

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»

**ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК
ТРУДОВ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ
ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА
имени Евфросинии Полоцкой**

Выпуск 49(119)

ПРИКЛАДНЫЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО

Геодезия

Строительство. Архитектура. Дизайн

Трубопроводный транспорт и инженерные сети

Обновляется 1 раз в год

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой
2023

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель:

доц., к.физ.-мат.н. Ю. Я. Романовский

Заместитель председателя:

к.пед.н. И. В. Буряя

Главный редактор проф., д.т.н. Д. Н. Лазовский

Зам. главного редактора доц., к.т.н. А. А. Бакатович

Геодезия:

доц., к.т.н. А. М. Дегтярёв

к.т.н. И. П. Шевелев

доц., к.т.н. В. В. Ялтыхов

Строительство. Архитектура. Дизайн:

доц., к.т.н. Д. Д. Жуков

доц., к.т.н. Е. Г. Кремнева

доц., к.т.н. Л. М. Парфёнова

к.т.н. А. М. Хаткевич

Трубопроводный транспорт и инженерные сети:

к.т.н. Ю. В. Вишнякова

доц., к.т.н. Т. И. Королёва

доц., к.т.н. Л. М. Спиридёнок

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК ТРУДОВ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА имени Евфросинии Полоцкой [Электронный ресурс]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2023. – Вып. 49 (119). Прикладные науки. Строительство. – 1 электрон. опт. диск.

Издаётся с 2014 года (в печатном виде – с 2004 г.).

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671404562 от 30.11.2014 г.

В сборнике представлены труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой по направлениям прикладных исследований, проводимых в университете: строительство, архитектура, дизайн, геодезия, трубопроводный транспорт и инженерные сети.

Предназначен для работников науки, образования и производства, будет полезен студентам, магистрантам и аспирантам университетов технических специальностей.

Учредитель: учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь

тел. 8 (0214) 59 95 44, e-mail: vestnik@psu.by

Компьютерный дизайн *М. С. Мухоморовой*

Техническое редактирование и компьютерная верстка *И. Н. Чапкевич*

ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.71: 631.17

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНАЯ И МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ СЪЁМКА В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

М.А. ГЕРАСИМОВА*(Представлено: П.Ф. Парадня)*

В статье рассмотрены такие виды спектральной съёмки, как гиперспектральная и мультиспектральная, а также четыре метода получения гиперспектральной информации, каждый из которых имеет свои преимущества для технологий точного земледелия.

Точное земледелие – это ряд компьютерных технологий, предназначенных для комплексного управления продуктивностью посевов. Благодаря использованию спутников и беспилотных летательных аппаратов, на которые установлены специальные спектральные камеры, получают снимки, широко используемые для определения урожайности, засаженности, уровня влаги и других характеристик полей. Поэтому в настоящее время в технологиях точного земледелия всё больше используется гиперспектральная и мультиспектральная съёмки [1].

Обычно в технологиях машинного зрения используются датчики камер с максимальной спектральной чувствительностью около 550 нм, при этом свет собирается с помощью встроенных линз внутри камеры. Однако при расширении в ультрафиолетовый или ближний инфракрасный диапазон значительно уменьшается квантовая эффективность датчиков камеры. Также датчик выдаёт массив значений в серых оттенках, что приводит к получению 2D-изображений [2].

Рассмотрим более детально мультиспектральную и гиперспектральную съёмку.

Гиперспектральная съёмка, иначе говоря HSI, использует технологию, которая даёт возможность захватывать изображения, содержащие информацию более широкого электромагнитного спектра. Таким образом, в гиперспектральной съёмке различают от ультрафиолетового излучения до коротковолнового инфракрасного излучения, что даёт возможность определить свойства материала, которые невозможно определить в других случаях.

Как говорилось ранее, датчики, используемые в машинном зрении, позволяют получить данные в оттенках серого, что даёт возможность определить местоположение объектов. Так происходит из-за того, что датчики не распознают длины волн. В гиперспектральной съёмке используются датчики, имеющие схему фильтра Байера, которая представляет собой массив цветных фильтров RGB, состоящих из фильтров красного, зеленого и синего цветов. В таком случае, каждый пиксель проходит фильтрацию и после обработки ему присваивают цвет. Так как каждому пикселю соответствуют определённые координаты, длина волны и интенсивность сигнала, то гиперспектральную съёмку часто называют спектроскопией съёмки. Благодаря этому HSI система выдаёт гиперспектральный куб изображения или куб данных (рисунок 1).

Существует четыре основных метода получения гиперспектральной информации.

Первым методом, который называется whiskbroom и получает спектральную информацию для одной пространственной координаты за раз, является точечное сканирование. Такая технология увеличивает время обработки, так как системе необходимо отсканировать область по осям x и y. Однако данный метод способен обеспечить высочайший уровень спектрального разрешения.

Второй метод – линейное сканирование, называется pushbroom. В данной технологии сканирования используется только одна ось пространственного перемещения, иначе говоря, сканируется ряд пикселей. Преимуществом метода является то, что системы имеют небольшой вес, размер, простое управление. Однако у линейного сканирования есть недостаток – неправильное время экспозиции приводит к несоответствиям в отношении насыщенности или недоэкспонирования спектральных полос.

Третий метод – сканирование плоскости или площади. Данный метод позволяет получить изображение 2D-области в каждом интервале длин волн. Используя сканирование плоскости необходимо учитывать, что объект должен находиться в неподвижном состоянии, так как процесс обработки представляет собой создание гиперспектрального куба данных.

Четвёртый метод называется single shot, одиночный или моментальный снимок. Система формирует изображение используя один кадр и собирает весь куб гиперспектральных данных. Этот метод позволяет получить изображение с более низким пространственным разрешением [2].

Мультиспектральная съёмка объединяет от двух до пяти спектральных диапазонов изображения с относительно большой полосой пропускания в единую оптическую систему (рисунок 2). Также она поз-

воляет объединить в комбинации видимый, ближний инфракрасный, коротковолновой инфракрасный, средневолновой инфракрасный или длинноволновой инфракрасный диапазоны в одну цельную систему.

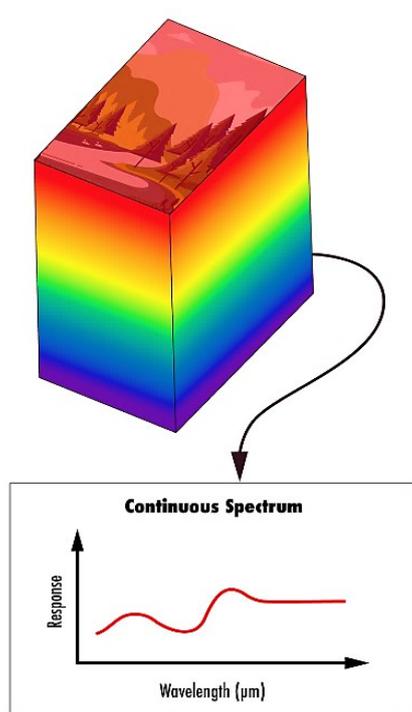


Рисунок 1. – Гиперспектральная съёмка

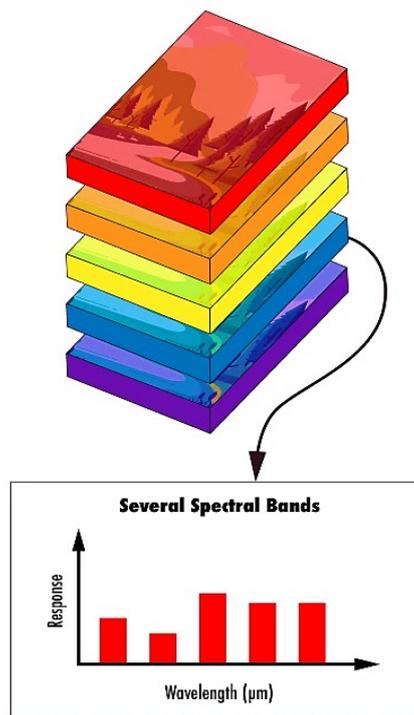


Рисунок 2. – Мультиспектральная съёмка

Отличиями гиперспектральной и мультиспектральной съёмки является то, что система HSI представляет собой сбор данных с использованием эффективно непрерывных волн, а система MSI основана на обработке нескольких диапазонов волн, что даёт преимущество каждой из систем в различных задачах.

Область применения систем HSI и MSI постоянно расширяется, однако данные системы намного дороже систем машинного зрения, используемых в сельском хозяйстве. Также системы оснащены спектрально чувствительными датчиками, что требует их калибровки специалистом.

На основе снимков, полученных с камеры, на которой установлен модуль для спектральной съёмки, вычисляется нормализованный вегетационный индекс NDVI, всё чаще используемый в последние годы в технологиях точного земледелия. NDVI позволяет определить как растение развивается на том или иной этапе вегетации и проанализировать урожайность поля [3]. Также системы HSI и MSI являются важными компонентами дистанционного зондирования и аэрофотосъёмки поверхности Земли, где используются беспилотные летательные аппараты и спутники. Благодаря гиперспектральной и мультиспектральной съёмке становится возможным повысить точность и ускорить время обработки данных со спутников, что даёт специалистам вовремя выявить проблемы и устранить их на раннем сроке. Эти методы съёмки с каждым годом совершенствуются и становятся более значимыми при изучении окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мультиспектральная съёмка с воздуха для сельского хозяйства: основные задачи решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://plus3.ru/blog/aerofotosemka/multispektralnaya_syemka_s_vozdukha_dlya_selskogo_khozyaystva_osnovy_zadachi_i_resheniya/ – Дата доступа: 21.08.2023.
2. Гиперспектральная и мультиспектральная визуализация [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.photonics.com/Articles/Hyperspectral_and_Multispectral_Imaging/a65595. – Дата доступа: 19.08.2023.
3. Использование вегетационных индексов для анализа растительности [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://gisproxima.ru/ispolzovanie_vegetatsionnyh_indeksov. – Дата доступа: 25.08.2023.

УДК 528.71: 631.17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**М.А. ГЕРАСИМОВА***(Представлено: П.Ф. Парадня)*

В статье рассмотрен физический смысл нормализованного вегетационного индекса NDVI, приведены его числовые показатели и дана их расшифровка, указано программное обеспечение для их расчета. На примере программного средства OneSoil и спутниковых снимков, полученных с сервиса Copernicus, выделены преимущества их использования в технологиях точного земледелия.

Точное земледелие — это система управления продуктивностью посевов, основанная на использовании комплекса спутниковых и компьютерных технологий, а также геоинформационных систем и глобального спутникового позиционирования [1].

В настоящее время специалисты точного земледелия стали все чаще использовать беспилотники и спутники, оборудованные модулями для спектральных и магнитных измерений.

Благодаря снимкам с мультиспектральной камеры можно определить, на какой территории больше или меньше было внесено удобрений, плодородность почвы, засушливые земли, а также рассчитать необходимое для внесения количество удобрений. Для этого используется нормализованный вегетационный индекс.

Нормализованный вегетационный индекс NDVI – это показатель многих качеств и роста растений и, благодаря программному обеспечению, имеет наглядное представление.

Рассчитывается он по спутниковым или аэрофотоснимкам и зависит от отражения и поглощения световых волн растением. Происходит это из-за того, что хлорофилл, содержащийся в растениях, достаточно хорошо отражает волны зелёного цвета, поглощая волны красного цвета. Благодаря этому процессу происходит фотосинтез и появляется возможность определить, как растение развивается и растёт. Растение, которое плохо поглощает красный свет и практически не отражает ближний инфракрасный свет, имеет проблемы с развитием из-за различных факторов [2].

Вычислить нормализованный вегетационный индекс можно по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1),$$

где NIR – интенсивностью инфракрасного диапазона, а RED – интенсивность красного диапазона.

Числовой показатель нормализованного вегетационного индекса в разный момент сезона показывает на определённые проблемы с растением. Таким образом, вегетационный период делится на три части: в начале, в середине и в конце сезона.

В начале сезона по нормализованному вегетационному индексу можно узнать, как растение себя чувствует после зимовки. Например, если показатель индекса меньше 0,2, то растения плохо перезимовали и большинство погибло. Средним (хорошим) показателем в данный период является индекс от 0,2 до 0,5. Аномальным показателем после зимовки является NDVI, превышающий 0,5. В случаях, если показатель низкий или слишком высокий, лучше выполнить обследование участка непосредственно на местности. В середине сезона хорошими показателями являются средний и высокий индексы от 0,5 до 0,85. Если NDVI ниже 0,5, значит растение развивается плохо, скорее всего ему не хватает влаги или других необходимых для развития элементов.

Нормализованный вегетационный индекс позволяет определить, когда растение готово к уборке. Для этого в конце сезона значение индекса не должно превышать 0,25. Таким образом, чем ближе готовность растения к уборке урожая, тем ниже будет индекс NDVI.

Важным элементом точного земледелия является программное обеспечение, которое решает многие задачи. Поэтому используются такие сервисы, как КАРТА УРОЖАЯ, NEXT GIS, DIRECT.FARM, OneSoil, ГЕОМИР, Sas Planet, АЛТУМ.

Рассмотрим определение нормализованного вегетационного индекса на примере приложения OneSoil, которое представлено в открытом доступе.

OneSoil – это белорусский агротехнологический стартап, представляющий собой приложение и онлайн-платформу [3]. В удобном интерфейсе каждый пользователь может получить данные с полей, благодаря алгоритмам машинного обучения и анализу космических снимков Sentinel-1 и Sentinel-2, которые также находятся в открытом доступе сервиса Copernicus.

Copernicus — это программа дистанционного зондирования Земли, которая управляется Европейской комиссией в сотрудничестве с государствами-членами Европейского союза. Целью про-

граммы является обеспечение глобальных, непрерывных, автономных и высококачественных возможностей для наблюдений Земли в широком спектральном диапазоне [4].

Космические снимки Sentinel-1 и Sentinel-2 имеют разрешение 10 метров и обновляются каждые 5 дней, поэтому хорошо подходят для использования в технологиях точного земледелия. Благодаря этому, показатель индекса NDVI постоянно обновляется и точно показывает ситуацию, происходящую с растениями на местности.

Следующим и наиболее важным шагом является обработка изображений. Из-за того, что на снимках зачастую виден снег или облака, были разработаны специальные алгоритмы, позволяющие определить на снимке шум в виде облаков и теней. После наложения множества фильтров получают очищенное изображение, которое в дальнейшем сможет использоваться для определения нормализованного вегетационного индекса. После обработки снимков происходит расчет NDVI, а затем рассчитанным значениям задают цвета, соответствующие определённому диапазону индекса (рисунок 1). Например, красные пятна на участке поля указывают на отсутствие растительности, зеленые – на хорошее плодородие. Последним этапом является отображение полученных данных в приложении или на онлайн-платформе OneSoil.



Рисунок 1. – Цветовое отображение значений NDVI

Использование снимков высокого разрешения позволяет детально рассмотреть участок местности, определить его границы и рассчитать индекс NDVI. Однако на точность определения индекса сильно влияют погодные условия. Если над исследуемым участком местности долгое время находились облака, то точность значительно ухудшится. Наблюдение за нормализованным вегетационным индексом приводит к повышению урожайности и снижению материальных затрат. А использование технологий точного земледелия в целом позволяет оптимизировать производство, уменьшив затраты на топливо, семена, вносимые удобрения, способствует повышению качества получаемой продукции, а также снижает негативное влияние на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Точное земледелие – суть, преимущества и недостатки, перспективы применения. [Электронный ресурс] / Сельхозпортал – URL: <https://сельхозпортал.рф/articles/tochnoe-zemledelie/> (Дата доступа: 20.04.2023).
2. Как использовать NDVI для анализа своих полей [Электронный ресурс] / OneSoil Blog – URL: <https://blog.onesoil.ai/ru/what-is-ndvi>. (Дата доступа: 19.04.2023).
3. OneSoil – бесплатное приложение для точного земледелия [Электронный ресурс]–URL: <https://onesoil.ai/ru/> (Дата доступа: 20.04.2023).
4. Copernicus [Электронный ресурс] – URL: <https://www.copernicus.eu/en> (Дата доступа: 20.04.2023).

УДК 528.2/3

РАСЧЁТ ОБЪЁМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

А.И. ДАВИДОВСКАЯ, Н.С. ИВАНОВ

(Представлено: В.В. Ялтыхов)

В статье рассматривается одна из перспективных технологий в геодезии – создание цифровых моделей рельефа (ЦМР) и расчет объемов земляных работ. Приведена информация о ЦМР, рассмотрены технологии их создания и применения, а также программное обеспечение для построения и работы с ними.

Ключевые слова: цифровые модели рельефа, 3D модели, TIN-модели, триангуляция Делоне, объем земляных масс.

Определение объемов земляных масс выполняется как на стадии проектирования, так и в процессе строительства. Подсчёт объёмов земляных масс, подлежащих разработке, сводится к определению объёмов различных геометрических фигур, определяющих форму того или иного земляного сооружения.

Сейчас разработано множество средств, позволяющих автоматизировать вычисление объёмов земляных работ. Наиболее полными получаются результаты, основанные на 3D моделировании. Тогда в общем случае задача сводится к вычислению объёма, заключенного между двумя поверхностями.

Алгоритмы создания цифровых моделей рельефа должны обеспечивать передачу свойств моделируемого объекта: форму, объёмность, расположение, и т.д. Для создания ЦМР можно выделить два наиболее часто употребляемых метода моделирования: на основе пространственной триангуляции и по регулярной сетке высот.

Алгоритмы создания цифровых моделей рельефа должны обеспечивать передачу свойств моделируемого объекта: объёмность, расположение, текстуры поверхности и т.д. Генерация таких объёмных изображений представляет собой очень сложную вычислительную задачу. В связи с этим на практике выполняют её декомпозицию: объекты разбиваются на составные части, и сложные изображения формируются из получаемых фрагментов. На практике, наиболее часто применяется разбиение изображений на треугольники. Это связано с тем, что треугольник - простейший полигон, вершины которого однозначно задают грань. Алгоритмы разбиения на треугольники существенно проще, чем при использовании других полигонов. Разбиение на треугольники существенно упрощает реализацию процедур рендеринга. Ну и наконец, на треугольники можно гарантированно разбить любую область, чего не скажешь о других полигонах. Процесс разбиения полигональной области со сложной конфигурацией в набор треугольников называется триангуляцией.

Триангуляция это одна из форм представления поверхности по нерегулярно заданной системе отсчетов. Образованная совокупностью точек с x , y , z координатами и набором ребер, соединяющих эти ребра в треугольники (рисунок 1), такая модель часто использует меньшее число точек, чем другие модели. Это объясняется тем, что исходные точки обычно указываются в оптимальных местах (пиках, впадинах), что позволяет «куски» меняющейся поверхности представлять одним-двумя треугольниками, а не разбивать ее на совокупность единообразных маленьких частей. При этом делается допущение, что объём земли ограничен плоскостями и отдельные неровности действительной поверхности грунта не влияют значительно на объём. На плоскости среди всевозможных видов триангуляции часто пользуются триангуляцией Делоне [1].

При построении TIN-модели дискретно расположенные точки соединяются линиями, образующими треугольники. Каждый треугольник задается высотами трех его вершин, обычно представляется как плоскость и помимо информации о высоте имеет атрибуты угла наклона и экспозиции. Такая модель решает один из главных недостатков ЦМР – «избыточность» информации. В сети TIN на равнинах можно убрать точки, похожие по высоте и, таким образом, плоские участки будут моделироваться небольшим числом огромных треугольников, а на участках крутых уступов, там, где необходимо детально показать все грани рельефа остается больше точек и поверхность отображается многочисленными маленькими треугольниками ближе к действительности. [2]

При вычислении объёмов земляных работ по ЦМР, необходимо первоначально задать границы котлована или насыпи в качестве области создания триангуляции. Объем засыпки\срезки элементарной фигуры определяется как объем соответствующей треугольной призмы с двумя основаниями, одно из которых является текущим треугольником, а второе – проекцией этого треугольника на дно котлована, которое представлено в виде поверхности или плоскости. Если треугольник пересекается с плоскостью дна котлована или насыпи, то делается сечение треугольника на две части, для которых отдельно вычисляются объемы соответствующих призм. Объем насыпи или котлована получают путем суммирования

объемов элементарных фигур. В случае, когда необходимо определить композитный или ограниченный объем пространства, заключенный между поверхностями, метод вычисления предусматривает триангуляцию новой поверхности на основе точек обеих поверхностей.

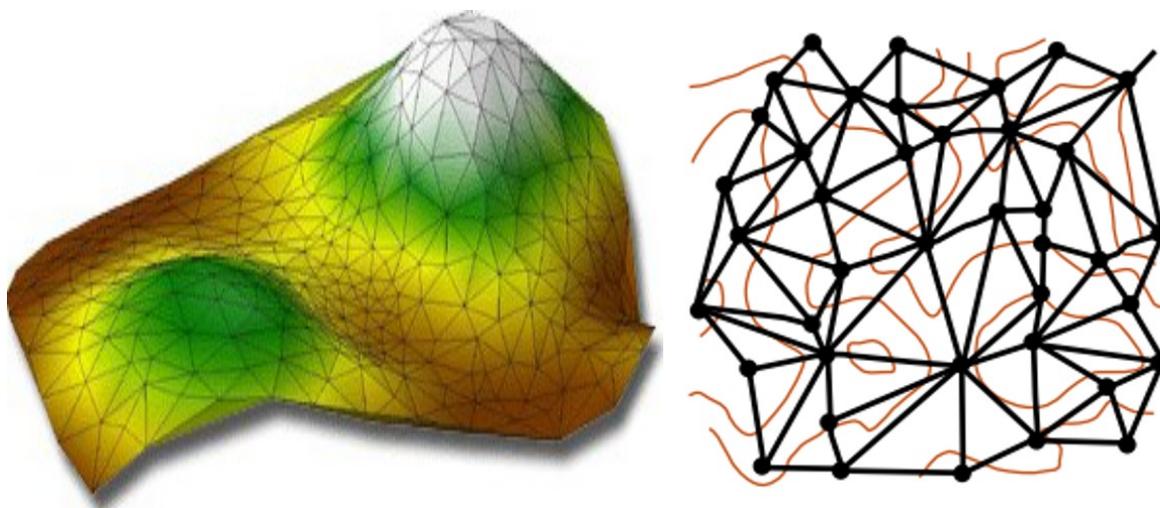


Рисунок 1. – Моделирование поверхности на основе пространственной триангуляции

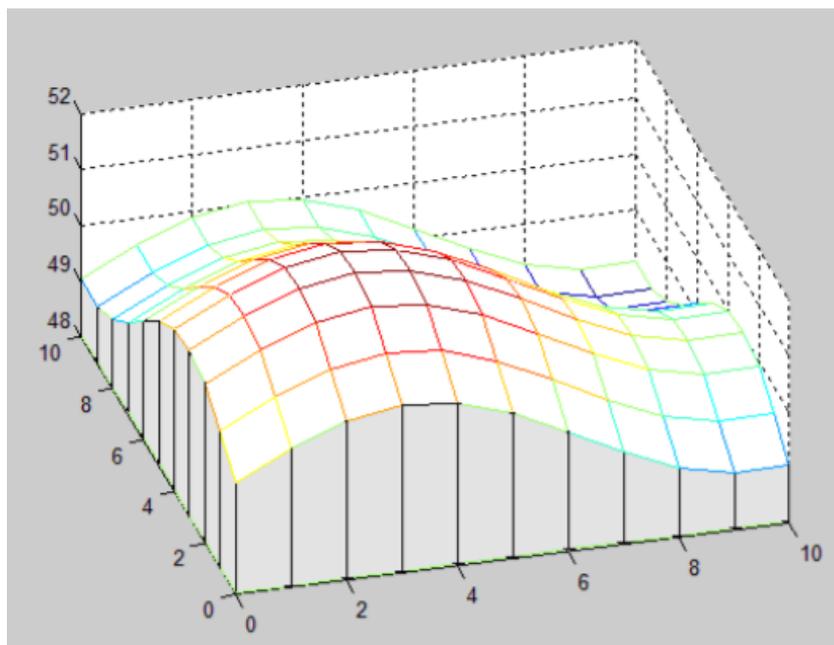


Рисунок 2. – Моделирование поверхности в виде регулярной сетки

Помимо точек обеих поверхностей в этом методе используются точки пересечения ребер триангуляции между двумя поверхностями. Значения отметок для новой композиционной поверхности вычисляются на основе разности значений отметок для двух поверхностей.

Методика расчета объемов для двух поверхностей сводится к следующему:

– каждая точка поверхности 1 проецируется на поверхность 2, а каждая точка поверхности 2 проецируется на поверхность 1.

– Для каждой пары таких точек определяется разность высот из моделей обеих поверхностей. Кроме того, такие пары формируются в каждой точке пересечения в плане ребер треугольников поверхностей 1 и 2. Таким образом, образуется набор точек, количество которых равно сумме количества точек поверхности 1 и 2, количества точек пересечения ребер треугольников. Каждая точка этого набора имеет значение разности отметок поверхностей 1 и 2.

– По всем этим точкам строят триангуляцию, образуя набор призм. Для каждой призмы рассчитывается объем, сумма всех объемов призм дает искомый объем. Собственно, описанная процедура значительно сложнее, так как учитываются структурные линии, границы области расчета объемов, рассчитываются линии нулевых работ, объемы выемки, насыпи и т. д.

Таким образом, в ЦМР объемы с точки зрения математики по отношению к модели считаются абсолютно точно. Их точность по отношению к фактическому объему физических поверхностей зависит только от того, в какой мере сама съемка поверхности соответствует фактической.

Для вычисления объемов по цифровым моделям рельефа, созданным в виде регулярной сети высот предполагаем, что в каждом узле сетки известны значения высот для обеих поверхностей, при этом нет необходимости использовать методы интерполяции для пересчета высот каждой из поверхностей в промежуточных точках. Тогда объем любой фигуры можно представить, как сумму объемов прямоугольных параллелепипедов.

В расчетных программах часто применяют методы, основанные на численном интегрировании. Различие заключается в аппроксимации подынтегральной функции (линейная, квадратическая, кубическая и т.д.). Разность значений, полученных различными методами, может служить качественной оценкой точности вычисления объемов.

На абсолютную погрешность оценки объема оказывают влияние главным образом такие факторы, как: сложность конфигурации поверхности, число измерений и интервал между съемочными точками, точность и возможности измерительного инструмента, условия производства геодезической съемки, неплоскостность поверхностей и местные неровности, геометрическая форма и способ математической обработки результатов измерений. Относительная погрешность зависит также и от объема грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Томского университета, 2002. – 128 с.
2. Хромых В.В. Цифровые модели рельефа / В.В. Хромых, О.В. Хромых. – Т.ТМЛ – Пресс, 2007. – 178 с

УДК 528.2/3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ
В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ****А.И. ДАВИДОВСКАЯ, Н.С. ИВАНОВ**
(Представлено: В.В. Ялтыхов)

В статье рассмотрен технологический процесс вычисления объема земляных работ в программных продуктах систем автоматизированного проектирования. Выполнен расчет объемов земляных работ в программе GeonіCS методом призм и методом по квадратам с различными значениями размера квадрата.

Ключевые слова: объем земляных работ, цифровая модель рельефа (ЦМР), поверхность, плоскость.

Автоматизированное вычисление объёмов земляных работ - это процесс, который позволяет быстро и точно определить количество материала, необходимого для выполнения различных строительных проектов, начиная от строительства жилых домов, заканчивая дамбами и мостами. Это процесс, который включает в себя сбор и анализ данных о земной поверхности, создание трехмерных моделей рельефа и определение объемов грунта, необходимых для выполнения строительных работ. Полученные данные необходимы для определения стоимости и сроков выполнения работ, а также для выбора наиболее эффективных методов производства земляных работ. В результате оценки объёмов грунта определяются необходимые материалы, оборудование и сроки выполнения работ, что позволяет контролировать качество и эффективность строительства на всех этапах.

Программное обеспечение для автоматизированного вычисления объёмов земляных работ обычно имеет ряд функций и возможностей, которые позволяют пользователю вводить данные с высокой точностью и детальностью. Некоторые из этих функций включают в себя инструменты для измерения и визуализации 3D-моделей, средства для определения уклонов и высот, а также возможность импорта и экспорта данных в различных форматах.

Сейчас разработано множество средств, позволяющих автоматизировать вычисление объемов земляных работ. К методам автоматизированного вычисления можно отнести:

– Использование специализированного программного обеспечения: Этот метод включает в себя использование программ и приложений, которые разработаны специально для расчета объемов земляных работ. Эти программы позволяют пользователям вводить данные о форме, размере и уклоне участка, после чего они автоматически вычисляют объем земляных работ.

– Применение геоинформационных систем (GIS): Геоинформационные системы используются для сбора, анализа и визуализации данных о земельных участках. Они позволяют создавать трехмерные модели местности, которые могут быть использованы для определения объемов земляных работ.

– Использование методов дистанционного зондирования: Дистанционное зондирование – это технология, которая позволяет собирать данные о земельных участках без необходимости физического контакта с ними. При этом, для создания трехмерных моделей местности используется серии перекрывающихся фотоснимков, которые возможно получить, например, с помощью беспилотных летательных аппаратов. Эти модели могут быть использованы для расчета объемов земляных работ, особенно если требуется определить объемы грунта для создания насыпей или выемок.

Наиболее полными получаются результаты, основанные на 3D моделировании при использовании специального программного обеспечения (ПО). Тогда в общем случае задача сводится к вычислению объема, заключенного между двумя поверхностями. Алгоритмы создания цифровых моделей рельефа должны обеспечивать передачу свойств моделируемого объекта: форму, объемность, расположение, и т.д. Для создания ЦМР можно выделить два наиболее часто употребляемых метода моделирования: на основе пространственной триангуляции (TIN) и по регулярной сетке высот.

В пределах каждого треугольника модели TIN поверхность обычно представляется плоскостью. Поскольку поверхность каждого треугольника задается высотами трех его вершин, применение треугольников обеспечивает каждому участку мозаичной поверхности точное прилегание к смежным участкам. Это обеспечивает непрерывность поверхности при нерегулярном расположении.

Регулярная сеть высот представляет собой решетку с равными прямоугольниками или квадратами, где вершины этих фигур являются узлами сетки. точек.

Существует множество специализированного программного обеспечения для автоматизированного вычисления объемов земляных работ. Все они основаны на вычислении объема правильных геометрических фигур, на которые разбивается исходный сложный рельеф.

Выделяют следующие способы определения объемов в зависимости от используемых математических тел [2]:

- 1) способ квадратов;
- 2) способ квадратных призм;
- 3) способ треугольных призм;
- 4) способ горизонтальных пластов;
- 5) способ изораб;
- 6) способ вертикальных профилей (способ сечений).

Подсчет объемов земляных масс выполняют, как правило, методом квадратов. Допускается в зависимости от конфигурации планируемой территории для подсчета объема земляных масс применять фигуры, отличные от квадрата. Также допускается выполнять подсчет объемов земляных масс с использованием других методов [1].

Для проектирования производства земляных работ разработан ряд компьютерных программ, таких как КРЕДО ОБЪЕМЫ, ТопоCad, Civil3D, GeoniCS, Zwcad, Bricscad, Pythagoras, Surfer, Топоматик Robur и др.

Рассмотрим ПО GeoniCS для вычисления объема котлована по двум наборам точек, черновой поверхности и готового котлована. GeoniCS – это универсальная среда для выполнения работ в области геодезии, топографии, проектированию и реконструкции генеральных планов и линейно протяженных объектов (автомобильные и железные дороги, инженерные сети). Основной особенностью продукта является динамическая проектная модель, которая позволяет оперативно и без ошибок вносить изменения в проект на любой стадии проектирования и в любом представлении модели. Продукт отличается универсальностью, что позволяет организовать работу всех групп проектировщиков в единой интерфейсной среде. Технологический процесс вычисления объема земляных работ в GeoniCS приведен на рис. 1



Рисунок 1 – Технологический процесс вычисления объёма

Для подсчета общих объемов земляных работ достаточно иметь в чертеже две поверхности: базовую поверхность (обычно в ее качестве выступает поверхность существующей земли) и поверхность сравнения (обычно проектная поверхность).

Для вычисления объемов земляных работ необходимо выполнить следующие действия:

После импорта всех точек, при помощи полилинии указываем границы котлована и проводим структурные линии, согласно полевому абрису. Далее создаём две поверхности, «верхняя» и «нижняя».

Для вычисления объемов переходим во вкладку «Установки вертикальной планировки» и выбираем проектируемую поверхность и существующую из ранее нами созданными. Далее в меню «Картограмма» выбираем «Установки картограммы», где указываем метод призм или квадратов. После чего

производим расчет с помощью выбранного метода. В результате выполнения расчета в командной строке появятся значения объема земляных работ, т.е. общий объем выемки в нашем случае.

Для оценки точности вычислений объемов различными способами, проведём контрольное вычисление объема котлована методом квадратов с разной длиной сторон и методом призм.

Полученные результаты вычислений, представлены в таблице 1. Вычисление объема методом призм является строгим методом с точки зрения геометрии и точность этого метода зависит только от точности создания двух поверхностей. При вычислении объемов методом по квадратам объем элементарной фигуры вычисляется как произведение площади фигуры на среднюю высоту. Такой подход будет давать различные результаты в зависимости от размера элементарной фигуры.

Объем, вычисленный методом призм, получился равен 2664.4 м³ и мы принимаем его за исходный. В последнем столбце табл.1 вычислена разность объемов метода квадратов от метода призм.

Таблица 1 – вычисление объема земляных работ методом квадратов

Размеры квадрата	Выемка, м ³	Площадь картограммы, м ²	Разность объемов, м ³
10.0	2169.6	1962.3	474.8
5.0	2498.9	1962.3	145.5
2.5	2565.5	1962.3	78.9
1.0	2629.4	1962.3	15.0

По значениям этих разностей в таблице 1 для наглядности, построим график отклонения рассчитанных объемов.

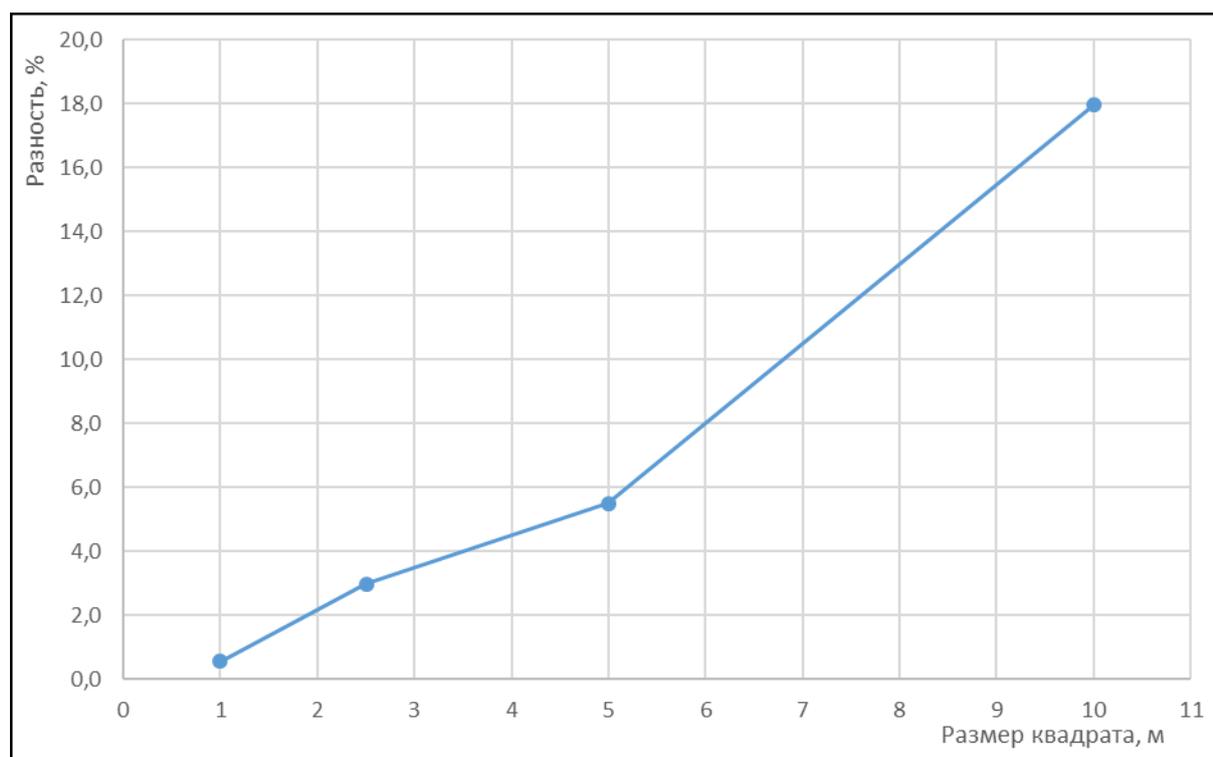


Рисунок 2 – График разности значений объема метода квадратов от метода призм

Как можно увидеть из графика, с увеличением размера квадрата падает точность вычислений. И, чем сложнее будут формы рельефа местности, тем хуже будет точность метода квадратов. Для повышения точности вычисления методом квадратов, необходимо максимально уменьшать стороны квадрата.

Окончательным результатом работы является картограмма земляных работ, представленная на рисунке 3.

Наиболее эффективным и точным является метод призм. Для плоского и равнинного рельефа, например, при вертикальной планировке, можно применять метод квадратов. Однако метод призм всё равно будет предпочтительнее, так как он точнее, и является более универсальным.

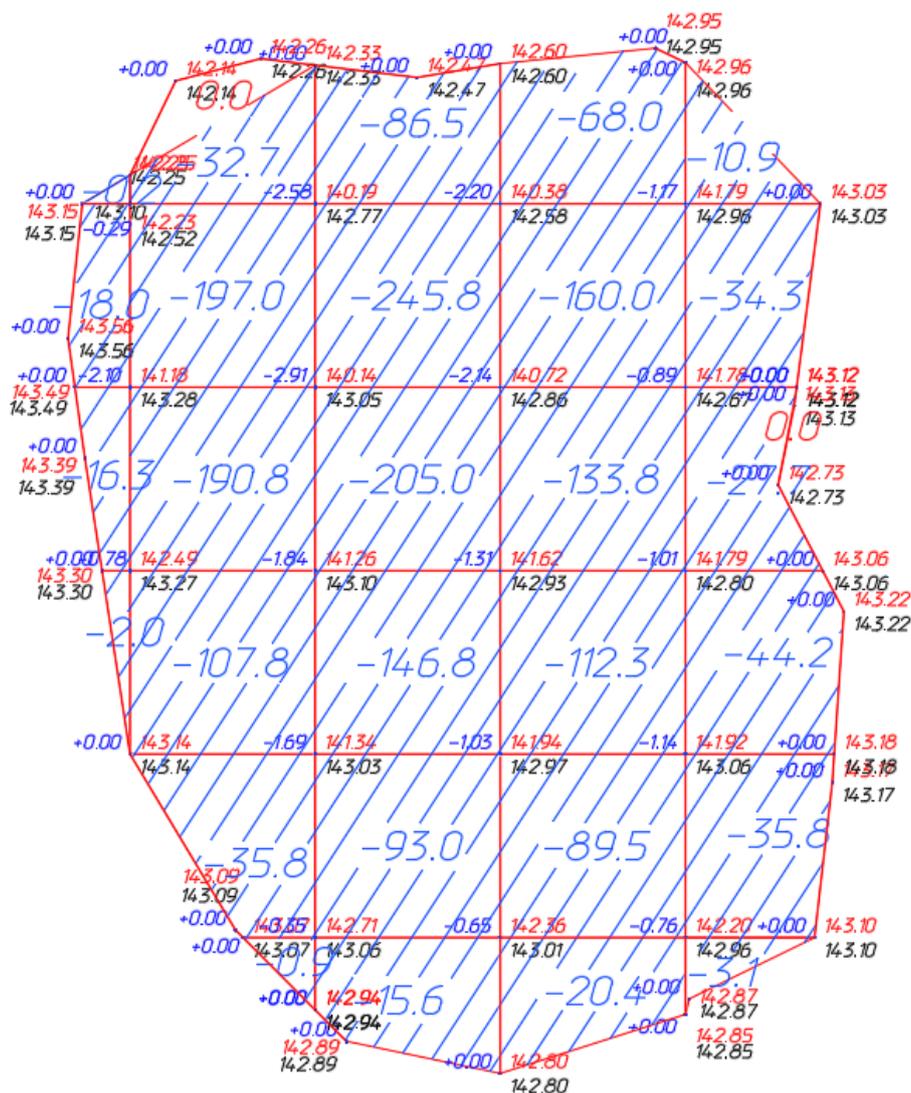


Рисунок 3 – Картограмма земляных работ

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21.508-2020 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. Минск, 2021 – 40 с.
2. Бозылев В., Сафончик Д. Технология строительного производства. Новополоцк, 2008 – 72с.
3. ТКП 17.04-50-2013 Правила по определению и контролю добычи и вскрыши на карьерах Республики Беларусь. Минск, 2013 – 20 с.

УДК 528.77

**ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ****В.С. СТЕГАШЁВА***(Представлено: Е.В. Дегтярева)*

Спутниковые снимки являются мощным инструментом для исследования и мониторинга геологических явлений, в том числе и таких как оползневые процессы. Спутниковые снимки позволяют получать и анализировать информацию о развитии оползней на обширных территориях, что может быть использовано для оценки риска оползней и разработки мер защиты от них.

Первые исследования оползней с помощью спутниковых снимков были проведены в 1970-х годах. В то время спутниковые снимки были еще не такими совершенными, как сейчас, но они уже позволяли получать ценную информацию о развитии оползней. Одним из первых исследователей, кто использовал спутниковые снимки для изучения оползней, был Валентин Семенович Эткин.

В 1980-х годах исследования оползней с помощью спутниковых снимков стали более распространенными. В это время были разработаны новые методы и технологии, которые позволили повысить точность и эффективность таких исследований.

В настоящее время исследования оползней с помощью спутниковых снимков являются одним из основных методов изучения этого явления. Спутниковые снимки позволяют получать информацию о развитии оползней на обширных территориях, что делает их незаменимым инструментом для оценки риска оползней и разработки мер защиты от них. В последние годы исследования оползней с помощью спутниковых снимков проводятся во многих странах мира. В СНГ такие исследования проводятся, в частности, в России: Росгидрометом, МЧС России и другими научными организациями.

Исследование оползней с помощью спутниковых снимков – это метод изучения оползней, основанный на использовании изображений, полученных с помощью спутников. Эти изображения могут быть использованы для выявления, классификации и мониторинга оползней.

Исследование оползней с помощью спутниковых снимков является актуальным в современных реалиях по следующим причинам:

- Оползни представляют серьезную угрозу для жизни и имущества людей. По оценкам экспертов, ежегодно в мире происходит около 10 миллионов оползней, которые приводят к гибели тысяч людей и миллиардным убыткам.

- Изменение климата приводит к росту числа оползней. Повышение температуры и увеличение осадков способствуют развитию оползней.

- Урбанизация также способствует росту числа оползней. Строительство в опасных районах повышает риск развития оползней.

Оползни представляют серьезную угрозу для жизни и имущества людей. По оценкам экспертов, ежегодно в мире происходит около 10 миллионов оползней, которые приводят к гибели тысяч людей и миллиардным убыткам. Изменение климата приводит к росту числа оползней. Повышение температуры и увеличение осадков способствуют развитию оползней. Урбанизация также способствует росту числа оползней. Строительство в опасных районах повышает риск развития оползней. Исследования оползней с помощью спутниковых снимков позволяют повысить эффективность оценки риска оползней и разработки мер защиты от них.

Существует несколько методов изучения оползней с помощью спутниковых снимков. К наиболее распространенным методам относятся:

- Визуальный анализ: визуальный анализ спутниковых снимков может быть использован для выявления признаков оползней, таких как трещины, сдвиги и изменение растительности.

- Радиометрический анализ: радиометрический анализ спутниковых снимков может быть использован для оценки изменений в растительности, влажности и других параметрах, которые могут быть связаны с развитием оползней.

- Дифференциальная интерферометрия радарных снимков: дифференциальная интерферометрия радарных снимков может быть использована для выявления изменений в рельефе, которые могут быть связаны с развитием оползней.

Исследования оползней с помощью спутниковых снимков применяются в следующих сферах:

- Оценка риска оползней: спутниковые снимки могут быть использованы для оценки вероятности возникновения оползней в определенных районах.

- Мониторинг оползней: спутниковые снимки могут быть использованы для отслеживания развития оползней во времени.

– Прогнозирование оползней: спутниковые снимки могут быть использованы для разработки моделей прогнозирования развития оползней.

– Защита от оползней: спутниковые снимки могут быть использованы для разработки мер защиты от оползней.

Исследование оползней с помощью спутниковых снимков является эффективным методом изучения этого явления. Спутниковые снимки позволяют получать информацию о развитии оползней на обширных территориях, что делает их незаменимым инструментом для оценки риска оползней и разработки мер защиты от них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности / И. К. Фоменко [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mgri.ru/science/protection/pdf/FomenkoIK_dgmn.pdf
2. Ляпишев К.М. Обзор современных исследований оползней по данным аэрофото- и спутниковых съемок / К.М. Ляпишев, Кубанский государственный университет г. Краснодар, Россия, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://intercarto.msu.ru/jour/articles/article192.pdf>
3. Tapas R.M. Detection of landslides by object-oriented image analysis, Tapas Ranjan Martha, ITC dissertation number 189, P.O Vox 217, the Netherlands, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/313348769/martha.pdf>

УДК 528.77

**ДЕШИФРИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ
НА КОСМИЧЕСКИХ И АЭРОФОТОСНИМКАХ****В.С. СТЕГАШЕВА***(Представлено: Е.В. Дегтярева)*

Оползни – это одно из наиболее распространенных и опасных геологических явлений. Они представляют собой смещение масс горных пород, почвы или обломков под действием гравитации. Оползни могут вызывать серьезные разрушения и человеческие жертвы.

