В.</i> Установка для обезвреживания газовых и вентиляционных выбросов объектов промышленности	95

ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ

<i>Дегтярев А.М., Ялтыхов В.В.</i> Определение крена сооружений башенного типа современными методами	99
<i>Манукян Л.В.</i> Геодезический мониторинг движений земной коры на Спитакском геодинамическом полигоне	106
<i>Яновский А.А., Бамбалов Н.Н.</i> Автоматизация картографирования повторно заболоченных участков выработанных торфяных месторождений Беларуси по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения	110
<i>Глебо М.Г., Третьяк Е.Е.</i> К вопросу о повышении эффективности использования земельных ресурсов в Республике Беларусь	117
<i>Болботунов А.А., Дегтярева Е.В.</i> Дендрохронологический мониторинг реперных лет экстремальных значений радиального прироста хвойных пород в Национальном парке «Нарочанский»	120