В качестве метода для своевременного выявления и исследования скоростей оползневых явлений все чаще предлагают космические и аэрофотоснимки, которые обладают рядом преимуществ. Они позволяют получать изображения больших территорий с высокой частотой обновления. Это помогает отслеживать изменения в состоянии оползней и прогнозировать их развитие.

Для исследования оползней необходимо знание основ геологии, геоморфологии, геотехники, гидрологии, геофизики и других наук, связанных с изучением земной коры и ее процессов. Кроме того, необходимо понимание принципов и методов картографии, моделирования и дистанционного зондирования. Важно также иметь знания в области экологии и охраны природы, чтобы понимать последствия воздействия оползней для окружающей среды и принимать меры по их предотвращению.

Геоморфология оползней может быть очень разнообразной, и она зависит от множества факторов, включая характеристики склона, тип грунта или скальной породы и причину возникновения оползня. Для анализа динамики оползней по спутниковым снимкам их дешифрируют, т.е. распознают объекты и явления, присутствующие на снимках.

Аэрофотоснимки получают с помощью воздушных летательных аппаратов (самолетов, вертолетов или беспилотных летательных аппаратов). Их преимущества перед космическими (спутниковыми) снимками: крупный масштаб, детальность рельефа, стереоскопический эффект, а при наличии БПЛА еще и ценовая доступность, и возможность получения снимка на нужную дату.

Дешифрирование оползней по аэрофотоснимкам – это процесс идентификации и классификации оползней на основе анализа аэрофотоснимков. Для этого необходимо проделать следующие шаги:

1. Получение аэрофотоснимков: с помощью специального оборудования получают фотографии высокого разрешения с воздуха.

2. Обработка аэрофотоснимков: фотографии подвергаются цифровой обработке, чтобы улучшить качество изображения и выделить особенности рельефа.

3. Идентификация оползней: на аэрофотоснимках выделяются зоны, где происходило перемещение грунта или скальных пород.

4. Классификация оползней: оползни классифицируются по форме, размеру и другим характеристикам, таким как тип грунта или скальной породы и причина возникновения оползня.

5. Создание карты оползней: на основе полученных данных создается карта оползней, которая может использоваться для планирования строительства или предотвращения возможных оползней.

Дешифрирование оползней по аэрофотоснимкам является эффективным способом изучения геоморфологических процессов и может быть полезным для принятия решений в области градостроительства и охраны окружающей среды.

Обнаружение оползней на аэрофотоснимках может быть выполнено путем анализа изменений в геоморфологической структуре земной поверхности. Оползни обычно проявляются на аэрофотоснимках как явные деформации земной поверхности, такие как выступы, ямы, трещины и т.д. Эти изменения могут быть обнаружены с помощью специальных программ обработки изображений, которые могут сравнивать два или более аэрофотоснимков, взятых в разное время.

Кроме того, при обнаружении оползней на аэрофотоснимках может быть использовано и другое оборудование, такое как лазерный сканер или радарная система обнаружения оползней. Эти системы позволяют получить более точную информацию о форме и размерах оползней.

Обнаружение оползней на аэрофотоснимках может быть выполнено следующими способами:

- Визуальный анализ: специалисты могут рассмотреть аэрофотоснимки и найти явные признаки оползня, такие как отложения глины или гравия на склонах, изменения формы склона в результате сдвига почвы.

- Использование специальных алгоритмов компьютерного обучения: такие алгоритмы могут использоваться для обработки больших объемов аэрофотоснимков и автоматического выявления оползней.

- Анализ наклонов склонов: на аэрофотоснимке можно оценить градиент наклона для каждой точки склона, что может помочь выявить участки с высокой вероятностью оползней.

– Использование мультиспектральных данных: на основе аэрофотоснимков можно получить мультиспектральные данные и использовать их для определения различий в текстурах и цветах в различных участках склона.

– Обнаружение изменений: можно сравнить несколько аэрофотоснимков, сделанных в разное время, чтобы обнаружить изменения в структуре рельефа, которые могут свидетельствовать о возникновении оползней.

Признаки появления оползней на аэрофотоснимках могут включать следующее:

1) Образование грунтовых трещин и разломов: на фотографиях можно заметить образование разломов и деформаций грунта. Они служат признаками наличия для дальнейших изменений.

2) Изменение рельефа: на месте оползня может образоваться впадина, где рельеф сильно меняется. На аэрофотоснимках это может выглядеть как выемка на поверхности грунта.

3) Наклонные уступы: в некоторых случаях на месте оползня может образоваться наклонный уступ. Это может произойти, если оползень произошел на склоне горы. На фотографии это может выглядеть, как полоса красного грунта на склоне.

4) Неровности поверхности почвы: на фотографии можно заметить изменение формы поверхности почвы. Это может произойти, если оползень привел к образованию извилистых углублений или возвышений на грунте.

В отличие от аэрофотоснимков спутниковые снимки имеют ряд недостатков в решении задач исследования оползней. Они могут быть дорогими и трудоемкими в получении. Кроме того, качество спутниковых снимков может быть ограничено условиями съемки, такими как погода и время суток.

Исследования в области использования спутниковых снимков для исследования оползней продолжают. Дешифрирование спутниковых и аэрофотоснимков для исследования оползней является сложной задачей, которая требует использования различных методов и технологий. В настоящее время в мире ведется разработка новых методов и технологий, которые позволят более эффективно использовать спутниковые снимки для изучения как оползневых, так и других опасных геологических явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миртова, И.А. Общее землеведение. Изучение форм и элементов рельефа по топографическим картам и аэрофотоснимкам: Учебно-методическое пособие / Миртова И.А – М.: МГУГиК, 2006. с.65
2. Шихов, А.Н. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. – 49,6 Мб; 191 с.
3. Ляпишев, К.М. Обзор современных исследований оползней по данным аэрофото-и спутниковых съёмок / Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС», 2015, Т. 21, №1. - С.348-352.

УДК 528.2/3

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ГЕОДЕЗИИ

Д.В. ШКУТ

(Представлено: А.С. Ивашилёва)

Для решения задачи трансформирования систем координат существует множество подходов. В статье представлены результаты применения двух подходов к данной задаче, первый, метод наименьших квадратов, второй, применение искусственных нейронных сетей. Цель статьи состоит в выяснении, могут ли методы машинного обучения служить надежной альтернативой для решения задачи трансформирования систем координат.

Одним из наиболее часто используемых инструментов в топографии, геодезии и геоинформатике является трансформирование систем координат. Таким образом, данный инструмент имеет множество реализаций, которые должны быть оптимизированы для обеспечения максимальной точности, надежности и скорости процесса.

В данной статье представлены два подхода к решению задачи трансформирования систем координат. Применялся метод наименьших квадратов, также использовались искусственные нейронные сети для решения данной задачи.

Когда существует избыточная система уравнений, то коэффициенты трансформирования можно определить применением метода наименьших квадратов (МНК). На основе наиболее общего из линейных, аффинного преобразования, рассмотрим классический алгоритм метода наименьших квадратов.

Для решения задачи трансформирования систем координат с помощью МНК составляют вектор свободных членов, состоящий из координат точек в новой системе координат и матрицу плана, которая содержит в себе координаты точек в старой системе (1). На основе минимизации суммы квадратов поправок получается вектор неизвестных коэффициентов трансформирования [1,2].

$$\begin{bmatrix} (X_H)_1 \\ (Y_H)_1 \\ (X_H)_2 \\ (Y_H)_2 \\ \dots \\ (X_H)_n \\ (Y_H)_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (v_H)_1 \\ (v_H)_1 \\ (v_H)_2 \\ (v_H)_2 \\ \dots \\ (v_H)_n \\ (v_H)_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (X_C)_1 & (Y_C)_1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (X_C)_1 & (Y_C)_1 & 0 & 1 \\ (X_C)_2 & (Y_C)_2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (X_C)_2 & (Y_C)_2 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (X_C)_n & (Y_C)_n & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (X_C)_n & (Y_C)_n & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где X_H , Y_H , X_C , Y_C – координаты в новой и старой системах, a , b , c , d , e , f – коэффициенты трансформирования на плоскости.

Тенденции развития нейронных сетей растут с каждым годом. Искусственные нейронные сети (далее ИНС) представляют собой математические модели, построенные по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живого организма. Существуют множество различных применений нейронных сетей, в том числе и в геодезии.

В результате анализа литературных источников приведены некоторые примеры применения методов машинного обучения в геодезии:

- исследования деформаций (Samui, 2012; Li & Kong, 2014),
- оценка приливов (Okwuashi & Ndehedehe, 2017),
- определение геоида (Kavzoglu & Saka, 2005; Veronez et al., 2011),
- моделирование гравитационного поля (Turgut, 2016),
- преобразование и трансформирование систем координат (Tierra et al., 2008, 2009; Tierra & Romero, 2014).

Модели ИНС могут быть сформированы с различными архитектурами в зависимости от количества дополнительных слоёв и нейронов, алгоритмов обучения и функции активации.

Преимуществами машинного обучения является само адаптирующаяся способность обнаруживать закономерности в наборе данных без учёта существования функциональных взаимосвязей между входными и выходными данными. Методы машинного обучения помогают избежать возможных ошибок оценки параметров, поскольку они не работают с параметрами [3].

Также существуют недостатки машинного обучения. Природа искусственных нейронных сетей «чёрный ящик», на получаемую точность и эффективность вычислений сильно влияет архитектура нейронной сети, которая обычно определяется посредством последовательных шагов проб и ошибок.

В исследовании для создания искусственной нейронной сети использовался пакет прикладных программ Neural Network Toolbox, функционирующий под управлением ядра системы Matlab. Была применена простая двухслойная нейронная сеть (рис.1.), для первого слоя выбрана сигмоидная функция активации, с количеством нейронов равным десяти, для второго линейная, с количеством нейронов равным двум. Архитектура нейронной сети представлена на рисунке 1.

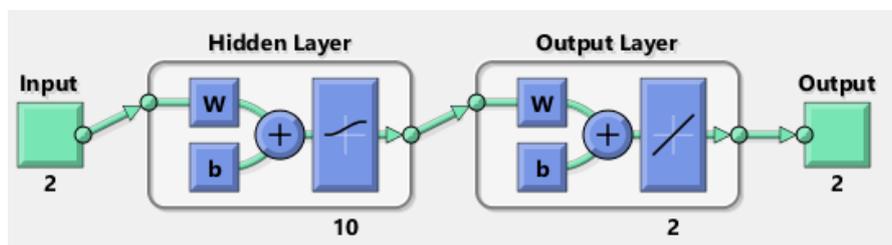


Рисунок 1. – Архитектура нейронной сети

Обучение сети производилось по обучающей выборке, так же для оценки работы ИНС создавалась тестовая выборка. Процесс обучения нейронных сетей связан с такой настройкой ее весов и смещений, чтобы минимизировать функционал, зависящий от ошибок сети, то есть разности между требуемым и реальным сигналом на ее выходе. В качестве такого функционала использована сумма квадратов отличий реальных значений координат и координат, полученных с помощью нейронной сети.

По четырем выборкам, состоящим из 30, 50, 70 и 100 общих точек была решена задача трансформирования систем координат методом МНК и были рассчитаны суммы квадратов поправок для основной выборки и тестовой. Также для решения задачи была применена ИНС и так же были получены суммы квадратов поправок для основной выборки и тестовой.

Таблица 1. – Результаты эксперимента

Количество общих точек	МНК		Нейронная сеть	
	основная [v ²], м ²	тестовая [v ²], м ²	основная [v ²], м ²	тестовая [v ²], м ²
30	0,069	0,013	0,055	0,885
50	0,097	0,024	0,108	0,145
70	0,144	0,009	0,178	0,016
100	0,203	0,014	0,217	0,031

По результатам можно сделать выводы, что сумма квадратов поправок полученных с помощью МНК для тестовой выборки всегда меньше чем сумма квадратов поправок полученных с помощью ИНС. Стоит добавить, что при небольшом количестве точек (30 и менее) ИНС может выдавать некорректные результаты, а именно мы получаем очень большую сумму квадратов поправок. Так же целью работы было посмотреть можно ли, увеличивая количество точек достичь того, что бы ИНС выдавала такие же результаты, как и МНК. Показано, что разность между суммой квадратов поправок при МНК и ИНС уменьшается при увеличении точек, но даже при 100 общих точках сумма квадратов поправок у ИНС больше. Увеличивать количество точек дальше было решено не целесообразно.

Делаем вывод, что количество точек несомненно ведет к улучшению результатов работы ИНС, но это не является фактором, который может сделать её более надежным инструментом чем МНК. Возможные пути для того что бы ИНС трансформировала координаты с большей точностью это: усложнение архитектуры ИНС и нормализация данных [3,4,5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ghilani, Charles D. Adjustment computations: spatial data analysis / Ghilani Charles D., Wolf Paul R. – Hoboken: JOHN WILEY & SONS, INC., 2006. – 632 с.
2. Михайлович, К. Геодезия (уравнительные вычисления) / К. Михайлович; пер. с сербско-хорватского С.В. Лебедева, под ред. В.Д. Большакова. – М. : Недра, 1984. – 448 с.
3. Ziggah, Y.Y 2D cadastral coordinate transformation using extreme learning machine technique. Geodesy and Cartography/Y.Y.Ziggah, Y. Issaka, P.B. Laari, Z.Hui-2018. –С.321-343.
4. Kumi-Boateng, B. Feasibility of using Group Method of Data Handling (GMDH) approach for horizontal coordinate transformation/ B.Kumi-Boateng, Y.Yevenyo Ziggah-Ghana,2020. –С.55-66.
5. Barsi, A. Performing coordinate transformation by artificial neural network. Allgemeine Vermessungs Nachrichten /A.Barsi -2001.-С.134-137.

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА. ДИЗАЙН

УДК 747(075.8)

К ВОПРОСУ БЕЗБАРЬЕРНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ЛЮДЕЙ, ИМЕЮЩИХ ДЕФЕКТЫ ЗРЕНИЯ**А.А. МАШНОВА***(Представлено: Е.Г. Кремнева)*

С каждым годом появляется всё больше разных приспособлений, мест, доступности среды для создания комфорта и облегчения жизни людей с повышенными потребностями. Увеличивается количество нормативных документов в данной области. Но во всем этом практически упускаются потребности людей с дефектами зрения.

Ключевые слова: особенности зрения, безбарьерная среда, дальтонизм, цветовосприятие, дизайн.

Для удобства создания безбарьерной среды в общественных местах принято располагать магазины, кафе, туалеты на первом этаже. Для людей с повышенными потребностями есть специальные подъёмники, чаще всего их можно увидеть в метро и аэропортах. Также в постановлениях часто упоминается материал: особая плитка для определённых мест, звуковые сигналы, например во время зелёного света на светофоре издаётся определённый сигнал, чтобы человек знал, что можно идти. Однако эти постановления созданы в основном людьми с нарушениями опорно-двигательного аппарата или слуха. А вот работа с цветом не относится к приоритетной даже при условии, что людей с дефектами зрения немало.

Эта статья поднимает вопрос улучшения комфорта жизни людям с дефектами зрения. К этому списку относится часть населения с плохим зрением, а также с дефектами цветовосприятия. Стоит добавить, что люди с особенностями зрения не являются инвалидами. Инвалидность дают только в тех случаях, когда полностью или частично утрачена работоспособность зрительного аппарата, а дальтонизм или же такие распространённые дефекты, как дальнозоркость, близорукость и астигматизм, к этому не относятся. В случае дальтонизма человек может иметь хорошее зрение, имея при этом проблемы с отличием цветов. При этом для дальтоников и людей с плохим зрением имеются свои ограничения. Самым явным ограничением считается вождение машины, /3/. Дальтоникам банально сложно понять какой сейчас сигнал светофора, самыми частыми случаями является невозможность различить красные и зелёные оттенки (рисунок 1), /5/.

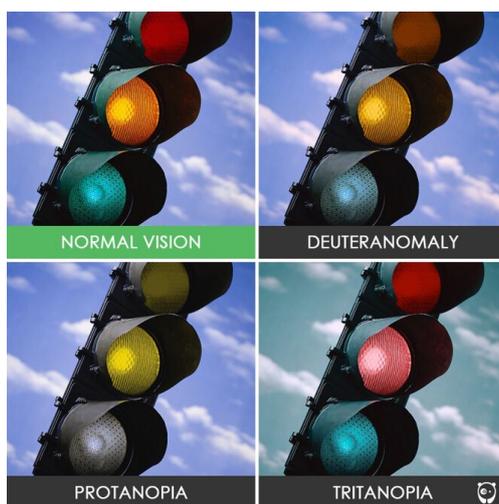


Рисунок 1. – Как дальтоники видят цветные сигналы светофоров

Автор данной статьи является обладателем плохого зрения. Из-за сильного напряжения во время обучения его зрение начало быстро ухудшаться. Получается, что половину жизни у автора было хорошее зрение, а другую половину – плохое. Поэтому им были замечены значительные проблемы в безбарьерной среде. Конечно, для людей с плохим зрением есть возможность поправить зрение, например, очки, линзы или лазерная коррекция зрения. Но дальтонизм – явление более неоднозначное, чем плохое зрение.

Дальтонизм – это особенность зрения, которая выражается в полной неспособности или сниженной способности видеть или различать все или некоторые цвета. Дальтонизм может быть врождённым и приобретённым. На сегодняшний день только приобретённый дальтонизм поддаются лечению, а врождённый – нет, так как является наследственной генной мутацией.

Имеется достаточно много источников, освящающих эту тему, но подробное описание данной особенности можно найти у М.Д. Квасовой "Зрение и наследственность", /1/. А чтобы лучше понять то, как видят дальтоники, лучше обратиться к таблицам Рыбкина Е.Б. "Таблицы для исследования цветоощущения", /2/.

По статистике известно, что количество людей с особенностями зрения, дальтонизмом, составляет 8% всего населения Земли (рис. 2), /1/. А людей с различным нарушением зрением насчитывается минимум в 2,2млрд – это 28,8% жителей Земли. Процент людей с плохим зрением увеличивается с каждым годом, /4/.

По некоторым расчётам известно, что если ситуация не изменится, то к 2050-ому году более половины всего населения будут обладателями какого либо дефекта зрительного аппарата, /4/.



Рисунок 2. – Уровень распространённости дальтонизма

Даже для нынешнего числа людей с дефектами зрения следует создать безбарьерную среду, всё-таки число таких людей не маленькое, да и любой может начать терять и зрение из-за перенапряжение на работе. Тем более люди всё чаще обращаются к современным технологиям в работе.

Безбарьерная среда на данный момент практически отсутствует. Человеку с плохим зрением сейчас очень легко потеряться в каких-либо общественных местах, таких как метро, аэропорт, вокзал, различные ТЦ и так далее. Поэтому автор статьи считает, что люди с подобными особенностями зрения тоже нуждаются в своеобразной безбарьерной среде. И развитие такой среды – дело ближайшего будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Квасова, М.Д. Зрение и наследственность / М.Д. Квасова // Зрение и наследственность – XXI век [Электронный ресурс].– 2002. – Режим доступа: <https://traditio.wiki/%D0%94%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC> – Дата доступа: 10.10.2023.
2. Рыбкин, Е.Б. Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения / Е.Б. Рыбкин // Таблицы для исследования цветоощущения – XX век [Электронный ресурс].– 1939. – Режим доступа: <https://zrenue.com/besplatnaya-proverka-zreniya/894-proverka-czvetooshhshheniya-po-tabliczam-rabkina-onlajn-s-otvetami.html> – Дата доступа: 10.10.2023.
3. Об установлении перечня заболеваний и противопоказаний, препятствующих управлению механическими транспортными средствами, самоходными машинами, а также условий, при соблюдении которых лица допускаются по медицинским показаниям к управлению: постановление министерства здравоохранения Республики Беларусь, 6 дек. 2018 г., № 88
4. Бренд оптик/ Information / Статьи / В каких странах Земли самое плохое зрение – XXI век [Электронный ресурс].– 2021. – Режим доступа: <https://brandoptics.com.ua/ru/information/articles/b-kaknx-ctpahax-Zemjin-samoe-njioxoe-zrehne> – Дата доступа: 11.10.2023.
5. Бельчикова, Е. Каждый из нас, безусловно, видит мир по-своему, однако дальтоники смотрят на него действительно уникально / Е. Бельчикова // Как видят мир дальтоники – XXI век [Электронный ресурс].– 2021. – Режим доступа: <https://www.techinsider.ru/editorial/678623-kak-vidyat-mir-daltoniki/> – Дата доступа: 11.10.2023.

УДК 747(075.8)

К ВОПРОСУ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗРЕНИЯ В ДИЗАЙНЕ

А.А. МАШНОВА

(Представлено: Е.Г. Кремнева)

Благодаря решению вопроса безбарьерной среды для дальтоников можно создать более универсальный дизайн. При этом появляется вероятность того, что эстетический вид не пострадает для большего количества людей.

Ключевые слова: особенности зрения, безбарьерная среда, дальтонизм, цветовосприятие, дизайн.

"Люди с нарушением в красной и зелёной частях спектра правильно определяют цвета примерно 5 карандашей из стандартной коробки из стандартной коробки с 24-мя цветными карандашами" /5/.

Тем более, если рассматривать работы сделанные дальтониками, то можно понять, что они уникальны. Как фотографы, так и художники с особенностями зрения создают нечто такое, что вряд ли придёт в голову человеку со стандартным зрением (рисунок 1), /1/.



Рисунок 1. – Пример восприятия работы со стороны людей с особенностями зрения

Хочется напомнить, современные учёные приходят к выводу, что многие художники прошлого имели степень умеренного дальтонизма. Предполагается, что в этот список относятся Ван Гог, Саврасов, Репин, Врубель, Констебль, Мерион, /3/.

На самом деле дизайнер дальтоник в 21-ов веке не является каким-то новым и необычным явлением. Люди находят способ, чтобы работать в сфере дизайна и с подобными дефектами.

Шон Паттерсон, фронтэнд разработчик, занимается разработкой пользовательского интерфейса, то есть визуальную часть сайта или приложения. Он плохо различает оттенки красного и зелёного. Шон утверждает, что дальтонизм не сильно мешает в его работе, так как цветовая палитра в подобных проектах на может похвастаться разнообразием. Так же для работы он предпочитает использовать готовые палитры цветов, которые представлены на сайтах Color Trends + Palettes и Palleton, /4/.

Архинав Шарма, дизайнер продукта, занимается разработкой различными продуктами: от веб- и мобильных приложений до различных устройств, в том числе бытовых. Сам же дизайнер является протопом. Это сильная форма дальтонизма, подобный диагноз встречается менее чем у 1-ого процента дальтоников. С подобным дефектом зрения человек не может различить оттенки красного и зелёного. Архинав использует стандартный набор цветов, который заранее обсуждается с заказчиком или коллегами. Когда он понимает, что переходит к цвету, который плохо различает, просит кого-нибудь помочь. Однако дизайнер утверждает, что дальтонизм помогает ему в работе. Он осторожнее выбирает цвета, а также полагается на палитры, системы, закономерности, благодаря чему можно добиться единой стилистики продукта. Или задумывались ли вы когда-нибудь почему оформление социальной сети Facebook - синий? Марк Цукерберг является дальтоник, а именно протопом. То есть тоже не различает оттенки красного и зелёного, но хорошо видит оттенки синего, /4/.

Хорошим примером творчества человека с дефектом зрения является фотограф-дальтоник Кэмерон Бушонг. Он не различает оттенки красного и зелёного. Однако Кэмерон иногда использует специальные очки для дальтоников, но в первую очередь фотограф полагается на внутреннее чутьё и продолжает работать с цветом. В том числе — с красным (рисунок 2), /2/.



Рисунок 2. – Работа Кэмерона

Не учитывать потребность 8-ми процентов пользователей - не самое лучшее решение для дизайна. Так же это очень большое упущение.

В использовании особенностей зрения есть огромный потенциал. Можно создать более универсальные и незаурядные дизайны. Например, не очень хорошо для дизайнера сайта использовать коричневые оттенки. Некоторые дальтоники увидят не коричневый, какой-то красноватый оттенок. Подобной цвет сайта сильно бросается в глаза и напрягает зрение. Даже на примере Facebook, у людей в основном не появляется жалоб по цветовому решению сайта. Синий цвет лучше всего воспринимается дальтониками, как и ахроматические цвета. Поэтому дизайн Facebook является оптимальным для большинства дальтоников и для людей с отсутствием дефектов зрения.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно понять, что необходимо учитывать тонкости цветового решения как для людей с обычным зрением, так и для людей с дефектами зрения. Это особенно важно для создания безбарьерной среды в общественных местах: метро, вокзал, аэропорт, ТЦ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОЧКОВ.NET, Бывает ли дальтонизм у девушек? / Виды дальтонизма – XXI век [Электронный ресурс].– 2015. – Режим доступа: <https://www.ochkov.net/informaciya/stati/byvaet-li-daltonizm-u-devochek.htm> – Дата доступа: 11.10.2023
2. Сара Энн Лопет, MY MODERN MET / Interview: Color Blind Photographer Reveals How He Overcomes His Chromatic Condition – XXI век [Электронный ресурс].– 2003-2023. – Режим доступа: <https://mymodernmet.com/color-blind-photographer-cameron-bushong/> – Дата доступа: 12.10.2023.
3. EYES.IT, Мир глазами дальтоника / Интересные факты о глазах – XXI век [Электронный ресурс].– 2015. – Режим доступа: <https://eyes.it/ru/color-blind/> – Дата доступа: 11.10.2023.
4. Мухатаев, А. Как работают дизайнеры, которые плохо различают цвета? / А. Мухатаев // Дальтонизм в креативных индустриях – XXI век [Электронный ресурс].– 2015. – Режим доступа: <http://www.lookatme.ru/mag/how-to/ask/217433-what-is-it-like-to-be-a-color-blind-designer> – Дата доступа: 12.10.2023.
5. Medium, Дальтонизм в интерфейсах: как создавать доступный дизайн / RGB в твоей голове– XXI век [Электронный ресурс].– 2018. – Режим доступа: <https://medium.com/@grifer163/%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%B0%D1%85%D0%BA%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF%D0%BD%D1%8B%D0%B9%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D0%B9%D0%BD-c1867c5b2954> – Дата доступа: 13.10.2023.

УДК 747(075.8)

КАК РАБОТАЮТ ХУДОЖНИКИ-ДАЛЬТОНИКИ

А.А. МАШНОВА

(Представлено: Е.Г. Кремнёва)

Дальтонизм был всегда, но впервые это заболевание было описано в 1794-ом году английским учёным Джоном Дальтоном, у которого был дефект зрения. В 21-ом веке дефекты зрения соответственно не являются чем-то новым. И обладатели подобного зрения работают в самых разнообразных сферах, например в сфере искусства.

Ключевые слова: художники, особенности зрения, безбарьерная среда, дальтонизм, цветовосприятие, искусство.

Если человек искренне горит желанием работать в сфере искусства, то даже дефекты зрения ему не помешают. Рассмотрим несколько примеров такого стремления к художественной деятельности.

Известные художники-иллюстраторы Пол Караван и Бэн Цвайфель с детства плохо различают цвета: Пол с трудом различает зелёный, синий и жёлтый цвета, а у Бэна проблемы с восприятием оттенков красного и зелёного. Оба на протяжении многих лет работают в популярных компаниях по созданию игр. Художники подготовили специальную серию изображений на основе картины Джона Сингера Сарджента «Гвоздика, лилия, лилия, роза», чтобы показать различия в восприятии цветов /1/. Потом они создали цветовой круг, где обозначили цвета, которые сложно воспринимать. И на его основе они разбираются с тоном изображения. Художники доверяют внутреннему чувству цветовосприятия и стараются работать без использования каких-либо хитростей, но иногда предпочитают сверяться с кругом (рисунок 1).

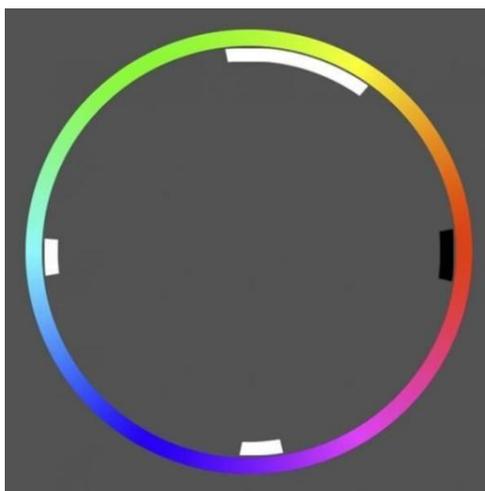


Рисунок 1. – Цветовой круг. Белым помечены цвета, которые практически не видны, чёрным - которые воспринимаются, но не очень ярко

Художники пользуются ещё одним приёмом — показать работу коллеге, который не имеет проблем с цветовосприятием.

Однако заниматься искусством, можно и не используя хроматические цвета. Подобным ярким примером является Джим Ким — мультипликатор на известной студии Disney. Из-за дальтонизма Джиму не смог художественное образование, ему банально отказали в поступлении. Он поступил на экономиста и продолжал практиковаться в рисовании. Позже он попал в Disney, где начал рисовать чёрно-белые наброски персонажей. Сам же мультипликатор утверждал, что многие художники любят использовать разные цвета и оттенки, а мультипликаторы используют при создании чёрно-белые изображения для разных сцен, /2/.

Ещё одним примером можно считать Питера Милтона. Он является художником и преподавателем, который толком и не предпринимал попыток использования цвета, а сразу решил сосредоточить своё внимание на гравюрах и изображениях в чёрно-белых тонах. Работы Питера наполнены динамикой, детализацией и высокой насыщенностью кадров. Таким образом художник компенсирует отсутствие цвета. Он говорит, что не скучает по цвету. Именно наличие диагноза «дальтонизм» помогло Питеру сделать важный выбор в его жизни.

Есть и другие способы дальтонику использовать цвет. Рассмотрим на примере Гура Илани. Он работает дизайнером, мультипликатором, при этом не может различать зелёные и красные цвета. Сначала художник использовал специальную таблицу цветов, где каждый оттенок имеет свои буквенно-числовую кодировку, например #EE204D – код оттенка «красный крайола». Можно создавать себе палитру из таких кодов на основе работ разных художников или использовать готовые палитры с сайтов Color Trends + Palettes и Palleton. Однако Гур начал понимать некоторые принципы комбинации цветов. Со временем он перестал использовать таблицу и смог придерживаться определённого стиля в своих работах.

Стоит помнить, что даже дальтоник может видеть цвета такими, какими их видят люди с обычным зрением. Существуют специальные очки для дальтоников, и некоторые художники используют их для создания своих произведений искусства. Одним из таких людей является Дэниел Аршем, художник-скульптор. В первых работах скульптора прослеживалось использование оттенков серого, а акцент строился на текстурах предметов и окружения. Подобным приёмом Дэниел хотел компенсировать нехватку цвета. После приобретения специальных очков работы художника приобрели яркие насыщенные оттенки (рисунок 2), /1/.



Рисунок 2. – Работа Дэниэла Аршема, «розовый сад камней»

После анализа всех историй можно сделать вывод, что люди с дефектами цветовосприятия находят максимально разнообразные варианты самореализации в искусстве. Кто-то использует цвета, которые может различать, кто-то предпочитает использовать ахроматическую палитру цветов, а кто-то применяет хитрости для использования неограниченной палитры цветов. В итоге получаются уникальные работы, которые не сделал бы человек с обычным зрением. Автор считает, что у дальтонизма имеется огромный потенциал как в искусстве, так и в более практичных вещах. Под практичными вещами подразумевается создание безбарьерной среды для людей с дефектами цветовосприятия. Преимущества

ЛИТЕРАТУРА

1. DTF, как рисуют художники с дальтонизмом / художники-дальтоники о том, как они добиваются успехов вопреки особенностям зрения – XXI век [Электронный ресурс].– 2021. – Режим доступа: <https://dtf.ru/life/702780-kak-risuyut-hudozhniki-s-daltonizmom> – Дата доступа: 13.10.2023.
2. Яндекс Дзен / Статьи / Что видят дальтоники? – XXI век [Электронный ресурс].– 2023. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/Y_Rqtjv2I2fyE3I6 – Дата доступа: 14.10.2023.
3. Мухатаев, А. Как работают дизайнеры, которые плохо различают цвета? / А. Мухатаев // Дальтонизм в креативных индустриях – XXI век [Электронный ресурс].– 2015. – Режим доступа: <http://www.lookatme.ru/mag/how-to/ask/217433-what-is-it-like-to-be-a-color-blind-designer> – Дата доступа: 12.10.2023.

UDC 69.001.5

**COMPARISON OF SORPTION HUMIDITY INDICATORS
OF INSULATIONS BASED ON NATURAL RAW MATERIALS*****E.V. POSLED, M.V. KONYUHOV***
(Presented by: S.A. Romanovskiy, A.A. Bakatovich)

The article presents indicators of sorption humidity of thermal insulation materials based on natural raw materials and provides a comparison with each other. Based on the results of the research, the factors that have the greatest influence on the value of sorption humidity were determined.

The main indicator when choosing a thermal insulation material is the thermal conductivity coefficient. Currently, many insulation materials from natural raw materials have been developed, characterized by high thermal properties. However, changes in thermal conductivity are associated not only with the nature of the structure of the material, but also with phenomena that arise during operation. One of the most negative factors that changes the properties of thermal insulation during operation is exposure to moisture. For this reason, the study of sorption humidity is of particular interest to developers

A study of the sorption humidity of heat-insulating boards based on plant raw materials was carried out at Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk. Based on the test results, it was established that insulation based on flax tow and liquid sodium glass as a binder (Fig. 1) at a relative air humidity of 97% has a sorption humidity of 47%. The use of lime and gypsum as a modifying additive makes it possible to reduce the sorption moisture content to a value of 38%. At the same time, the value of sorption humidity of thermal insulation made from flax tow from a relative air humidity of 60% is 14% [1].



Figure 1. – Thermal insulation boards made of flax tow

The sorption humidity of thermal insulation materials based on chopped straw and liquid glass at a relative air humidity of 60% is 9%. An increase in relative air humidity leads to an increase in sorption humidity by 10 times to 85%. The introduction of flax seeds makes it possible to reduce the value of sorption humidity by 15% to 72%. At the same time, insulation made from a mixture of chopped straw with flax shreds and sodium liquid glass has a sorption moisture content of 10% [2].

The determination of sorption moisture by the desiccator method was carried out on samples from eucalyptus fibers of various fractions. Based on the results of the studies, it was established that the large fraction of eucalyptus bark fibers has lower sorption rates compared to samples of the medium and small fractions. At a relative air humidity of 40%, the sorption of the large fraction of fibers was 6%, which is 19% lower than that of medium and small fibers. The sorption humidity of large fibers reached 10% at 60% relative air humidity, which differs by 16% from the values of the medium and fine fractions. The values of sorption moisture content of bark fibers of the medium and fine fractions are equal to 16% and 17% at a relative air humidity of 80% and exceed that of the large fraction by 14% and 18%. At 90% relative air humidity, the excess of the sorption humidity of samples of the medium and fine fractions relative to the large fraction corresponds to 12%. It should be noted that the sorption rates of all fractions have insignificant differences and vary within the range of 27,5 – 30,9% at a relative air humidity of 97% [3].

Studies of water vapor sorption were carried out on rice husks without a binder component and on composite compositions from a mixture of husks and straw using modified liquid glass (liquid glass, lime and gypsum) [4]. The maximum sorption humidity of rice husk corresponds to 19,25–19,5% at a relative air humidity of 97%. The duration of the sorption process at a relative air humidity of 40–97% is 28. At a relative air humidity of 60–80%, the sorption rates of rice husk are in the range of 7,75–12%.

The data on the kinetics of water vapor sorption of a mixture of rice husks and straw do not differ significantly from the indicators at relative air humidity of 40% and 60%. Significant differences appear when samples are kept at a relative humidity of 80–97%. Thus, already at an air humidity of 80%, the sorption rate reaches 20%. At a relative air humidity of 90%, the sorption humidity indicator increases by 2 times compared to the husk sorption value and reaches 30,7%. The maximum sorption rates that were recorded were 48,2–49,5% and were achieved at an air humidity of 97%.

The described indicators of sorption humidity of thermal insulation are summarized in Table 1.

Table 1. – Sorptive humidity of thermal insulation boards

Structure-forming insulation material	binder	additive	Sorption humidity at relative air humidity		
			60	97	
flax tow	liquid glass	-	16	47	
flax tow	liquid glass	lime and gypsum	14	38	
chopped straw	liquid glass	-	9	85	
chopped straw	fire flax	liquid glass	10	72	
eucalyptus fiber	liquid glass	-	10	31	
rice husk	-	-	8	19	
rice husk	chopped straw	liquid glass	lime and gypsum	16	49

Analysis of the presented data (Table 1) allows us to establish that at a relative air humidity of 60%, thermal insulation materials based on rice husks have the lowest sorption humidity, equal to 8%. The highest indicator - 16% - has thermal insulation made from flax flakes and liquid glass, as well as insulation based on a mixture of chopped straw with flax shreds and modified liquid glass.

At an air humidity of 97%, thermal insulation boards made from rice husks have the lowest sorption humidity value (19%). The sorption moisture content of insulation materials based on chopped straw and flax husks is 4,5 times higher than the value of slabs made from rice husks and is equal to 85%.

Conclusion. The given values of sorption humidity of thermal insulation based on natural raw materials allow us to conclude that insulation materials without a binder have the lowest sorption humidity. It is also worth noting that the addition of lime and gypsum makes it possible to reduce the sorption moisture content of thermal insulation boards.

REFERENCES

1. Romanovskiy, S.A. Effect of Modified Liquid Glass on Absorption Humidity and Thermal Conductivity of Flax Fiber Slabs / S.A. Romanovskiy, A.A. Bakatovich // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 660 (2019) 012072. doi:10.1088/1757-899X/660/1/012072;
2. Давыденко, Н.В. Теплоизоляционные плиты на основе отходов растениеводства и неорганического вяжущего: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Н.В. Давыденко. – Новополюк, 2016. – 1. – 28 с.
3. Бакатович, А. А. Оценка эффективности применения волокон коры эвкалипта как структурообразующего материала для теплоизоляции по показателю сорбционной влажности / А. А. Бакатович, Р. Л. Обромпальский // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс] : электронный сборник статей IV международной научной конференции, Новополюк, 20–21 апр. 2022 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополюк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. – С. 78-83.
4. Бакатович, А. А. Изоляционные композиты на основе смеси рисовой лузги и соломы / А. А. Бакатович, И. Чжан, Ф. Гаспар // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. - 2022. - № 14. - С. 2-9. 10.52928/2070-1683-2022-32-14-2-9.

UDC 69.001.5

STRENGTH CHARACTERISTICS OF INSULATIONS FROM NATURAL FIBERS

*E.V. POSLED, M.V. KONYUHOV**(Presented by: S.A. Romanovskiy, A.A. Bakatovich)*

Options for structure-forming materials of plant origin are presented for the production of thermal insulation materials based on fibers of plant origin. The production of jute and coconut fibers is described. The results of studies of the strength characteristics of the developed thermal insulation materials are presented.

Environmental friendliness is a characteristic that is a stumbling block when choosing insulation for a home. Formally, all building materials that can be found on the domestic market today have appropriate environmental certificates. But, in most cases, when choosing thermal insulation, heated debates arise regarding the environmental friendliness of these insulation materials.

For example, supporters of stone wool claim that the foam contains harmful styrene. Fans of foam plastic in response hint at phenol-formaldehyde binders of mineral wool insulation. As a result, everyone remains to their own, although both groups of materials are of synthetic origin. At the same time, people are increasingly striving to choose natural, natural materials for building a house. This is not just a fashion trend, but also a concern for one's own health, well-being and safety [1]. This article discusses several options for structure-forming materials for further use in the manufacture of insulation materials.

Jute refers to an annual herbaceous plant, shrub and subshrub, otherwise called Calcutta hemp. There are up to 80 species of this plant in the world. The stem of jute is erect and branched with a tap root and oval-lanceolate leaves with appendages, serrated along the edges. The flowers are bisexual, small, and have a yellow tint. The fruit is a ribbed capsule, which, depending on the type, is pod-shaped or spherical. The seeds are small and may be grey, green or brown in color.

The height of jute, depending on conditions, can reach more than 3 m. Jute consists of plant fibers such as lignin (a key component of wood fiber), cellulose, which is a combination of ligninocellulose fibers, which at the same time have the qualities of wood and textiles.

Jute grows in the tropics and subtropics of Asia, Australia, America, and Africa. It has become especially widespread in Bangladesh and India. In many densely populated areas of South Asia, where the lion's share of world production of this crop is concentrated, jute fibers are of great economic importance. This is due to the fact that jute fibers there are a key source of income for small family farms.

Plant ripening continues within 120–150 days, after which harvesting begins. Collection and preparation of raw materials is a labor-intensive process. The harvest is harvested by hand, tied into sheaves, and the cut stems are left on the field for 3 days. During this period, the leaves fall and the bundles are soaked for 5–15 days in ponds to destroy the connecting plates and facilitate the separation of the fibers. The next stage involves thorough washing and drying of the raw materials. The average productivity of a jute plant varies from 1,5 to 2 t/ha. To remove excess moisture, raw materials are hung on poles to dry and sent for processing.

For many hundreds of years, people have used jute fiber to make rough clothing and rope, but over time the situation has changed. New technologies that have emerged have made it possible to expand the range of products made from jute to several hundred types of goods. These include bag containers, ropes, wallpaper materials, linoleum, and carpeting. And the best varieties are used for the production of fabric and tufted jute carpets [2, 3]. Thus, jute fibers have a fairly wide range of applications, but finding ways to maximize the effective use of jute fibers for the human environment remains an open question.

Not so long ago, products made from coconut fiber were exotic. Currently, it is a common and widely used natural material in various spheres of people's lives and activities. The desire for maximum environmental friendliness has made this product one of the most widely used materials in our everyday life.

History says that, according to some sources, the coconut palm originated in the Malaysian archipelago. The coconut palm is one of the most ancient trees on the entire globe, growing even in the era of dinosaurs. Fossilized fruits were discovered in New Zealand. It is also known that palm trees have been growing in India for 4000 years. Therefore, many scientists believe that this type of palm tree originated on the coasts of the Indian Ocean. The coconut is also believed to be native to Southeast Asia, Polynesia, India, the Pacific Islands, Hawaii, South Florida, the Caribbean and Southern California.

Currently, the exotic fruit today exists both in the wild and in cultivation in the Philippines, Africa, Sri Lanka, South America, India, Brazil, Thailand and the Antilles. All these countries have a fairly hot tropical climate. Coconut palms are cultivated mainly in developing countries [4].

In total, 54,716,444 tons of coconuts are grown in the world per year. The Philippines is the leader in coconut production – 19,500,000 tons of coconuts per year. In second and third place are Indonesia and India, which grow 15,319,500 and 10,894,000 tons of coconuts per year respectively.

All other countries lag significantly behind. Brazil - 2,759,044 tons of coconuts per year, Sri Lanka - 2,200,000, Thailand - 1,721,640. And then Mexico, Vietnam, New Guinea and Malaysia (total 555,120 tons of coconuts per year). It turns out that Thailand is far from a leader in this matter, and Malaysia even more so. But the Philippines has taken the coconut issue seriously. Many Philippine islands are densely planted with coconut palms, especially the less developed and less populated islands [5].

The material obtained from the pericarp or, more simply, the coconut shell is coconut fiber. The shell of a ripe coconut fruit itself is a fairly durable material. But when soaked in water for a long time, it is divided into its constituent fibers - coir. The fibers are combed out and sorted into fractions depending on length and thickness. The quality of the fibers and some parameters depend on the water in which the coconut is soaked. Fiber soaked in sea water contains some sea salt and is stiffer. Fibers obtained from freshwater soaking are softer and lack mineralization [6].

Coconut fibers have a wide range of applications; the longest and medium ones are used to make fishing nets, ropes and ropes that do not get wet and do not sink in water, mats, etc. Coarse lignified fibers are used, for example, to make brush products. Made from short and tangled coconut fibers - filler for mattresses and furniture [7]. It is worth noting that the given geography of growth of the raw materials under consideration indicates the possibility of developing, obtaining and practical implementation of thermal insulation based on coconut fibers in almost various regions of the world.

To determine the strength characteristics of insulation materials, the average density was varied from 60 to 100 kg/m³ with changes in the structure-forming material and binder consumption. The quantitative composition of heat-insulating boards made of jute fibers is given in Table 1. The average density and compressive strength at 10% deformation of samples made of jute fibers were determined on samples measuring 100×100×100mm.

Table 1. – Quantitative composition based on jute fibers

№ composition	Component consumption, kg/m ³		№ composition	Component consumption, kg/m ³	
	jute fibers	liquid glass		jute fibers	liquid glass
1	52	8	9	78	12
2	62	8	10	88	12
3	72	8	11	44	16
4	82	8	12	54	16
5	92	8	13	64	16
6	48	12	14	74	16
7	58	12	15	84	16
8	68	12			

Indicators of average density and compressive strength at 10% deformation are presented in Figure 1. Analysis of the results obtained allows us to establish that an increase in the density of thermal insulation materials due to an increase in the amount of structure-forming material leads to an increase in compressive strength at 10% deformation. With an average density of 60 kg/m³ and a liquid glass consumption of 8 kg per 1 m³ (composition 1), the compressive strength is 1 kPa. Increasing the amount of jute fibers to 92 kg per 1 m³ (composition 5) increases the compressive strength at 10% deformation by 4 times to 3,9 kPa. Samples of thermal insulation materials based on jute fibers with a maximum density of 100 kg/m³ (composition 10) achieve a strength of 4.4 kPa. A decrease in density to 60 kg/m³ causes a decrease in the compressive strength value at 10% deformation by 3.7 times. An increase in the average density of cube samples from 60 kg/m³ (composition 11) to 100 kg/m³ (composition 15) leads to an increase in compressive strength by 3,2 times. It was also found that an increase in compressive strength at 10% deformation occurs due to an increase in the consumption of liquid sodium glass (Fig. 1). At a density of 60 kg/m³ (compositions 1, 6, 11), a 2-fold increase in binder from 8 kg per 1 m³ to 16 kg per 1 m³ leads to an increase in compressive strength by 50%; at a density of 70 kg/m³ the increase is 40%; at 80 kg/m³ – 38%; at 90 kg/m³ – 27%. Increasing the amount of jute fibers to 92 kg per 1 m³ (composition 5) increases the compressive strength at 10% deformation by 4 times to 3.9 kPa. Samples of thermal insulation materials based on jute fibers with a maximum density of 100 kg/m³ (composition 10) achieve a strength of 4.4 kPa.

To determine the strength characteristics of thermal insulation boards, the average density was changed from 70 to 145 kg/m³ with varying coconut fibers and sodium liquid glass consumption. The quantitative composition of thermal insulation boards made from coconut fibers is presented in Table 2.

The dependences of compressive strength at 10% deformation on the average density of thermal insulation materials based on coconut fibers are presented in Figure 2. According to the data obtained (Figure 2), it was established that an increase in the density of thermal insulation due to an increase in the amount of structure-forming material from coconut fibers leads to an increase in strength compression at 10% strain. An increase in the average density of cube samples from 70 kg/m³ (composition 1) to 145 kg/m³ (composition 6) leads to an increase in compressive strength by 6,4 times. With an average density of 70 kg/m³ and a liquid glass consumption of 14 kg per 1 m³ (composition 7), the compressive strength is 16 kPa. Increasing the amount of coconut fibers to 131 kg per 1 m³ (composition 12) increases the compressive strength at 10% deformation by 5,4 times to 86 kPa. Cube samples of thermal insulation materials based on coconut fibers with a maximum density of 145 kg/m³ (composition 18) achieve a strength of 98 kPa. A decrease in density to 70 kg/m³ causes a de-

crease in the compressive strength value at 10% deformation by 4,5 times to 22 kPa. It was also found that an increase in compressive strength at 10% deformation occurs due to an increase in binder consumption (Fig. 2). At a density of 70 kg/m³ (compositions 1, 7, 13), a 2,5-fold increase in binder from 8 kg per 1 m³ to 20 kg per 1 m³ leads to an increase in compressive strength by 83%; at a density of 85 kg/m³ the increase is 75%; at 100 kg/m³ – 50%; at 115kg/m³ – 36%; at 130 kg/m³ – 33%; at 145 kg/m³ – 27%.

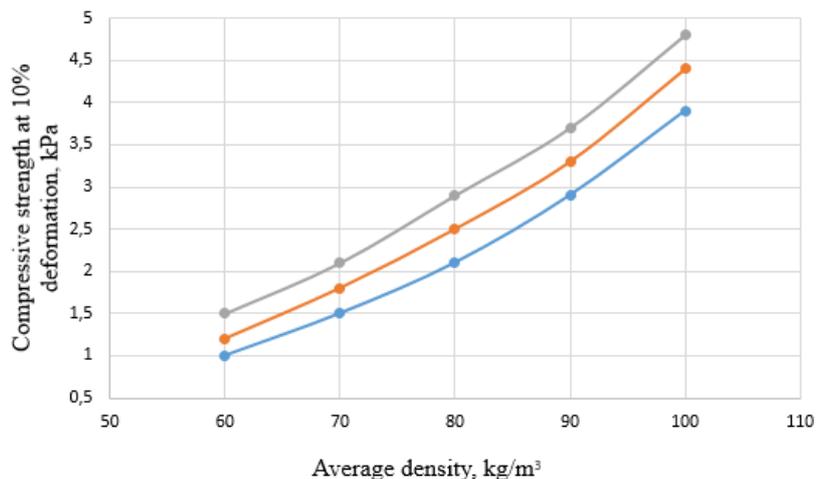


Figure 1. – Dependence of compressive strength at 10% deformation of jute insulation on average density

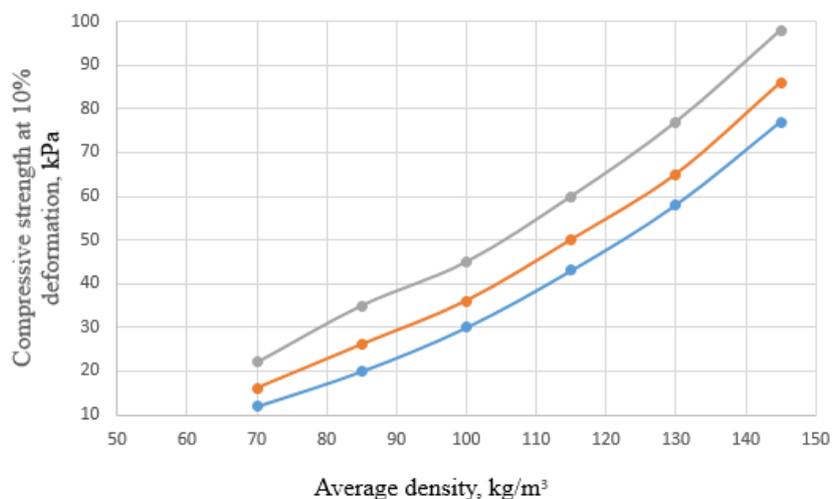


Figure 2. – Dependence of compressive strength at 10% deformation of coconut insulation on average density

Table 2. – Quantitative composition of insulation based on coconut fibers

№ composition	Component consumption, kg/m ³		№ composition	Component consumption, kg/m ³	
	coir	liquid glass		coir	liquid glass
1	62	8	10	101	14
2	77	8	11	116	14
3	92	8	12	131	14
4	107	8	13	50	20
5	122	8	14	65	20
6	137	8	15	80	20
7	56	14	16	95	20
8	71	14	17	110	20
9	86	14	18	125	20

In most countries, it is possible to use fibers of natural or agricultural origin in the production of insulation materials. Considering the volumes of waste jute and coconut fibers and the ways of further use, the use of these fibers as the main components of thermal insulation materials can be an innovative and promising solution for the use of these wastes.

The conducted studies allow us to conclude that in the considered ranges of component consumption, the compressive strength at 10% deformation of heat-insulating boards based on jute fibers varies from 1 to 4,8 kPa, and for heat-insulating boards based on coconut fibers it varies ranging from 12 to 98 kPa.

REFERENCES

1. Самый экологичный утеплитель! Из чего его делают [Электронный ресурс] / сайт forumhouse – Режим доступа: <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/10797-samy-ekologichnyy-uteplitel-iz-chego-ego-delayut> / – Дата доступа: 1.10.2023 г.;
2. Джут – что это такое: применение натурального утеплителя [Электронный ресурс] / сайт sovets.net – Режим доступа: <https://sovets.net/16098-dzhut-cto-eto-takoe.html> / – Дата доступа: 1.10.2023 г.;
3. Джутовая ткань – свойства и характеристики. Обширная сфера применения [Электронный ресурс] / сайт Текстильнуру – Режим доступа: <https://textilegu.ru/naturalnye-tkani/dzhut-svoystva-i-opisanie-primeniya.html> / – Дата доступа: 1.10.2023 г.;
4. Где растет кокос? Условия обитания кокосовой пальмы [Электронный ресурс] / сайт FB – Режим доступа: <https://fb.ru/article/289970/gde-rastet-kokos-usloviya-obitaniya-kokosovoy-palmy/> / – Дата доступа: 1.10.2023 г.;
5. Мировое производство кокосов [Электронный ресурс] / сайт Фрукторианство – Режим доступа: <http://fruitarian.ru/mirovoe-proizvodstvo-kokosov/> / – Дата доступа: 1.10.2023 г.;
6. Кокосовое волокно [Электронный ресурс] / сайт Textile Space – Режим доступа: https://textilespace.ru/directory/fibers/kokosovoe_volokno/ / – Дата доступа: 1.10.2023 г.;
7. Кокосовое волокно (койра) [Электронный ресурс] / сайт Textile Space – Режим доступа: <https://www.pozvonochnik.info/text/13/content/121/#:~:text=Кокосовые%20волокна%20имеют%20широкий%20спектр,наполнитель%20для%20матрасов%20и%20мебели/> / – Дата доступа: 1.10.2023 г.

UDC 69.001.5

THERMAL INSULATION FROM JUTE AND COCONUT FIBERS

M.V. KONYUHOV, E.V. POSLED

(Presented by: S.A. Romanovskiy, A.A. Bakatovich)

Data are presented on the use of jute and coconut fibers to obtain effective thermal insulation materials. The compositions of thermal insulation boards based on coconut fiber and jute were selected. The results of studies of the thermal characteristics of the developed thermal insulation boards are presented.

In recent years, eco-construction has become especially popular. People want to live in houses that are safe for life and health, using materials that do not emit harmful substances and help maintain a normal microclimate. Therefore, many owners of private houses are considering the possibility of insulating the building with materials based on natural raw materials. An example of thermal insulation boards of plant origin are insulation materials made from flax tow, cotton waste, sphagnum moss and oil palm bark fibers [1-5]. The high efficiency of thermal insulation boards with a fibrous structure and a practically unlimited raw material base give the right to consider the development of the production of such insulation materials as one of the most important directions in the development of new progressive building materials. Currently, at the Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk, research is being conducted on the production of insulation materials based on jute and coconut fibers. Sodium liquid glass is used as a binder.

To determine the physical and mechanical properties of insulation materials, the average density was varied from 60 to 100 kg/m³ with changes in the structure-forming material and binder consumption. The quantitative composition of heat-insulating boards made of jute fibers is given in Table 1. The average density and thermal conductivity of samples made of jute fibers was determined on samples measuring 250×250×30mm.

Table 1. – Quantitative composition based on jute fibers

№ composition	Component consumption, kg/m ³		№ composition	Component consumption, kg/m ³	
	jute fibers	liquid glass		jute fibers	liquid glass
1	52	8	9	78	12
2	62	8	10	88	12
3	72	8	11	44	16
4	82	8	12	54	16
5	92	8	13	64	16
6	48	12	14	74	16
7	58	12	15	84	16
8	68	12			

Indicators of average density and thermal conductivity are presented in Figure 1. Analysis of the obtained dependencies (Figure 1) allows us to conclude that an increase in the amount of jute fiber to a density of 80 kg per 1 m³, regardless of the binder consumption, leads to a decrease in the thermal conductivity coefficient, and a further increase or decrease in the consumption of the structure-forming material causes an increase in the parameter under study. For example, with a consumption of jute fibers of 92 kg per 1 m³ for composition 5, the thermal conductivity is 0,041 W/(m·°C). A 20% reduction in jute consumption causes a decrease in the thermal conductivity coefficient to 0,037 W/(m·°C). A further decrease in the amount of bark fiber causes an increase in thermal conductivity by 14% to 0,042 W/(m·°C). With a consumption of structure-forming material of 52 kg per 1 m³ for composition 6, the thermal conductivity is 0,042 W/(m·°C). The thermal conductivity coefficient decreases to 0,04 W/(m·°C) when the consumption of jute fibers increases by 1.6 times. A further increase in the number of jute fibers leads to an increase in the thermal conductivity coefficient to 0,045 W/(m·°C). For compositions 11–15, the minimum value of the thermal conductivity coefficient of 0,044 W/(m·°C) corresponds to a consumption of structure-forming material of 72 kg per 1 m³. With a reduction in jute consumption (composition 11), an increase in the thermal conductivity coefficient was found to increase by 11% to 0,049 W/(m·°C), and with an increase in the amount of jute fiber (composition 15), the studied parameter increased to 0,049 W/(m·°C). It has also been established that with a constant density, but an increase in sodium liquid glass, an increase in binder consumption causes an increase in the thermal conductivity coefficient. For example, with an average density of 60 kg per 1 m³ (compositions 3, 8, 13), the increase in thermal conductivity is 17%. In the considered ranges of component consumption, the thermal conductivity coefficient of the insulation varies from 0,037 to 0,049 W/(m·°C).

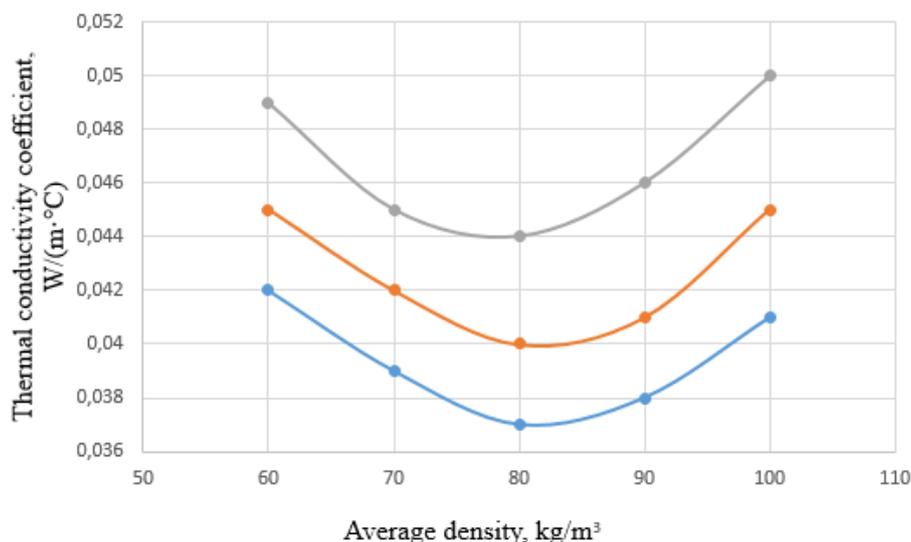


Figure 1. – Dependence of the thermal conductivity coefficient of jute insulation on average density

The average density and thermal conductivity of samples made from coconut fibers were determined on samples measuring 250×250×30 mm, varying the average density of the samples in the range of 70–145 kg/m³. Table 2 shows the quantitative composition of the components of thermal insulation boards.

Table 2. – Quantitative composition of insulation based on coconut fibers

№ composition	Component consumption, kg/m³		№ composition	Component consumption, kg/m³	
	coir	liquid glass		coir	liquid glass
1	62	8	10	101	14
2	77	8	11	116	14
3	92	8	12	131	14
4	107	8	13	50	20
5	122	8	14	65	20
6	137	8	15	80	20
7	56	14	16	95	20
8	71	14	17	110	20
9	86	14	18	125	20

Indicators of the average density and thermal conductivity of samples made from coconut fibers are presented in Figure 2.

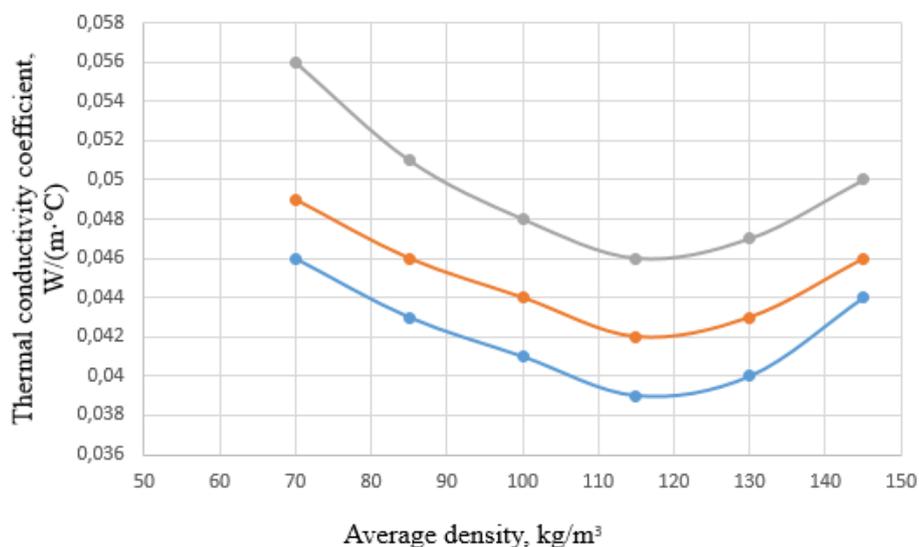


Figure 2. – Dependence of the thermal conductivity coefficient of coconut insulation on average density

Based on the data obtained (Figure 2), it was established that an increase in the number of coconut fibers to 115 kg per 1 m³, regardless of the binder consumption, leads to a decrease in thermal conductivity, and further. An increase or decrease in fiber consumption causes an increase in the thermal conductivity coefficient. Thus, with a quantity of coconut fibers of 62 kg per 1 m³ for composition 1, the thermal conductivity of the sample is 0,046 W/(m·°C). An increase in the amount of structure-forming material by 1,7 times causes a decrease in the thermal conductivity coefficient to 0,039 W/(m·°C). An increase in the amount of coconut fibers to 145 kg per 1 m³ causes an increase in thermal conductivity by 13% to 0,044 W/(m·°C). With a fiber quantity of 131 kg per 1 m³ for composition 12, the thermal conductivity coefficient is 0,045 W/(m·°C). A decrease in thermal conductivity to 0,042 W/(m·°C) occurs when the amount of structure-forming material is reduced by 30%. Further reduction of fibers leads to an increase in the thermal conductivity coefficient to 0,049 W/(m·°C). For compositions 13–18, the minimum thermal conductivity value of 0,046 W/(m·°C) corresponds to a quantity of coconut fibers of 95 kg per 1 m³. With a decrease in the structure-forming agent (composition 13), an increase in the thermal conductivity coefficient was established by 22% to 0,056 W/(m·°C), and with an increase in the amount of coconut fibers (composition 18), the thermal conductivity increased to 0,05 W/(m·°C). It has also been established that with an increase in the consumption of liquid glass, but a constant density of thermal insulation materials, an increase in thermal conductivity occurs. For example, with an average density of 70 kg per 1 m³ (compositions 1, 6, 11), the increase in thermal conductivity is 22%. In the considered ranges of binder consumption, the thermal conductivity of insulation varies within the range of 0,039–0,056 W/(m·°C).

The conducted studies confirmed the possibility of using jute and coconut fibers for the manufacture of thermal insulation boards. The use of coconut and jute fibers makes it possible to solve the problem of recycling plant waste for the Philippines, India, as well as other regions of Asia and Africa, and to produce effective natural insulation from local natural raw materials.

REFERENCES

1. Romanovskiy, S Influence of the Fibrous Structure on the Physical and Mechanical Characteristics of Insulating Slabs from Flax Noils / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // Scientific Journal of Riga Technical University «Construction Science» – 2017. – vol. 20. – P. 10–16;
2. Romanovskiy, S. Bakatovich, A. Full-scale study of flax fiber-based thermal insulating slabs on the atticfloor // Sustainability and Automation in Smart Constructions. Proceedings of the International Conference on Automation Innovation in Construction (CIAC 2019). Leiria, Portugal, pp. 271 – 278, Springer. doi:10.1007/978-3-030-35533-3_3;
3. Розыев, М.А. Конструкционные и теплоизоляционные материалы с использованием в качестве заполнителей отходов хлопкового производства: дисс. ... маг. техн. наук: 1-70 80 01 / М.А. Розыев. – Новополоцк, 2020. – 45 с.;
4. Becerra C., Montory J. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus // The 13 th pacific rim bio-based composites symposium «Bio-based composites for a sustainable future, Chile. 2016. Pp. 46–50.
5. Romanovskiy, S. Insulating material on the basis of bark fibre of the olive palm tree / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // IX junior researchers' conference «European and national dimension in research. – 2017. – № 9. – PP. 104–17.

UDC 69.001.5

THERMAL INSULATION PLATES WITH FIBER STRUCTURE BASED ON PLANT RAW MATERIALS

M.V. KONYUHOV, E.V. POSLED
(Presented by: S.A. Romanovskiy, A.A. Bakatovich)

Innovative materials based on fibrous plant raw materials are presented. The above thermal insulation boards were developed at Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk. For thermal insulation, the main thermal characteristics are indicated.

Environmental safety and economic efficiency of thermal insulation of buildings at the current scale of heat consumption largely depends on thermal insulation materials. Thermal insulation serves to reduce heat losses and ensure acceptable temperature of the insulated surface. This article presents thermal insulation boards on structure-forming materials made of plant fibers for various countries of the world, developed in the green building laboratory of the Department of Construction Production of Polotsk University.

Thermal insulation boards based on jute fibers. Insulation made from jute fibers contains a fibrous structure-forming material, liquid soda glass as a binder and the addition of lime and gypsum. Thermal insulation has a thermal conductivity coefficient of 0,046–0,063 W/(m·°C) and a tensile strength at 10% deformation of 0.11–0.59 MPa with an average density of 86 to 239 kg/m³. The best thermal conductivity of 0.046 and 0.047 W/(m·°C) is achieved by insulation materials characterized by an average density of 142 and 170 kg/m³. The maximum strength indicators at 10% deformation of 0,55 and 0,59 MPa were obtained for compositions with an average density of 170 and 198 kg/m³ [1].

Thermal insulation boards made of sphagnum moss. Research on the production of thermal insulation based on sphagnum moss was carried out at Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk [2]. Liquid glass was used as a binder. Thermal insulation materials are characterized by the following thermal indicators: average density 150–170 kg/m³ and thermal conductivity coefficient from 0,034 to 0,04 W/(m·°C). When replacing 20–30% of sphagnum moss with crushed straw, the thermal conductivity of the insulation increases to 0,046 W/(m·°C) [3].

Thermal insulation boards made from fibrous waste from cotton production. For the countries of Central Asia, cotton production waste can be used as a structure-forming material [4]. Modified liquid glass is used as a binder. The insulation is shown in Figure 1. Thermal insulation at a density of 40 to 100 kg/m³ provides a thermal conductivity coefficient of 0.037–0.041 W/(m·°C). The lowest thermal conductivity coefficient of 0,037 W/(m·°C) corresponds to a density of 50–60 kg/m³. However, with the introduction of lime and gypsum, the insolubility of the binder and the thermal conductivity of the insulation increases to 0,039 W/(m·°C). At a relative air humidity of 60–70%, the sorption humidity of thermal insulation materials based on cotton fibers is 11–12%. The thermal conductivity coefficient of the slabs at the specified sorption humidity is 0,043–0.045 W/(m·°C).



Figure 1. – Thermal insulation board made from fibrous waste from cotton production

Thermal insulation boards based on flax tow. The secondary raw material of flax fibers used as a structure-forming material for thermal insulation is flax tow [5, 6]. Sodium liquid glass is used as a binder. Gypsum and lime are also used to increase the insolubility of the binder.

Based on the results of comprehensive tests, it was established that thermal insulation boards based on flax tow have an average density of 40 to 120 kg/m³ and provide a thermal conductivity coefficient of 0,035–0,042 W/m·°C. The sorption humidity of the insulation materials under consideration at a relative air humidity of 60% to 80% is 14–16%. The vapor permeability coefficient of thermal insulation materials based on tow at a density of 40–120 kg/m³ is 0,34–0,41 mg/(m·h·Pa).

Full-scale tests confirmed the possibility of using thermal insulation as an effective insulation for buildings and structures. Samples of thermal insulation boards were laid between the wooden beams of the attic space and between the wooden posts of a wooden frame house, and were also mounted to a brick wall when installing a ventilated insulation system. In the process of ongoing monitoring for four or three years, no damage, deformation, or changes in the geometric

Thermal insulation boards based on flax from eucalyptus fibers. A preliminary study of eucalyptus bark made it possible to establish that, based on fibers, it is possible to obtain a structure-forming material for the production of insulation materials using natural raw materials. The use of eucalyptus bark with a moisture content of 20–30% during grinding reduces the amount of dust produced by 4–5 times and helps to increase the average fraction to 20–30% in the total mass of fibers. The best indicator of thermal conductivity is provided by the middle fraction of eucalyptus bark fibers. With a density of 70–90 kg/m³, the thermal conductivity coefficient of eucalyptus bark fibers is 0,049 W/(m·°C) [7]. In further studies, it is possible to introduce a second plant component in order to further reduce the thermal conductivity coefficient of the structural composition.

Interest in the creation of safe thermal insulation materials from raw materials of plant origin is associated with increased requirements for the ecology of the home. Fibrous plant raw materials are promising raw materials for the production of thermal insulation materials. Due to their properties, the structure-forming materials presented in the article provide high thermal performance, environmental friendliness and help maintain favorable temperature and humidity conditions in the premises.

REFERENCES

1. Romanovskiy, S.A. [Insulating material on the basis of bark fibre of the olive palm tree](#) / S.A Romanovskiy, A.A. Bakatovich // European and National Dimension in Research: IX Junior Researchers, Conference, Novopolotsk, April 26–27, 2017: in 3 p. // Polotsk stage University. – Novopolotsk, PSU, 2017. – P. 3. – P. 104–107;
2. Бакатович, А.А. Микроструктура как основной критерий, определяющий использование мха сфагнома в качестве заполнителя для эффективного плитного теплоизоляционного материала // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. 2017. № 8. С. 42–46;
3. Bakatovich, A. Composite material for thermal insulation based on moss raw material / A. Bakatovich, F. Gaspar // Construction and Building Materials. – 2019. – Volume 228. Doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116699
4. Розыев, М.А. Конструкционные и теплоизоляционные материалы с использованием в качестве заполнителей отходов хлопкового производства: дисс. ... маг. техн. наук: 1-70 80 01 / М.А. Розыев. – Новополоцк, 2020. – 45 с.;
5. Romanovskiy, S Influence of the Fibrous Structure on the Physical and Mechanical Characteristics of Insulating Slabs from Flax Noils / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // Scientific Journal of Riga Technical University «Construction Science» – 2017. – vol. 20. – P. 10–16;
6. Romanovskiy, S. Bakatovich, A. Full-scale study of flax fiber-based thermal insulating slabs on the atticfloor // Sustainability and Automation in Smart Constructions. Proceedings of the International Conference on Automation Innovation in Construction (CIAC 2019). Leiria, Portugal, pp. 271 – 278, Springer. doi:10.1007/978-3-030-35533-3 3;
7. Обромпальский, Р. Л. Теплоизоляционные композиты на основе волокон коры эвкалипта / Р. Л. Обромпальский, А. А. Бакатович // Архитектурно-строительный комплекс : проблемы, перспективы, инновации : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – С. 405–410.

UDC 666.973.2:666.97.031

**THE EXPERIENCE OF THE CHINESE CONSTRUCTION INDUSTRY
IN THE IMPLEMENTATION OF THE WET SHOTCRETE**

M. GUONA
(Presented by: A. Yagubkin)

At present, the research on the durability of shotcrete in our country is still very insufficient, and basically no fruitful elaboration has been carried out. Therefore, for the development of shotcrete technology, it is very necessary to carry out research in this area actively.

Since the 1980s, the design of concrete structures in developed countries has gradually transitioned from a strength-based design method to a method that emphasizes both strength and durability design, while modern concrete structure design is a design method that focus on durability, which requires concrete with high fluidity, high mechanical properties and high durability, high performance concrete was produced under this background. High performance concrete is an effective way to improve the durability of engineering structures [1]. Low water-binder ratio, high-efficiency water-reducing agent and large-volume mineral admixture are the salient features of high-performance concrete.

Among all building materials, concrete consumes less energy and creates less pollution. However, due to its wide application and large amount, it has caused a shortage of resources such as limestone and sand aggregates and has also damaged the natural environment. In order to save energy and reduce consumption, it is necessary to vigorously promote the preparation technology of machine-made sand sprayed concrete, and at the same time use various industrial wastes as the main source of cementitious materials, which can fundamentally reduce the amount of cement used.

Many engineers and technicians have done relevant experimental research and exploration on the use of machine-made sand to replace natural sand in concrete [2-3]. However, in previous experiments, machine-made sand was used as the fine aggregate of concrete. Due to the excessive stone powder content of machine-made sand, the concrete has a large water demand, poor workability, and reduced strength, which is difficult to meet the construction needs of the second lining of the tunnel. Therefore, machine-made sand is not suitable for use as fine aggregate of pumped concrete. If a certain amount of fine river sand is mixed into the machine-made sand as the fine aggregate of concrete without reducing the performance of concrete, it can not only solve the shortage of natural sand, but also reduce the cost of concrete and reduce the cost of concrete. pollution of the environment.

After mixing mineral admixtures, high-efficiency water reducers and alkali-free accelerators into high-performance wet shotcrete, the hydration mechanism of cementitious materials is different from that of ordinary wet shotcrete. The hydration hardening process of cementitious materials and its influence on the properties of cementitious materials are studied. Liu Wenbin [4] and other studies have shown that the water-binder ratio has a great influence on the performance of concrete. The greater the water-binder ratio, the worse the frost resistance and sulfuric acid corrosion resistance of concrete. If fly ash, slag powder, limestone powder and air-entraining water reducer are mixed in, the frost resistance and sulfuric acid corrosion resistance of concrete will be improved. Under the condition of low water-binder ratio, better mechanical properties can be obtained, and it has "super-stacking effect". Feng Chunhua [5] and other studies have shown that under the conditions of low water-binder ratio and insufficient curing, after the concrete is hardened with ordinary Portland cement, there are still a large number of unhydrated cement particles in the cement paste; substitution of cement of equal quality by admixtures can promote early hydration reactions, which is equivalent to increasing the water-cement ratio. In the early stage of hydration, fly ash and slag do not participate in the pozzolanic reaction; in the later stage of hydration, fly ash and slag react with cement hydration products to promote the hydration reaction of cement and improve the performance of concrete.

Pan Lisha [6] proposed that the use of high-efficiency water reducers is one of the most cost-effective methods to solve the durability of concrete. This paper summarizes the research status of the influence of water reducing agents on the durability of concrete in the past ten years and points out that it is urgent to systematically study the law of the influence of water reducing agents on the durability of concrete, so as to provide theoretical guidance for the correct selection of water reducing agents in engineering, so as to prepare concrete with good durability. high-performance concrete. Kenneth C. [7] research shows that adding high-efficiency water-reducing agent to concrete can reduce the water-binder ratio of concrete, reduce the amount of water and cementitious materials, reduce the porosity of hardened concrete, improve the structure of the concrete interface zone, and improve the durability of concrete. Studies of Zhang Jianqiang etc [8] have shown that over-dense concrete is not durable, and it is beneficial to increase the durability of concrete by reasonably increasing the number of harmless pores and less harmful pores inside the concrete. Different water-reducing agents have different effects on improving the pore structure of the gel. The water-reducing agent with a large water-reducing rate and a small air content is beneficial to improve the pore structure inside the concrete. Naphthalene-based water reducer (FDN) and sulfamate-based water reducer (MAS) have excellent performance.

Wang Jiliang [9] studied the effect of fly ash and slag on the durability of high-strength concrete. The test results showed that: fly ash and slag reduced the early strength of concrete, but significantly improved the later strength of concrete. The growth rate of concrete strength is higher; both fly ash and mineral powder can significantly improve the compactness of concrete, and mineral powder has a better effect than fly ash, and the concrete compaction performance increases with the increase of the content. Zhao Qingxin [10] and other studies have shown that the addition of fly ash to concrete can improve the morphology of the interface transition zone, thereby enhancing its durability.

Xia Jitao [11], under the same conditions of cementitious material dosage, water-binder ratio, and sand rate, respectively mixed 0%, 15%, 25%, 35%, 45%, and 55% natural sand to replace Manufactured sand, to study the change law of the working performance and mechanical properties of concrete under different machine-made sand replacement rates, so as to find the best machine-made sand replacement rate suitable for tunnel secondary lining concrete is about 35%. and mechanical properties are well developed.

Therefore, the concrete in the future must reduce the amount of cement fundamentally, and must make more use of various industrial wastes as its raw materials; the concrete in the future must be high-performance, especially durable. With the development of concrete technology, corresponding changes have taken place in the composition and composition of concrete. High-performance concrete will surely become the type of material widely used in tunnel engineering in China.

From 1948 to 1953, Austria used shotcrete support when constructing the Mier Tunnel of the Kapron Hydropower Station. This is the first shotcrete project in the world. This is the "New Austrian Method" theory that was later generally recognized by the engineering community. Since the 1980s, China first used shotcrete in the construction of Dayaoshan Tunnel, and the application of shotcrete has a history of more than 30 years. At present, shotcrete has become an indispensable and important part of the railway tunnel structure system.

Shotcrete is widely used in underground engineering, geotechnical engineering, repair and reinforcement engineering, thin-walled structural engineering, fire-resistant engineering, protective engineering and other civil engineering fields (especially water conservancy engineering, tunnel engineering construction) [12]. In the past 10 years, with the construction of large-scale high-speed railways and highways in China, the amount of sprayed concrete has been increasing. According to the "Medium and Long-term Railway Network Plan" approved by the State Council, the main channel of China's high-speed railway will reach 45,000 km, the connecting line of high-speed railway will be about 10,000 km, and the intercity railway will reach more than 10,000 km. By 2030, a large number of high-speed railway and intercity railway tunnels will continue to be built, with a total scale expected to be over 10,000 km [13]. According to statistics, by the end of 2020: my country has 2,746 railway tunnels under construction (total length 6,083km), and planned 6,354 railway tunnels (total length: 16,255 km); my country has 1,811 high-speed railway tunnels under construction (total length: about 2,750 km), and planned 3,525 high-speed railway tunnels (The cumulative length is about 7966 km) [14]. In the process of tunnel construction, it is difficult to accurately calculate the amount of shotcrete used in highway, railway, and water conservancy projects, which is related to many conditions such as the area of the tunnel section of each project, the thickness of the designed shotcrete, and the grade of surrounding rock. Combined with scientific theoretical calculations and relevant data of actual tunnel engineering, it can generally be estimated by using 20 m³ shotcrete per linear meter of the tunnel [15]. It can be estimated that 177 million m³ of sprayed concrete is required for the railway and high-speed railway tunnel projects under construction in my country, and 484 million m³ of sprayed concrete is required for the currently planned projects to be constructed. Therefore, a large number of railway tunnel construction projects need high-quality shotcrete as support, and the development of my country's infrastructure projects also requires the continuous development of shotcrete technology, so shotcrete has a lot of development space and market potential in my country.

Shotcrete has been used in engineering for more than half a century. Its raw materials and technology have matured. Wet spraying of spraying process gradually replaces dry spraying and tidal spraying. The injection quality has been guaranteed by technology. Shotcrete design has moved from a purely thickness design to a comprehensive performance design. Under different surrounding rock conditions. Shotcrete with different properties. It is an important development trend of the current shotcrete technology.

In general, the performance of shotcrete is closely related to its supporting function. At present, shotcrete is mainly used in the initial support and permanent support of tunnels and underground projects. In terms of performance design, according to its different engineering uses, it should be treated differently and different design parameters should be adopted.

Shotcrete as a permanent support must not only meet the basic performance requirements of shotcrete, but also meet the structural waterproof, anti-cracking and anti-stripping performance requirements. In a corrosive environment, it must also meet the anti-corrosion durability performance requirements.

In China, tunnels constructed by mining methods mostly adopt composite lining structures. Shotcrete is located between the surrounding rock and the second lining, in a relatively closed space, isolated from the atmospheric environment, and is slightly affected by the external environment. Shotcrete is affected by carbonization. The possibility of wind erosion and abrasion is very small, and shotcrete is generally used as primary support to seal surrounding rock and form a shell-like structure to distribute external forces. In structural design, shotcrete is generally used as temporary support, and secondary lining is used as permanent support. Therefore,

it is generally believed that the durability of shotcrete used as primary support can be ignored. Therefore, when designing the tunnel structure, only the safety performance and serviceability of shotcrete are regulated, and there are no special regulations on its durability. Therefore, domestic research on the durability of shotcrete in composite linings is still blank.

The durability of shotcrete used as primary support is directly related to the environmental conditions of surrounding rocks. For tunnel structures, unlike ground structures, the corrosive environmental conditions in the tunnel mainly come from the erosion of groundwater and harmful substances in surrounding rocks. There may also be a freeze-thaw environment in cold regions. Therefore, when designing shotcrete, the durability performance in erosive environment and freeze-thaw environment is mainly considered. The durability performance of shotcrete includes the following aspects.

The peeling resistance is related to factors such as the adhesion strength of shotcrete and cracking caused by drying shrinkage. At present, the test methods and standards for evaluating the anti-stripping performance of shotcrete have not yet formed a standard, but the adhesion strength of shotcrete can be used for evaluation. From the current engineering practice, if the adhesion strength of shotcrete exceeds $1.0\text{N}/\text{mm}^2$, it can basically guarantee that the shotcrete will not peel off.

At present, the cracking mechanism of shotcrete cannot be explained clearly, and further research is needed. The cracking of shotcrete is related to factors such as autogenous shrinkage, drying shrinkage, temperature shrinkage, load action, and construction quality. After shotcrete cracks, it provides erosion channels for groundwater, and the concrete will undergo corrosion, chemical corrosion, and freeze-thaw damage.

For tunnel structures, the intrusion of chloride ions mainly comes from the content of groundwater and surrounding rocks containing chloride ions. The subsea tunnel mainly comes from the intrusion of seawater. Submarine tunnels in European countries mostly use steel fiber shotcrete as permanent support, and the intrusion of seawater must be checked.

At present, the research on the durability of shotcrete in our country is still very insufficient, and basically no fruitful elaboration has been carried out. Therefore, for the development of shotcrete technology, it is very necessary to carry out research in this area actively.

REFERENCES

1. Tang Jianhua. Research and Development Status of High Performance Concrete [J] / Tang Jianhua, Cai Jiwei, Zhou Mingkai // Foreign Building Materials Science and Technology. – 2006. – 27(3). – P. 11-15.
2. Wang Chaodong. Application of artificial sand in tunnel shotcrete support[J] / Wang Chaodong, Xu Guangmiao, Chen Jianping // Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2003 (10). – P. 1749-1752.
3. Lei Naijin. Research on machine-made sand shotcrete for tunnels [J] / Lei Naijin, Chen Pingao // Journal of Railway Science and Engineering. – 2020. – 17(09). – P. 2271-2277.
4. Liu Wenbin. Experimental Research on Sulfate Corrosion of Concrete Containing Different Mineral Admixtures [J] / Liu Wenbin // Liu Wenbin Railway Construction Technology. – 2020(03). – P. 1-4. P. 9.
5. Feng Chunhua. Research on the structure of hydration products of slag-cement hardening paste [J] / Feng Chunhua, Gai Haidong, Huang Chaonan, et al // New Building Materials. – 2018. – 45(12). – P. 29-32. P. 60.
6. Pan Lisha. Research progress on the effect of water reducing agents on the durability of concrete [J] / Pan Lisha, Qiu Xueqing, Pang Yuxia, et al // Concrete. – 2007. – 207(1). – P. 48-51.
7. tiogbe. Air- void system parameters and freeze- thaw durability of concrete containing super-plasticizers / tiogbe. Emmanuel K, Nmai. Charles K, Gay. Frank T // Concrete International: Design and Construction. – 1992. – 14(7). – P. 57-61.
8. Zhang Jianqiang. Comparative study on the durability of concrete mixed with different water reducing agents [J] / Zhang Jianqiang // Jiangxi Building Materials. – 2015. – 24. – P. 26-27.
9. Wang Jiliang. Effect of fly ash and mineral powder on the durability of high-strength concrete [J] / Wang Jiliang, Wang Yuli, Li Jinhui, etc // Comprehensive Utilization of Fly Ash. – 2007. – 2. – P. 31-33.
10. Qingxin ZHAO. Long-age Wet Curing Effect on Performance of Carbonation Resistance of Fly Ash Concrete [J] / Qingxin ZHAO, Xiaojun HE, Jinrui ZHANG, Jinyang JIANG // Construction and Building Materials. – 127 (2016). – P. 577-587.
11. Xia Jitao. Experimental study on the influence of high-content stone powder machine-made sand on the performance of tunnel secondary lining concrete [J] / Xia Jitao, Wang Haiyan, Zhan Qifang, et al // Journal of Shijiazhuang Railway University (Natural Science Edition). – 2015. – 28(01). – P. 58-61. P. 81.
12. Won J. P., Hwang U. J., Kim C. K., et al. Mechanical performance of shotcrete made with a high-strength cement-based mineral accelerator / Constructure and Building Materials // 2013. – 49(12). – P175-183.
13. Zhao Yong. Development and planning of high-speed railway tunnels in China[J] / Zhao Yong, Tian Siming, Sun Yi // Tunnel Construction. – 2017. – 37(1). – P.11-17.
14. Tian Siming. Development and Prospect of Railway Tunnels in China (Including Statistical Data of Railway Tunnels in China by the end of 2020)[J] / Tian Siming, Wang Wei, Gong Jiangfeng // Tunnel Construction (Chinese and English). – 2021. – 41(2). – P.308-325.

UDC 666.973.2:666.97.031

**THE EXPERIENCE OF THE CHINESE CONSTRUCTION INDUSTRY
IN THE IMPLEMENTATION OF THE 3D CONSTRUCTIONS PRINTERS****M. GUONA****(Presented by: A. Yagubkin)**

In recent years, 3D printing technology has been widely used in machinery manufacturing, aviation, medical and other fields, and has gradually expanded to the construction field. 3D printing technology can effectively solve the problems of manual work, large amount of formwork, and difficult realization of complex shapes in traditional building construction, and has significant advantages in personalized architectural design and intelligent construction.

With the development of the third industrial revolution [1-2], science and technology play an increasingly important role in the process of promoting the development of productive forces, accelerating the transformation of science and technology into direct productive forces. While promoting the interpenetration among various disciplines, scientific research is also constantly developing in a comprehensive direction. 3D printing technology, which integrates mathematics, information, machinery, materials and chemistry [3], as a new type of rapid prototyping technology, has become one of the important technical symbols in the third industrial revolution. The development of manufacturing industry plays an important role. With the increasing improvement of 3D printing technology, the technology has been involved in various fields such as medical [4], automobile [5], construction [6], military industry [7], etc., and has shown its huge productivity and unlimited potential. The emergence of 3D printing technology in the construction industry has demonstrated its superiority in terms of labor, construction period, and resource utilization [8-10], making rapid manufacturing and industrialized production of future buildings possible, and even mass customization of personalized products. Construction, which will inevitably lead to a technological innovation in the construction industry [11-13]. As a new building construction technology [14], 3D architectural printing has innovated the traditional construction methods. While showing its huge production potential, it also inevitably puts forward new requirements for building materials.

3D printing is mainly based on the data model file [15-17]. After the modeling is completed on the computer, the material is extruded through the printer nozzle, and the material is added layer by layer to complete the printing and manufacturing technology of the three-dimensional object. Additive manufacturing. The realization of its technology [18-19] mainly includes 3D modeling, slice processing, printing and spraying and post-processing. It includes various technical knowledge such as three-dimensional modeling, process control, materials, information processing, etc., and there are various printing methods, such as: layered entity manufacturing (LOM) [20-21], selective laser Melting molding (SLM) [22-23], fused deposition (FDM) [24-25], etc. 3D architectural printing is controlled by computer, using large-scale mechanical extrusion equipment, and spraying construction materials layer by layer to construct architectural entities. Compared with the printing of other objects, there is not much difference in principle, but the printing materials used are different, and the printed entities are relatively large. The application of 3D printing in the field of building construction enables us to have higher precision in the construction of some complex-structured building equipment and greater flexibility in choosing the structural form of the building [26].

In recent years, 3D printing technology has been widely used in machinery manufacturing, aviation, medical and other fields, and has gradually expanded to the construction field. 3D printing technology can effectively solve the problems of manual work, large amount of formwork, and difficult realization of complex shapes in traditional building construction, and has significant advantages in personalized architectural design and intelligent construction. Specific application scenarios in China include:

1. 3D printing houses.
2. 3D printing bridge main structure and auxiliary components.
3. 3D printing public facilities.
4. 3D printing large landscape components.
5. 3D printing decoration envelope.
6. 3D printing special-shaped sketch components.
7. 3D printing epidemic prevention shelter [27].

REFERENCES

1. Li Xiaoli. 3D Printing Technology and Application Trend[J] / Li Xiaoli, Ma Jianxiong, Li Ping, etc // Automatic Instrumentation. – 2014. – 35(1). – P.1-5.
2. Deng Manqiu. The development prospect of the third industrial revolution 3D printing in China[J] / Deng Manqiu // Digital Printing. – 2014(2). – P.22-23.

3. Ding Lieyun. A review of research and application of architectural 3D printing digital construction technology[J] / Ding Lieyun, Xu Jie, Qin Yawei // Journal of Civil Engineering and Management. – 2015. – 32(3). – P.1-10.
4. Huang Weidong, Lu Xiaowei, Lin Xin. Preparation of biomedical materials by laser forming Research status and development trend[J] / Huang Weidong, Lu Xiaowei, Lin Xin // China Materials Progress. – 2011(4). – P.1-10.
5. Liu Guanchen. Analysis on the prospect of 3D printing technology in the future automobile industry[J] / Liu Guanchen // Times Automobile. – 2016(3). – P.33.
6. Wang Qing. Application of 3D printing technology in construction engineering[J] / Wang Qing // Architectural Science. – 2016. – 34. – P.260.
7. Jiang Lixin. The development of 3D printing technology and its application in the field of military industry[J] / Jiang Lixin, Yi Xiangxiang, Shao Jie // Chinese Army to Civilian. – 2013(12). – P.58-62.
8. Yang Jianjiang. 3D printing architectural technology and application trends[J] / Yang Jianjiang, Chen Xiang // Construction Technology. – 2015. – 44(10). – P. 84-88.
9. Zhang Hao. The application and prospect of 3D printing technology in the field of construction engineering[J] / Zhang Hao, An Yuchen // Shanxi Architecture. – 2016. – 42(11). – P. 17-18.
10. Zhang Xiaoguang. Research on the development of architectural technology based on 3D printing era[J] / Zhang Xiaoguang // Henan Science and Technology. – 2014(20). – P. 162-163.
11. Hong Yue. 3D printing architecture from theory to practice[J] / Hong Yue // Green Building Materials. – 2014(6). – P. 58-62.
12. Yang Jianjiang. 3D printing architectural technology and application trends[J] / Yang Jianjiang, Chen Xiang // Construction Technology. – 2015. – 44(10). – P. 84-88.
13. Wang Wentao. The development trend of 3D printing manufacturing technology and its impact on my country's structural transformation[J] / Wang Wentao // Science and Technology Management Research. – 2014(6). – P.22-25.
14. Wang Cancai. Analysis of the development status of 3D printing[J] / Wang Cancai // Digital Technology. – 2012(9). – P.38-39.
15. Li Zhiguo. Discrimination and analysis of related concepts of 3D printing building materials[J] / Li Zhiguo, Chen Ying, Jian Fanjie // Construction Engineering. – 2014. – 24(3). – P.8-12.
16. Wang Hongyi. Some thoughts on the problems existing in the production of small-scale architectural models by 3D printer[J] / Wang Hongyi, Toya // SME Management and Technology. – 2014(1). – P.226-226.
17. Li Jiancheng. Building Information Modeling and Digital Construction[J] / Li Jiancheng // Times Architecture. – 2012(5). – P.64-67.
18. Huang Weidong. Research progress of material 3D printing technology[J] / Huang Weidong // New Industrialization. – 2016. – 6(3). – P.53-70.
19. Jiang Hong. Analysis on the development of 3D printing technology[J] / Jiang Hong, Kang Xueping // New Material Industry. – 2013(10). – P.30-35.
20. Wang Wanlong. Research on laser layered solid manufacturing technology[D] / Wang Wanlong // Beijing: Tsinghua University. – 1995.
21. Yu Dongmei. Research and design of LOM (layered solid manufacturing) rapid prototyping equipment[D] / Yu Dongmei // Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology. – 2011.
22. Chen Guangxia. Selective laser melting rapid prototyping technology research[J] / Chen Guangxia, Zeng Xiaoyan, Wang Zemin, et al // Machine Tools and Hydraulics. – 2010. – 38(1). – P.1-3.
23. Liu Qiang. Selective laser melting equipment and process research[D] / Liu Qiang // Wuhan: Huazhong University of Science and Technology. – 2007.
24. Zhao Hantao. Development and program realization of fused deposition industrial 3D printer[J] / Zhao Hantao, Dong Shen, Wu Gang, et al // Automation Technology and Application. – 2016. – 35(9). – P.122-126.
25. Zhao Hantao. Fused Deposition Industrial 3D Printers Feeding system: CN205058634U[P] / Zhao Hantao, Dong Shen, Nie Hongmiao, et al // 2015-10-30 [2017-07-06].
26. Yang Jianjiang. 3D printing architectural technology and application trends[J] / Yang Jianjiang, Chen Xiang // Construction Technology. – 2015. – 44(10). – P.84-88.
27. 3D Printing Branch of China Concrete and Cement Products Association / 2020 Construction 3D Printing Technology and Application Development Report.

UDC 666.973.2:666.97.031

THE USE OF CHINESE INDUSTRIAL WASTE IN CONSTRUCTION

M. GUONA

(Presented by: A. Yagubkin)

In foreign countries, as people pay more and more attention to environmental protection, energy saving and other issues, considering the relative. Superiority, people mix grass straw and soil with water as materials for building walls, such walls The structure is stronger and there are no cracks. However, it is burned on the spot, causing a large amount of smoke and dust, resulting in the formation of smog and haze, which has caused great problems to the environment. China has always attached great importance to the issue of straw. Relevant regulations have been made for comprehensive utilization, and the comprehensive utilization of straw resources has been planned as a "five modernizations" project. The test showed that after the treatment, the sugar precipitation in the straw was effectively blocked and the concrete was shaped; when the straw content was 30% At the same time, the 28-day compressive strength of concrete reaches 9 MPa, which meets the requirements for the use of thermal insulation materials.

In foreign countries, as people pay more and more attention to environmental protection, energy saving and other issues, considering the relative. Superiority, people mix grass straw and soil with water as materials for building walls, such walls The structure is stronger and there are no cracks. By the 1980s and 1990s, on the North American continent. This technique is becoming more and more popular. Countries around the world have begun to test the various mechanical properties of this straw wall [1-4].

In 1980, a Finnish research center [5] took the lead in developing a concrete composite material of crop straw fiber and measured the mechanical properties of various crop fiber concrete composite materials with different densities and gave the wood within a certain density range. Durability of fiber reinforced concrete.

Beginning in 1981, a well-known Australian company began to develop autoclaved plant straw fiber reinforced cement, and finally developed this technology to parts of North America, Asia and Africa [6].

H.Sattler [7] mentioned in the article that if wood fiber, shavings, glass fiber, etc. are properly added to the gypsum slurry as reinforcement materials for gypsum, as long as there is sufficient bonding strength between the slurry and the fiber, then the fit The performance will be affected by the reinforcement content and its properties. The addition of reinforcing materials contributes to the

High mechanical properties of materials, such as brittle fracture behavior, tensile and flexural strength, etc.

In 1990, M. Sarigaphuti [8] in the United Kingdom extracted the plant cellulose of pine and poplar, put it into the matrix of concrete material as a reinforcing substance, and studied various cellulose under the same volume dosage. The effect of fibers on retarding crack growth in concrete under accelerated aging environments. The results of the study showed that the two types of fibers can well control the crack propagation of concrete.

In 1993, the relevant departments of India promulgated a decree prohibiting the use of wood in construction, with the purpose of developing low-cost construction materials that use agricultural waste, such as wheat straw, sugar cane bagasse, soybean straw and rice straw as raw materials [9]. In 1995, some scientists in Egypt [10] adopted palm leaf fibers to study the mechanical properties of reinforced concrete.

Crop straw is an available biomass resource rich in nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter nutrients, and is the main by-product of agricultural production [11]. China is very rich in straw resources. In 2015, the total amount of straw in China reached 8.28125×10^8 t [12]. Most of the stalks are not effectively.

However, it is burned on the spot, causing a large amount of smoke and dust, resulting in the formation of smog and haze, which has caused great problems to the environment. China has always attached great importance to the issue of straw. Relevant regulations have been made for comprehensive utilization, and the comprehensive utilization of straw resources has been planned as a "five modernizations" project [13].

Li Chaofei [14] studied the impact resistance of straw fiber concrete and found that when the concrete is continuously impacted by external forces, the impact resistance of rice straw fiber concrete is 73% higher than that of standard concrete. 3%, the reason is that the straw fiber can absorb this part of the energy first, delaying the crushing of concrete. Sun Jing et al. [15] used corn stalks to prepare new energy-saving and environmentally friendly concrete, and designed a covering pretreatment. The test showed that after the treatment, the sugar precipitation in the straw was effectively blocked and the concrete was shaped; when the straw content was 30% At the same time, the 28-day compressive strength of concrete reaches 9 MPa, which meets the requirements for the use of thermal insulation materials. Ji Yiqi [16] tried to prepare fiber concrete with aloe bar. The test showed that the method of mixing cement can better improve the retarding effect of fiber extract on cement; the 28-day compressive strength of aloe fiber concrete mixed with cement mortar can be improved up to 59.8 MPa.

REFERENCES

1. 3D Printing Branch of China Concrete and Cement Products Association / 2020 Construction 3D Printing Technology and Application Development Report.

2. Karihaloo. Doubly Periodic arrays of bridged cracks and short fiber-reinforced cementitious composites / Karihaloo, B.L., J.Wang, Graybowski, M // Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1996. – 44(10). – P.1565-1586.
3. Shannag M J. Pullout behavior of steel fibers from cement-based composites [J] / Shannag M J, Brincker R, Hansen W // Cement & Concrete Research. – 1997. – 27(6). – P.925-936.
4. Pickard, Scott S. Welded wire sandwich panels. An alternative to wood-frame construction Concrete Construction. 1990, 35(4):363,365-366.
5. Mazar, J. From Damage to Fracture Mechanics and Conversely-A Combined Approach, Proceeding of Engineering Mechanics / Mazar, J, Pijaudier-Cabot. G // ASCE. – 1995. – P.231-234.
6. Hu Yang. Properties and applications of straw fiber blocks [J] / Hu Yang, Wu Zhaohui, Wang Daobo // New Building Materials. – 2009. – 08. – P.25-27.
7. H. Sattler. The importance of Porosity for the Property of hardened surn Plaster Products / H. Sattler // ZKGInt. – 199750(1). – P.54-62.
8. Boulfiza M. Application of Continuum Damage Mechanics to Carbon Fiber-Reinforced Cement Composites [J] / Boulfiza M, Banthia N, Sakai K // Aci Structural Journal. – 2000. – 97(3). – P.245 -253.
9. Li Gang. Research on the preparation of new wall materials using fly ash and waste glass powder [J] / Li Gang, Liu Kaiping, Jiang Shuguang // New construction Building Materials. – 2006(12). – P.68.
10. Naamann A.E. Exploring. A New High Performance Concrete SIFCON / Naamann A.E. Exploring // Cement in the Future. – 1991. – 3(1).
11. Wang Jinwu. Current status of comprehensive utilization of crop straw resources in Northeast China Status and development analysis [J] / Wang Jinwu, Tang Han // Journal of Agricultural Engineering. – 2017(5).
12. Fang Fang. Beijing-Tianjin-Hebei Straw Nutrient Resources and Straw Incineration Gas Quantitative estimation of emissions [J] / Fang Fang, Wang Fei // Journal of Agricultural Engineering. – 2017. – 33(3). – P.1-6.
13. Xie Guanghui. China crop straw resources assessment research Research status [J] / Xie Guanghui, Wang Xiaoyu, Ren Lantian // Journal of Bioengineering. – 2010. – 26(7). – P.855-863.
14. Li Chaofei. Research on properties of straw fiber reinforced concrete [J] / Li Chaofei, Su Youwen, Chen Guoping, et al // Concrete. – 2013. – 10. – P.30-37.
15. Sun Jing. Experimental Research on Preparation of Pumice Composite Concrete Using Corn Straw [J] / Sun Jing, Ma Jiansuo, Cai Huanqin, etc // Concrete. – 2013. – 7S. – P.138-143.
16. Xu jiqi. Study on the compatibility of plant fibers in lightweight aggregate concrete [C] / Ji Yiqi // The 11th National Symposium on Lightweight Aggregate and Lightweight Aggregate Concrete, Beijing: Chinese Ceramic Society.

UDC 666.973.2:666.97.031

MIX DESIGN OF HIGH PERFORMANCE WET SHOTCRETE**M. GUONA**
(Presented by: A. Yagubkin)

In order to reduce the springback rate of wet shotcrete and prepare high-performance wet shotcrete that meets on-site construction requirements and save costs, the Weiwu Expressway Suiguangshen Intercity Railway-Qianhai Turnback Line Tunnel is used as the engineering background, through on-site cooperation Selection of ratio parameters, design of mix ratio, on-site rebound rate test, sprayed large slab test and other methods, through optimization to find the mix ratio that best meets the actual engineering requirements and meets the principle of saving economic costs, so as to effectively reduce the rebound of wet shotcrete rate.

The equipment used in the spraying test is the TK500 wet spraying machine produced by Chengdu Yanfeng Technology Co., Ltd. Each mix ratio cuts and processes 6 sets of split tensile test piece (1d, 3d, 7d, 28d, 56d, 90d compressive strength), 1 One set of tensile test pieces (28d strength), one set of flexural test pieces (28d strength) and one set of electric flux test pieces (56d) are used to test the mechanical properties of shotcrete [1-2].

The steps to make the test piece are: (1) Preparation and weighing of raw materials; (2) Equipment trial run; (3) Spray large board and bracket installation; (4) Prepare materials according to the mix ratio; (5) Spray large plates layer by layer; (6) Cutting and processing of test pieces. The detailed production process is shown in Figure 1-8.

In order to reduce the springback rate of wet shotcrete and prepare high-performance wet shotcrete that meets on-site construction requirements and save costs, the Weiwu Expressway Suiguangshen Intercity Railway-Qianhai Turnback Line Tunnel is used as the engineering background, through on-site cooperation Selection of ratio parameters, design of mix ratio, on-site rebound rate test, sprayed large slab test and other methods, through optimization to find the mix ratio that best meets the actual engineering requirements and meets the principle of saving economic costs, so as to effectively reduce the rebound of wet shotcrete rate.



Figure 1. – Raw material preparation diagram



Figure 2. – Spray bracket and large plate



Figure 3. – Loading



Figure 4. – Spray hand spraying large plate



Figure 5. – The working state of the nozzle



Figure 6. – The large plate after spraying



Figure 7. – Large plate cutting



Figure 8. – Slab core drilling

In addition to meeting the design reference strength, the shotcrete mix ratio should also meet the requirements of spraying construction, such as low rebound rate, low dust concentration, and good pressure-feeding performance.

REFERENCES

1. Xu jiqi. Study on the compatibility of plant fibers in lightweight aggregate concrete[C] / Ji Yiqi // The 11th National Symposium on Lightweight Aggregate and Lightweight Aggregate Concrete, Beijing: Chinese Ceramic Society.
2. Chen Lixin. Improvement measures for pipe plugging and high rebound rate in tunnel wet spraying manipulator construction [J] / Chen Lixin // Anhui Architecture. – 2020. – 27(12). – P. 172.

UDC 666.973.2:666.97.031

MIX DESIGN OF 3D CONSTRUCTION PRINTERS

M. GUONA

(Presented by: A. Yagubkin)

Based on the above analysis, the test results show that when the water-binder ratio is 0.40, 0.42, and the sand rate is 0.46, the working performance of concrete and the compressive strength of each age are better than other sand rate conditions, so the optimal sand rate of wet shotcrete can be determined is 0.46.

The water-binder ratio is 0.40 and 0.42. The amount of gelling material is 450 kg/m^3 . Under the condition that the dosage of water reducing agent is 1%. Table 1 and Figure 1 show the test results of concrete slump, expansion and compressive strength of different ages with different sand ratio formulas.

Table 1 – Compressive strength, slump and expansion of shotcrete with different sand ratios

Specimen №	water-binder ratio	Compressive strength (MPa)			Slump/mm	Expansion/mm
		3d	7d	28d		
A1	0.40	19.33	25.06	32.83	115	250
A2		19.76	27.51	35.44	120	265
A3		19.89	28.99	40.20	175	370
A4		22.27	35.52	41.69	185	410
A5		20.98	25.37	31.29	174	360
A6		18.43	21.98	29.07	165	355
B1	0.42	16.77	21.01	28.12	145	320
B2		17.28	22.92	29.57	155	340
B3		17.89	23.51	30.94	174	370
B4		20.94	27.72	34.71	198	425
B5		18.05	22.97	30.79	184	405
B6		15.41	17.96	25.75	155	345

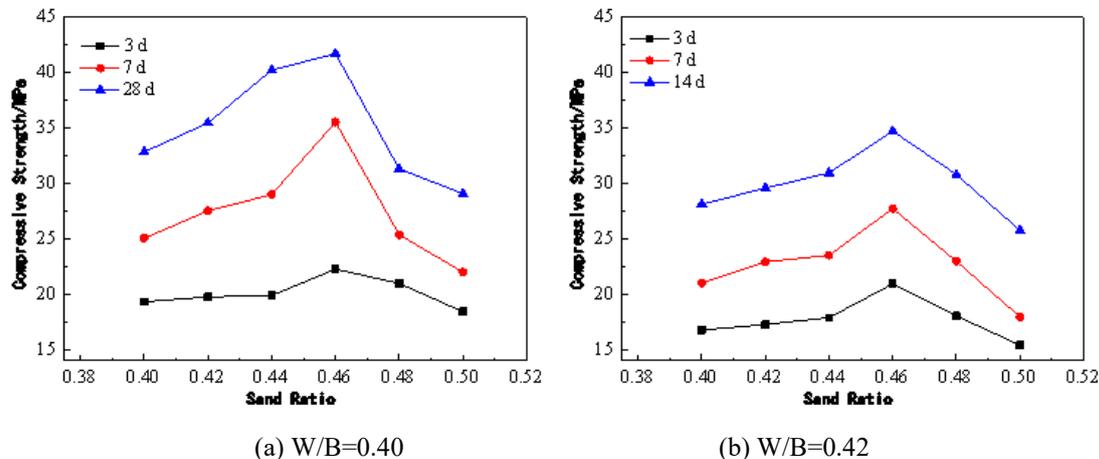


Figure 1. – Compressive strength of concrete at different ages with different sand ratios

From Figure 1 (a), it can be seen that when the sand rate is less than 0.46, the strength of each age of concrete increases continuously with the increase of the sand rate; when the sand rate is 0.46, the strength of each age reaches the maximum; when the sand rate is 0.50, the strength of concrete at each age reaches the minimum value. It can be seen from Figure 1 (b) that when the water-binder ratio is 0.42, the strength changes of concrete at 3 d, 7 d, and 28 d are basically the same as when the water-binder ratio is 0.40, when the sand ratio is 0.46, the strength reaches the maximum value.

Based on the above analysis [1-2], the test results show that when the water-binder ratio is 0.40, 0.42, and the sand rate is 0.46, the working performance of concrete and the compressive strength of each age are better than other sand rate conditions, so the optimal sand rate of wet shotcrete can be determined is 0.46.

The effect of water-binder ratio on the compressive strength of concrete the amount of gelling material is 450 kg/m^3 , when the water-binder ratio is 0.40 and 0.42, the compressive strength of concrete at 28 d age under different sand ratio conditions is shown in Figure 2.

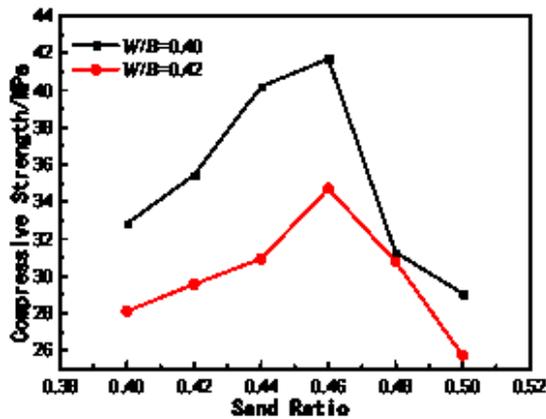


Figure 2. – 28-day compressive strength of concrete under different water-binder ratios

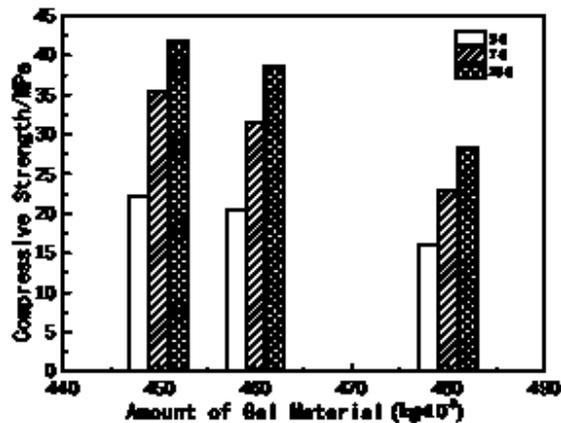


Figure 3. – Compression resistance of concrete at different ages with different amounts of cementitious materials

It can be seen from Figure 3 that the trend of concrete strength with the increase of sand ratio under the two conditions of water-binder ratio is basically the same, which shows that the influence of sand ratio on concrete strength basically shows a good regularity between 0.40 and 0.50. It is feasible to explore the optimal mix ratio of wet shotcrete by adjusting the sand rate. In order to fully consider the variability of raw materials on site and the strength factor of wet sprayed concrete, the actual concrete water-binder ratio is selected as 0.40.

The main characteristics of compositions for 3D printing with different straw fractions are shown in the table 2 and figure 4.

Table 2 – Compressive strength, density of compositions for 3D printing with different straw fractions

Specimen №	water-binder ratio	Compressive strength (MPa)			Density, (kg/m³)	Note
		3d	7d	28d		
1	0.5	0.49	0.71	1.02	1138	Not suitable for load-bearing structures
2		0.77	1.07	1.53	1230	Not suitable for load-bearing structures
3		1.26	1.75	2.51	1195	Suitable for load-bearing structures



(a) form retention



(b) mixture preparation

Figure 4. – Making a mixture for 3D construction printing in the laboratory

REFERENCES

- Li Chaofei. Research on properties of straw fiber reinforced concrete[J] / Li Chaofei, Su Youwen, Chen Guoping, et al // Concrete. – 2013. – 10. – P.30-37.
- Sun Jing. Experimental Research on Preparation of Pumice Composite Concrete Using Corn Straw[J] / Sun Jing, Ma Jiansuo, Cai Huanqin, etc // Concrete. – 2013. – 7S. – P.138-143.

UDC 666.973.2:666.97.031

PERFORMANCE TEST AND RESULT ANALYSIS OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE

M. GUONA
(Presented by: A. Yagubkin)

The sulfate corrosion resistance of shotcrete is: benchmark \approx mineral powder alone < fly ash alone < compound mix ratio, and the compound mix ratio of mineral admixture (cured under the same conditions) is resistant to sulfate corrosion. The ability is worse than that of compound mineral admixture (standard health). Generally speaking, the ability of shotcrete to resist sulfate corrosion is poor. The reason is that the quality of shotcrete is not high and the density is not very good.

The test equipment is the concrete electric flux measuring instrument produced by Beijing Naier Instrument Equipment Co., Ltd., as shown in Figures 1-2. The concrete electric flux test procedure is as follows: (1) first vacuum saturate the specimen, apply a 60V DC voltage in the axial direction of the specimen during the test, and place a concentration of 0.3mol in the test tanks on the positive and negative sides of the specimen respectively /L NaOH solution and 3% NaCl solution; (2) After turning on the power for 6 hours, calculate the total electricity Q passing through the test piece (that is, the electric flux of the test piece).

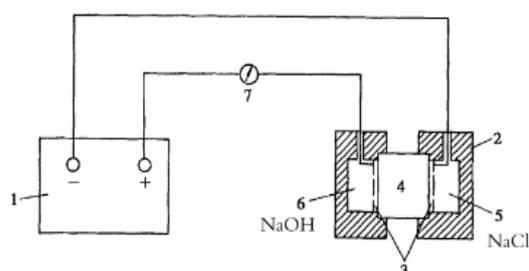


Figure 1. – Schematic diagram of the test device



Figure 2. – Electric flux measuring instrument

Five groups of specimens N1, N3, N4, N10, and N13 were selected for the sulfate corrosion resistance test. Through comparative analysis, the corrosion resistance in pure cement, single-mixed fly ash, single-mixed mineral powder, compounded with various mineral admixtures and health-preserving conditions were analyzed. The ability of shotcrete to resist sulfate corrosion under different conditions, the test results of shotcrete against sulfuric acid corrosion are shown in Table 1, Figures 3-4.

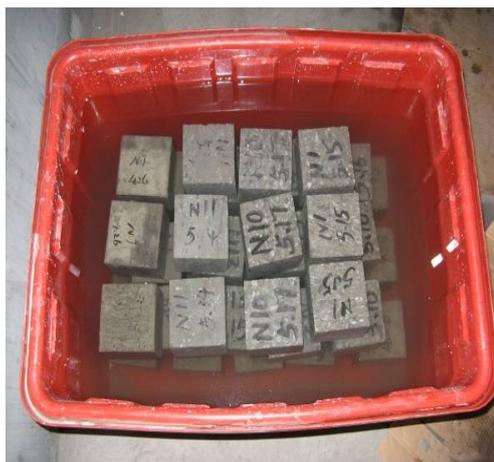


Figure 3. – Specimen soaked in sulfate



Figure 4. – Drying the specimen

Table 1 – Corrosion resistance coefficient of shotcrete anti-sulfuric acid corrosion test

Serial number	Types of	Wet and dry cycles (n)	Strength and corrosion resistance coefficient (%)
N1	ZJ	60	0.71
N3	S30	60	0.62
N4	F20	90	0.70

It can be seen from Table 2 that the sulfate corrosion resistance of shotcrete is: benchmark \approx mineral powder alone < fly ash alone < compound mix ratio, and the compound mix ratio of mineral admixture (cured under the same conditions) is resistant to sulfate corrosion The ability is worse than that of compound mineral admixture (standard health). Generally speaking, the ability of shotcrete to resist sulfate corrosion is poor. The reason is that the quality of shotcrete is not high and the density is not very good [1-2].

Five groups of mix ratios N1, N3, N4, N10, and N13 were selected for antifreeze tests. Through comparative analysis, the conditions of pure cement, single-mixed fly ash, single-mixed mineral powder, mixed with various mineral admixtures, and different health conditions were analyzed. The anti-freeze ability of shotcrete under the above conditions, the results of anti-freeze test of shotcrete are shown in Table 2, Figures 5-8.



Figure 5. – Measure the fundamental frequency



Figure 6. – Place the test piece



Figure 7. – Freeze-thaw cycle device



Figure 8. – Antifreeze test piece

Table 2 – Shotcrete antifreeze test results

Serial number	Types	Freezing and thawing times	Dynamic elasticity Modulus	antifreeze durability factor	Antifreeze grade
N1	ZJ	175	0.71	0.41	F175
N3	S30	100	0.70	0.23	F100
N4	F20	100	0.51	0.17	F100
N10	S30F20	75	0.63	0.16	F75
N13	S30F20T	25	0.28	0.02	F25

It can be seen from the test results in Table 2 that, anti-freeze ability of shotcrete: the mix ratio of compound mineral admixture (same condition) is worse than that of compound mineral admixture (standard health), the single-mixed mineral admixture concrete is worse than the reference concrete, and the reference concrete is frost-resistant The maximum capacity can reach F175, but only F25 under the same conditions of curing, indicating that it is very necessary to carry out standard curing after shotcrete construction.

REFERENCES

1. Fang Fang. Beijing-Tianjin-Hebei Straw Nutrient Resources and Straw Incineration Gas Quantitative estimation of emissions[J] / Fang Fang, Wang Fei // Journal of Agricultural Engineering. – 2017. – 33(3). – P.1-6.
2. Xie Guanghui. China crop straw resources assessment research Research status [J] / Xie Guanghui, Wang Xiaoyu, Ren Lantian // Journal of Bioengineering. – 2010. – 26(7). – P.855-863.

УДК 691.1

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОН КОРЫ ЭВКАЛИПТА**Р.Л. ОБРОМПАЛЬСКИЙ**
(Представлено: А.А. Бакатович)

В данном исследовании освещены теплоизоляционные материалы, созданные на основе коры эвкалипта. Определён гранулометрический состав волокон коры. Установлено влияние плотности и фракции волокон на теплопроводность волокнистой структуры. Получены значения коэффициента теплопроводности структуры из волокон коры эвкалипта в пределах 0,042 – 0,062 Вт/(м·°С), при плотности 50-220 кг/м³. Наилучший показатель коэффициента теплопроводности равный 0,042 Вт/(м·°С) достигается при плотности 140 – 160 кг/м³ на ультрамелкой фракции структурообразующего материала.

На современном этапе развития в мире все больше внимания уделяется зеленым технологиям в строительстве зданий, и одним из важных аспектов становится экологическая безопасность утеплителей. В связи с этим, все большее внимание уделяется разработке теплоизоляционных материалов на основе растительного сырья, включая использование коры различных пород древесины в качестве структурообразующего материала.

Эвкалипт относится к породам деревьев, имеющих широкий ареал распространения и произрастания. В настоящее время площадь посадок эвкалипта составляет около 20 миллионов гектаров и охватывает более чем 90 стран мира, с основными центрами в Бразилии (5,7 млн га), Индии (3,9 млн га) и Китае (4,5 млн га). Высокое качество древесины и быстрый рост делают эвкалипт привлекательным для выращивания на коммерческих плантациях с целью получения промышленного сырья (целлюлозно-бумажная промышленность, древесный уголь, пиломатериалы, деревянные панели), а также на небольших лесных участках для производства дров и древесного угля для бытового использования [1]. Однако использование древесины эвкалипта в промышленных масштабах приводит к большому количеству неиспользуемой коры, которая обычно сжигается для производства энергии. Однако данное решение не является эффективным, так как кора обладает низкой теплотворной способностью, в отличие от других видов топлива [2].

В университете Консепсьона (Чили) проведены исследования по использованию коры эвкалипта в качестве заполнителя для теплоизоляции. Волокна коры эвкалипта длиной более 20 мм подвергались механическому измельчению и использовались в качестве структурообразующего материала для изготовления теплоизоляционных плит. Связующим компонентом является 10 % фенолформальдегидная смола. Теплопроводность изоляции изменялась в пределах от 0,052 до 0,07 Вт/(м·°С) при плотности от 80 до 250 кг/м³ и толщине плит 50 мм [3]. Отмечается, что полученные композиции обладают низкой устойчивостью к образованию плесени и горючестью. Кроме того, использование связующего на основе фенолформальдегида негативно сказывается на здоровье человека и окружающей среде.

Целью данного исследования являлось получение эффективного теплоизоляционного материала на основе волокна коры эвкалипта, безопасного для окружающей среды.

Основной задачей исследований являлось определение влияния фракции и плотности измельченной коры на теплопроводность волокнистой массы, не содержащей вяжущее вещество.

Для получения волокон кору механически перерабатывали с помощью измельчителя «Эликор 1». Размер частиц на выходе контролировали установленным в измельчителе ситом с диаметром ячеек 5 мм. После измельчения волокнистая масса подвергалась фракционированию через сита с ячейками диаметром 0,16 – 5 мм.

В процессе измельчения коры с естественной влажностью 5 – 6 % наблюдалась сильная запыленность с образованием пыли в количестве до 28,1 % от общей массы материала. Для устранения данной проблемы кору предварительно смачивали до влажности 20 – 30 %. После чего интенсивность запыления уменьшилась до 18,1 % и визуально отмечалось увеличение количества тонких волокон средних размеров.

После измельчения волокнистая масса подвергалась фракционированию через сита с размерами ячеек в диаметре 0,16 – 5 мм. Измельченную кору с размером частиц 0,16 – 5 мм разделяли на четыре фракции по размеру поперечного сечения (ширине) волокна: крупную (2,5 – 5мм), среднюю (1,25 – 2,5 мм), мелкую (0,63 – 1,25 мм) и ультрамелкую (0,16 – 0,63 мм).

Кроме размеров в поперечном сечении волокна отличались и по длине. Длина волокон крупной фракции соответствует 15 – 40 мм, средней – 8 – 15 мм, мелкой – 5 – 8 мм и ультрамелкой 2 – 5 мм. Результаты гранулометрического анализа смеси измельченных волокон приведены в таблице 1.

По результатам гранулометрического анализа установлено, что при измельчении увлажненной коры существенно сокращается образование пылевидных частиц в 1,54 раза относительно массы пылевид-

ного отсева коры без увлажнения. Для фракций 0,63 – 5 мм увеличение содержания измельченных волокон коры отличается незначительно и находится в пределах 6,5 – 7,4 %. Существенное различие в сторону увеличения по процентному содержанию – на 26,9 %, отмечается для измельченных волокон коры фракции 0,16 – 0,63 мм.

Таблица 1. – Гранулометрический состав коры после измельчения

Влажность коры, %	Содержание фракции, %				
	2,5 – 5 мм	1,25 – 2,5 мм	0,63 – 1,25 мм	0,16 – 0,63 мм	пылевидный отсев
5 – 6	15,4	16,8	14,9	24,9	28,1
20 – 30	16,4	17,9	15,9	31,6	18,1

Полученные данные свидетельствуют о том, что предварительное увлажнение коры, позволяет уменьшить образование пылевидных частиц на 35,4 %, увеличить общую массу получаемых волокон при измельчении на 13,8 % и в частности повысить содержание ультрамелких волокон до 31,6 %.

Для изучения плотности и коэффициента теплопроводности фракционированные волокна засыпали в камеру прибора «ИТП–МГ4», фиксировали крышкой и производили измерение. Необходимо отметить, что волокна обладают высокой способностью к сцеплению между собой с образованием связной структуры сохраняющей форму. При варьировании плотности 50 – 220 кг/м³ коэффициент теплопроводности изменяется в диапазоне от 0,042 до 0,062 Вт/(м·°С).

Для крупной фракции волокон эвкалипта при плотности 50 кг/м³ коэффициент теплопроводности равен 0,062 Вт/(м·°С). При постепенном увеличении средней плотности и достижении 140 кг/м³ происходит снижение коэффициента теплопроводности на 19,4 % до 0,05 Вт/(м·°С). Повышение коэффициента теплопроводности на 12 % до 0,056 Вт/(м·°С) наблюдается при наибольшей плотности 220 кг/м³.

При изучении показателей средней фракции волокон установлено, что для минимальной плотности 50 кг/м³ коэффициент теплопроводности соответствует 0,053 Вт/(м·°С). Уменьшение коэффициента теплопроводности до 0,049 Вт/(м·°С) зафиксировано при плотности 70 кг/м³. Данный показатель теплопроводности сохраняется и для структуры с плотностью 90 кг/м³. Для максимальной средней плотности 220 кг/м³ прирост коэффициента теплопроводности составил 20,4 % и достиг значения 0,058 Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта мелкой фракции плотностью 50 кг/м³ равен 0,054 Вт/(м·°С). Минимальный показатель теплопроводности соответствует 0,051 Вт/(м·°С) при плотности 90 кг/м³. Последующее постепенное возрастание плотности волокнистой структуры способствует повышению коэффициента теплопроводности. Так при плотности 220 кг/м³ коэффициент теплопроводности волокон эвкалипта равен 0,061 Вт/(м·°С), то есть на 19,6 % превышает минимальный показатель.

Наилучшие показатели коэффициента теплопроводности зафиксированы на волокнах ультрамелкой фракции. Так при плотности 70 – 90 кг/м³ коэффициент теплопроводности составил 0,043 Вт/(м·°С). При увеличении плотности до 120 кг/м³, коэффициент теплопроводности практически не изменяется и равен 0,044 Вт/(м·°С). Наименьшее значение коэффициента теплопроводности зафиксировано при плотности 140 – 160 кг/м³, и соответствует 0,042 Вт/(м·°С). Дальнейшее увеличение средней плотности приводит к постепенному росту коэффициента теплопроводности на 9,5 % и достигает 0,046 Вт/(м·°С) при плотности 220 кг/м³.

Следующим этапом изучали возможность получения теплоизоляционных плит без вяжущего компонента используя метод варки коры в щелоке. Для формовки сырьевой смеси использовали следующие технологические решения:

1. Полученные пластинки коры послойно укладывали в форму в горизонтальной плоскости, формируя слои с минимальными зазорами между пластинками (вариант 1);
2. Пластинки коры разделяли на узкие полосы шириной 3 – 4 мм после чего смесь из полос укладывали в форму и равномерно распределяли (вариант 2);
3. Кору разбивали на отдельные волокна. Полученную смесь равномерно укладывали в форму (вариант 3).

Уложенную в форму смесь закрывали крышкой и прессовали. После распалубки плиты высушивали и определяли среднюю плотность, коэффициент теплопроводности образцов.

Наименьший коэффициент теплопроводности 0,055 Вт/(м·°С) при плотности 200 кг/м³ получен на плитах, отформованных из узких разнонаправленных полос коры (вариант 2). Плиты обладают низкой жесткостью, но при этом не разрушаются по причине сформированной связной структуры разнонаправленными узкими полосами коры.

Для плит с горизонтально уложенными послойно пластинками коры при плотности 250 кг/м³ (вариант 1), коэффициент теплопроводности достиг 0,059 Вт/(м·°С). Отмечается, что плиты обладают низкой связностью слоев коры между собой в объеме плиты, так как пластинки коры и соответственно волокна ориентированы только в горизонтальной плоскости в рамках каждого слоя коры.

Также аналогичный показатель равный $0,059 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, зафиксирован на плитах из волокон коры (рисунок 1) разбитых строительным миксером, при плотности $230 \text{ кг}/\text{м}^3$ (вариант 3). При этом плиты обладают связанной структурой и жесткостью.



Рисунок 1. – Плита из волокон коры разбитых строительным миксером

Полученные экспериментальные образцы плит подтверждают возможность производства теплоизоляционного материала в виде плит без вяжущего путем предварительной варки коры эвкалипта в растворе древесной золы. Кроме того, можно предположить, что плиты также эффективно могут использоваться для звукоизоляции, так как имеют достаточно высокую плотность и волокнистую структуру.

Заключение

1. Предварительное увлажнение коры эвкалипта перед измельчением позволяет снизить образование пылевидных частиц на 35,4 % и уменьшить массу пыли до 18,1 %. При этом наибольший прирост по массе на 26,9 % фиксируется для фракции 0,16 – 0,63 мм, образующийся в количестве 31,6 % от общей массы измельченной коры и являющейся основной фракцией по массе.

2. Наименьшее значение коэффициента теплопроводности равное $0,042 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ зафиксировано на волокнах коры эвкалипта ультрамелкой фракции, при плотности $140 - 160 \text{ кг}/\text{м}^3$.

3. Получение волокнистого сырья способом варки в древесной золе с дальнейшей формовкой под давлением без связующего, дает возможность получать плиты с относительно низким коэффициентом теплопроводности равным $0,055 - 0,059 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ при плотности $200 - 220 \text{ кг}/\text{м}^3$, что на 31 – 41 % превышает показатель ультрамелких волокон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mark Adams, Resilience of primary metabolism of eucalypts to variable water and nutrients/ Mark Adams, Heinz Rennenberg, Jorg Kruse // *Eucalyptus 2018: Managing Eucalyptus Plantations under Global Changes*; IUFRO, Ed.; Montpellier: Le Corum, France, 2018. – С. 4.
2. Arteaga-Pérez, L. Torrefaction of wood and bark from *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*: Focus on volatile evolution vs feasible temperatures / L. Arteaga-Pérez, C. Segura, V. BustamanteGarcía and O. J. R. Cápiro, // *International Journal «Energy» (Elsevier)* – 93 (2015) – p. 1731–1741.
3. Fuentealba, C. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus. / C. Fuentealba, J. Salazar, J. Vega-Lara, J. Norambuena-Contreras // *The 13th Pacific Bim Bio-Based Composites Symposium "Bio-based composites for a sustainable future"*, Concepcion, Chile, 13–15 November, 2016 // University of Concepcion. – Concepcion, 2016, p. 46 – 50.

УДК 691.1

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ

Р.Л. ОБРОМПАЛЬСКИЙ
(Представлено: А.А. Бакатович)

Рассмотрены теплоизоляционные материалы на основе коры различных пород древесины. Приведены показатели плотности и коэффициента теплопроводности тепловой изоляции. Указаны недостатки утеплителей из переработанной коры.

Древесная кора, как отход лесопроизводства, фанерного и деревоперерабатывающего производства находит применение в выпуске промышленной продукции в малых объемах, а в большинстве случаев остается невостребованной и утилизируется в отвалах или сжигается для производства энергии. Количество древесных отходов в среднем составляет 30 – 55 % от используемого сырья, в зависимости от типа производства, что создает значительные объемы вторичного сырья, готового для применения [1]. В следствии этого поиск альтернативных способов применения коры, является перспективным направлением.

Кора древесины обладает рядом положительных и отрицательных свойств в сравнении с древесиной. Пониженное содержание волокон в древесной коре, обуславливает меньшие прочностные характеристики относительно древесины. Однако повышенное содержание смол и воска, позволяет получать плитные материала, методом горячего прессования, без использования связующего вещества [2]. Данные свойства, а также природное происхождение, являются рациональным обоснованием для производства экологически чистых теплоизоляционных материалов с применение коры в качестве структурообразующего материала.

Возможность получения изоляционных плит на основе коры сосны исследовалась в работе [3]. Кора предварительно измельчалась и фракционировалась, для изготовления плит использовали две фракции с размерами частиц 13 – 30 и 8 – 13 мм. В качестве вяжущего компонента использовался мочевиноформальдегид, вводимый в кору в количестве 8 – 12 %. Плиты производятся с использованием прессы горячего формования. Коэффициент теплопроводности полученных плит варьировался в пределах 0,059 – 0,089 Вт/(м·°С), при плотности от 200 до 550 кг/м³.

В Северном (Арктическом) федеральном университете им. М. В. Ломоносова предметом исследований стала кора сосны обыкновенной – отход окорки деловой древесины. Кору сосны сушили при температуре 104 – 105 °С в течение 5 – 6 часов. Полностью высушенную кору измельчали в микромельнице. Для получения водных экстрактов ранее подготовленный древесный материал подвергался паровой обработке в экстракторе Saeco. Кору активировали при температуре 95 °С, давлении 1 МПа и времени обработки 25 секунд. Концентрированный экстракт и измельченную сырую кору смешивали в гомогенизаторе в следующих пропорциях: 100 мл раствора и 25 г коры. Образцы выдерживались в формах в естественных условиях при температуре 23°С в течение 24 часов до достижения прочности для распалубки. Прочность высушенных плит составила 0,3 – 1,5 МПа, коэффициент теплопроводности материала после семидневного набора прочности для всех опытных образцов составил 0,124 – 0,204 Вт/(м·°С). Водопоглощение и разбухание по толщине для плит составили 73 % и 6 % соответственно [4].

В исследованиях Данилова В. и Айзенштадта А. изучалась возможность использования сосновой коры, предварительно смешанной с базальтом, в качестве засыпной теплоизоляции. Кору предварительно высушивали до постоянной массы, после чего измельчали в планетарной шаровой мельнице Retsch РМ 100. Для дальнейших опытов полученная измельчённая масса фракционировалась через набор сит с диаметром ячеек от 0,5 до 20 мм получая соответствующие фракции. Базальт предварительно измельчался до среднего размера частиц 150 нм для изготовления модифицирующей минеральной суспензии. На следующем этапе проводили смешивание коры в сухом виде, с последующим добавлением воды. После насыщения пор коры базальтовой суспензией, кору высушивали до постоянной массы при температуре 105 °С. Высокотемпературная сушка приводила к значительному уменьшению объема поровой структуры коры, облегчая фиксацию базальтовых наночастиц на поверхности пор и материала. Коэффициент теплопроводности фракций коры сосны в насыпном состоянии определяли на приборе МИТ – 1 зондовым методом. Коэффициент теплопроводности для различных фракций изменялся в диапазоне от 0,047 до 0,058 Вт/(м·°С). Наименьший значение теплопроводности получено для фракции 10 – 20 мм, при насыпной плотности 223,4 кг/м³. Наибольшее значение коэффициента теплопроводности показала фракция 0,25 – 0,50 мм на насыпной плотности 192,6 кг/м³ [5].

В международной лаборатории теплоизоляционных материалов «Green construction» Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой, исследовалась возможность получения плитного теплоизоляционного материала на основе измельчённой коры сосны с использованием двух видов вяжущего вещества: модифицированное натриевое жидкое стекло и канифоль из смолы сосны. Методика изготовления плит отличалась в зависимости от выбранного типа связующего компонента. При использовании жидкого стекла перед смешиванием компонентов, кора предварительно смачивалась, после чего плиты формовались под низким давлением 0,008 – 0,009 МПа. Полученные в результате

жесткие плиты имели коэффициент теплопроводности $0,057 - 0,068 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ при плотности $420 - 470 \text{ кг}/\text{м}^3$. Для использования порошка канифоли была разработана новая методика изготовления плитной теплоизоляции. Порошок смешивался с корой сосны поэтапно с выдержкой смеси в течении 10 минут в сушильном шкафу при температуре 80°C , для расплавления канифоли на поверхности частиц и предотвращения его осыпания. На заключительном этапе после обработки канифолью, смесь закладывали в форму и подпрессовывали на прессе при давлении $0,016 - 0,018 \text{ МПа}$. Форму с зафиксированной крышкой помещали в сушильный шкаф и выдерживали 1,5 часа при температуре 90°C . Полученные плиты достаточной жесткости, имели среднюю плотность от 277 до $330 \text{ кг}/\text{м}^3$ и коэффициент теплопроводности в пределах $0,051 - 0,059 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ [6].

Изучение влияния вида заполнителя на коэффициент теплопроводности спрессованных плит на основе коры хвойных и лиственных пород древесины рассматривалось в работе [7]. Результаты опытов показали, что кора, полученная из лиственных пород, обладала пониженными показателями теплопроводности в сравнении с хвойными. Самым низким коэффициентом теплопроводности, равным $0,061 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, обладала кора белой акации. Помимо этого, в ходе опытов отмечалось, что размер фракции коры не оказывает значительного влияния на значение теплопроводности полученных плит.

В лаборатории университета Уцуномия (Япония), исследовалась возможность получения теплоизоляционного материала из обработанной коры суги (криптомерии японской). Кора высушивалась при естественных условиях в лаборатории на протяжении 4 месяцев, после чего механически измельчалась с использованием бытового измельчителя до волокнообразного состояния. После отсева получены две фракции волокон диаметром $2 - 4 \text{ мм}$ отличающиеся по длине: крупная длиной от 10 до 30 мм, мелкая длиной от 5 до 10 мм. Коэффициенты теплопроводности экспериментальных плит с наполнителем крупной и мелкой фракций составили $0,073$ и $0,076 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ соответственно, при плотности плит $163,2$ и $193,5 \text{ кг}/\text{м}^3$ [8].

Известен теплоизоляционный материал на основе коры пробкового дуба. Изоляция выпускается в виде панелей и блоков изготовленных из черного и белого пробкового агломерата. Из белого агломерата изготавливают пластины и блоки различной толщины, не имеющие декоративного покрытия. Блоки из белого агломерата имеют следующие технологические характеристики: средняя плотность – $150 \text{ кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности равен $0,038 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, коэффициент звукоизоляции при толщине 2 мм – 16 дБ. Черный агломерат производится обработкой паром пробковых гранул в автоклаве с использованием связующего – натуральной пробковой смолы. Средняя плотность полученных плит равняется $110 - 130 \text{ кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности составляет $0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Основным недостатком данного материала является высокая рыночная стоимость [9].

Учёными из университета Консепсьон, Чили, проводились исследования по использованию коры эвкалипта в качестве наполнителя для изоляции. Исходным сырьем для изоляционных плит служили механически измельченные волокна коры эвкалипта длиной, не превышающей 20 мм . В качестве вяжущего вещества использовали 10% фенолформальдегидную смолу. Теплопроводность изоляционного материала варьировалась в пределах $0,052 - 0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, при плотности от 80 до $250 \text{ кг}/\text{м}^3$, толщина плит составляла 50 мм [10]. В исследованиях отмечается, что полученные образцы имеют низкую стойкость к появлению плесени и являются горючими. Кроме того, использование связующего на основе фенолформальдегида негативно сказывается на здоровье человека и окружающей среде.

Из анализа представленных данных по применению коры для производства теплоизоляции зданий следует, что проведение исследований по рациональному использованию многотонажных отходов лесной промышленности в качестве исходного сырья для изготовления экологически чистых и безопасных для здоровья человека теплоизоляционных материалов, является весьма необходимой своевременной и актуальной задачей сегодняшнего дня.

Заключение

1. Экологичность и безопасность теплоизоляционного материала для человека являются серьезным преимуществом теплоизоляции на растительной основе, хотя и имеет ограничения по применению во влажных условиях, по причине повышенного водопоглощения. Также особое внимание необходимо уделять экологической безопасности вяжущего вещества для теплоизоляции.

2. В большинстве исследований ограничиваются измерением плотности и коэффициента теплопроводности утеплителя. В исследованиях не уделяется должное внимание сорбционной влажности материалов, влиянию влажности на теплопроводность, биоповреждению тепловой изоляции. Данные показатели обуславливают эффективность использования и долговечность теплоизоляции на разных жизненных циклах здания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергиенко, А. В. Инновационный теплоизолирующий древесный ячеистый материал / А. В. Сергиенко, И. В. Яцун // Апробация. – 2015. – № 4 (31). – С. 11 – 13.
2. Harkin, J. M. Bark and its possible uses / Harkin J. M., Rowe J.W. // Forest Products Laboratory, US Forest Service. – 1971. – Т. 91. – Р. 56.

3. Kain G. Substantial bark use as insulation material / G. Kain, M. C. Barbu, A. Teischinger, M. Musso, A. Petutschnigg // Forest Products Journal. – 2012. – Т. 62. – №. 6. – P. 480 – 487.
4. Килюшева, Н. В. Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта / Н. В. Килюшева, В. Е. Данилов, А. М. Айзенштадт // Строительные материалы. – 2016. – №. 11. – С. 48– 50.
5. Данилов, В. Е. Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной тепло звукоизоляции / В. Е. Данилов, А. М. Айзенштадт // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – №. 2 (368). – С. 111 – 118.
6. Бакатович, А. А. Фракционный состав измельченной сосновой коры и вид вяжущего компонента как основные факторы, влияющие на коэффициент теплопроводности теплоизоляционных плит / А. А. Бакатович, Н. В. Бакатович, А. Н. Пенкрат // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – №. 8. – С. 38 – 45.
7. Pasztory, Z. Investigation of thermal insulation capacity of tree bark / Z. Pászatory, I. R. Mohácsiné // Forestry engineering journal. – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 157–161.
8. Sato, Y. Development of insulation material using natural tree bark / Y. Sato, T. Konishi, A. Takahashi // Transactions of the Materials Research Society of Japan. – 2004. – Vol. 29, № 5. – P. 1937–1940.
9. Барболина, Н. Н. Многофункциональная пробковая теплоизоляция / Н. Н. Барболина, Е. А. Кокшарова, Т. В. Туева // Череповецкие научные чтения – 2012: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Череповец, 01 – 02 ноября 2012 года / Ответственный редактор Н.П. Павлова. Том Часть 3. – Череповец: Череповецкий государственный университет, 2013. – С. 19-21.
10. Fuentealba, C. A new biobased composite material using bark fibres eucalyptus. / C. Fuentealba, J. Salazar, J. Vega-Lara, J. Norambuena-Contreras // The 13th Pacific Bim Bio-Based Composites Symposium "Bio-based composites for a sustainable future", Concepcion, Chile, 13–15 November, 2016 // University of Concepcion. – Concepcion, 2016, – P. 46 – 50.

УДК 624.012.454

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ОБЖИМНЫХ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРЫ

М.С. ПЛЕЩЕНКОВА, Т.А. АНУШКЕВИЧ
(Представлено: А.И. Колтунов)

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению напряженно-деформированного состояния обжимных муфтовых соединений, выполнен анализ модели муфтового соединения арматуры в программном обеспечении ANSYS 2022 R2.

На данный момент в Республике Беларусь отсутствуют технические нормативные правовые акты, регламентирующие применение, а также контроль качества обжимных муфтовых соединений. Определение оптимальной длины муфты исходя из моделирования в программном обеспечении, подтвержденное экспериментальными исследованиями имеет важное значение для создания нормативной базы по данному направлению.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры строительных конструкций.

Образцы муфтового стыкового механического соединения, предоставленные строительным унитарным предприятием «Строительное управление №22 открытого акционерного общества «Минскпромстрой». Место отбора образцов: Строительство завода по производству металлического листа и белой жести в г. Миоры Витебской области.

Исследованию подвергались образцы соединения арматурной стали класса S500 СТБ 1704-2012[1] диаметром 20 мм с использованием муфты из стали 09Г2С с толщиной стенки 4 мм длиной 180 мм. Давление обжатия составляло 70 МПа.

Диаграммы деформирования арматурной стали и трубы муфтового соединения из стали 09Г2С представлены на рисунке 1.

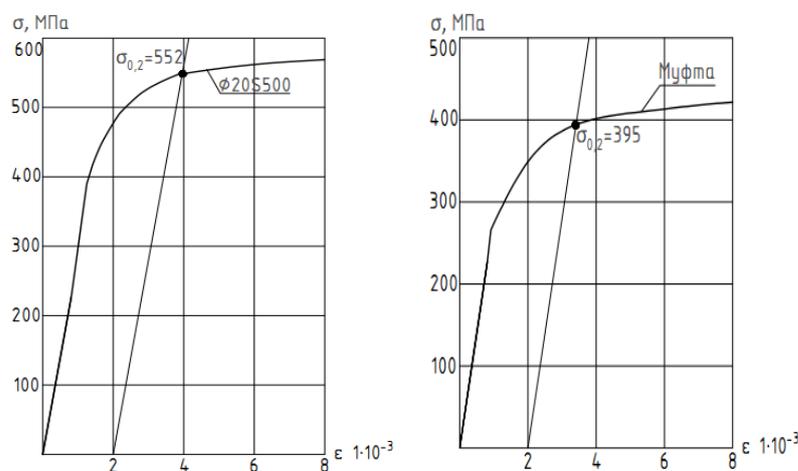


Рисунок 1. – Диаграммы деформирования арматурной стали класса S500 и трубы муфтового соединения из стали 09Г2С

Образцы соединения арматурной стали класса S500 по СТБ 1704-2012 диаметром 20 мм. Номинальная площадь сечения арматуры $A_s = 314 \text{ мм}^2$. Характеристическое значение предела текучести стали S500 $f_{yk} = 552 \text{ МПа}$, характеристическое значение предела прочности стали S500 $f_{tk} = 685 \text{ МПа}$, номинальный модуль упругости арматуры $E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Номинальная площадь сечения трубы с толщиной стенки 4 мм $A_s = 542 \text{ мм}^2$. Характеристическое значение предела текучести стали 09Г2С $f_{yk} = 395 \text{ МПа}$, характеристическое значение предела прочности стали 09Г2С $f_{tk} = 522 \text{ МПа}$, номинальный модуль упругости арматуры $E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Образцы испытывались на растяжение в разрывной машине Р-50 при постоянной скорости нагружения до нагрузки эквивалентной 0,3 от контролировались деформации тензодатчиками Гугенбергера с точностью 0,001 мм. Определение напряженно-деформированного состояния муфты производится путем измерения абсолютных деформаций на участках длиной не более одного диаметра муфты. Результаты испытания 3 образцов представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1. – Относительные деформации образцов испытания на участках a-b, b-c, c-d

№	Относительная деформация $\epsilon \cdot 10^{-3}$		
	Участок a-b	Участок b-c	Участок c-d
Образец 1	0,976	0,820	0,452
Образец 2	1,025	0,878	0,494
Образец 3	1,038	0,896	0,483

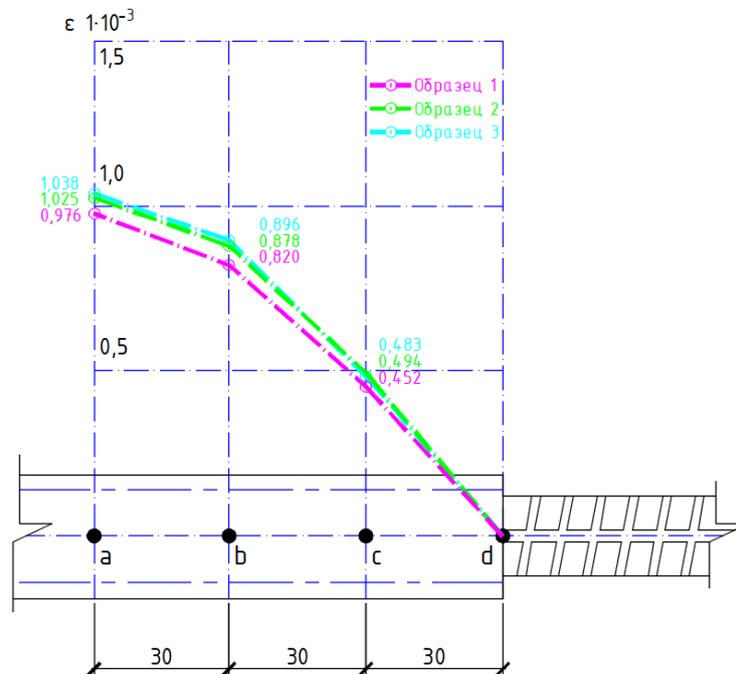


Рисунок 2. – Диаграммы деформирования образца стыкового соединения при растяжении

Моделирование в программе ANSYS 2022 R2 осуществляется через специальную платформу ANSYS Workbench 2.0. Платформа объединяет графический интерфейс приложений и обеспечивает их работу с базами данных в рамках одного проекта.

Для моделирования муфтового соединения, вводились конкретные геометрические параметры арматурного проката и трубы муфтового соединения, характеристики материалов, граничные условия, а также условия внешних воздействий с учетом изначального обжатия муфты.

Следует учесть, что в расчетно-программном комплексе ANSYS 2022 R2 допускается нагружение элементов поэтапно. Сначала прикладывается внешняя нагрузка обжатия в виде поверхностного давления на муфту (давление обжатия составляет 70 МПа), далее производится поэтапное нагружение согласно ранее описанной методике. Длина муфт в данном анализе варьировалась от 8 до 11 диаметров стыкуемых стержней. Конструкция муфтового стыкового механического соединения представлена на рисунке 3.

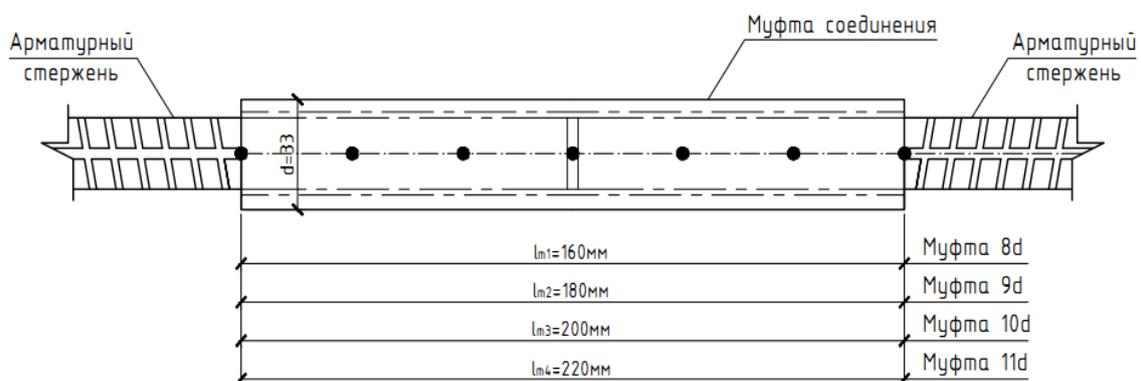


Рисунок 3 – Геометрические параметры модели муфтового соединения стержневой арматуры

Результаты, полученные в программном комплексе ANSYS 2022 R2 отражены на рисунке 4 и в таблице 2.

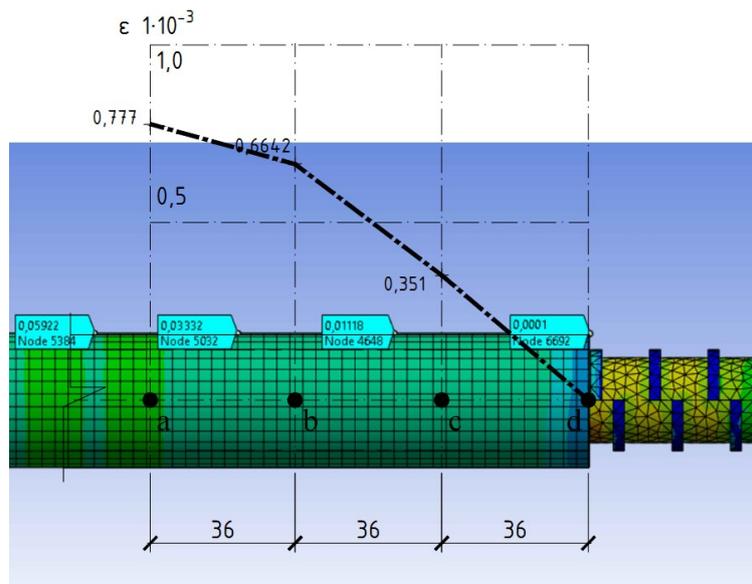


Рисунок. 4 – Схема распределения относительных деформаций в муфте

Таблица 2. – Относительные деформации образцов на участках a-b, b-c, c-d

Длина муфты	Относительная деформация $\epsilon \cdot 10^{-3}$		
	Участок a-b	Участок b-c	Участок c-d
Муфта 8d	0,972	0,6012	0,4296
Муфта 9d	0,8592	0,7578	0,3624
Муфта 10d	0,8481	0,7947	0,3366
Муфта 11d	0,777	0,6642	0,351

Вывод. Моделирование в программном обеспечении ANSYS 2022 R2 муфтового соединения позволит подобрать длину муфтового соединения для арматуры определенного диаметра (определить при какой длине произойдет проскальзывание арматуры). Сравнение результатов, полученных экспериментальным путем с результатами, полученными в программном комплексе ANSYS 2022 R2, дают сходимость от 90% и выше. Моделирование в программном обеспечении ANSYS 2022 R2 муфтового соединения позволит с вероятностью 89% оценить НДС муфтового соединения для арматуры определенного диаметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1704-2012 «Арматура ненапрягаемая для железобетонных конструкций. Технические условия», Минстройархитектуры, Стройтехнорм, Минск 2013 – 16 с.
2. Методическое пособие «Применение механических соединений арматуры железобетонных конструкций», НИИЖБ им. А.А.Гвоздева, Москва, 2016 – 89 с;
3. СТО ГОСТРОЙ 2.6.175-2015 «Соединение металлической стержневой арматуры методом механической опрессовки», ООО «Центр Качества», Москва, 2017 – 46 с.
4. СП 5.03.01-2020 «Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные правила Республики Беларусь», МАиС РБ, Минск, 2020 – 236 с.
5. Дягель П.С. «Муфтовые соединения арматуры в железобетонных конструкциях», Белорусский национальный технический университет Минск, Беларусь –18-22 с.
6. ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение». Гос. ком. СССР по стандартам. - М., 1986. – 12 с.
7. Додонов Н.Н., Трифонов И.А. «Распределение напряжений в стержнях арматуры периодического профиля в зоне анкеровки», 1968. - №12.
8. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1974. – 233 с.

УДК 624.012.454

МЕХАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ**М.С. ПЛЕЩЕНКОВА, Т.А. АНУШКЕВИЧ**
(Представлено: А.И. Колтунов)

В данной статье рассмотрены варианты механических соединений арматуры, представлена классификация типов и разновидностей таких систем, а также приведены преимущества данного типа соединений арматуры.

Мировой опыт возведения арматурных каркасов монолитных сооружений однозначно определяет муфтовые механические соединения стержневой арматуры как наиболее экономически выгодные, рациональные, и гарантирующие эксплуатационную надежность технологии. Обеспечивая стык с прочностью на растяжение, превышающей фактическое усилие временного сопротивления соединяемого проката и с гарантией выносливости. Муфтовые соединения широко используются такими странами как США, Германия, Великобритания.

Механические соединения арматуры, представляют собой систему, соединяющую арматурные стержни посредством соединительной муфты и, при необходимости, дополнительных элементов.

Механические соединения классифицируются:

- по условиям работы в железобетонных конструкциях;
- по способу соединения;
- по назначению соединения.

В зависимости от условий работы в железобетонных конструкциях механические соединения подразделяются на:

- растянутые – применяются для соединения арматурных стержней, воспринимающих как сжимающие, так и растягивающие усилия в конструкции;
- сжатые контактные – применяются для соединения арматурных стержней, в которых в процессе эксплуатации не возникает усилий растяжения. Усилия в арматуре передаются через непосредственное соприкосновение торцов стержней.

По способу соединения механические соединения арматуры подразделяются на следующие типы:

– Резьбовое соединение – соединение арматуры с нарезанной или накатанной на концах арматурных стержней резьбой, стыкуемой с помощью муфты, имеющей резьбу, соответствующую резьбе на арматурных стержнях. Резьба на арматурных стержнях нарезается или накатывается на специальном оборудовании в специально оборудованном посту. Резьбовые соединения по способу изготовления и типу резьбы на концах арматурных стержней подразделяются на соединения с конической или цилиндрической резьбой, созданной методом нарезки или накатки либо непосредственно по периодическому профилю арматурного стержня, либо на предварительно высаженной головке (участке увеличенного диаметра с помощью давления) на конце арматурного стержня. Накатка применяется при изготовлении цилиндрических резьб.

– Опрессованное соединение – соединение арматурных стержней посредством соединительной муфты, установленной на концы стыкуемых стержней арматуры и обжатой гидравлическим способом. Анкеровка концов стержней арматуры в муфте обеспечивается за счет вдавливания металла муфты между поперечными ребрами арматуры вследствие пластической деформации при обжатии. Опрессованные соединения по способу изготовления подразделяются на опрессованные однократным или многократным поперечным деформированием, или методом однократной протяжки соединительной муфты.

– Комбинированное соединение – соединение арматурных стержней с помощью комбинированных муфт, объединяющих в себе особенности резьбовых и опрессованных соединений. Муфты представляют собой соединительные элементы, предварительно опрессовываемые на концах арматурных стержней и соединяемые впоследствии между собой посредством существующей на муфтах резьбы.

– Винтовое соединение – соединение арматуры со специальным винтовым периодическим профилем с помощью муфты и контргаек, имеющих резьбу, соответствующую ребрам профиля на арматурных стержнях.

– Соединение на болтах – соединение арматурных стержней с помощью длинной муфты, в которой арматурные стержни фиксируются с помощью заостренных болтов, врезающихся в тело арматурного стержня.

В зависимости от конструкции соединительных муфт механические соединения по назначению подразделяются на следующие типы.

– Стандартные – предназначены для соединения стержней одного диаметра, когда хотя бы один из стыкуемых стержней может свободно вращаться. Применяются при сборке арматурных сеток и каркасов из отдельных стержней.

– Переходные – предназначены для соединения стержней разного диаметра в тех же условиях, что и стандартные.

– Позиционные – предназначены для соединения арматурных стержней в тех случаях, когда ни один из стыкуемых стержней не может свободно вращаться. Применяются для соединения готовых арматурных каркасов, криволинейных стержней или готовых железобетонных элементов. Позиционные соединения бывают различных типов в зависимости от применяемой технологии и производителя соединительных элементов: 1 тип – с удлиняющим элементом, 2 тип – со стягивающим элементом, 3 тип – со стандартной муфтой с контргайкой или без контргайки, 4 тип – с разнонаправленной резьбой (выглядит как стандартное соединение).

– Привариваемые – применяются для соединения арматурных стержней с металлоконструкциями или стальными пластинами закладных деталей посредством сварки.

– Под метрический болт (под болт с метрической резьбой) – применяются для соединения с металлоконструкциями с помощью болтов с метрической резьбой, например, стальных несущих конструкций с железобетонными фундаментами, колоннами и стенами.

– Помимо соединительных муфт, предназначенных для стыковки арматурных стержней, существуют еще и анкерные муфты, так называемые концевые анкеры. Устанавливаются на концах арматурных стержней и применяются для анкеровки арматурных стержней в железобетонных конструкциях.

В каждую группу входит несколько подвидов муфт, отличающихся конструктивными нюансами, способами стыковки. Монтаж с помощью резьбовых муфт обеспечивает прочность, меньший расход материала (экономия – до 20%). В отличие от метода обвязки не увеличивает арматурную конструкцию.

Соединительные муфты в зависимости от вида имеют свои конструктивные особенности, способы применения. Для производства муфт применяются трубы соответствующего диаметра. Внутри – гладкая поверхность (для обжимных видов) или нанесена трубная микрорезьба с дюймовым шагом. Наружный стыковочный конец выполняется в форме многогранника. Резьба создается различными способами: накатки, штамповки и др.

Края соединяемых стержней помещаются внутрь муфты, после чего соединяются встык при помощи навинчивания на резьбу и фиксируются шпильками. Для соединения арматурных стержней различного диаметра применяются позиционные муфты. Они применяются для прямого и поперечного соединения прямой или изогнутой арматуры. Стоимость сборки конструкции закладывают при составлении общей сметы.

Достоинства муфтовых соединений арматуры:

– многофункциональное соединение металлических элементов в различных направлениях (горизонтальное, вертикальное либо наклонное расположение);

– обжимная конструкция муфт дает равномерное соединение (не требует предварительной нарезки резьбы);

– сокращаются сроки возведения монолитной конструкции;

– простота контроля качества конструкции;

– не требуется проведение сварочных работ, в том числе – высококвалифицированных;

– для сборки арматурных элементов металлических каркасов не требуются специальные инструменты и оборудование (в случае резьбовых муфт).

Требования к механическим соединениям арматуры:

– обжимные муфты требуют механической прессовки каждого стыка;

– соединительные муфты должны в обязательном порядке проходить сертификацию. Геометрические размеры и сортамент соединений могут меняться в зависимости от конкретной марки производителя.

К соединительным элементам предъявляются следующие требования:

– соединения должны соответствовать нормативным требованиям по прочности, выносливости и деформативности;

– если соединения используются в районах с повышенной сейсмической активностью, они должны обладать достаточной выносливостью при малоцикловом нагружении.

– все типы муфт должны снабжаться заводской маркировкой. В ней должна присутствовать следующая информация: тип соединительного элемента, диаметр используемой арматуры, номер либо фирменный знак производителя. Маркировка должна сохраняться до использования изделия, поэтому она может наноситься с помощью несмываемой краски, прочерчиванием иглой или другими методами, которые указаны в требованиях ГОСТ 7566.

– при установке муфты способом многократного деформирования муфта обжимается по направлению от центра к краям.

Производитель соединительных элементов должен разрабатывать регламент по использованию изделий. В инструкции должна присутствовать информация по сборке соединения, контролируемым параметрам, подготовительным работам, а также другие сведения, которые помогут соблюсти требования нормативной документации.

Соблюдение требований к качеству изготовления и правильности использования соединительных муфт обеспечивает прочность скрепления арматурных стержней и их способностью выдерживать требу-

емые нагрузки. Конструкции, в которых предполагается использовать механические соединения арматуры, должны проектироваться со строгим соблюдением нормативных документов.

Сортамент и геометрические размеры муфт механических соединений должны регламентироваться нормативной документацией конкретных производителей, разработанной и утвержденной в установленном порядке.

Таким образом механические соединения арматуры являются практичным и инновационным вариантом для внедрения в современное строительство. Данный тип соединения является выгодной альтернативой ванной сварки при армировании ЖБК, не требуется высококвалифицированный персонал, сокращается расход арматурных стержней за счет исключения соединений внахлест, значительно увеличивается производительность работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методическое пособие «Применение механических соединений арматуры железобетонных конструкций», НИИЖБ им. А.А.Гвоздева, Москва, 2016 – 89 с.
2. СТО ГОСТРОЙ 2.6.175-2015 «Соединение металлической стержневой арматуры методом механической опрессовки», ООО «Центр Качества», Москва, 2017 – 46 с.
3. Дягель П.С. «Муфтовые соединения арматуры в железобетонных конструкциях», Белорусский национальный технический университет Минск, Беларусь –18-22 с.
4. Попков Ю.В., Чупров В.В., Хотько А.А., Колтунов А.И. «Бессварные муфтовые стыковые соединения стержневой арматуры в железобетонных конструкциях», Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Прикладные науки. – 2009. - №6. - С.41–47.

УДК

КОСТЁЛ СВЯТЫХ ПЕТРА И ПАВЛА – СИМВОЛ ГОРОДА ИВЬЕ, ГРОДНЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ

С.А. ПОПРАВКО

(Представлено: Е.Г. Кремнева)

В данной статье рассматривается памятник архитектуры XVII века, построенного на месте храма XV века – костел Святого Петра и Павла, находящийся на территории Гродненской области в городе Ивье. Делается акцент на красоте и уникальности данного памятника белорусского зодчества, сочетающего в себе стили раннего и позднего барокко. Предлагается к разработке новый туристический маршрут, включающий маршрут «Сокровищница Гродненщины».

Ключевые слова: Гродненская область, памятник архитектуры, костел Святого Петра и Павла, кальвинистский собор, орден бернардинцев, реликвия, икона Казанской Божией Матери, Виктор Шутов, монастырь бернардинцев, Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь.

Тема предложенного туристического маршрута – архитектура Гродненской области. Название маршрута – «Сокровищница Гродненщины». Название говорит само за себя: созданный маршрут состоит из ярких и уникальных примеров зодчества на территории Гродненской области. Гродненская область – уникальное место в Республике Беларусь, впечатляющее своей историей, архитектурой и неповторимой красотой. Этот регион славится богатым наследием архитектурных шедевров, которые передают многовековую историю Беларуси, а также восхитительные пейзажи, олицетворяющие его культурное наследие, на которое оказали влияние самые выдающиеся личности.

С целью активного развития туристической отрасли в нашей стране и популяризации памятников архитектуры, предлагается во время Года мира и созидания внедрить уникальный туристический маршрут, включающий следующие привлекательные точки:

1. Усадьба Огинских – д. Залесье, Гродненская область;
2. Костёл святых Петра и Павла – г. Ивье, Гродненская область;
3. Храм святого Архангела Михаила – д. Сынковичи, Гродненская область;
4. Петропавловский костел – аг. Рожанка, Гродненская область;
5. Борисоглебская (Коложская) церковь – г. Гродно.

Ивье – небольшой населенный пункт в Гродненской области, который славится своим уникальным архитектурным ансамблем – костелом Святых Петра и Павла. Согласно одной из легенд, этот город был основан самой Евой, женой великого князя литовского Гедимина. [1] Ивье – уникальное место, где переплетаются культуры и религии. Это святилище, объединяющее католицизм, православие, ислам и иудаизм. Здесь можно найти множество религиозных сооружений, посвященных этим четырем верованиям. Истинно ценными являются такие места: они являются не только объектом гордости страны и местных жителей, но и привлекают туристов. Сочетание разных культур и религий в Ивье – это не только интересный, но и познавательный опыт для путешественников. Беларусь давно известна своей толерантностью, и Ивье – прекрасный образец этого. [2]

Костел Святых Петра и Павла – старейший памятник архитектуры в Ивье, расположенный на самой высокой точке города (рисунок). Костел – это светлая постройка, от которой в буквальном смысле исходит свет. Памятнику архитектуры с интересной реликвией внутри более 500 лет. Он начинал строиться в 1491 году в стиле поздней готики, но неоднократно потом перестраивался, приобретая черты такого стиля, как барокко. [3]

Храм, который можно наблюдать сейчас, занимает место, где раньше стояла древняя готическая церковь, построенная в 1491-1495 годах. В XVI веке церковь была переделана в кальвинистский собор, но вскоре она перешла во владение Яна Кишки – магната, более известного своим интересом к арианству. При храме ариане основали типографию и школу, в которой в период с 1585 по 1593 годы ректором был Ян Намысловский. Намысловский был известным деятелем протестантизма в Великом княжестве Литовском и автором нескольких полемических трудов. [5]

Возвращение католикам храма произошло в 1612 году. В 1633 году произошла его реконструкция и расширение за счет средств, выделенных мстиславским воеводой Николаем Кишкой. В это же время костел был передан во владение бернардинцам, ордену францисканцев-обсервантов, и в непосредственной близости от храма было построено жилище для монахов, которое частично сохранилось.

Во время русско-польской войны 1654-1667 годов церковь сожжена дотла. В конце XVIII века началось возведение на том же месте нового костёла в стиле барокко. В 1787 году был освящён новый костёл, который на протяжении середины XIX века служил ордену бернардинцев. Костёл Святых Петра и Павла, расположенный в самой высокой точке Ивья, привлекает внимание туристов благодаря статуе

Христа с распростертыми руками, которая расположена во дворе, – почти такой же, как в Рио-де-Жанейро. Внутри храма также находится реликвия, буквально сошедшая с небес. Это одна из 60 икон Казанской Божьей Матери, побывавших в 2004 году в космосе и более 100 раз облетевших Землю. Эту икону подарил костелу Виктор Шутов, родом из Ивьевщины, бывший сотрудник российского космического агентства. Рядом с храмом уцелела часть жилых корпусов бернардинского монастыря. [4]



Рисунок. – Костел Святых Петра и Павла в Ивье [4]

Храм представляет собой однефную двухбашенную постройку зального типа. Неф венчают цилиндрические своды, в алтарной части неф заканчивается пятигранной апсидой. Главный фасад храма разделён карнизом на два яруса, нижний украшен тонкими пилястрами, а верхний состоит из двух фигурных башен с гранёными куполами и центральным аттиком между ними. По углам основной постройки и апсиды располагаются ступенчатые контрфорсы.

Рядом с костелом находится жилой корпус бывшего францисканского монастыря. Сохранились западное и, частично, восточное крылья жилого корпуса. [3] В здании сохранилась художественно-декоративная реликвия – печь XVII века. [7]

Вокруг костела разбит красивый парк, где можно прогуляться и насладиться красотой природы.

Костел Святых Петра и Павла в Ивье – это настоящий шедевр архитектуры, который поражает своей красотой и величием. Он является одним из немногих костелов в Беларуси, которые сохранились до наших дней. Храм включён в Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь. [4] Костел – символ города, который привлекает внимание множества туристов со всего мира своей красотой и историей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Википедия – Ивье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ивье> (Дата обращения: 10.09.2023);
2. Vetliva – Костел Святых Петра и Павла в Ивье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vetliva.ru/belarus/what-to-see/kostel-svyatykh-petra-i-pavla-v-ive/> (Дата обращения: 10.09.2023);
3. Цифровая звезда – Костел Святых апостолов Петра и Павла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://izvezda.by/ru/modern_belarus-ru/getElement/6459/ (Дата доступа: 10.09.2023);
4. Planeta Belarus – Костел святых Петра и Павла в Ивье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://planetabelarus.by/sights/kostel-svyatykh-petra-i-pavla-v-ive/> (Дата обращения: 10.09.2023);
5. Википедия – Костёл Святых Петра и Павла (Ивье) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Костёл_Святых_Петра_и_Павла_\(Ивье\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Костёл_Святых_Петра_и_Павла_(Ивье)) (Дата обращения: 10.09.2023);
6. Википедия – Намысловский, Ян Лициний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Намысловский,_Ян_Лициний (Дата обращения: 10.09.2023);
7. Глобус Беларуси. Архитектурные и иные достопримечательности Беларуси – Ивье [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://globustut.by/ive/index.htm#bernard_main (Дата обращения: 10.09.2023).

УДК

НОВЫЕ ТУРИСТИЧЕСКИЕ МАРШРУТЫ ПО РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С.А. ПОПРАВКО

(Представлено: Е.Г. Кремнева)

В данной статье рассматривается важность туризма, его развития в Республике Беларусь. Также затрагивается тема уникальности памятников белорусского зодчества и важность восстановления исторической и архитектурной памяти, обновления туристических маршрутов и создания новых в Год мира и созидания.

Ключевые слова: туризм, историческая и архитектурная память, культурное наследие, история, зодчество, архитектура Беларуси, Год мира и созидания

Туризм – неотъемлемая часть жизни и одно из самых древних занятий человека. Он ходит в число основных интересов многих людей, предназначенных для удовлетворения интересов, отдыха, изучения истории и архитектуры страны и за рубежом. Именно поэтому туризм является одной из важнейших отраслей экономики и играет значительную роль в социально-экономическом развитии стран и регионов. Он способствует созданию рабочих мест, развитию инфраструктуры, стимулирует развитие малого и среднего бизнеса, а также обеспечивает приток национальной и иностранной валюты, кроме того, что самое важное, вызывает чувство гордости за страну и регион.

Существует множество типов туризма, например, религиозный, спортивный и деловой, но самым популярным в последнее время среди населения является познавательный туризм. Познавательный туризм – это вид туристической поездки, основной целью которой является посещение туристами различных культурных и природных объектов. [1]

Республика Беларусь – это страна с уникальной красотой, которая привлекает туристов со всего мира. Она славится своими зелеными лесами, чистыми озерами и реками, а также множеством исторических и культурных достопримечательностей. Это страна, богатая уникальными памятниками архитектуры, которые сочетают в себе элементы различных стилей и эпох и которые напрямую связаны с историческими событиями страны. В настоящее время многие исторические и архитектурные памятники реставрируются, что позволяет нам увидеть и узнать много новых мест, которые не были изучены ранее. Благодаря этому многие регионы страны обогащаются своеобразными «изюминками», которые становятся символами той или иной местности.

Говоря про белорусское зодчество, стоит отметить, что оно имеет свои уникальные особенности, которые делают его непохожим на архитектуру других стран:

1) Одной из главных особенностей является использование дерева в качестве основного материала для строительства, так как в свое время Республика Беларусь считалась самой лесной страной в Европе.

2) Другой особенностью белорусского зодчества является его простота и функциональность. Многие здания имеют простые формы и лишены излишеств, но при этом они очень удобны для жизни. Например, многие дома имеют большие окна, которые обеспечивают хорошее освещение и вентиляцию, а также просторные дворы для хранения дров и других хозяйственных нужд.

3) Еще одна особенность – связь с природой. Многие здания расположены среди лесов и полей, что придает им особую красоту и гармонию от слияния с природой.

4) Белорусское зодчество характеризуется своей долговечностью и надежностью. Многие здания, особенно деревянные, стоят уже несколько столетий и продолжают служить своим владельцам. Это свидетельствует о высоком качестве строительства и мастерстве белорусских зодчих.

Возникают новые туристические маршруты по всей стране, которые ярко демонстрируют уникальность и важность архитектурных и исторических памятников разных регионов. Сегодняшние маршруты имеют совершенно новое значение и становятся многообразными: они позволяют погрузиться в культуру, архитектуру, историю, флору и фауну. Интересность новых маршрутов заключается в том, что они не только включают знаменитые архитектурные достопримечательности, но и пролегают через парки, позволяют ознакомиться с местной кухней, традициями, этническими особенностями и историей конкретного региона. Такие маршруты не ограничены однодневными автобусными экскурсиями, они предлагают более продолжительные туры с посещением исторических замков, туристических баз отдыха, цветущих и ароматных парков, аутентичных ресторанов с национальной кухней и музеев.

Предлагается разработать экскурсии, включающие в себя образцы различных архитектурных стилей Минска. К ним относятся барокко, классицизм и модерн. В рамках этого маршрута можно посетить собор святых апостолов Петра и Павла - великолепный пример барочной архитектуры (рисунок 1) [2]. Также стоит включить в программу посещение Национального академического Большого театра оперы и балета Республики Беларусь, построенного известным белорусским архитектором Иосифом Лангбардом в стиле конструктивизма (рисунок 2) [3]. Национальная библиотека Беларуси, в форме ромбокубооктаэдра, также является примечательным примером современной архитектуры [4].



Рисунок 1. – Собор святых апостолов Петра и Павла в Минске [2]



Рисунок 2. – Национальный академический Большой театр оперы и балета Республики Беларусь [3]

В Год мира и созидания особое значение приобретает развитие темы туризма именно по местам исторической памяти и величественным архитектурным памятникам в нашей стране. Этот год открывает перед нами уникальные возможности для демонстрации всего великолепия природы, истории и архитектуры Беларуси. Необходимо расширить экскурсионную карту страны, добавив в нее удивительные па-

мятники архитектуры, о которых до сих пор было редко упоминание, чтобы они теперь стали неотъемлемой частью туристического маршрута. Особое внимание следует уделить уникальности белорусского зодчества, чтобы привлечь как можно больше интереса не только со стороны местных жителей, но и международных туристов. Именно изменение и создание новых туристических маршрутов способно привлечь внимание людей, отданных изучению истории и культуры, тем самым сделав Беларусь более узнаваемой на мировой арене архитектуры и исторического наследия. Впечатленный своей поездкой, каждый турист сделает свою публикацию в популярной социальной сети, возможно пробудив интерес и у других путешественников посетить нашу удивительную страну.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравни – Что такое познавательные туры? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sravni.ru/enciklopediya/info/chto-takoe-poznavatelnye-tury/> (Дата доступа: 09.09.2023);
2. Википедия – Собор святых апостолов Петра и Павла в Минске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Собор_Святых_Апостолов_Петра_и_Павла_\(Минск\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Собор_Святых_Апостолов_Петра_и_Павла_(Минск)) (Дата доступа: 09.09.2023);
3. Википедия – Большой театр Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Большой_театр_Белоруссии (Дата доступа: 09.09.2023);
4. Википедия – Национальная библиотека Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальная_библиотека_Беларуси (Дата доступа: 09.09.2023).

УДК

СТРУКТУРА НОВЫХ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ ПО ТЕМАТИЧЕСКИМ НАПРАВЛЕНИЯМ

С.А. ПОПРАВКО

(Представлено: Е.Г. Кремнева)

В данной статье рассматривается актуальность новых туристических маршрутов. Затрагивается тема уникальности памятников белорусского зодчества и важности обновления туристических маршрутов как в плане интересов, так и длительные и разнообразные маршруты.

Ключевые слова: памятники архитектуры, Год мира и созидания, туризм, туристическая карта, тематические направления, Гродненская область, туристический маршрут «Сокровищница Гродненщины».

В Годы мира и созидания, который очень важен для Республики Беларусь, чрезвычайно важно уделять внимание памятникам белорусского зодчества, которые отражают многовековую историю нашей страны, традиции и культуру. Основными целями этого года являются достижение мира, поддержание спокойствия и благополучия, продвижение среди населения идей исторических и духовных традиций белорусского народа, основываясь на укреплении взаимоотношений между людьми и созидательном труде [1]. В свете этого, необходимо сохранить память о прошлом и знать неповторимые произведения белорусской архитектуры и культуры. В целях повышения эрудиции населения и привлечения внимания туристов, а также для полной популяризации богатств белорусского архитектурного и культурного наследия предлагается значительно расширить туристическую карту страны и обогатить ее маршрутами, основанных на различных тематиках. Познавательный туризм популярен во всем мире.

Беларусь – пристанище множества исторических памятников архитектуры, которые привлекают туристов со всего мира. Некоторые из них являются уникальными образцами различных архитектурных стилей и эпох.

Тема разработанного нового туристического маршрута посвящена архитектуре Гродненской области. Название маршрута – «Сокровищница Гродненщины». Название говорит само за себя: созданный маршрут состоит из ярких и уникальных примеров зодчества на территории Гродненской области.

Гродненская область – удивительная часть Республики Беларусь, которая однозначно будет интересна тем, кого привлекает история и архитектура, также известная своей исключительной красотой и уникальностью. Этот регион славится своими памятниками архитектуры, отражающих яркую и многовековую историю Республики Беларусь, живописными пейзажами и культурным наследием, созданным самыми выдающимися личностями.

Одной из главных достопримечательностей Гродненской области является областной центр – город Гродно, расположенный на берегу реки Неман. Гродно был основан в XI веке и имеет богатую историю, отражение которой можно увидеть в его архитектуре. Город славится своими старинными замками, крепостями и церквями, которые были построены в разные эпохи. течение 2014 года город носил звание «Культурная столица Беларуси» [2].

Гродненская область славится своей несравненной природной красотой. Здесь можно открыть туристические маршруты, связанные с великолепием богатых лесов, живописных озер и рек. Одним из особо популярных мест среди туристов является Национальный парк "Беловежская пуца", созданный в 1939 году на территории Брестской области, а также частично простирающийся на Гродненскую. Этот парк удивляет своими редкими животными, занесенными в Международную Красную книгу, такими как зубр и рысь, а также захватывает сердца своей величественной природой. В дополнение к уникальной флоре и фауне, туристы могут посетить мемориал "Падающие кресты", посвященный трагедии Великой Отечественной войны, Музей народного быта и старинных технологий, основанный на старинной усадьбе, Музей природы, открытый в 2009 году, а также Помесье Деда Мороза, занимающее почти 15 гектаров и привлекающее каждый год множество маленьких туристов [3].

Кроме того, в Гродненской области есть множество музеев и культурных центров, которые привлекают туристов со всего мира. Один из самых известных музеев – Музей истории Городницы, здание которого является памятником градостроительства второй половины XVIII века. Главными архитекторами этого проекта были Иоганн Мезер и Джузеппе де Сакко [4].

Гродненская область является одним из красивейших мест в Беларуси. Здесь можно встретить различные архитектурные стили, начиная от средневековых замков и заканчивая современными зданиями. На территории области, в городском поселке Мир, располагается Мирский замок – объект, включенный в перечень Всемирного наследия ЮНЕСКО. Кроме того, на территории области расположено множество других не менее интересных и стоящих внимания туристов сооружений, к которым можно отне-

сти такие уникальные памятники архитектуры как древнейший укрепленный храм страны XV–XVI веков – Церковь святого Архангела Михаила в деревне Сынковичи; костел Святых Петра и Павла в городе Ивье, также известный как Петропавловский костел и датируемый 1600 годом; Борисоглебская (Коложская) церковь, построенная в 80-е годы XII века в Гродно; Петропавловский костел 1674 года в агрогородке Рожанка; усадьба Огинских в деревне Залесье, Сморгонский район, которая входит в число самых посещаемых музеев Гродненской области [5].

В целях развития туризма в стране и популяризации выдающихся памятников архитектуры, предлагается в Год мира и созидания введение уникального туристического маршрута со следующими остановками (рисунок 1):

1. Усадьба Огинских – д. Залесье, Гродненская область.
2. Костёл святых Петра и Павла – г. Ивье, Гродненская область.
3. Храм святого Архангела Михаила – д. Сынковичи, Гродненская область.
4. Петропавловский костел – аг. Рожанка, Гродненская область.
5. Борисоглебская (Коложская) церковь – г. Гродно.

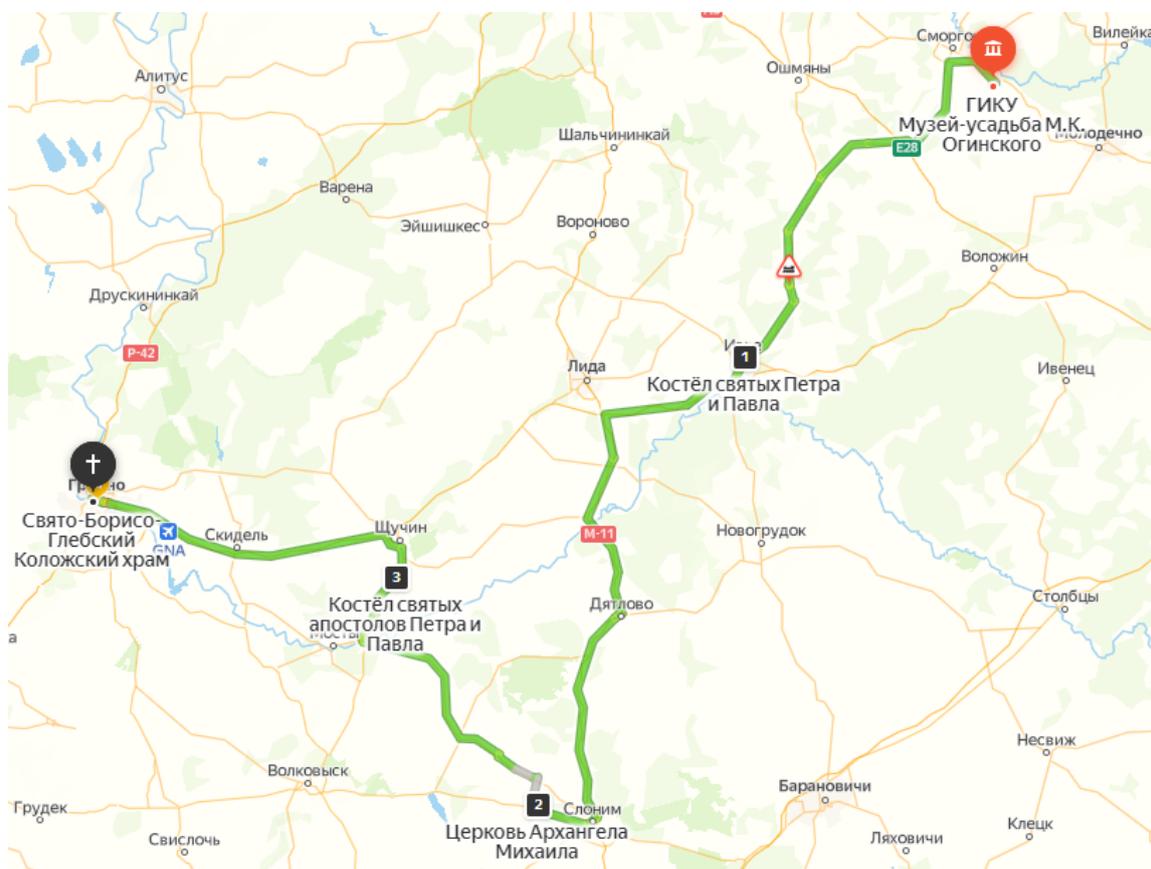


Рисунок 1. – Карта маршрута «Сокровищница Гродненщины» [6]

Начальная точка маршрута – парк и усадебный дом Огинских в деревушке Залесье. Залесье, небольшая деревня, расположенная неподалеку от Сморгони, стала историческим местом, в связи с именем известного государственного деятеля и композитора Михаила Клеофаса Огинского. Здесь было рождено одно из наиболее сердечных и известных произведений композитора – «Прощание с Родиной», позже известное как «Полонез Огинского», по имени его великого автора. Огинский всегда был известен как бескомпромиссный политик, активно участвовавший даже в тадеушкостюшковском восстании. Это красивое имение в белорусской деревне стало собственностью Михаила Огинского после щедрого дара его дяди – одной из многих усадеб, празднично подаренных ему. Огинский вместе со своей семьей прожил здесь много лет. Прибыв на место, Огинский сразу же приступил к ремонту усадьбы по своим вкусам, поручив эту работу перспективному литовскому архитектору немецкого происхождения по имени Михал Шульц. Усадьба Огинского стала воплощением классицизма, а дом, построенный из камня, был одноэтажный. Интересно отметить, что помимо великолепного дворца, здесь было также множество других уникальных построек [7] (рисунок 2).



Рисунок 2. – Усадьба Огинского [8]

В самом сердце города Ивья, наша вторая остановка располагается Церковь Святых Петра и Павла. История этой постройки уходит корнями в готический храм XV века, который, к несчастью, был сильно поврежден во время конфликта между Речью Посполитой и Россией в 1654-1667 годах. Но несмотря на это, уже в 1787 году, здесь была освящена новая церковь, которую вплоть до середины XIX века использовали бернардинцы. Церковь Святых Петра и Павла великолепно расположена на самой высокой точке Ивья и всегда привлекает внимание путешественников. Во дворе здания установлена скульптура Христа с расправленными руками, невероятно напоминающая скульптуру в Рио-де-Жанейро, Бразилия. Особой изюминкой храма является его святыня – одна из 60 икон Казанской Божией Матери, которая в 2004 году побывала в космосе и более ста раз облетела Землю. Эту икону подарил костелу Виктор Шутов, уроженец Ивья и бывший сотрудник космического агентства России [9].

Следующая остановка – храм святого Архангела Михаила, деревня Сынковичи. Это одно из немногих сохранившихся оборонных храмов и один из древнейших православных храмов в Беларуси. Легенда гласит, что великий князь Витовт построил эту церковь в знак благодарности за спасение от погони Ягайло, которое произошло в местных лесах. Вначале голливуд казалось, что храм был построен в начале XVI века средствами великого гетмана Литовского Константина Острожского. Однако недавно проведенные реставрационные работы показали, что эта постройка относится к 1320 году. Археологические исследования подтверждают предположение, что на месте сегодняшнего храма ранее существовал замок. Этот замок был построен на возвышенности среди болот, где сливались несколько ручьев. В результате наступления XV века от замка остались только развалины, и по указанию князя Витовта на его месте был возведен хорошо укрепленный оборонительный храм с боевыми башнями в каждом углу. После установления Советской власти церковь была закрыта. Повторно открыта как православная весной 1989 г. [10].

Вместе с Сынковичами отправляемся в агрогородок Рожанка, который находится в Щучинском районе Гродненской области. Здесь нас встречает костел Святых Петра и Павла, известный также как Петропавловский костел и являющийся настоящим архитектурным украшением района. Построенный в 1827 году из кирпича и бутового камня средствами сенатора Людвика Михала Паца, этот храм уже демонстрирует проявления неоготического стиля, который станет важным для развития католической архитектуры во второй половине XIX и начале XX века. На фоне некрупной четырехгранной башни-звонницы, построенной восьмериком на четверике, выделяется асимметричное расположение и высокий шпиль. Готические элементы, такие как стрельчатые окна, контрфорсы и башенки-фиалы, еще не слишком выразительны, однако уже приобретают силу. Особенно внимание привлекает фасадная стена с лепным гербом, широким орнаментальным поясом и филигранным рисунком из вертикальных и горизонтальных белых линий [11].

Последняя остановка нашего маршрута – Борисоглебская церковь в Гродно. Одна из старейших святынь Беларуси была построена в 1180 году и освящена в честь первых русских святых Бориса и Гле-

UDC 692.435

SCIENTIFIC RESEARCH ANALYSIS OF THE REGULATORY AND LEGAL FRAMEWORK IN THE FIELD OF GREEN BUILDING TECHNOLOGIES

ZHANG XINXIN
(Presented by: L.M. Parfenova)

The article presents an analysis of international experience in green construction and compares the criteria for assessing international standards LEED, BREEAM, DGNB.

Global climate change is the most severe environmental and development challenge facing the world today and the long-term human beings, and buildings are one of the most important areas for energy conservation, emission reduction and response to climate change. International building energy-saving technologies are progressing very fast, from low-energy buildings to ultra-low-energy buildings to capacity building.

On September 22, 2020, General Secretary Xi Jinping delivered an important speech at the general debate of the 75th United Nations General Assembly, saying that China "strives to peak carbon dioxide emissions in 2030 and achieve carbon neutrality in 2060", while the construction industry is the largest energy source in the country. About one-fifth of the total consumption of "large energy households", greening has become an inevitable trend of its development. According to the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change, the carbon reduction effect of green buildings is the highest of any industry. Under the goal of carbon neutrality, the development of ultra-low energy buildings, near-zero energy buildings and related industries will enter an accelerated period in the next few years.

In 2020, China's building energy consumption reached 1.089 billion tons of coal equivalent, more than three times the 2000 figure. The introduction of energy-saving building design standards and the implementation of energy-saving renovation of existing buildings will save 420 billion kWh of electricity and 260 million tons of conventional coal each year and reduce CO₂ and other greenhouse gas emissions by 846 million tons. Thus, the development of energy efficiency in buildings and green buildings is relevant for China [1].

Green buildings improve the efficiency of building resource utilization, thereby reducing its negative impact on the environment at all stages of its life cycle, laying the foundation for the sustainable development of the human environment, contributing to the sustainable development of human beings, and improving the quality of life of citizens.

Historical aspects of the development of the concept of "green" building.

As early as the 1970s, in the context of the energy crisis, the concept of green buildings appeared. A brief development of green buildings is shown in Figure 1.1 below. In the past few decades, green buildings have grown from developed countries. From the beginning, from the rich expansion of theoretical concepts to the actual practice of projects, green buildings have gradually developed from a single green technology to a single green building and even a green building system. The research coverage of factors is also becoming more and more extensive [2].

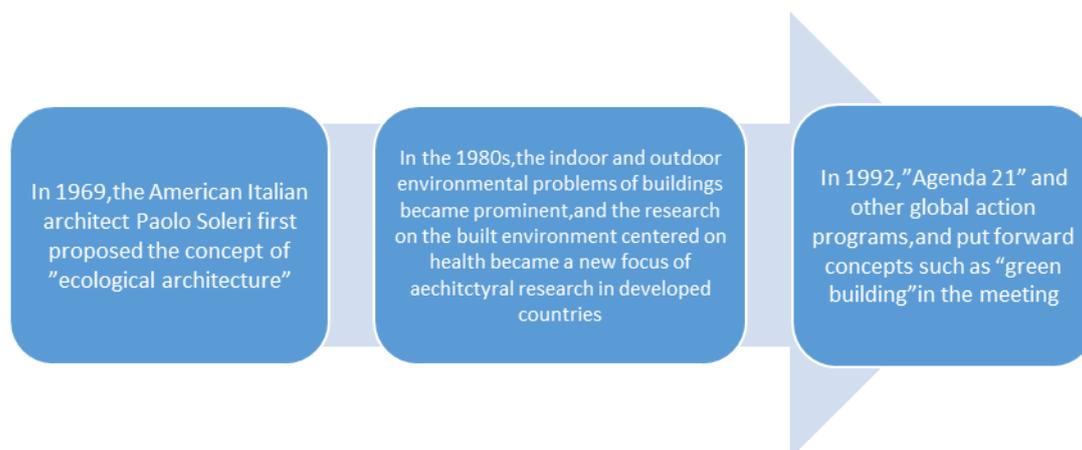


Figure 1. – Brief outline of green building development
(Image source: The author draws it according to the data)

The traditional green building evaluation standards were born from the green concepts and norms of many researchers. Most of these standards are based on objective and fixed perspectives such as the energy saving rate, water saving rate, and the proportion of materials used for energy saving and emission reduction in green buildings.

Quantitative parameter indicators to define green building: During the life cycle of building construction and use process, including pre-site selection, building design, engineering construction, building operations, post-building maintenance and renovation, it is necessary to save resources and Maximum environmental responsibility [3]. In the whole life cycle, save resources, protect the environment, reduce pollution, provide people with healthy, suitable and efficient use space, and maximize the realization of high-quality buildings that live in harmony with nature [4]. The new green building construction technology requires people's environmental protection awareness to keep pace with the times. At the same time, the concept of the original standard will be retained, which is a dialectical inheritance, so that green buildings are more in line with the trend of the times in today's society and better serve human beings. In general, it is not difficult to see from the literal definition that each country may have its own set of green buildings, but in fact, the core concepts and ideas are not much different.

Due to the huge differences in natural resources, human environment, economic conditions and other factors in modern green buildings around the world, it is necessary to comprehensively refer to various factors when evaluating the same green building; the application of green building technology will also vary with different building types. It is not difficult to understand the difference. Therefore, different countries and regions will adapt to local conditions according to their own actual conditions. The traditional standards for green buildings are one-sided, isolated and static. The standards of different times in different regions, traditional green building standards cannot define modern green buildings. We need a holistic, joint, and campaign criteria for evaluating green buildings [5].

The regulatory framework for the adoption of "green" technologies in modern buildings is based on carbon emissions. Carbon emissions are defined as the amount of greenhouse gas emissions produced when a product is produced, transported, used and recycled. Buildings themselves are large energy consumers and have a significant impact on the environment. According to statistics, 50% of the world's energy is used for construction, and more than 50% of the material raw materials obtained by humans from nature are also used to build various buildings and their ancillary facilities. In addition, air pollution, light pollution and electromagnetic pollution caused by buildings account for more than 1/3 of the total environmental pollution. 40% of the waste generated by human activities is construction waste. For developing countries, due to the influx of a large number of people into cities, the demand for housing, roads, underground works, and public facilities is getting higher and higher, and the energy consumption is also increasing. Resources create irreconcilable contradictions [6].

In the first half of the 21st century, China's resource supply situation is much more severe than in the 20th century, especially the shortage of water, arable land and petroleum energy. If no corresponding effective measures are taken, the material base of natural resources for economic prosperity will appear a comprehensive crisis. In the face of such severe resource shortage and environmental crisis, saving resources is a realistic choice for China to ease resource constraints. At present, China's construction industry is a large consumer of land, water, consumables and energy, and there are serious problems such as waste of resources and environmental pollution. It is imperative to vigorously develop building energy conservation and actively promote green buildings. This is of strategic significance for fully implementing the Scientific Outlook on Development and building a resource-saving and environment-friendly society [7].

Vigorously developing green buildings is an urgent need to reduce environmental pollution, protect the ecological environment, improve the quality of life, and protect people's health. At present, rural environmental problems are becoming more and more prominent, domestic pollution is intensifying, industrial and mining pollution is prominent, and drinking water safety has hidden dangers, showing a trend of pollution shifting from cities to rural areas. The construction industry is one of the main sources of pollution. To change this situation, it is necessary to vigorously promote the green building system and ecological city construction with the main features of saving resources, protecting the environment and reducing pollution. This is an urgent need to protect the health of urban and rural people [8].

The rise of green building in the United States began with the 1973 oil embargo crisis, and energy costs became public concern, and some office buildings with sustainable measures began to appear. In the early 1980s, the United States began to develop building energy efficiency, and many private green building organizations took this opportunity to emerge and grow in more than ten years. The United States Green Building Council (USGBC) established in 1993 is a typical representative of these organizations, which successfully guides green building to a more systematic level [9].

The development of green buildings in the United States can be divided into three stages:

Start-up stage: marked by the establishment of the United States Green Building Council (USGBC) in 1993, a third-party independent agency, in 1998, the agency developed a green building evaluation system - LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), and began to carry out Evaluate. Under the promotion of this institution, the concept of green building has been gradually promoted, followed by a change in policy focus [10].

Development stage: marked by the promulgation of the 2005 "Energy Policy Act", which embodies the country's energy development strategy, the Act's attention to building energy efficiency is unprecedented.

Expansion stage: marked by the "Economic Stimulus Act" signed by Obama in 2009, there are more than 25 billion US dollars in the bill to promote the development of green buildings and make it an important part of energy reform and economic recovery [11].

A major contribution of the USGBC is the initiation and implementation of the LEED Green Building Evaluation Standard, a third-party certified, quantifiable green building solution applicable to many types of buildings. The LEED standard is one of the most influential green building evaluation standards in the world. China, Australia, Spain, Japan, India and other countries have all provided reference for the formulation of their own green building evaluation standards through the study of LEED standards. The LEED standard is also one of the green building evaluation standards with the greatest market promotion in the world.

The wide application of LEED standards has promoted the rapid development of green buildings, and at the same time, feedback from green building practices has also promoted the continuous updating of LEED standards. In November 2013, the LEED Standard V4 version was released after 6 consultations; in April 2016, the LEED Standard V4 version was most recently updated [12].

The LEED plaque on a building is a mark of quality and achievement in green building. Leaders across the globe have made LEED the most widely used green building rating system in the world with 1.85 million square feet of construction space certifying every day. LEED certification provides independent verification of a building or neighborhood's green features, allowing for the design, construction, operations and maintenance of resource-efficient, high-performing, healthy, cost-effective buildings. LEED is the triple bottom line in action, benefiting people, planet and profit [13].

LEED projects are responsible for diverting over 80 million tons of waste from landfills. Compared to the average commercial building, LEED Gold buildings in the General Services Administration's portfolio consume a quarter less energy and generate 34% lower greenhouse gas emissions [14].

"More than 79,000 projects are participating in LEED across 160 countries and territories, comprising over 15 billion square feet. You've seen a LEED plaque before – USGBC estimates that nearly 5 million people experience a LEED building every day. Many of the world's most well-known buildings have earned LEED certification" [15].

Based on the number of points achieved, a project earns one of four LEED rating levels (Figure 2.):



Figure 2. – LEED rating levels [16]

LEED works for all buildings at all phases of development, from new construction to existing buildings, as well as all building sectors, from homes to hospitals to corporate headquarters.

The development of green buildings in the United States presents the following characteristics:

The legal system is perfect and the policy foundation is good: the federal government has issued a series of policies and regulations such as the energy bill and the presidential decree, and the states have proposed development goals and formulated mandatory standards;

Improve the supporting system to ensure the smooth development of various tasks: establish supporting systems in combination with relevant policies, introduce a number of incentive policies, and formulate mandatory standards to establish a certification system;

Emphasize economic incentives and focus on mobilizing market enthusiasm: promote through various energy efficiency contracts, establishment of public welfare funds, cash subsidies, tax credits, mortgage loans, accelerated depreciation, etc.;

Emphasize third-party mechanisms to ensure fair and impartial evaluation: attach importance to third-party organizations for certification, such as LEEDNGBS Energy Star and other evaluation systems;

Emphasize Life Cycle Cost Analysis: Emphasize during Capitol Energy Efficiency Programs and Support for Renewable Energy to identify appropriate measures and technologies [17].

Singapore's natural resources are very scarce, and a large amount of water, electricity, building materials, etc. are all dependent on imports. At the same time, the consumption of the construction industry is huge, so sustainable development has to become an important issue for Singapore's national development.

The second oil crisis had a huge impact on a country like Singapore that relied on imported energy. In 1980, the Singapore Building and Construction Authority (BCA) promoted energy conservation in the building industry by promulgating the "Building Energy Conservation Standard". The road to energy-saving construction.

In 2004, with the support of the National Environment Agency, BCA developed the evaluation standard-green mark, and in January of the following year, it began to implement the green mark certification program to raise the awareness of the whole society. As of May 2013, Singapore has passed the green mark certification. There are 1,574 projects in total, with a construction area of 46.9 million square meters, accounting for 20% of the country's total construction area. At the same time, the country has formulated the development goals and plans for green buildings, namely: 80% of new buildings in 30 years will be green buildings, and energy efficiency will be increased by 35% compared with 2005. The "Second Phase Green Building Master Plan" promotes the development of green buildings, the government takes the lead in construction, rewards high-star projects, strengthens training and promotion, and formulates the "Third Phase Green Building Master Plan" [18].

Singapore's green building development policy presents the following characteristics:

1. The government takes the lead, forcing the public buildings invested by itself to pass the green standard first, and on the other hand, take different measures for different objects, and formulate minimum performance standards to meet the promotion of other types of buildings;
2. Pay attention to the promotion of ideas. The government has always emphasized the promotion of green buildings to the public during the promotion process, and actively studied and identified the advantages of green buildings in terms of investment income;
3. Focus on professional certification and training, and standardize the market access mechanism: Singapore has established a sound social and university training mechanism, and formulated a related vocational certification mechanism;
4. Improve the supporting mechanism: Singapore has established relevant supporting systems while improving the evaluation system, which provides a basis for developers and owners to choose green building materials, home appliances and other related products when constructing and renovating projects. At the same time, it will drive the development of upstream and downstream industrial chains and "green" upgrades, improve the environment, and ease the pressure on resources and energy [19].

Comparative analysis of existing "green" building standards

The first corporate green standard for assessing the performance of buildings at the international level BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) was developed in the UK in 1990.

Currently, this system is represented in 71 countries of the world, 532,615 certificates of conformity have been issued [20]. In its own way, the BREEAM system is represented in Northern Europe (3,567 projects) and Western Europe (739 projects) [21].

The certification system itself includes 9 sections: Management; Health; Energy; Transport; Water; Materials; Recycling; Land use; Pollution.

In 1993, the LEED certification system appeared in the United States as a standard for measuring energy efficient, environmentally friendly and sustainable (sustainable) building projects to facilitate the transition of the building industry to the design, construction and operation of such buildings.



Figure 3. – BRE Environmental Assessment Method



Figure 4. – International LEED system

LEED-2009 (v3) has six sections [22]:

- Construction site (building site), taking into account future needs (sustainable sites, SS);
- Water efficiency (WE);
- Energy consumption and atmosphere parameters (energy and atmosphere, EA);
- Consumption of materials and resources (materials and resources, MR);
- Indoor environmental quality (IEQ);
- Innovation in design (innovation in design, ID).

Each of the sections includes a certain set of specific requirements. For example, the item "efficient water consumption" includes three requirements: the study of the natural landscape; innovative wastewater treatment technologies; reduction in water consumption.

In Germany, the German Sustainable Building Council (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V., DGNB) introduced its own green building certification in 2009 [23].



Figure 5. – German Sustainable Building Council (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V., DGNB) [23]

This standard is based on a rating on six aspects: ecology, economics, socio-cultural and functional aspects, methods, processes, location. Initially, this standard was developed for new construction of administrative and office buildings. Then other types were added, in particular commercial, industrial, institutional and residential buildings [24].

The series currently includes 21 standards. Somewhat earlier in the United States, and a little later - in the EU countries, regional and interstate standards for sustainable development in construction are being formalized. The basic European document on the assessment of sustainable buildings CEN - EN 15643-1 "Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework" appeared in 2010.

Research on green building labelling systems was launched in Mainland China in the late 1990s. The first trial was the 'Chinese Eco-housing Rating System' (CEHRS), developed in 2001 with a checklist structure similar to that of LEED. In 2002, the Chinese Ministry of Science and Technology (MOST) initiated a project for developing a green building assessment system for the 2008 Olympics' buildings. Based on the experience obtained through the development and application of CEHRS, using a checklist system was found to be impractical for a number of reasons; therefore, the research group set out to find better experience and a more reasonable system configuration. As a result – and contrary to CEHRS – the first formal green building rating system in Mainland China, the Green Olympic Building Assessment System (GOBAS), adopted the scoring system framework of CASBEE: 5-points scores and a hierarchical scoring system with weighting coefficients, as well as a 2-D chart analysing the relationship between the quality of the internal environment and the load on the external environment. GOBAS was issued in 2003 and applied to the design of many buildings designed for the 2008 Beijing Olympics. These are the elements which laid a foundation for the subsequent development of Chinese green building evaluation standards [25].

The current national standard Green Building Evaluation Standard GB/T 50378 [26], usually referred to as the «3-star standard», was issued in 2006, has a checklist-type rating system: a building or building cluster will be assessed along six topics: Site and outdoor environment, Energy efficiency, Water efficiency, Materials & resources, Indoor environment quality and Operation & management.

Each topic is evaluated independently, and scores for different topics cannot be added together. The rating results are labelled as 1-star, 2-star and 3-star of which 3-star is the highest evaluation.

Residential buildings and public buildings are evaluated with different articles and indexes, with commercial buildings being regarded as a kind of public buildings.

The rating system divides the assessment process into two stages: (1) Planning and design stage (shortened to «design stage»), (2) Acceptance and operation stage (shortened to «operation stage»). Different elements are assessed at each stage. At the planning and design stage, design documents are assessed, and the green design label awarded is only valid for one year. The formal green label will be issued after one year of operation, with a rating based on operation data.

So far, the local administrative departments in charge of construction in about 20 provinces and municipalities have issued local green building evaluation standards adapted to the local climate, resources, economy level and culture [27].

The purpose of the analysis of "green" building certifications is to demonstrate the various emphases on the subject, each system requiring the same preconditions. The categories of application assessments are a combination, and the three certification systems will have parts that are currently in common use. LEED and its parts serve as the foundation, and the remaining two covered parts combine and/or add to the certification system. Table 2 shows the use of all categories for analysis of their composition.

A separate analysis is performed for each system. In addition, assessments were performed individually, categorized by each criterion group and listed in tables (Tables 3-5). This is compared to the average percentage of the overall contribution to obtain the average percentage of green building certification system scores for each group calculated for the different types of buildings certified by the system, such as: office buildings, shopping malls or educational buildings. Display percentages within the average percentage range. During the analysis of BREEAM and DGNB, their associated parts were compared with the baseline group. LEED provides the

benchmark group for the vast majority of them, so no additional column listing LEED as a comparison is inevitable, in the case of LEED, the first column is named the benchmark group, the second column shows the criteria involved, and the last column Displays the average percentage contribution to the total score. For BREEAM and DENB, an additional column that provides their own named part of the column after the first column.

Table 2. – Formation of Benchmark Categories

Categories	LEED	BREEAM	DGNB
Sustainable Sites	Sustainable Sites	-	-
Water Efficiency	Water Efficiency	-	-
Energy and Atmosphere	Energy and Atmosphere	-	-
Materials and Resources	Materials and Resources	-	-
Indoor Environment Quality	Indoor Environment Quality	-	-
Innovation and Design Process	Innovation and Design Process	-	-
Regional Priority Credits	Regional Priority Credits	-	-
Construction and Management	-	Management	Construction
Life Cycle Costs	-	-	▪ Life Cycle Cost ▪ Progress of Value
Technical Aspects	-	-	Technical Quality

The following table (Tables 3 – 5) shows an example calculation using the concept of comparing green building certifications. The average percentage of ratings determines the contribution to the total score to demonstrate the influence of various factors.

Table 3. – Example of Calculating Percentage Contribution with LEED

Project Type	Percentage Contribution to Overall Score
New Construction	9.1%
Schools	10.0%
Retail	9.1%
Healthcare	8.2%
Average	9.1%

Table 4. – Example of Calculating Percentage Contribution with BREEAM

Project Type	Percentage Contribution to Overall Score
Office	6.0%
Retail	6.0%
Industrial	6.0%
Healthcare	6.0%
School	6.0%
Higher Education	6.0%
Prisons	6.0%
Courts	6.0%
Multiresidential	6.0%
Other buildings	6.0%
Average	6.0%

Table 5. – Example of Calculating Percentage Contribution with DGNB

Project Type	Percentage Contribution to Overall Score
Office	0.0% (Considered partially in DGNB category “Resources and Waste”)
Education	
Hotel	
Industrial	
Multiresidential	
Retail	
Average	0.0%

Conclusions:

1. In the review of the green building policies, regulations and evaluation systems of the United States and other countries, these countries have adopted different development methods and have entered a relatively mature implementation stage. The United States mainly develops by improving the legal and regulatory system, while Singapore tends to It is necessary to use special actions to penetrate the legal system to accelerate development.

2. In the standard system of green buildings in developed countries, in addition to evaluation standards, there are more mandatory or recommended design codes and standards. Only by simultaneously setting valuation standards and building standards can the adoption of green buildings be promoted.

3. The standards of different countries contain some unique evaluation criteria due to socio-cultural, economic and other characteristics. This proves the impossibility of fully adopting any foreign assessment system. For each country, it is relevant to develop its own standard, adapted to the conditions of the country.

4. China's existing evaluation standards were first revised in 2014 from the introduction in 2006, which took 8 years, while the evaluation standard system of developed countries is adjusted every 1-2 years on average to better adapt to the development of society.

REFERENCES

1. Green Building Incentives (绿色建筑激励政策[电子资源] [Electronic Resources]. – Access mode: <https://www.gbwindows.net/news/1573.html>. – Access date: 28.10.2021 (in Chinese)
2. Kaiyan, Wang Yongbin. Green residential model [M]. China Construction Industry Press. – 2011. – PP. 33 – 34.
3. Song Jian. Research on quantitative evaluation model and case application of renewable energy utilization in green buildings [D]. Tianjin University. – 2014. – № 23. – P. 75.
4. Evaluation Standards for Green Buildings [S]. Beijing: China Construction Industry Press. – 2019. – № 2. – P. 30.
5. Green Building Standards And Certification Systems [Electronic resource] // Whole Building Design Guide. – Access mode: <https://wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems>. – Access date: 20.08.2022
6. Green Roof. Planting Techniques Out of Ground [Electronic Resources]. – Access mode: <https://baike.baidu.com/item/>. – Access date: 05.09.2022
7. Chen, P.-H., Ong, C.-F., & Hsu, S.-C. Understanding the relationships between environmental management practices and financial performances of multinational construction firms // Journal of Cleaner Production. – 2016. – №139. –PP. 750–760. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.109>
8. Wang, W., Zmeureanu, R., & Rivard, H. (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization // Building and Environment. – 40. – PP.1512–1525. – DOI:10.1016/j.buildenv.2004.11.017
9. U.S. Green Building Council [Electronic resource] // wikipedia. – Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/U.S.Green_Building_Council. – Access date: 22.08.2022
10. Green Technology News [Electronic resource] // Green Technology. – Access mode: https://web.archive.org/web/20081017061554/http://www.green-technology.org/green_technology_magazine/chps_story.htm. – Access date: 23.08.2022
11. What Green New Deal advocates can learn from the 2009 economic stimulus act [Electronic resource] // Theconversation. – Access mode: <https://theconversation.com/what-green-new-deal-advocates-can-learn-from-the-2009-economic-stimulus-act-111577>. – Access date: 10.07.2022
12. LEED Credits [Electronic resource]. – Access mode: <https://leeduser.buildinggreen.com/browse>. – Access date: 20.08.2022
13. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) [Electronic resource] // GREEN CITY TIMES. – Access mode: <https://www.greencitytimes.com/leed-leadership-in-energy-and-environmental-design>. – Access date: 20.07.2022
14. Sustainable Design and the LEED Rating [Electronic resource] // CLAYBRICK . – Access mode: <https://www.claybrick.org/sustainable-design-and-leed-rating>. – Access date: 21.07.2022
15. LEED Certification: How to Get Your Building LEED Certified [Electronic resource] // Rubicon. – Access mode: <https://www.rubicon.com/blog/leed-certification-101>. – Access date: 24.07.2022
16. LEED v4 Reference Guide for Building Design and Construction. Washington, DC: USGBC. – 2013. – PP. 695–710
17. Yinqi Zhang A Survey of the Status and Challenges of Green Building Development in Various Countries / Yinqi Zhang , He Wang, Weijun Gao , Fan Wang, Nan Zhou, Daniel M. Kammen and Xiaoyu Ying // Sustainability 11(19). – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/336139122_A_Survey_of_the_Status_and_Challenges_of_Green_Building_Development_in_Various_Countries. – Access date: 24.07.2022. – DOI:10.3390/su11195385
18. This City Aims to Be the World's Greenest [Electronic resource] // National geographic. – Access mode: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/green-urban-landscape-cities-Singapore>. – Access date: 24.07.2022
19. From Singapore to Rio Green Buildings Keep Tropical Tenants Cool [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.bloomberg.com/news/Features/2021-05-06/these-green-buildings-keep-people-cool-in-singapore-brazil-and-hong-kong?leadSource=verify%20wall>. – Access date: 25.07.2022
20. Сайт стандарта BREEAM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.breeam.com/index.jsp>.

21. Консалтинговая фирма JLL – Обзор рынка экологического строительства в России. Тренды и прогнозы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jll.ru/russia/ru-ru/>
22. LEED 2009 Vision & Executive Summary [Electronic Resources]. - Access mode: <https://sallan.org/pdfs/docs/Docs4121.pdf> – Access date: 03.10.2022
23. DGNB [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.dgnb.de/en/index.php>. – Access date: 20.08.2022
24. List of building types [Electronic Resources]- Access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_building_types. – Access date: 04.09.2022
25. Zhang Zhiyong, Jiang Tao. Interpretation of green building evaluation system from the perspective of ecological design – taking CASBEE, LEED, COBAS as examples // Journal of Chongqing Jianzhu University. – August 2006. – Issue 4. – Volume 28 (in Chinese)
26. GB/T 50378-2019 [Electronic Resources]. – Access mode: <https://www.chinesestandard.net/PDF.aspx/GBT50378-2019>. – Access date: 13.06.2022
27. Yingxin Zhua, Ling Song and Jerome Damiens State of the art of green building standards and labelling system development in China // International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. – 2013. – Vol. 4, No. 3. – PP.178–184, <http://dx.doi.org/10.1080/2093761X.2013.837216>

UDC 692.435

REVIEW AND COMPARISON OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR GREEN ROOFS WITH EXTENSIVE LANDSCAPING

ZHANG XINXIN
(Presented by: *L.M. Parfenova*)

Key positions in the design of "green" roofs were identified, which provide advantages in the certification of buildings according to LEED standards. Modeling of organizational and technological processes for three variants of green roofs with extensive gardening was carried out

A large number of developments for green roofs are proposed in patents. A recycled green roof is proposed in patent No. 281624, MKI E 04 D 11/00, 1990 (Germany). A recycled roof provides for the use of waste, which, in combination with concrete with monofractional aggregate, forms a vegetative, filtering and protective layers, as well as a root boundary. The nutrient solution-impregnated edge mat covers the cultivated soil while reducing water pressure. The waste is placed in the form of prefabricated boxes and, after the preparation of the green roof surfaces, is covered with rolled turf. Mesh waste from textile production provides, as a filter layer, cleaning and draining of pressure water through fungicidal concrete, which dries quickly due to lateral ventilation and prevents root germination. The undulating bottom surface of the concrete compacts the fine stamping waste laid as a protective layer for the high polymer waterproofing sheets and drains the accumulated water through flat troughs that can be walked on by maintenance personnel.

The use of slag to make a drainage layer is proposed in application No. 4220334 MKI E 04 D 11/00 "Greening of flat roofs" (Germany) When landscaping flat roofs, the following layers are provided: insulating against root germination, a drainage layer, a permeable separating layer and a vegetative layer; their simplest device is provided with an increased ability to accumulate moisture. The drainage layer is made up of prepared slabs of combined slags with a specific bulk density of 80 - 120 kg/m³. The drainage layer is covered with a separating layer, which is a Specialized materials for "green" roofs are produced by many foreign companies: ZinCo (Germany), Index (Italy), Delta, Flordepot, Imperbel and TechnoNIKOL (Russia).

Roof greening systems with a minimum number of elements are of interest. Bauder companies greening of large areas with Bauder SDF mat: protective, drainage and filtering layer in one material (Figure 1) [1].



1 – landscaping; 2 – substrate - based on minerals 90% and 10% organic; 3 – protective, drainage and filter layer - Bauder SDF (polyamide drainage material - monofilament, drainage density 400 g/m², material of the protective and filter layers polyester, density 200 g/m², thickness 20 mm, total weight 600 g/m²)

Figure 1. – Green roof construction with Bauder SDF mats [1]

It is known to cover the green roof "ZinKo" [2]. A single drainage-accumulative and protective layer is located on the entire surface of the roof. Additional structures and coatings are located and attached directly to it. Drainage is carried out along the drainage layer, so the system is not tied to internal communications. The ZinCo green roofing system consists of five main components.

Dörken GmbH & Co. KG suggests using the DELTA drainage membrane as a filter layer. DELTA-TERRAXX and DELTA-FLORAXX TOP membranes combine filtering, drainage and protective functions. As a separate filter layer, it is proposed to use non-woven thermally bonded geotextile with high tensile strength and an optimal parameter of 120-150 microns (open hole size) for simultaneous filtering and drainage functions (Figure 2) [3].

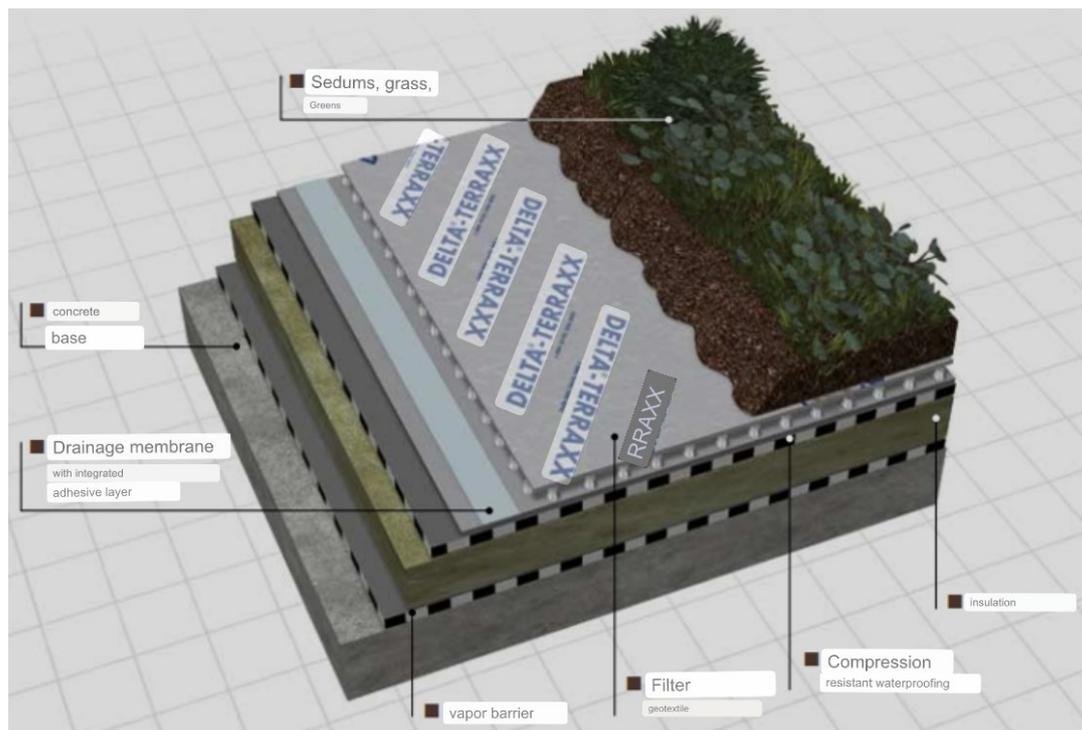
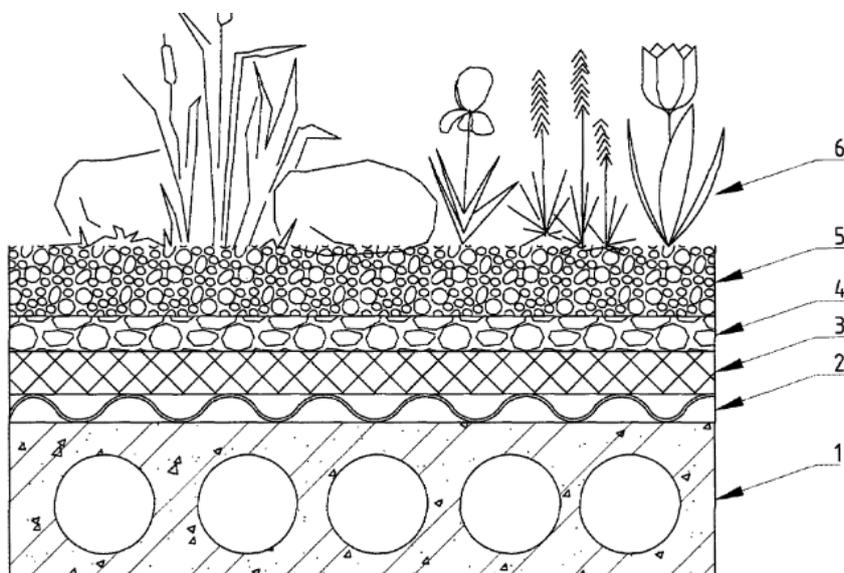


Figure 2. – DELTA-TERRAXX roof system with extensive greenery [61]

The design of the green roof (patent RU No. 163334 U1, E04D 11/00, published on 07/10/2016 [4]) includes a reinforced concrete floor slab, protective, filtering and plant layers, while ondulin is used as a protective layer, additionally includes a heat-insulating layer and a layer of fixing soil, consisting of loam, monomeric acid waste, diluted liquid glass with a density of up to 1.13 g/cm³ and a solution of calcium chloride (Figure 3).



1 – reinforced concrete slab with cement joints and bitumen coating; 2 – protective layer - ondulin; 3 – heat-insulating layer; 4 – filter layer of peat and/or gravel; 5 – fixing soil mixture, consisting of loam, monomeric acid waste, diluted liquid glass with a density of up to 1.13 g / cm³ and calcium chloride solution; 6 – plant layer

Figure 3. – Green roof construction with soil fixing mixture

A multifunctional design that allows you to obtain economic and social benefits from its use throughout the year (pool, cafe, garden) is proposed in a patent RU № 191863 U1 E04D 11/00 [5].

The green roof structure includes a reinforced concrete floor slab, euroroofing material, consisting of a durable non-rotting base, supports made of high-strength propylene, with the possibility of increasing the support due to an additional insert of 60 mm, two layers of ondulin, in the middle - waterproofing with liquid rubber, the central part is further terraced board, along the edges - a drainage layer, soil in the form of a substrate, green flooring - green spaces (Figure 4).

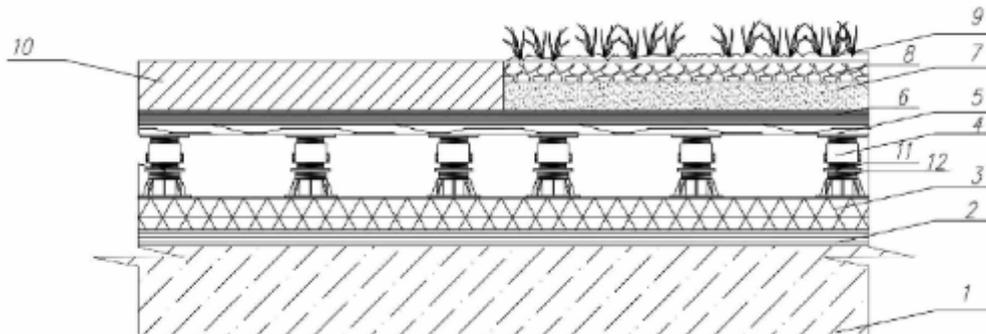


Figure 4. – Multifunctional green roof construction [5]

The design consists of two parts. The common base is a reinforced concrete floor slab 1, on which the following layers are laid: Euroruburoid HMP 2, thermal insulation ISOVER 3, adjustable supports Forest Style 4, ondulin 5, waterproofing with liquid rubber 6. Support 4 is a plate with four mounting holes for mounting, made of steel coated with anti-corrosion coating. A galvanized stud 11, 15 cm in size, with a thread to adjust the height of support 4, is welded to support 4. The position, angle of inclination of support 4 is fixed with a lock nut 12. The following layers are located above support 4: for a green roof - this is a drainage layer 7, soil 8, green spaces 9, for the roof under the pool - terrace board CM 10. The design of the green roof is arranged as follows: on a reinforced concrete floor slab 1 installed with sealing of joints with cement and coating with bitumen, KhMP 2 euro roofing material is laid, consisting of a solid non-rotting base, which provides flexibility, heat resistance and water resistance; then ISOVER 3 thermal insulation, which creates thermal protection and prevents the formation of condensate; then Forest Style 4 supports made of high-strength propylene with thermal endurance from -20C to +85C. Supports 4 are resistant to destruction by sunlight, have the possibility of increasing due to an additional insert of 60 mm, a thrust bearing diameter of 20 cm allows using on a "soft" roof and on compacted soil 8; at the edges of the drainage layer 7 ENKADRAIN PREMIUM resistant to aggressive environments, resistant to decay and fungus, provides filtration and protection of the waterproofing layer 6; two layers of ondulin 5 brand for the entire width of the roof provides strength and frost resistance, in the middle waterproofing 6 with liquid rubber is non-toxic, resistant to deformation, atmospheric and biological influences, soil 8 (substrate) is an environmentally friendly product, without chemical additives, it is hydrophobic - i.e. it easily releases accumulated moisture and nutrients to plants, it is highly resistant to decomposition, it can be used repeatedly, the CM natur 10 terrace board goes further along the central part - it is resistant to decay and damage by mold, fungi, insects, does not emit formaldehyde, phenol or other harmful substances, keeps the surface non-slippery even in the rain, along the edges of the green flooring - green spaces. Such a roofing device works as follows. Two types of coverage are combined: the first type is the side, which allows you to use the green roof all year round, and the central part - under the pool, and in winter under the cafe [6].

The installation of a green roof is a complex technological process in which the number of technological operations performed depends on the type of green roof landscaping. Green roofs are divided into roofs with mobile (container) and stationary type of greenery. Landscaped roofs with stationary landscaping, depending on the predominant type of plants used, are divided into three types:

- with intensive landscaping;
- with semi-intensive landscaping;
- with extensive landscaping.

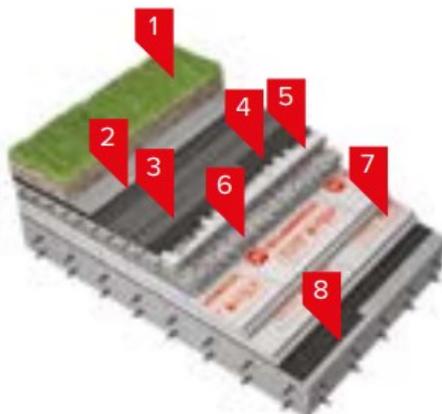
Mobile (or container) gardening of roofs is implemented by planting plants in tubs (modules, containers) with further installation on an exploited roof. Mobile green roof systems are equipped with devices for installing and fastening modules to each other - connecting elements that are constituent parts of the modules or can be separate components of the system.

Considering the organizational, technical and constructive solutions of modern green roofs, we can distinguish two main methods for their construction: the traditional method of building green roofs, which is the

process of step-by-step formation of each layer of a green roof directly on the base surface and provides for the presence of many working operations, including the installation of a vegetative layer, a substrate, as well as special layers, such as a drainage layer, a drainage-water storage layer, a waterproofing layer and etc; a method of partially enlarged assembly, implemented with a mobile (or container) roof gardening system. Thanks to the use of containers, there is a reduction in labor costs at the stage of installing a gardening system.

Modeling of organizational and technological processes was carried out for three variants of the green roof:

A) with extensive landscaping TN ROOFING STANDARD GREEN (TechnoNIKOL) (Figure 5) [7].



1 – soil with green spaces; 2 – drainage membrane PLANTER geo;
3 – waterproofing - Technoelast EPP in two layers; 4 – Bituminous primer TECHNINOL No. 01;
5 – base under the roof - reinforced cement-sand screed; 6 – slope-forming layer - expanded clay concrete;
7 – heat-insulating layer - XPS TECHNINOL CARBON PROF 300;
8 – vapor barrier layer – Technobarrier

Figure 5. – Green roof with fixed landscaping TN ROOFING STANDARD GREEN (TechnoNIKOL)

B) with extensive landscaping Dörken GmbH & Co. KG with a drainage membrane that combines a protective, drainage and filter layer in one material (Figure 2);

C) multifunctional roof with extensive landscaping (Figure 4).

Table 1 presents a list of technological operations for the installation of a green roof for three options. The following designations are accepted in the table: Q1A, Q2A... Q8A – labor intensity of the green roof device during technological operations 1, 2...8; A, B, C - green roof construction methods; 1, 2...8 - the number of technological operations for the installation of a green roof.

Determining the cost of 1 m² of a green roof according to the proposed options showed that the difference in the cost of the green roof options under consideration is due to the cost of materials and work on the installation of Forest Style adjustable supports (Figure 6) and decking (option C), the cost of drainage membranes. Option C has the highest green roof cost.

The drainage membrane with geotextile DELTA®-TERRAXX (Germany) is sold in rolls with an area of 30 m², the cost of a roll is 57.60 Belarusian rubles (as of 11/01/2022, source: doms.by online store). The cost per square meter is \$0.77. DELTA®-TERRAXX is a profiled membrane - virgin high density polyethylene with an embedded self-adhesive tape, a filter layer of thermally bonded non-woven geotextile (virgin polypropylene). Adhesive layer of modified acrylate (Figure 7, a).



Figure 6. – The use of screw supports in the construction of green roofs TechnoNIKOL

Table 1. – The list of works for the installation of a green roof with extensive landscaping

Name of technological operations	Option A- TN ROOF STANDARD GREEN (TechnoNicol)	Option B - DELTA-TERRAXX (DELTA®System)	Option C - multifunctional green roof (patent RU No. 191863 U1 E04D 11/00)
Specific labor costs at the stage of roofing, man-hour / 100m ²	46	42	55
8 Cover device for cafe, swimming pool	- (Q8A)	- (Q8B)	deck board installation (Q8C)
7 Arrangement of the landscaping system	backfilling, landscaping (Q7A)	backfilling, landscaping (Q7B)	backfilling, landscaping (Q7C)
6 Laying the drainage layer	drainage membrane PLANTER geo (Q6A)	drainage membrane with geotextile DELTA®-TERRAXX (Q6B)	drainage layer ENKADRAIN PREMIUM (Q6C)
5 Waterproofing device	waterproofing - Technoelast EPP in two layers; bituminous primer TECHNINICOL (Q5A)	waterproofing - TPO, PVC, EPDM membrane (Q5B)	waterproofing - liquid rubber Hydra between layers of Ondulin (Q5C)
4 Device cement-sand screed	reinforced cement-sand screed (Q4A)	- (Q4B)	Ondulin 2 layers (Q4C)
3 Laying the slope layer	expanded clay concrete (Q3A)	- (Q3B)	Forest Style adjustable feet (Q3C)
2 Laying the thermal insulation layer	heat-insulating layer – XPS TECHNINICOL CARBON PROF 300 (Q2A)	slab insulation (Q2B)	thermal insulation ISOVER3 (Q2C)
1 Laying the vapor layer	vapor barrier layer - Technobarrier (Q1A)	vapor barrier layer (Q1B)	vapor barrier layer - Eurorubroid HMP (Q1C)
Support structure device (Qbs)			

PLANTER Geo profiled membrane is a high-density polyethylene (HDPE) sheet with a spike height of 8.5 mm, with a layer of thermally bonded geotextile glued to it. Thanks to the protrusions on the surface of the membrane, channels are formed for the rapid removal of water. The membrane consists of two levels: geotextile collects water, and drainage channels direct it (Figure 7, b). The price per square meter is 6.7 US dollars (as of 11/01/2022, source: TechnoNicol online store shop.tn.ru).

ENKADRAIN® Premium ST is a polymeric geocomposite drainage mat consisting of two external filters made of heat-sealed non-woven material with a continuous polyester/polyamide thread inserted with a three-dimensional drainage structure with a high vacuum index of polyamide monofilaments. The three elements are connected together by a thermal seal at the points of contact (Figure 7, c). Price per square meter 9 US dollars (as of 11.01.2022) [8].



a – drainage membrane with DELTA®-TERRAXX geotextile; b – PLANTER Geo profiled membrane; c – polymeric geocomposite drainage mat ENKADRAIN® Premium ST

Figure 7. – Drainage layer materials

In the considered options, polymeric materials are used for the drainage layer, the production and processing of which cause significant harm to the environment. The use of such materials will not provide benefits for building LEED certification.

A significant contribution to the creation of a "green" building is made by the use of environmentally friendly, "green" building and finishing materials for its construction.

The considered types of green roofs are a multilayer structure. For all three types of green roofs, a characteristic feature is an increase in labor costs, construction costs, a large amount of waste during the dismantling of a green roof in case of a change in functionality. All these factors will hinder the implementation of such green roof structures in green buildings. The first direction of improving the organizational and technological solutions of green roofs for green buildings is to reduce the excessive use of plastics and artificial sponge elements (mineral wool, dense polystyrene), polystyrene or other unnecessary components on green roofs. The second direction should be to simplify the design of green roofs. Many components of green roofs provide little or no direct benefit to vegetation. However, they increase costs and reduce reuse.

REFERENCES

1. Green roof. Design Considerations [Electronic Resources]. – Access address: <https://www.bauder.co.uk/technical-centre/downloads/design-guides/green-roof-design-guide.pdf>. – Access date: 07.09.2022
2. ZinCo green roof [Electronic Resources]. – Access address: <https://zinco-greenroof.com/>. – Access date: 07.09.2022
3. DELTA®System. Эксплуатируемые и зелёные кровли: Техническое руководство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tophouse.ru/brochures/delta-dorken/-i-ploskie-kryishi-2014-23062014-190224.pdf>. – Дата доступа: 30.09.2022
4. Petrenko L. K. (RU), Manzhilevskaya S. E. (RU), Voit A. V. (RU) Green Roof Design: Patent RU No. 163334 U1, E04D 11/00, published on 07/10/2016
5. Petrenko L.K. (RU), Manzhilevskaya S.E. (RU), Timoshenko E.V. (RU), Semernikova A.D. (RU) Construction of a green roof: Patent RU No. 191863 U1 E04D 11/00.
6. Король, Е.А., Шушунова, Н.С. Организационно-технологическое моделирование процессов устройства кровельных покрытий с модульной системой озеленения // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. Вып. 2. – С. 250–261. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.250-261
7. Руководство по проектированию и устройству эксплуатируемых и зеленых крыш [Электронный ресурс] // Технониколь. – Режим доступа: rukovodstvo_po_proektirovaniyu_zelenih_krysh.pdf (technoelast.ru). – Дата доступа: 20.09.2022
8. Геопласт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moscow.geo-plast.com/enkadrain_premium_st. – Дата доступа: 20.09.2022

УДК 624.016

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗГИБУ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ПЕРЕКРЫТИЙ ИЗ ДРЕВСИНЫ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Г.О. ЦИПАН, Л.В. СИРОТКИНА
(Представлено: Д.Н. Лазовский, А.М. Хаткевич)

В статье рассмотрена возможность применения древесины и железобетона в единой конструктивной системе. Предпринята попытка применения деформационного метода расчета сопротивления изгибу деревянного ребристого перекрытия с монолитной железобетонной плитой, позволяющего учесть диаграммы деформирования древесины, бетона и арматуры.

Введение. Совместное использование бетона и древесины в единой конструктивной системе затрудняется их большой «разнородностью». Так, для данных строительных материалов будут существенно отличаться: структура, прочность, модули деформаций, плотность, долговечность, коэффициенты линейного расширения и т.п. В то же время история развития строительных конструкций демонстрирует возможность объединения в единую систему зачастую весьма разнородных материалов как в пределах одной конструкции, так и в пределах здания либо сооружения. Известно совместное применение стали и древесины, композитных материалов с бетоном и каменной кладкой и др.

При осуществлении работ по реконструкции возможна модернизация междуэтажных перекрытий путем усиления существующих деревянных перекрытий, либо только балок перекрытий, увеличением сечения с устройством в сжатой зоне железобетонной плиты. Вышеуказанный метод весьма технологичен, имеет низкую трудоемкость, позволяет отказаться от поддерживающих лесов и подмостей при замене перекрытий, а самое главное – *сохранить нетронутым декоративную отделку, исторические росписи потолков и стен, имеющих определенную ценность.*

Возможное конструктивное исполнение дерево-железобетонного перекрытия в процессе реконструкции (рисунок 1).

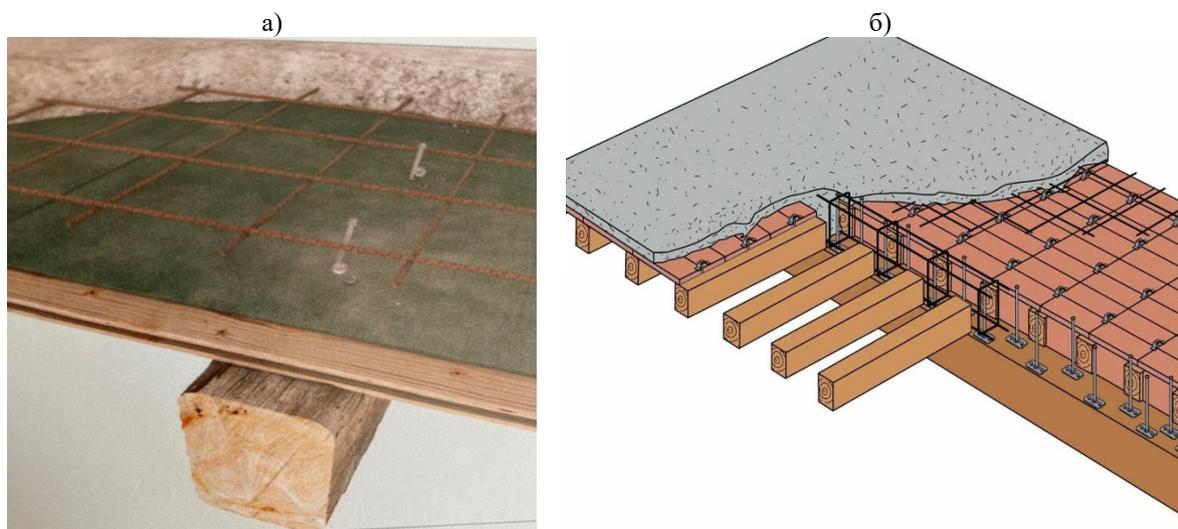


Рисунок 1. – Конструкция дерево-железобетонного перекрытия с устройством плоской монолитной плиты по настилу (а) и с устройством ребристой монолитной плиты для существенного повышения прочности (б)

Применение такого метода реконструкции перекрытий сопряжено с рядом сложностей, среди которых немаловажное место занимает отсутствие методики расчета дерево-железобетонных перекрытий, что и явилось целью данного исследования

Основная часть. Знакомство с историей исследования деревянных и дерево-железобетонных перекрытий [1-3] позволяет выявить ряд важных факторов:

- совместная работа бетона и древесины в достаточной мере может быть обеспечена устройством стальных нагелей (гвозди, штыри, обрезки арматуры, а также специально разработанные анкеры) практически до достижения предельного состояния по несущей способности;

- закономерности развития деформаций в комплексной конструкции соответствуют гипотезе Бернулли более известной как гипотеза плоских сечений (рис.2).

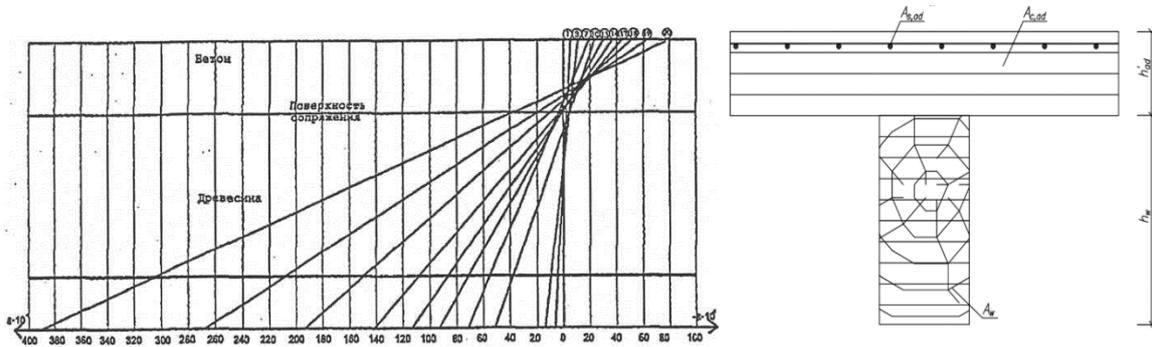


Рисунок 2. – Распределение деформаций по высоте поперечного сечения несущей балки фрагмента дерево-железобетонного перекрытия при разных уровнях нагружения в зоне максимального изгибающего момента

Указанные факторы соответствуют условиям применения деформационного метода расчета нормальных сечений, основанного на совместном применении:

- уравнений равновесия внутренних усилий в нормальном (поперечном) сечении;
- использовании предпосылки в виде гипотезы плоского сечения, касающейся распределения относительных деформаций в пределах нормального сечения во высоте сечения;
- аппроксимаций диаграмм деформирования древесины, бетона и арматуры для каждого элементарного слоя, определяющих связь между напряжениями и деформациями.

В результате можно получить систему разрешающих уравнений, учитывающую включение в работу в работу бетона после частичной загрузки деревянной несущей балки:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_k E'_w A_w \varepsilon_w + \sum_m E'_{c,ad} A_{c,ad} \varepsilon_{c,ad} + \sum_i E'_{s,ad} A_{s,ad} \varepsilon_{s,ad} = 0; \\ \sum_n E'_w A_w \varepsilon_w (y_w - y_{0,ad}) + \sum_m E'_{c,ad} A_{c,ad} \varepsilon_{c,ad} (y_{c,ad} - y_{0,ad}) + \\ + \sum_i E'_{s,ad} A_{s,ad} \varepsilon_{s,ad} (y_{s,ad} - y_{0,ad}) - (M_y + M_{y,ad}) = 0; \\ \varepsilon_w = \varepsilon_{w[1]} + \varepsilon_{w,ad}; \\ \varepsilon_{w,ad} = \frac{1}{r_{y,ad}} (y_w - y_{0,ad}); \varepsilon_{c,ad} = \frac{1}{r_{y,ad}} (y_{c,ad} - y_{0,ad}); \\ \varepsilon_{s,ad} = \frac{1}{r_{y,ad}} (y_s - y_{0,ad}); \end{array} \right. \quad (1)$$

- где E'_w – текущее значение секущего модуля упругости для элементарных площадок древесины балки;
 A_w – площадь сечения элементарных площадок древесины балки;
 $\varepsilon_{w,ad}$, $\varepsilon_{c,ad}$, $\varepsilon_{s,ad}$ – относительные деформации элементарных площадок древесины балки конструкции, бетона и арматуры железобетонной плиты от воздействий, приложенных после усиления;
 $\varepsilon_{w[1]}$ – относительные деформации в элементарных площадках древесины балки;
 $1/r_y$ – кривизна деревянной балки по направлению оси y ;
 y_w – расстояния от выбранной оси до центра тяжести элементарных площадок древесины балки в поперечном сечении;
 y_0 – расстояния от выбранной оси до центра тяжести поперечного сечения деревянной балки;
 M_y – изгибающий момент в плоскости оси y , воспринимаемый конструкцией в расчетном поперечном сечении балки в момент времени включения в совместную работу дополнительных элементов бетона и арматуры плиты;
 $M_{y,ad}$ – изгибающий момент в плоскости оси y от дополнительных воздействий на деревожелезобетонную конструкцию;
 $E'_{c,ad}$, $E'_{s,ad}$ – текущие значения секущих модулей упругости элементарных площадок бетона и арматуры железобетонной плиты соответственно;
 $A_{c,ad}$, $A_{s,ad}$ – площадь сечения бетона и арматуры элементарных площадок железобетонной плиты соответственно;

$\varepsilon_c, \varepsilon_s$ – относительные деформации элементарных площадок бетона и арматуры железобетонной плиты от суммарных воздействий после усиления соответственно;

$1/r_{y,w}$ – кривизна усиливаемой конструкции от суммарных воздействий после усиления по оси y , при этом $1/r_{y,w} = 1/r_y + 1/r_{y,ad}$;

$1/r_{y,ad}$ – кривизна деревянной балки и железобетонной плиты от воздействий после усиления по оси y ;

$y_{c,ad}, y_{s,ad}$ – расстояние от выбранной оси до центра тяжести элементарных площадок соответственно бетона и арматуры железобетонной плиты после усиления;

$y_{0,ad}$ – расстояние от выбранной оси до центра тяжести поперечного сечения железобетонной плиты после усиления.

Решение системы (1) выполняется итерационным методом. Критерием разрушения служит достижение бетоном в сжатой зоне или древесиной в растянутой и сжатой зонах предельных значений деформаций.

Заключение. Исследование и использование дерево-железобетонных перекрытий является перспективным направлением в области реконструкции, позволяющим сохранить исторически ценные интерьеры помещений. Предпринята попытка применения деформационного метода расчёта дерево-железобетонных перекрытий, позволяющего учесть свойства древесины и железобетона в виде их диаграмм деформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдрахманов, И.С. Прочность и деформативность деревожелезобетонных изгибаемых элементов при статических и повторных нагружениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01/ И.С. Абдрахманов. ГОУ ВПО Казанский гос. арх. - строит. ун-т. – М., 2009. – 43с.
2. Коченов В.М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций / В.М. Коченов. – М.: Стройиздат, 1953. – 320 с.
3. Дыбенко Г.И. Предельное состояние деревянной балки при изгибе со сжатием / Г.И. Дыбенко // Сб. науч. тр. Киевского ИСИ, 1959. – Вып. 12. – С.33-44.

УДК 624.016

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЧЕНИЙ
ПЕРЕКРЫТИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА****Г.О. ЦИПАН***(Представлено: Д.Н. Лазовский, А.М. Хаткевич)*

На основе деформационной модели выполнен анализ напряженно-деформированного состояния поперечных сечений на примере фрагмента дерево-железобетонного перекрытия. При выполнении расчетов использовались полные диаграммы деформирования материалов, что приближает расчетную модель к реальной работе конструкций.

В предыдущей статье «Сопrotивление изгибу нормальных сечений перекрытий из древесины и железобетона» была представлена методика расчета деревянного ребристого перекрытия с монолитной железобетонной плитой на основе деформационной модели, позволяющая учесть диаграммы деформирования древесины, бетона и арматуры. Реализация деформационного метода расчета возможна в различных программных комплексах, в том числе и в Beta_4.0, разработанном в Полоцком государственном университете и позволяющем [1]:

- выполнять расчет нормальных и наклонных сечений железобетонных элементов по нормам проектирования Беларуси, России и Евросоюза;
- рассчитывать сечения произвольной формы с произвольным расположением арматуры различных классов, включая предварительно напряженную арматуру;
- задавать различные материалы арматуры и фрагментам бетона;
- рассчитывать сечения по прочности и трещиностойкости, включая определение ширины раскрытия трещины;
- определять кривизну нормальных сечений, продольную и изгибные жесткости, смещение нейтральной оси элемента, находить область допустимых эксцентриситетов, строить кривые взаимодействия для расчетного сечения.

При этом в режиме расчёта по произвольным диаграммам можно создать сечение из других материалов, включая древесину. Для этого необходимо знать следующие характеристики:

- прочность при сжатии и растяжении вдоль волокон;
- модуль упругости древесины;
- относительные деформации на сжатие и растяжение вдоль волокон.

На основании вышесказанного было предложено использовать программный комплекс Beta_4.0 для анализа напряженно-деформированного состояния дерево-железобетонных перекрытий. Создание типового сечения перекрытия выполнялось выбором из наиболее типовых проектных решений. Так, в частности, неизменными принимались:

- шаг балок деревянного перекрытия может быть от 30 см до 1,2 м, но чаще всего он выбирается в пределах 0,6-1,0 м. Для создания сечения был выбран шаг деревянных балок 900мм;
- размеры поперечного сечения деревянной балки - брус $b \times h = 175 \times 225$ мм [2];
- по деревянным балкам устроен настил из досок толщиной 35 мм. Он не участвует в работе сечения дерево-железобетонного перекрытия, служит своего рода опалубкой для железобетонной плиты, равномерно передает нагрузку от собственного веса бетонной стяжки и функциональной нагрузки на деревянные балки. В связи с вышесказанным сечение настила в общем сечении не создавалось.

Совместная работа железобетонной плиты и деревянной балки считается обеспеченной применением конструктивных мероприятий (устройством нагельных связей и т.п.). Варьируемым фактором принимался слой бетона, который для анализа был принят в трех вариантах: 50 мм (плита 1), 60мм (плита 2) и 70 мм (плита 3). Арматурная сетка в бетоне принималась из стержневой арматуры диаметром 8мм с ячейкой 200×200мм [3] на расстоянии 25 мм от наиболее сжатой грани сечения. Также был проверен свес полок в соответствии с [4].

Для анализа были приняты характеристики материалов согласно анализу возможных диаграммам деформирования древесины [5, 6], арматуры и бетона (рисунок 1). Далее был произведен расчёт и получены характер (причина) разрушения, сопротивление изгибу в предельной стадии по прочности, напряженно-деформированное сечение созданного сечения на всех этапах работы. Обладая такими данными, имеется возможность проводить оптимизационные расчеты по подбору наиболее рационального слоя бетона, проценту армирования, выполнять анализ проектируемых сечений, таблица 1. Примеры напряженно-деформированного состояния поперечных сечений в предельной стадии по прочности (рисунок 2).

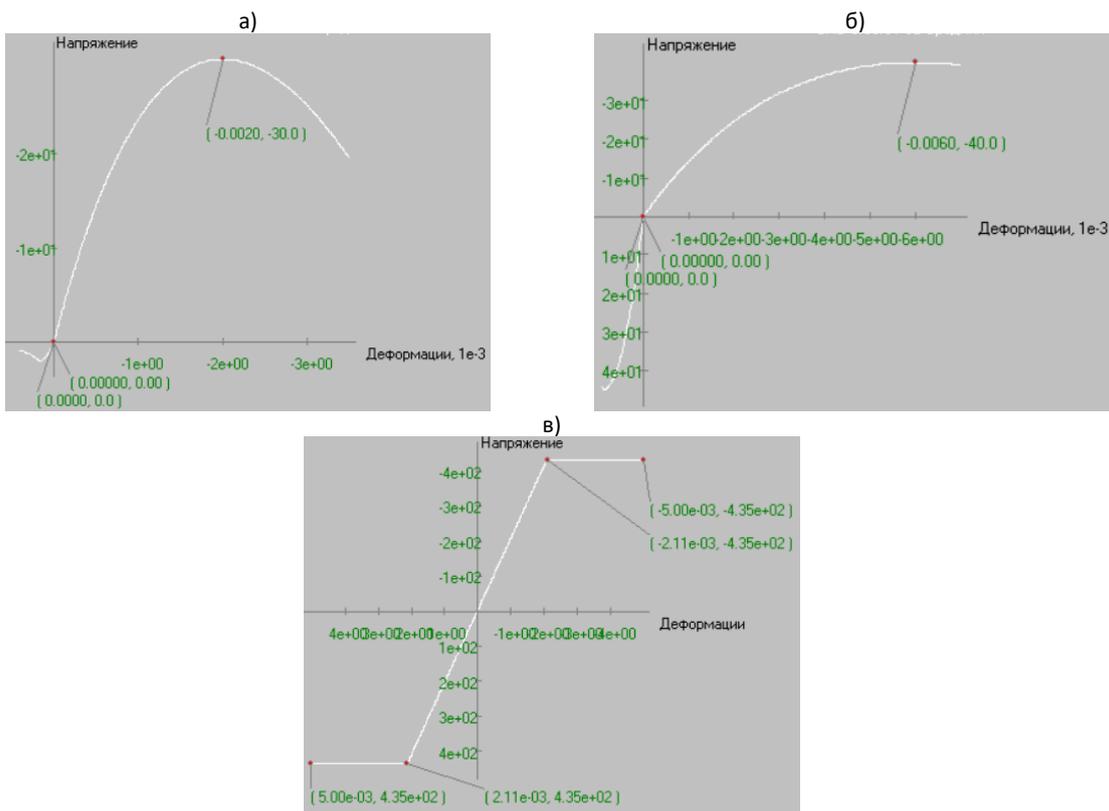


Рисунок 1. – Диаграммы деформирования бетона (а), древесины (б) и арматуры (в)

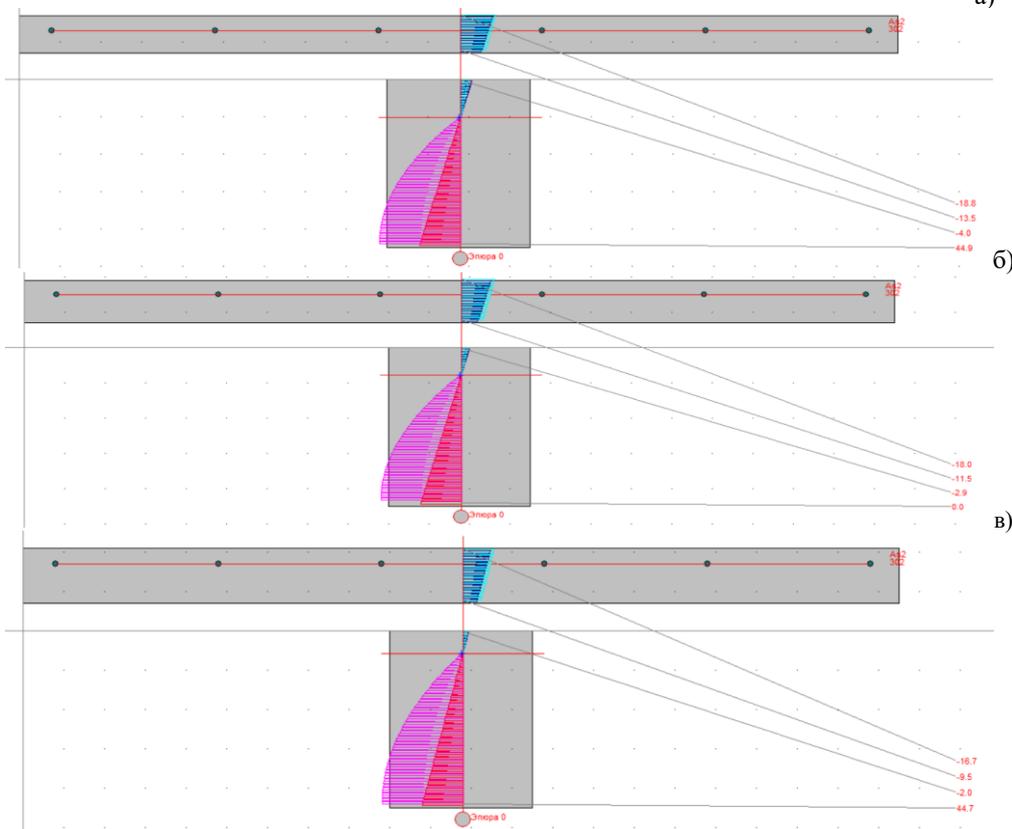


Рисунок 2. – Поперечное сечение деревобетонной плиты с толщиной бетона 50 мм (а), с толщиной бетона 60 мм (б), с толщиной бетона 70мм (в)

Таблица 1 – Результаты расчета дерево-железобетонного перекрытия (ширина 0,9м)

Сечение	Балка, b×h (мм)	Слой бетона, мм	Вес 1 м ² перекрытия, кг	Сопротивление изгибу M _{RD} , кНм	Причина разрушения
Плита 1	175×225	50	145,5	201,8	Деформации на растяжение в древесине достигли своих предельных значений
Плита 2	175×225	60	170,5	220,1	
Плита 3	175×225	70	195,5	232,91	

Заключение. Предложенный метод расчета позволяет выполнять анализ напряженно-деформированного состояния сечений дерево-железобетонных перекрытий при изгибе, используя полные диаграммы деформирования материалов, что приближает расчетную модель к действительной работе перекрытий и служит повышению надежности проводимых расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа расчета по нелинейной деформационной модели БЕТА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bizorg.su/produkty-programmnye-r/p18448538-programma-rascheta-po-nelineynoy-deformatsionnoy-modeli-beta>. – Дата доступа: 10.10.2023.
2. Деревянные конструкции = СП 5.05.01-2021 – Введ. 31.03.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2023. – 26-27 с.
3. Армирование стяжки пола сеткой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polvam.ru/armirovanie-stjazhki-pola-setkoj-po-snip-osnovnye/>. – Дата доступа: 11.10.2023.
4. Бетонные и железобетонные конструкции = СП 5.03.01-2020 – Введ. 16.09.2020 – Минск: Минстройархитектуры, 2023.
5. Вареник, К. А. Аппроксимация диаграммы деформирования древесины / К. А. Вареник // Вестник Новгородского государственного университета. – 2013. – № 75-1. – С. 60-64. – EDN SBMZXP.
6. Немировский, Ю. В. Сложный изгиб гибридных деревянных брусьев / Ю. В. Немировский, А. И. Болтаев // Теоретическая и прикладная механика : международный научно-технический сборник / пред. редкол. А. В. Чигарев. – Вып. 33. – 2018. – С. 36-55.

УДК 624.072

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.О. ШАГИБАЛОВА
(Представлено: Л.С. Турищев)

Исследуется зависимость результатов расчета статически неопределимых рамных конструкций от неизбежных отличий параметров расчетных схем от параметров реальных конструкций. В результате проведенных исследований было установлено следующее. Устойчивость решения канонических уравнений вследствие вариаций коэффициентов и свободных членов существенным образом зависит от выбранного варианта основной системы. На достоверность результатов расчета статически неопределимых рам неустранимые погрешности ее исходных параметров могут оказывать существенное влияние.

Ключевые слова: статически неопределимая рама, канонические уравнения, метод сил.

Введение. Несущей системой ряда зданий различного назначения являются статически неопределимые рамные конструкции. Математической моделью таких конструкций, рассчитываемых классическими методами строительной механики (метод сил, метод перемещений, смешанный метод), являются канонические уравнения, которые представляют собой систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

Важную роль при нахождении решения СЛАУ играет оценка устойчивости полученного решения [1]. Необходимость такой оценки при расчете рамных конструкций вызывается неизбежными отличиями реальных параметров таких конструкций и их возможные дальнейшие изменения в ходе эксплуатации по сравнению с исходными параметрами, использованными при расчетах и проектировании.

Основанная часть. Исследование влияния неустранимых погрешностей исходных параметров расчетных схем статически неопределимых рам (геометрических размеров и жесткостных характеристик) на устойчивость определяемых параметров напряженно-деформированного состояния проводится на примере расчета методом сил (МС) рамной конструкции, приведенной в учебнике В.И. Феодосьева [1]

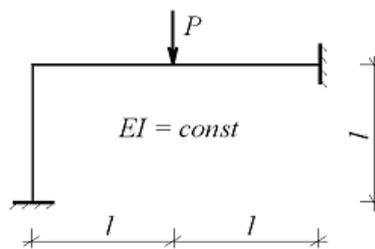


Рисунок 1. – Рамная конструкция

При расчете рассматриваемой рамной конструкций используются базовые варианты образования основной системы (ОС) метода сил – консольная, балочная и трехшарнирная схемы опирания

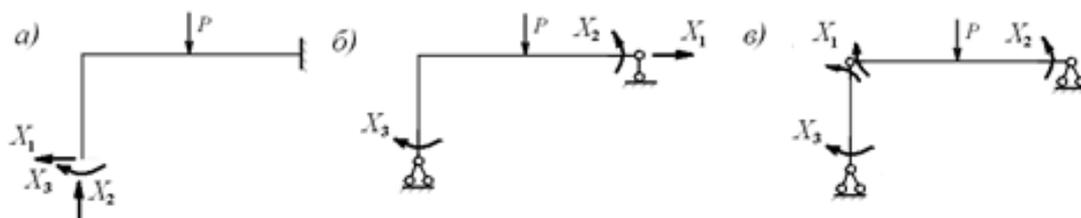


Рисунок 2. – Базовые варианты основной системы МС рамной конструкции

Канонические уравнения метода сил во всех рассматриваемых случаях имеют вид

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2P} &= 0 \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Исследуемыми параметрами НДС являются основные неизвестные канонических уравнений (1), представляющие собой окончательные внутренние усилия соответствующего вида в местах удаления лишних связей рассматриваемой рамной конструкции.

В связи с неустранимостью погрешностей исходных параметров рамной конструкции коэффициенты и свободные члены канонических уравнений (1) вычисляются с некоторыми погрешностями, относительная величина которых в первом приближении принимается одинаковой, равной ε .

Придадим уравнениям (1) стандартный вид СЛАУ [2] с наиболее неблагоприятной схемой знаков погрешностей коэффициентов и свободных членов согласно [3]

$$\begin{aligned} a_{11}(1 + \varepsilon)x_1 + a_{12}(1 - \varepsilon)x_2 + a_{13}(1 + \varepsilon)x_3 &= b_1(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon)x_1 + a_{22}(1 + \varepsilon)x_2 + a_{23}(1 - \varepsilon)x_3 &= b_2(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon)x_1 + a_{32}(1 - \varepsilon)x_2 + a_{33}(1 - \varepsilon)x_3 &= b_3(1 - \varepsilon) \end{aligned} \quad (2)$$

Решение (2) описывается формулами Крамера

$$x_i(\varepsilon) = \frac{D_i(\varepsilon)}{D(\varepsilon)} \quad (i = 1, 2, 3)$$

где

$$\begin{aligned} D(\varepsilon) &= \begin{vmatrix} a_{11}(1 + \varepsilon) & a_{12}(1 - \varepsilon) & a_{13}(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon) & a_{22}(1 + \varepsilon) & a_{23}(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon) & a_{32}(1 - \varepsilon) & a_{33}(1 - \varepsilon) \end{vmatrix} \\ D_1(\varepsilon) &= \begin{vmatrix} b_1(1 + \varepsilon) & a_{12}(1 - \varepsilon) & a_{13}(1 + \varepsilon) \\ b_2(1 - \varepsilon) & a_{22}(1 + \varepsilon) & a_{23}(1 - \varepsilon) \\ b_3(1 - \varepsilon) & a_{32}(1 - \varepsilon) & a_{33}(1 - \varepsilon) \end{vmatrix} \\ D_2(\varepsilon) &= \begin{vmatrix} a_{11}(1 + \varepsilon) & b_1(1 + \varepsilon) & a_{13}(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon) & b_2(1 - \varepsilon) & a_{23}(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon) & b_3(1 - \varepsilon) & a_{33}(1 - \varepsilon) \end{vmatrix} \\ D_3(\varepsilon) &= \begin{vmatrix} a_{11}(1 + \varepsilon) & a_{12}(1 - \varepsilon) & b_1(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon) & a_{22}(1 + \varepsilon) & b_2(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon) & a_{32}(1 - \varepsilon) & b_3(1 - \varepsilon) \end{vmatrix} \end{aligned}$$

При расчете рамы с использованием первого варианта основной системы (рис.2а) введем новые неизвестные величины, связанные с основными неизвестными канонических уравнений метода сил (1) следующими соотношениями

$$x_1 = \frac{X_1}{P}, \quad x_2 = \frac{X_2}{P}, \quad x_3 = \frac{X_3}{Pl}$$

которые являются безразмерными опорными реакциями на левой опоре рамы, соответственно, горизонтальная, вертикальная и моментная составляющие. С их учетом уравнения (2) принимают вид

$$\begin{aligned}
 14(1 + \varepsilon)x_1 + 12(1 - \varepsilon)x_2 + 15(1 + \varepsilon)x_3 &= 3(1 + \varepsilon) \\
 12(1 - \varepsilon)x_1 + 16(1 + \varepsilon)x_2 + 12(1 - \varepsilon)x_3 &= 5(1 - \varepsilon) \\
 15(1 + \varepsilon)x_1 + 12(1 - \varepsilon)x_2 + 18(1 - \varepsilon)x_3 &= 3(1 - \varepsilon)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

При нулевой погрешности ε корни (3) принимают следующие значения

$$x_1 = -0.25, \quad x_2 = 0.4375, \quad x_3 = 0.0833$$

Зависимость корней (3) от погрешности ε в интервале её изменения от 0 до 5% приведена на графиках (рисунк 3)

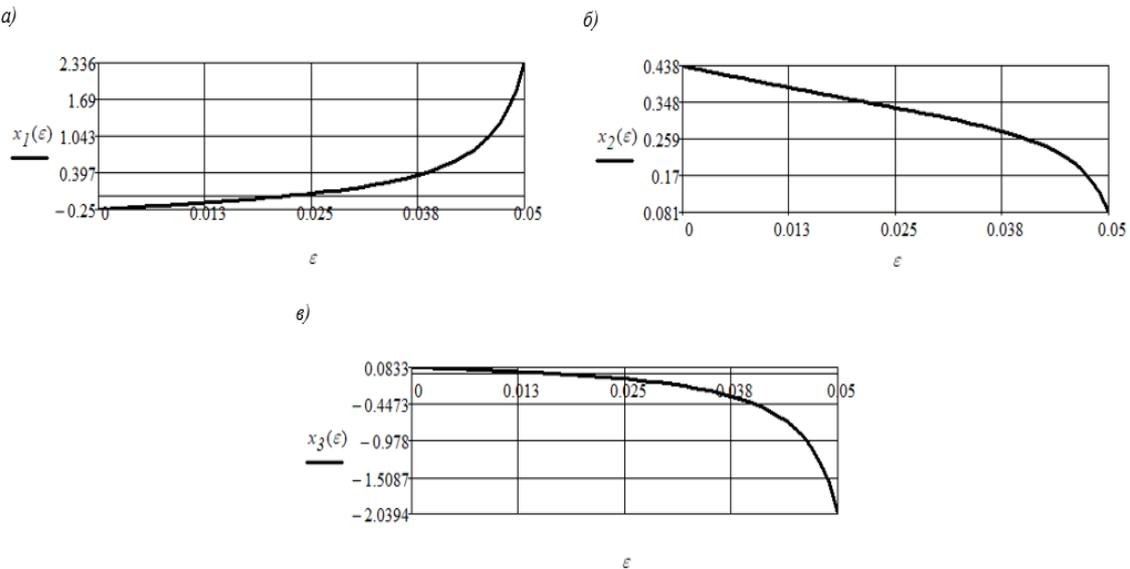


Рисунок 3. – Зависимость основных неизвестных от погрешности ε при расчете рамы МС с использованием первого варианта ОС

Из приведенных графиков следует, что решение канонических уравнений (1) при расчете рамы методом сил с использованием первого варианта основной системы является неустойчивым. Первое и третье основные неизвестные в рассматриваемом интервале погрешности ε изменяют знаки, а максимальная погрешность вычисления второго неизвестного достигает значения 81.5%.

При расчете рамы с использованием второго варианта основной системы (рис.1.3б) введем новые неизвестные величины, связанные с основными неизвестными канонических уравнений метода сил (1) следующими соотношениями

$$x_1 = \frac{X_1}{P}, \quad x_2 = \frac{X_2}{Pl}, \quad x_3 = \frac{X_3}{Pl}$$

которые являются безразмерной горизонтальной опорной реакцией рамы на правой опоре и реактивными моментами, соответственно, на правой опоре и на левой опорах. С их учетом уравнения (2) принимают вид

$$\begin{aligned}
 1(1 + \varepsilon)x_1 + 0.333(1 - \varepsilon)x_2 + 1.167(1 + \varepsilon)x_3 &= -0.25(1 + \varepsilon) \\
 0.333(1 - \varepsilon)x_1 + 0.667(1 + \varepsilon)x_2 + 0.333(1 - \varepsilon)x_3 &= -0.25(1 - \varepsilon) \\
 1.167(1 + \varepsilon)x_1 + 0.333(1 - \varepsilon)x_2 + 1.667(1 - \varepsilon)x_3 &= -0.25(1 - \varepsilon)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

При нулевой погрешности корни (4) принимают следующие значения

$$x_1 = -0.25, \quad x_2 = -0.2917, \quad x_3 = 0.0833.$$

Зависимость корней (4) от погрешности ε в интервале её изменения от 0 до 5% приведена на графиках (рисунок 4).

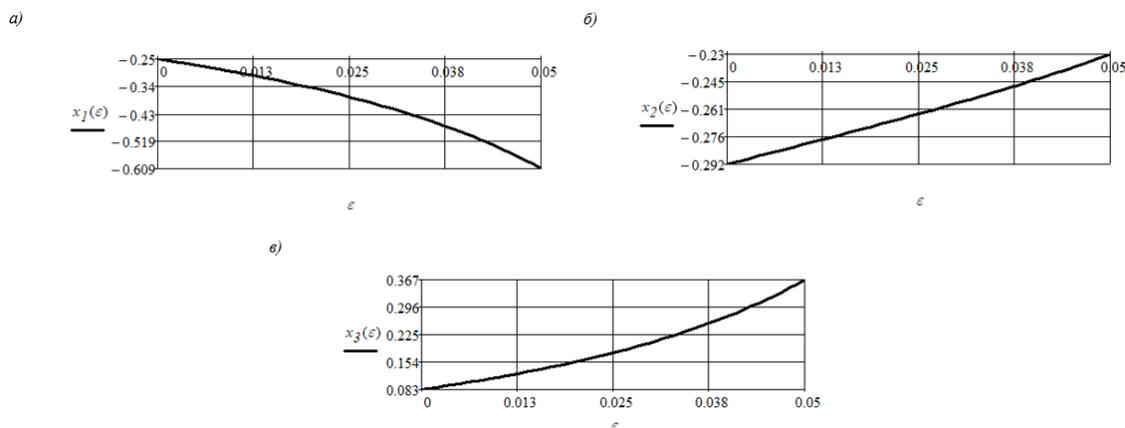


Рисунок 4. – Зависимость основных неизвестных от погрешности ε при расчете рамы МС с использованием второго варианта ОС

Из приведенных графиков следует, что решение канонических уравнений (1) при расчете рамы методом сил с использованием второго варианта основной системы является неустойчивым. В рассматриваемом интервале погрешности ε максимальные погрешности вычисления основных неизвестных достигают, соответственно, значений 144%, 27%, 342%.

При расчете рамы с использованием третьего варианта основной системы (рис.1.3в) введем новые неизвестные величины, связанные с основными неизвестными канонических уравнений метода сил (1) следующими соотношениями

$$x_1 = \frac{X_1}{Pl}, \quad x_2 = \frac{X_2}{Pl}, \quad x_3 = \frac{X_3}{Pl},$$

которые являются безразмерными опорными моментами рамы, возникающими, соответственно, на правой и левой опорах и безразмерным узловым изгибающим моментом. С их учетом уравнения (2) принимают вид

$$\begin{aligned} 1(1 + \varepsilon)x_1 + 0.333(1 - \varepsilon)x_2 + 0.167(1 - \varepsilon)x_3 &= -0.25(1 + \varepsilon) \\ 0.333(1 - \varepsilon)x_1 + 0.667(1 + \varepsilon)x_2 &= -0.25(1 - \varepsilon) \\ 0.167(1 - \varepsilon)x_1 + 0.333(1 - \varepsilon)x_3 &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

При нулевой погрешности корни (2.3) принимают следующие значения

$$x_1 = -0.1667, \quad x_2 = -0.2917, \quad x_3 = 0.0833.$$

Зависимость корней (5) от погрешности ε в интервале её изменения от 0 до 5% приведена на графиках (рис.1.3г)

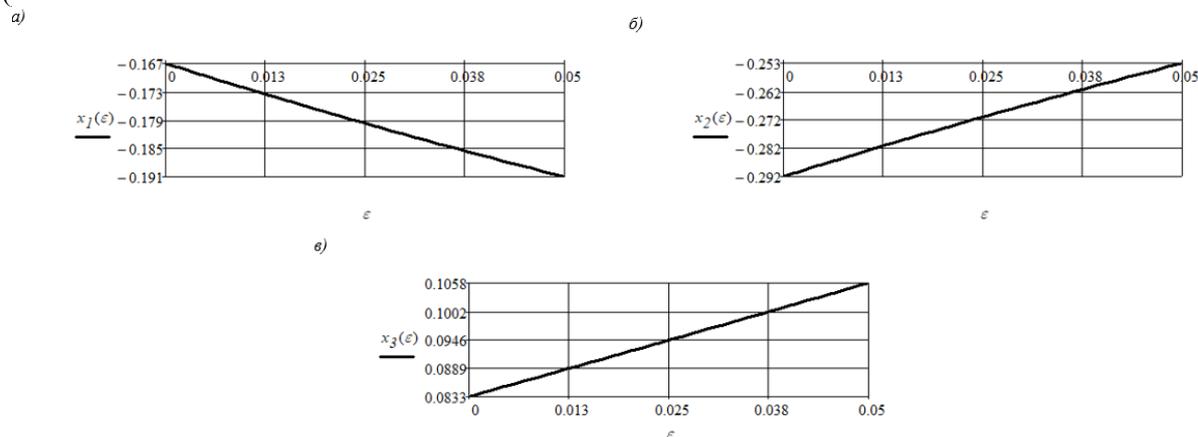


Рисунок 5. – Зависимость основных неизвестных от погрешности ε при расчете рамы МС с использованием третьего варианта ОС

Из приведенных графиков следует, что решение канонических уравнений (1) при расчете рамы методом сил с использованием третьего варианта основной системы является неустойчивым. В рассматриваемом интервале погрешности ε максимальные погрешности вычисления основных неизвестных достигают, соответственно, значений 15%, 13%, 27%.

Заключение. Таким образом, все базовые варианты основной системы метода сил, которые могут быть использованы при расчете рассмотренной рамы не позволяют получить устойчивое решение канонических уравнений (1). Следовательно, расчетные параметры НДС рассмотренной рамы могут оказаться недостоверными. Наименее чувствительным вариантом основной системы метода сил к погрешностям коэффициентов и свободных членов является третий вариант.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Наука, 1966. - 664 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1979. – 559 с.
3. Петров Ю.П. Как получать надежные решения систем уравнений. СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 176 с.

УДК 624.072

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК

А.О. ШАГИБАЛОВА
(Представлено: Л.С. Турищев)

Исследуется зависимость результатов расчета неразрезных балок от неизбежных отличий параметров их расчетных схем от параметров реальных конструкций. В результате проведенных исследований было установлено следующее. Устойчивость решения канонических уравнений вследствие вариаций коэффициентов и свободных членов существенным образом зависит от выбранного варианта основной системы. На достоверность результатов расчета неразрезных балок неустранимые погрешности ее исходных параметров могут оказывать существенное влияние.

Ключевые слова: статически неопределимая рама, канонические уравнения, метод сил.

Введение. Несущими конструкциями перекрытий и покрытий многоэтажных зданий и сооружений являются металлические и железобетонные неразрезные балки. Математической моделью таких конструкций, обычно рассчитываемых методом сил, является система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

Важную роль при нахождении решения СЛАУ играет оценка устойчивости полученного решения [1]. Необходимость такой оценки при расчете неразрезных балок вызывается неизбежными отличиями реальных параметров таких конструкций и их возможные дальнейшие изменения в ходе эксплуатации по сравнению с исходными параметрами, использованными при расчетах и проектировании.

Основанная часть. Исследование влияния неустранимых погрешностей исходных параметров расчетных схем неразрезных балок (геометрических размеров и жесткостных характеристик) на устойчивость определяемых параметров напряженно-деформированного состояния проводится на примере расчета методом сил (МС) четырехпролетной неразрезной балки (рис.1)

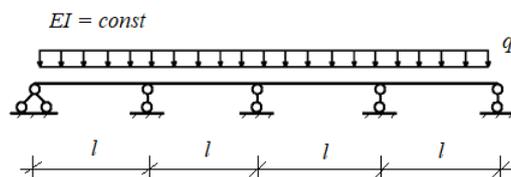


Рисунок 1. – Неразрезная балка

При расчете рассматриваемой неразрезной балки используются базовые варианты образования основной системы (ОС) метода сил – консольная балка, простая балка и многопролетная шарнирная балка (МШБ) (рис.2)

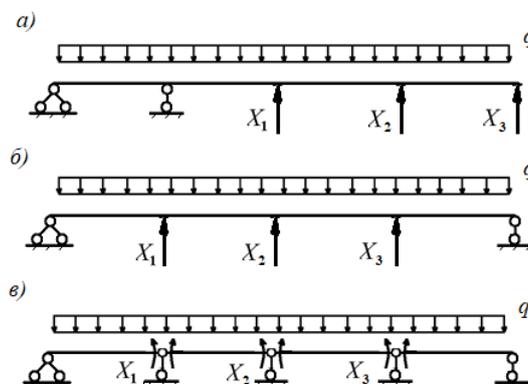


Рисунок 2. – Базовые варианты основной системы МС неразрезной балки

Канонические уравнения метода сил во всех рассматриваемых случаях имеют вид

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2P} &= 0 \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Исследуемыми параметрами НДС являются основные неизвестные канонических уравнений (1), представляющие собой окончательные внутренние усилия соответствующего вида в местах удаления лишних связей рассматриваемой неразрезной балки.

В связи с неустранимостью погрешностей исходных параметров неразрезной балки коэффициенты и свободные члены канонических уравнений (1) вычисляются с некоторыми погрешностями, относительная величина которых в первом приближении принимается одинаковой, равной ε .

Придадим уравнениям (1) стандартный вид СЛАУ [2] с наиболее неблагоприятной схемой знаков погрешностей коэффициентов и свободных членов согласно [3]

$$\begin{aligned} a_{11}(1 + \varepsilon)x_1 + a_{12}(1 - \varepsilon)x_2 + a_{13}(1 + \varepsilon)x_3 &= b_1(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon)x_1 + a_{22}(1 + \varepsilon)x_2 + a_{23}(1 - \varepsilon)x_3 &= b_2(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon)x_1 + a_{32}(1 - \varepsilon)x_2 + a_{33}(1 - \varepsilon)x_3 &= b_3(1 - \varepsilon) \end{aligned} \tag{2}$$

Решение (2) описывается формулами Крамера

$$x_i(\varepsilon) = \frac{D_i(\varepsilon)}{D(\varepsilon)} \quad (i = 1, 2, 3)$$

где

$$D(\varepsilon) = \begin{vmatrix} a_{11}(1 + \varepsilon) & a_{12}(1 - \varepsilon) & a_{13}(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon) & a_{22}(1 + \varepsilon) & a_{23}(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon) & a_{32}(1 - \varepsilon) & a_{33}(1 - \varepsilon) \end{vmatrix}$$

$$D_1(\varepsilon) = \begin{vmatrix} b_1(1 + \varepsilon) & a_{12}(1 - \varepsilon) & a_{13}(1 + \varepsilon) \\ b_2(1 - \varepsilon) & a_{22}(1 + \varepsilon) & a_{23}(1 - \varepsilon) \\ b_3(1 - \varepsilon) & a_{32}(1 - \varepsilon) & a_{33}(1 - \varepsilon) \end{vmatrix}$$

$$D_2(\varepsilon) = \begin{vmatrix} a_{11}(1 + \varepsilon) & b_1(1 + \varepsilon) & a_{13}(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon) & b_2(1 - \varepsilon) & a_{23}(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon) & b_3(1 - \varepsilon) & a_{33}(1 - \varepsilon) \end{vmatrix}$$

$$D_3(\varepsilon) = \begin{vmatrix} a_{11}(1 + \varepsilon) & a_{12}(1 - \varepsilon) & b_1(1 + \varepsilon) \\ a_{21}(1 - \varepsilon) & a_{22}(1 + \varepsilon) & b_2(1 - \varepsilon) \\ a_{31}(1 + \varepsilon) & a_{32}(1 - \varepsilon) & b_3(1 - \varepsilon) \end{vmatrix}$$

При расчете неразрезной балки с использованием первого варианта основной системы (рис.2а) введем новые неизвестные величины, связанные с основными неизвестными канонических уравнений метода сил (1) следующими соотношениями

$$x_1 = \frac{X_1}{ql}, \quad x_2 = \frac{X_2}{ql}, \quad x_3 = \frac{X_3}{ql}$$

которые являются безразмерными опорными реакциями на третьей, четвертой и пятой опорах неразрезной балки. С их учетом уравнения (2) принимают вид

$$\begin{aligned} 0.667(1 + \varepsilon)x_1 + 1.5(1 - \varepsilon)x_2 + 2.333(1 + \varepsilon)x_3 &= 3.25(1 + \varepsilon) \\ 1.5(1 - \varepsilon)x_1 + 4(1 + \varepsilon)x_2 + 6.667(1 - \varepsilon)x_3 &= 8.583(1 - \varepsilon) \\ 2.333(1 + \varepsilon)x_1 + 6.667(1 - \varepsilon)x_2 + 12(1 - \varepsilon)x_3 &= 14.5(1 - \varepsilon) \end{aligned} \quad (3)$$

При нулевой погрешности ε корни (3) принимают следующие значения

$$x_1 = 0.9286, \quad x_2 = 1.1429, \quad x_3 = 0.3929$$

Зависимость корней (3) от погрешности ε в интервале её изменения от 0 до 5% приведена на графиках (рис.3).

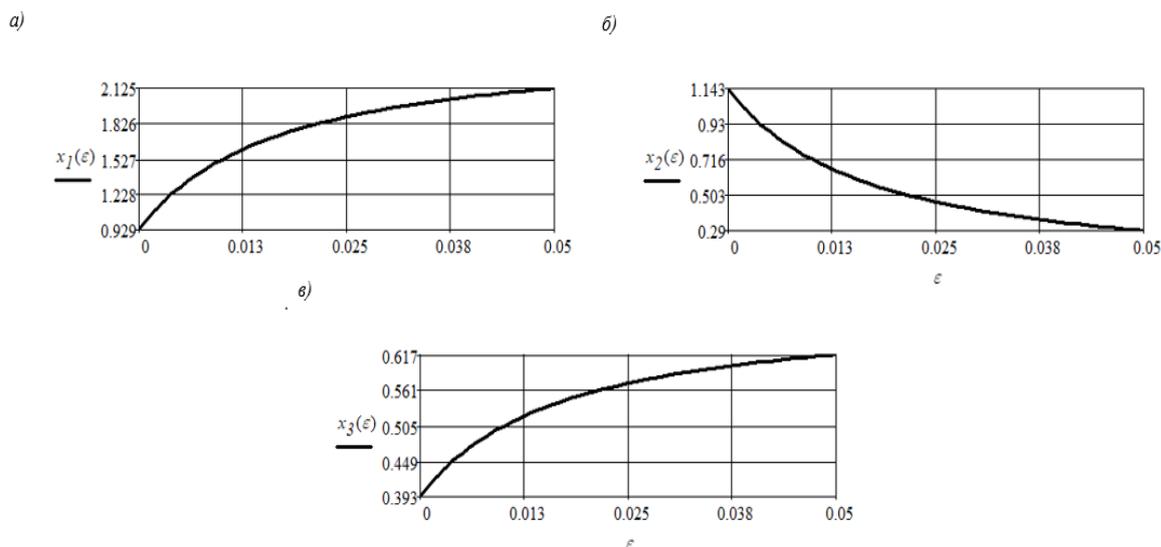


Рисунок 3. – Зависимость основных неизвестных от погрешности ε при расчете неразрезной балки МС с использованием первого варианта ОС

Из приведенных графиков следует, что решение канонических уравнений (1) при расчете неразрезной балки методом сил с использованием первого варианта основной системы является неустойчивым. В рассматриваемом интервале погрешности ε максимальные погрешности вычисления основных неизвестных достигают, соответственно, значений 129%, 75%, 57%.

При расчете неразрезной балки с использованием второго варианта основной системы (рис.2б) введем новые неизвестные величины, связанные с основными неизвестными канонических уравнений метода сил (1) следующими соотношениями

$$x_1 = \frac{X_1}{ql}, \quad x_2 = \frac{X_2}{ql}, \quad x_3 = \frac{X_3}{ql},$$

которые являются безразмерными опорными реакциями на второй, третьей и четвертой опорах неразрезной балки. С их учетом уравнения (2) принимают вид

$$\begin{aligned} 0.75(1 + \varepsilon)x_1 + 0.917(1 - \varepsilon)x_2 + 0.583(1 - \varepsilon)x_3 &= 2.375(1 + \varepsilon) \\ 0.917(1 - \varepsilon)x_1 + 1.333(1 + \varepsilon)x_2 + 0.917(1 + \varepsilon)x_3 &= 3.333(1 - \varepsilon) \\ 0.583(1 - \varepsilon)x_1 + 0.917(1 + \varepsilon)x_2 + 1.667(1 - \varepsilon)x_3 &= 2.375(1 - \varepsilon) \end{aligned} \quad (4)$$

При нулевой погрешности корни (4) принимают следующие значения

$$x_1 = 1.1429, \quad x_2 = 0.9286, \quad x_3 = 1.1429$$

Зависимость корней (4) от погрешности ε в интервале её изменения от 0 до 5% приведена на графиках (рисунок 4)

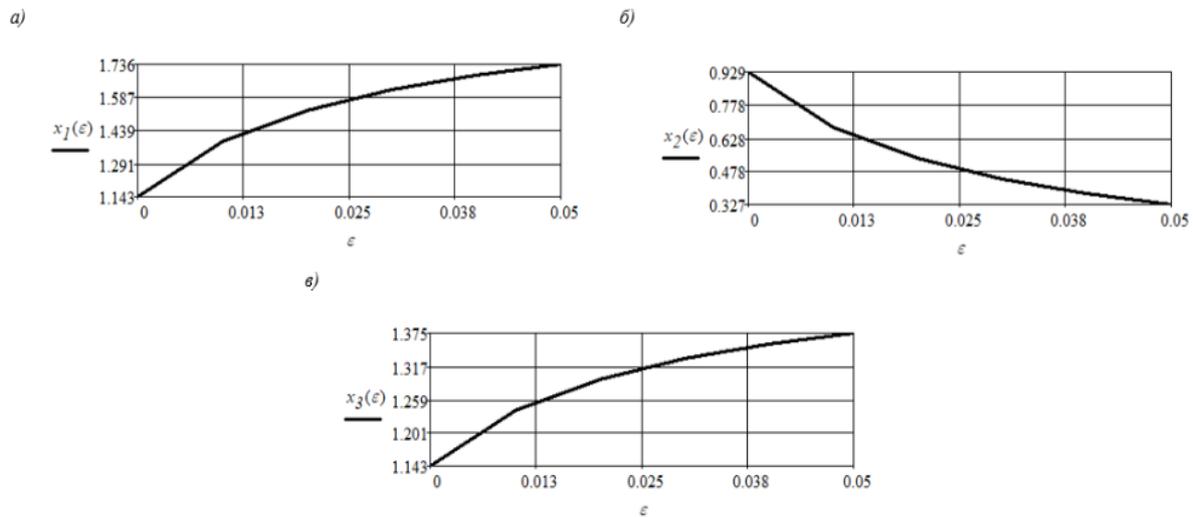


Рисунок 4. – Зависимость основных неизвестных от погрешности ε при расчете неразрезной балки МС с использованием второго варианта ОС

Из приведенных графиков следует, что решение канонических уравнений (1) при расчете неразрезной балки методом сил с использованием второго варианта основной системы является неустойчивым. В рассматриваемом интервале погрешности ε максимальные погрешности вычисления основных неизвестных достигают, соответственно, значений 52%, 65%, 20%.

При расчете неразрезной балки с использованием третьего варианта основной системы (рис.2в) введем новые неизвестные величины, связанные с основными неизвестными канонических уравнений метода сил (1) следующими соотношениями

$$x_1 = \frac{X_1}{ql^2}, \quad x_2 = \frac{X_2}{ql^2}, \quad x_3 = \frac{X_3}{ql^2}$$

которые являются безразмерными изгибающими моментами, возникающими, соответственно, на промежуточных опорных сечениях неразрезной балки. С их учетом уравнения (2) принимают вид

$$\begin{aligned} 0.667(1 + \varepsilon)x_1 + 0.167(1 - \varepsilon)x_2 &= -0.083(1 + \varepsilon) \\ 0.167(1 - \varepsilon)x_1 + 0.667(1 + \varepsilon)x_2 + 0.167(1 - \varepsilon)x_3 &= -0.083(1 - \varepsilon) \\ 0.167(1 + \varepsilon)x_2 + 0.667(1 - \varepsilon)x_3 &= -0.083(1 - \varepsilon) \end{aligned} \tag{5}$$

При нулевой погрешности корни (5) принимают следующие значения

$$x_1 = -0.1071, \quad x_2 = -0.0714, \quad x_3 = -0.1071$$

Зависимость корней (5) от погрешности ε в интервале её изменения от 0 до 5% приведена на графиках (рисунок 5).

Из приведенных графиков следует, что решение канонических уравнений (1) при расчете неразрезной балки методом сил с использованием третьего варианта основной системы является неустойчивым. Хотя в рассматриваемом интервале погрешности ε максимальные погрешности вычисления первого и третьего основных неизвестных достигают значения 3%, но максимальная погрешность второго основного неизвестного составляет 11%.

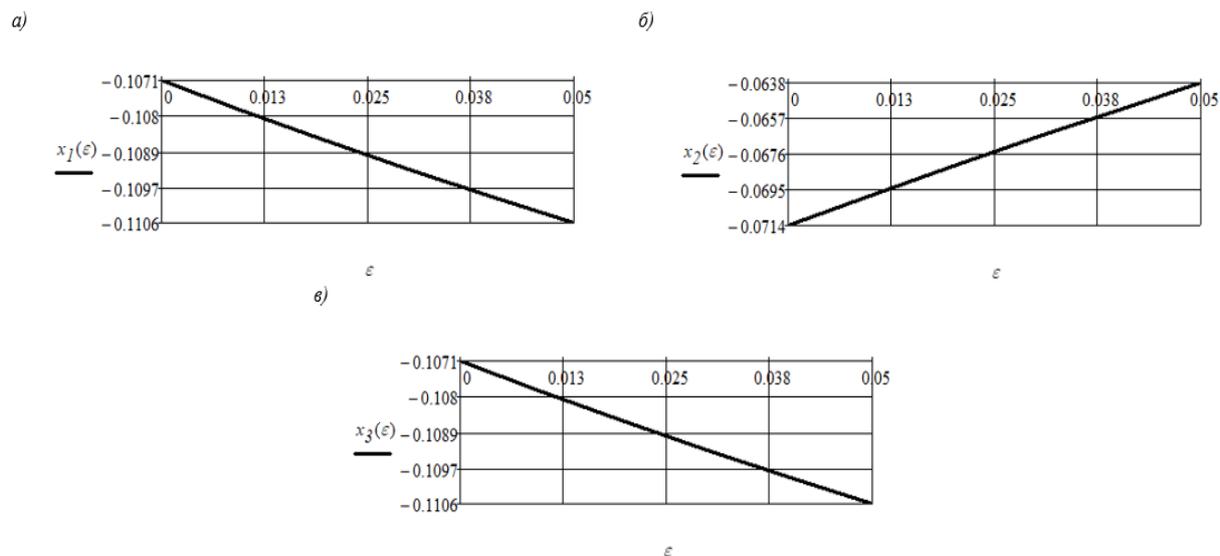


Рисунок 5. – Зависимость основных неизвестных от погрешности ϵ при расчете неразрезной балки МС с использованием третьего варианта ОС

Закключение. Таким образом, все базовые варианты основной системы метода сил, которые могут быть использованы при расчете рассмотренной балки не позволяют получить устойчивое решение канонических уравнений (1). Следовательно, расчетные параметры НДС рассмотренной балки могут оказаться недостоверными. Наименее чувствительным вариантом основной системы метода сил к погрешностям коэффициентов и свободных членов является третий вариант.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Наука, 1966. - 664 с.
2. Петров Ю.П. Как получать надежные решения систем уравнений. СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 176 с.

ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 928.265

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВЫСОКОПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ ЧЕРЕЗ ОТЕЧЕСТВЕННУЮ МАГИСТРАЛЬНУЮ ТРУБОПРОВОДНУЮ СИСТЕМУ

А.А. ГРИНЬ, М.А. ЛЮБЕЦКИЙ
(Представлено: А.Н. Воронин)

Вследствие истощения запасов легкоизвлекаемой нефти в мире, вполне актуальным представляется вопрос о транспортировании высокопарафинистой нефти через отечественную трубопроводную систему. В статье рассматриваются особенности транспортирования высокопарафинистой нефти, а также расчет технологических показателей транспортирования казахстанской высокопарафинистой нефти через Республику Беларусь в Западную Европу.

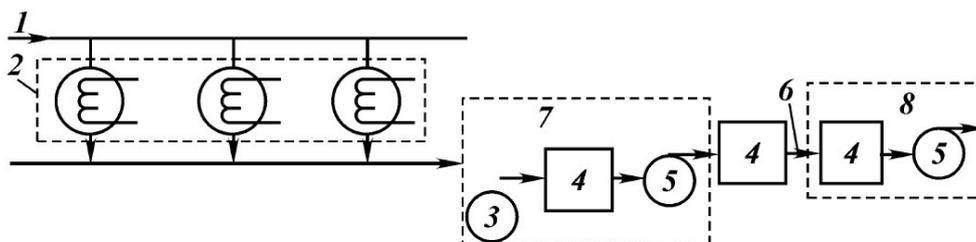
В связи с истощением запасов легких нефтей в мире возрос интерес к трудноизвлекаемым, высоковязким и парафинистым нефтям. Известно, что в Казахстане ежегодно добывается более 70 % нефти с высоким содержанием парафинов. Сбор и транспорт таких нефтей ставит перед нефтяниками ряд сложных технических проблем.

Парафинистые нефти Казахстана наиболее тяжелые и вязкие, содержат большое количество парафинов, смол и асфальтенов и меньше всего дизельных фракций. Изменение температуры застывания для казахстанских парафинистых нефтей прямо пропорционально содержанию в них парафинов. При изменении концентрации парафинов от 6 до 45 % изменяется и температура застывания нефти от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самую низкую температуру застывания $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет парафинистая нефть месторождения Тенгиз, а самую высокую $+36,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ – нефть месторождения Асар. Также важным показателем реологических свойств нефти является содержание дизельных фракций, так как парафины относятся к компонентам, связывающим жидкую фазу нефти и формирующим коллоидные частицы в ней, а содержание дизельных фракций является основной составляющей жидкой фазы нефти. Самое высокое содержание дизельных фракций отмечено для месторождения Тенгиз, самое низкое – для Тюбеджика. [1]

Вязкие нефти классифицируют по трем группам. Первую группу составляют нефти с вязкостью 30-100 мПа·с, вторую – 100-500 мПа·с и третью – выше 500 мПа·с. При этом интервалы измерения плотности нефти по названным группам соответствует 834-929, 882-955 и свыше 924 кг/м³. [2]

При трубопроводном транспорте таких нефтей для обеспечения заданной пропускной способности и избежания застывания нефти при останове перекачки необходимо использовать специальные технологии перекачки. Одним из наиболее популярных способов перекачки высокопарафинистой нефти является «горячая» перекачка, которая связана с изменением реологических свойств нефти (вязкости и предельного напряжения сдвига) путем предварительного подогрева жидкости.

При «горячей» перекачке высокопарафинистая нефть нагревается на головной насосной станции и насосами закачивается в магистральный трубопровод. По мере охлаждения при прохождении по магистральному трубопроводу увеличиваются потери на трение. Поэтому нефть необходимо подогревать на промежуточных тепловых станциях. [3]



- 1 – подводный трубопровод (магистральный); 2 – резервуарный парк, оборудованный подогревателями;
3 – подпорный насос; 4 – подогреватель; 5 – основной насос; 6 – магистральный трубопровод;
7 – ГПС - головная перекачивающая станция; 8 – промежуточная тепловая станция

Рисунок 1. – Принципиальная схема магистрального трубопровода с устройствами для предварительного подогрева нефти

Сырая нефть по магистральному трубопроводу 1 направляется в резервуарный парк 2, который оборудован подогревателями для поддержания температуры нефти, необходимой для работы подпорных насосов 3, которые прокачивают нефть через подогреватель 4 к магистральному насосу 5, который закачивает нефть в магистральный трубопровод 6. Нефть подогревается в пределах от 60°C до 120°C. Верхний предел температуры ограничен стойкостью тепловой изоляции, деструкцией молекул нефти, а также возможностью коксования нефти в теплообменниках.

По мере движения по трубопроводу жидкость остывает, в результате ее температура уменьшается, а вязкость и потери напора растут. Поэтому жидкость вновь подогревают на промежуточных тепловых станциях 8. Для подогрева нефти используют паровые и огневые подогреватели, а также путевые подогреватели.

Возможность транспортирования казахстанской высокопарафинистой нефти через Республику Беларусь стоит учитывать с условием существующей производительности нефтепровода северного направления Узень-Атырау-Самара в 17 млн тонн в год по трубопроводу диаметром 820 мм. Согласно ВНТП 2-86 проектная производительность данного диаметра находится в пределах 15-27 млн тонн в год. [4]

На нефтеперекачивающих станциях южного направления отечественной трубопроводной системы установлены насосы первой очереди (НМ 2500-230) и второй очереди (НМ 7000-210). Расчет необходимо выполнять для насосов НМ 2500-230, поскольку их рабочая зона наибольшего КПД соответствует расходу в диапазоне 0,8-1,2 от $Q_{ном}$, что соответствует от 2000 до 3000 м³/ч. Следовательно, выбранная часовая производительность удовлетворяет данному условию и составляет 2307,12 м³/ч.

Для работы насоса в зоне максимальных КПД вязкость должна достигать некоторого граничного значения, чтобы не использовать коэффициенты перерасчета для снижения напорной гидравлической характеристики насоса. Для этого необходимо произвести расчет максимальной вязкости нефти по формуле: [5]

$$V_{max} = \frac{n \cdot D^2}{3,16 \cdot 10^5} \cdot k^{0,305}; \quad (1)$$

где n – частота вращения насоса, об/мин;
 D – диаметр рабочего колеса, м;
 k – коэффициент быстроходности насоса.

Для работы насоса в зоне высоких КПД максимальная вязкость нефти составит 134 сСт.

Нефть разрешено греть до 110°C до температуры деструкции молекул и начала процесса коксования. В нашем случае трубопровод уже лежит с изоляцией, согласно требованию по изоляции максимальная температура нагрева составляет 45°C, поэтому начальная температура нагрева нефти ограничивается в 45°C.

При прохождении нефти через насосный агрегат и дроссельную заслонку происходит нагрев нефти, следовательно, можно уменьшать начальную температуру подогрева нефти на это значение, что дает возможность сэкономить эксплуатационные затраты.

Суммарное увеличение температуры нефти за счет нагрева в насосных агрегатах и прохождении через заслонку определяем по формуле: [6]

$$\Delta t = \Delta t_{нас} + \Delta t_{др} = \frac{10^6 \cdot \Delta P_{нас}}{\rho \cdot C_p} \cdot \left(\frac{1}{\eta_i} - 1 \right) + \frac{10^6 \cdot \Delta P_{др}}{\rho \cdot C_p}. \quad (2)$$

где $\Delta P_{нас}$ – перепад давлений на входе и выходе насоса, МПа;
 ρ – плотность нефти, кг/м³;
 C_p – теплоемкость нефти при постоянном давлении, Дж/(кг·К);
 η_i – КПД насосных агрегатов без учета потерь мощности в подшипниках;
 $\Delta P_{др}$ – перепад давлений перед и после дроссельной заслонки, МПа.

В результате, получили, что начальную температуру нагрева нефти можно уменьшить на 1,29°C, т. е. начальная температура нагрева нефти составит $T_n=43,71^\circ\text{C}$.

При эксплуатации «горячего» нефтепровода неизбежны его остановки, которые могут быть вызваны аварией на одном из участков, необходимостью выполнения ремонтных работ, перебоями в подаче нефти на ГНПС. Остановки перекачки могут быть связаны с характером эксплуатации «горячего» нефтепровода. При остановках перекачки высокопарафинистая нефть, оставленная в трубопроводе, постепенно остывает, и, как следствие, вязкость ее повышается. На случай перебоев или временной остановки работы насосной станции конечную температуру подогрева высокопарафинистой нефти берем на 10°C выше температуры её застывания.

Для расчета необходимого числа тепловых станций проводится теплогидравлический расчет, который состоит из определения: [7]

Коэффициента крутизны вискограммы из формулы Рейнольдса-Филонова [19]:

$$v = v_* \cdot \exp[-u \cdot (T - T_*)], \quad (3)$$

где u – коэффициент крутизны вискограммы, 1/К;
 v_* – кинематическая вязкость при известной (произвольной) температуре T_* .
 Величину u находится следующим образом:

$$u = \frac{1}{T_1 - T_2} \ln \frac{v_2}{v_1}, 1/K \quad (4)$$

Критической температуры по формуле:

$$T_{кр} = T_* + \frac{1}{u} \cdot \ln \frac{v_* \cdot \pi \cdot d \cdot Re_{кр}}{4Q}, K \quad (5)$$

где T_* – температура, при которой известна кинематическая вязкость нефти v_* ;
 $Re_{кр}$ – критическое число Рейнольдса, для высоковязких нефтей $Re_{кр}=2000$;
 Q – объемный расход, м³/с;
 u – коэффициент крутизны вискограммы.
 В трубопроводе будет только турбулентный режим течения жидкости, так как в ходе расчетов получили, что $T_{кр} < T_k$.

Далее для каждого участка по отдельности между насосными станциями необходимо найти:

Число Шухова при турбулентном режиме:

$$Sh_{\tau} = \frac{K_{\tau} \cdot \pi \cdot d \cdot l}{Q \cdot \rho \cdot c_p}, \quad (6)$$

где l – длина турбулентного участка, т. е. расстояние между насосными станциями;
 ρ – плотность нефти, кг/м³;
 c_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);
 d – внутренний диаметр трубопровода, м;
 K_{τ} – коэффициент теплопередачи на турбулентном участке Вт/(м²·К).
 Расстояние между пунктами подогрева:

$$l_{\tau} = \frac{Q \cdot \rho \cdot c_p}{K_{\tau} \cdot \pi \cdot d} \cdot \ln \frac{T_H - T_0}{T_K - T_0}, M \quad (7)$$

где T_H – температура подогрева нефти, К;
 T_K – температура нефти на подходе к промежуточной насосной станции (на приеме насосов), К;
 T_0 – температура грунта на глубине заложения трубопровода, К.
 Кинематическую вязкость нефти при начальной температуре:

$$v_H = v_1 \cdot \exp[-u \cdot (T_H - T_1)], M^2/c \quad (8)$$

Потери в трубопроводе на трение при условии, что нефть по всей длине сохраняет начальную температуру T_H при турбулентном движении:

$$h_{H,\tau} = \frac{0,241}{g} \cdot \frac{Q^{1,75} \cdot v_H^{0,25} \cdot l_{\tau}}{d^{4,75}}, M \quad (9)$$

Поправку на неизотермичность течения для турбулентного движения:

$$\Delta_{\tau} = \frac{e^{0,25-u \cdot (T_{н}-T_0)}}{\text{Шу}_{\tau}} \left\{ E_i \cdot \left[-u \cdot \left(0,25 - \frac{1}{2} \cdot \frac{K_{\tau}}{\alpha_{1\tau}} \right) \cdot (T_{н} - T_0) \right] - E_i \cdot \left[-u \cdot \left(0,25 - \frac{1}{2} \cdot \frac{K_{\tau}}{\alpha_{1\tau}} \right) \cdot (T_{к} - T_0) \right] \right\}, \quad (10)$$

где E_i – знак интегральной показательной функции.
 Потери напора на трение в трубопроводе:

$$h_i = h_{н,т} \cdot \Delta_{\tau,м} \quad (11)$$

Необходимое число тепловых станций:

$$n_{\tau,с} = \frac{L}{l_{\tau}}, \quad (12)$$

В целях наименьших эксплуатационных затрат необходимо, чтобы тепловые станции располагались на одной площадке с нефтеперекачивающей станцией.

Заключение. В результате проведенных расчетов было получено, что на нефтеперекачивающих станциях: ЛПДС «Унеча», НПС «Гомель», ЛПДС «Мозырь», НПС «Туров», НПС «Пинск», НПС «Кобрин» будет располагаться по одной тепловой станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный научного журнала «Современные наукоемкие технологии» / Особенности строения и свойств парафинистых нефтей казахстана, влияющие на эффективность мероприятий при борьбе с парафиноотложениями [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35024>. – Дата доступа: 14.09.2023.
2. Халимов Э.М., Климушин И.М., Ферд-ман Л.И. Геология месторождений высоковязких нефтей СССР. М.: Недра, 1987. - 172 с.
3. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-70 05 01 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» / сост. В.К. Липский, М.Е. Демидова – Новополоцк: ПГУ, 2007. - 321 с.
4. ВНТП 2-86 «Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200038719>. – Дата доступа: 27.09.2023.
5. Трубопроводный транспорт нефти/ Г. Г. Васильев, Г. Е. Коробков, А. А. Коршак и др.; Под редакцией С. М. Вайнштока: Учеб. Для вузов: 2 т. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 146 с.
6. Расчет температуры нагрева нефти в магистральном насосе, А. Г. Гумеров, Д. П. Ким, О. Н. Кожевников, Ш. И. Рахматуллин, научный журнал «Нефтяное хозяйство», 2005.
7. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов / П. И. Тугунов, В. Ф. Новоселов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов – Уфа, 2002. – 256 с.

УДК 928.265

**О ВОЗМОЖНЫХ МАРШРУТАХ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
КАЗАХСТАНСКОЙ ВЫСОКОПАРАФИНИСТОЙ НЕФТИ ЧЕРЕЗ РЕСПУБЛИКУ БЕЛАРУСЬ****А.А. ГРИНЬ, М.А. ЛЮБЕЦКИЙ***(Представлено: А.Н. Воронин)*

В связи с увеличением диверсификации экспорта российской нефти в восточном направлении, минуя трубопроводную инфраструктуру Республики Беларусь, вполне актуальным представляется вопрос максимально возможной загрузки отечественной трубопроводной системы с целью поступления транзитных тарифов. В статье рассматриваются возможные наиболее выгодные логистические пути транзита казахстанской высокопарафинистой нефти через Республику Беларусь в Западную Европу.

Качественное состояние нефтяной сырьевой базы непрерывно ухудшается в течение последних десятилетий. Это связано с выработкой многих высокопродуктивных месторождений, а открытие новых месторождений ограничено. В меньшей степени применяются в эксплуатацию высоковязкие парафинистые нефти с высоким содержанием смол и альфальтенов. В условиях истощения запасов легкоизвлекаемой нефти, которая в настоящее время является основным источником энергии в мире, эффективное использование альтернативных видов углеводородного топлива является одной из ключевых задач топливно-энергетического комплекса. В отличие от обычных нефтей, высокопарафинистые нефти являются ассоциированными дисперсными системами. Это усложняет не только их извлечение, но также обработку и транспортировку. Высокое содержание парафина в нефти не только увеличивает стоимость ее добычи и транспортировки, но и усложняет процесс. При трубопроводном транспорте таких нефтей для обеспечения заданной пропускной способности и избежания застывания нефти при остановке перекачки необходимо использовать специальные технологии перекачки.

Существует четыре основных вида транспортировки: железнодорожный, водный, автомобильный и трубопроводный. Выбор в пользу той или иной формы зависит от того, насколько она сможет обеспечить регулярность, и от себестоимости, которая связана с расположением нефтепромыслов, нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и другими факторами. [1]

Водный транспорт позволяет в наливных баржах и танкерах, а также в мелкой таре перевозить нефть, нефтепродукты и сжиженные природные и нефтяные газы в любых количествах.

Железнодорожным транспортом можно перевозить нефтяные грузы всех видов: в цистернах, бункерах или лёгкой таре.

Автотранспорт в основном используется для перевозки нефтепродуктов от крупных нефтебаз к мелким и далее к потребителям.

Трубопроводы служат для транспортировки больших количеств нефти, нефтепродуктов и сжиженных нефтяных газов в одном направлении. Вид транспорта нефти, для которого характерны низкие операционные издержки. Трубопроводный транспорт обладает следующими преимуществами по сравнению с другими видами транспорта:

- трасса трубопровода короче трасс других видов транспорта, причём трубопровод может быть проложен между двумя любыми пунктами на суше, находящимися на любом расстоянии друг от друга;
- трубопроводный транспорт в отличие от других видов транспорта – непрерывный, что обеспечивает ритмичную работу поставщиков и бесперебойное снабжение потребителей, благодаря чему отпадает необходимость создания крупных запасов транспортируемого груза на концах трассы;
- потери нефти и нефтепродуктов при трубопроводном транспорте меньше, чем при перевозках другими видами транспорта;
- трубопроводный транспорт наиболее механизированный и более других поддаётся автоматизации;
- трубопроводный транспорт является наиболее экологически чистым способом транспортирования нефтегрузов. [2]

В связи сокращением экспорта российской нефти в европейские страны через территорию Республики Беларусь вполне актуальным представляется вопрос максимально возможной загрузки отечественной трубопроводной системы с целью поступления транзитных тарифов. В данном случае одним из возможных путей обеспечения транзита является перекачка высокопарафинистой казахстанской нефти.

Казахстан является одним из крупнейших мировых нефтедобывающих регионов и обладает развитой трубопроводной системой. Среди разведанных и эксплуатирующихся месторождений наиболее крупные — Тенгиз, Карачаганак, Узень, Жетыбай, Каламкас, Кумколь и другие. Большая часть месторождений находится на территории Западного Казахстана. На сегодняшний день по трубопроводной си-

стеме транспортируется более 80 % всей добываемой в республике нефти. Разветвленная сеть трубопроводов проходит по территории восьми областей Казахстана.

АО «КазТрансОйл» является крупнейшей нефтепроводной компанией Республики Казахстан, оказывающей услуги по транспортировке нефти на внутренний рынок и на экспорт. [3]

Казахстан имеет диверсифицированную систему транспортировки нефти для экспорта и поставок на внутренний рынок.

Экспорт казахстанской нефти осуществляется по маршрутам:

- нефтепровод КТК (западное направление);
- нефтепровод Атасу-Алашанькоу (восточное направление);
- нефтепровод Атырау-Самара (северное направление);
- морской порт Актау и по железной дороге (южное направление). [4]

Наиболее целесообразным направлением транспортировки высокопарафинистой казахстанской нефти из возможных логистических вариантов является северное направление. В данном случае возможная транспортировка нефти будет проходить по северному трубопроводу. С начала 1970-х гг. XX в. казахстанская нефть поставляется в Россию по нефтепроводу Узень-Атырау-Самара. Данный нефтепровод обеспечивает перекачку высоковязких бузачинских и высокозастывающих мангышлакских нефтей с предварительным подогревом для предотвращения застывания перекачиваемой нефти. Нефтепровод Атырау-Самара является одним из основных экспортных трубопроводов для поставки западноказахстанской нефти через систему нефтепроводов России и стран СНГ: на терминалы Черного моря (Одесса, Новороссийск), Балтийского моря (Приморск, Гданьск) и в европейские страны (Польша, Германия, Венгрия, Словакия, Чехия и др.). [3]

От Самары до Адамова застава нефть будет может перекачиваться через нефтепроводы «Дружба». «Дружба» — крупнейшая в мире система магистральных нефтепроводов. Построена в 1960-е годы предприятием «Ленгазспецстрой» для транспортировки нефти из Волгоуральской нефтегазоносной провинции в страны народной демократии Восточной Европы. Маршрут нефтепровода проходит от Альметьевска до Брянска затем до Мозыря, после чего разветвляется на 2 участка: северный (по территории Белоруссии, Польши, Германии, Латвии и Литвы) и южный (по территории Украины, Чехии, Словакии, Венгрии и Хорватии). [5]

Белорусский участок нефтепровода находится в собственности «Гомельтранснефти». Предприятие осуществляет перекачку нефти, поступающей из российской части нефтепровода «Дружба» в направлении стран Западной и Восточной Европы, снабжает углеводородным сырьем белорусскую нефтехимию, осуществляет транспортировку нефтепродуктов по территории Беларуси. ОАО «Гомельтранснефть Дружба» обеспечивает перекачку по маршруту Унеча – Мозырь – Адамова застава с дальнейшей транспортировкой на нефтеперерабатывающие заводы Польши и Германии. [6]

Стоимость транзита казахстанской нефти через Беларусь по нефтепроводу «Дружба» составляет \$1,67 за 100 тонно-километров [7]. В результате, выручка от транспортирования высокопарафинистой нефти производительностью 17 млн. т/год составит 195,9 млн. \$ в год.

Заключение. Транспортирование казахстанской высокопарафинистой нефти в европейские страны через территорию Республики Беларусь будет проходить по северному направлению в Россию по нефтепроводу Узень – Атырау – Самара. Далее от Самары до территории Польши через Беларусь нефть будет перекачиваться по нефтепроводу «Дружба». Благодаря транзиту казахстанской высокопарафинистой нефти через Беларусь выручка составит 195,9 млн. \$ в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт информационного портала «Транснефть» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://discoverrussia.interfax.ru/wiki/22/> - :~:text=Виды транспортировки нефти., водный, автомобильный и трубопроводный. – Дата доступа: 11.09.2023.
2. Липский В.К., Демидова М.Е. УМК «Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов», 2007. – 13 с.
3. Официальный сайт информационного портала «Нефтегаз» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://neft-gas.kz/f/nig_3_2022_1-109-123.pdf – Дата доступа: 11.09.2023.
4. Официальный сайт Министерства энергетики Республики Казахстана [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/activities/179?lang=ru> – Дата доступа: 11.09.2023.
5. Официальный сайт «Википедия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Дружба_\(нефтепровод\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Дружба_(нефтепровод)) – Дата доступа: 11.09.2023.
6. Официальный сайт компании «Гомельтранснефть Дружба» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.transoil.by/o-kompanii/obshchaya-informatsiya/> – Дата доступа: 11.09.2023.
7. Интернет-сайт информационного новостного портала «Sputnik» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sputnik.by/20230605/k-chemu-mozhet-privesti-povyshenie-tarifov-na-tranzit-nefti-cherez-belarus-1076303727.html> – Дата доступа: 13.09.2023.

УДК 656.56:004.9.

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА
В МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕ- И НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДАХ
С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ В СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ УЧАСТКОВ
СО СВЕРХНОРМАТИВНЫМИ ПОТЕРЯМИ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

М.А. ПЕТРОЧЕНКО
(Представлено: Л.М. Спириденко)

В статье рассматриваются источники возникновения потерь нефтепродукта на магистральных трубопроводах. Показана актуальность данной проблемы. Авторами определены предмет и объект исследования, поставлены задачи для определения факторов, влияющих на возникновения различных видов потерь нефтепродукта при перекачке, а также определены причины появления аварийных, естественных и эксплуатационных потерь. В статье рассмотрена система точного определения места утечки, которая позволит обеспечить уменьшение сверхнормативных потерь нефти и нефтепродукта при несанкционированных врезках, а также экологических последствий при разливе продукта в окружающую среду.

Введение: Трубопроводный транспорт является наиболее экономически и экологически выгодным для транспортировки нефти и нефтепродуктов на значительные расстояния. Однако при перекачке нефтепродуктов возникают различные виды потерь нефтепродукта, такие как эксплуатационные, естественные и аварийные. Эксплуатационные и естественные потери относятся к нормативным, и их величина в настоящее время рассчитывается и учитывается. Однако потери, возникающие при аварийных разливах нефтепродукта, несанкционированных врезках при хищении перекачиваемых нефтепродуктов нельзя рассчитать. Несанкционированные врезки приносят огромные убытки компаниям, они связаны как с потерей нефтепродукта, так и с экологическими последствиями при разливе продукта в окружающую среду. Экологические последствия разливов нефти носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, существенно изменяет условия обитания всех видов живых организмов и накапливается в биомассе. Нефть и нефтепродукты нарушают экологическое состояние почвенных покровов и в целом деформируют структуру биоценозов. Почвенные бактерии, а также беспозвоночные почвенные микроорганизмы и животные не в состоянии качественно выполнять свои важнейшие функции в результате интоксикации легкими фракциями нефти. От подобных аварий страдает не только животный и растительный мир. Серьезные убытки несут иные отрасли экономики, особенно те предприятия, деятельность которых нуждается в большом количестве воды. В случае, если разлив нефти происходит в пресном водоеме, негативные последствия испытывает на себе и местное население и сельское хозяйство.

Официальная статистика ПАО «Транснефть», которая транспортирует 83% всех нефтепродуктов в Российской Федерации, показала, что в период с 2008 по 2018 годы было зафиксировано более 5000 незаконных врезок в магистральные нефтепроводы. Преступления, связанные с незаконными врезками в магистральные трубопроводы регулярно раскрывают по всей стране: в Московской, Ленинградской, Тульской, Рязанской и других областях. Самая ужасная ситуация сложилась в Московской области – за 10 лет количество врезок в регионе увеличилось в 59 раз. В Ленинградской области – выросло почти на треть [1]. Экономический ущерб от несанкционированных врезок исчисляется сотнями и более тонн в сутки потерянного продукта. Хищения нефти доставляют проблемы и Индии — стране, которая большую часть своего спроса покрывает за счет импорта. Истории о кражах из нефтепроводов в последние годы стали описываться в местной прессе все чаще. Особенно это касается инцидентов на магистрали между городами Джайпур и Матхура [2]. При этом даже о примерных объемах хищений почти ничего не говорится. Для Республики Беларусь также существует проблема несанкционированных врезок, хотя в последнее время она успешно решается. Одним из решений вопроса обнаружения и ликвидации несанкционированных врезок является проведение мониторинга герметичности линейной части нефте- и нефтепродуктопроводов. Основной проблемой выявления несанкционированных врезок является протяженность линейной части магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов. В Республике Беларусь и особенно Российской Федерации протяженность трубопроводов достигает в длину нескольких тысяч километров и при этом на трубопроводах может одновременно существовать десятки, а то и сотни несанкционированных врезок. Поэтому важнейшим вопросом при обнаружении утечек из трубопровода является обеспечение точного места выхода нефти или нефтепродукта, что поможет организовать оперативную работу по обнаружению и устранению несанкционированных отборов. Данная проблема в настоящее время является актуальной для России, Республики Беларусь, а также других стран [3].

Постановка задач:

– Более точно определять координаты возникших утечек продукта и их интенсивность.
– Разработка мобильного комплекса измерения расхода в МННПП с передачей данных в системы диспетчеризации для локализации участков МННПП.

Основная часть: Данная проблема решается непрерывным мониторингом герметичности магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов (МННПП). Непрерывный мониторинг в пределах технологического участка МННПП в режиме реального времени обеспечивается системами обнаружений утечек (далее – СОУ). Основная функция СОУ – это выявление факта возникновения утечки и установление ее координат и интенсивности. Системы работают по заданным алгоритмам на всех режимах функционирования МННПП, включая нестационарные, переходные режимы и режим остановленной перекачки. Система обеспечивает формирование сигнала тревоги о возможном наличии утечки и отображение информации в реальном масштабе времени, помогающей оперативно принять решение по устранению утечки. В Республике Беларусь, России и в странах запада (США, Германия, Франция и др.) наличие СОУ на магистральных трубопроводах регулируется на законодательном уровне [4]. В них представлены описание методов обнаружения утечек и требования к следующим видам СОУ:

- определение утечек по волне давления;
- балансовый метод обнаружения утечек;
- комбинированные системы обнаружения утечек.

Методы, применяемые для обнаружения утечек на МННПП основываются на различных принципах измерения давления и расхода потока [5]. Каждый из этих методов имеет преимущества и недостатки.

1. Метод определения утечек по изменению волны давления основан на сопоставлении данных расчетного профиля наблюдаемого давления во всех точках трубопровода. При возникновении утечки или несанкционированной врезки появляется излом в профиле давления. Алгоритм определения утечек по волне давления основан на регистрации фронта волны изменения давления, которая возникает в месте утечки из трубопровода. Место возникновения утечки вычисляются по разнице времени прихода фронта волны в конечные сечения исследуемого участка МННПП.

2. Балансовый метод включает определение расходов в начальном и конечном сечении контролируемого участка трубопровода, что позволяет учитывать количество продукта в самой трубе.

3. К комбинированным методам СОУ относятся:

– метод «давление – расход» основан на применении математической модели расчета давления и расхода в системе, он определяет факт утечки и ее координаты. Для обеспечения корректных граничных условий необходимо измерять расход и давление на концах контролируемого СОУ участка. Все измерения должны сопровождаться метками времени.

– метод диагностики утечек на основе анализа давлений в изолированных секциях при закрытых задвижках. Метод основан на анализе изменений давления в секциях за определенный период и позволяет определять утечки, имеющие малые величины. При использовании данного метода необходимо, чтобы были перекрыты линейные задвижки, и тем самым трубопровод был разделен на несколько участков.

Все вышеперечисленные методы требуют с использованием стационарной установки оборудования, кроме того, перечисленные методы не позволяют обеспечить точные координаты утечки продукта в трубопроводе. Для более точного определения места утечки предложена разработка мобильного комплекса измерения расхода в МННПП с передачей данных в системы диспетчеризации для локализации участков МННПП. Главным условием работы мобильного комплекса является его передвижение между уже существующими, врезными расходомерами, которые показывают разницу в расходе. Мобильный комплекс представляет собой передвижную базу, состоящую из спецавтомобиля, который оснащен расходомерами. Основным требованием к выбору спецавтомобиля является высокая его проходимость и возможностью работы в экстремальных условиях.

В автомобиле должны быть предусмотрены пассажирский и технологический отсеки. В технологическом отсеке располагается все необходимое оборудование, в пассажирском отсеке расположены блоки принятия пищи, отдыха и ночлега, в случае длительных командировок. Для измерения расхода можно использовать накладные ультразвуковые расходомеры. Данные расходомеры имеют ряд преимуществ, к которым можно отнести возможность в короткое время организовать точку измерения расхода на новых и существующих объектах, монтаж накладных датчиков осуществляется без врезки в трубопровод и следовательно, что позволяет уменьшить затраты на установку расходомера.

Устанавливать расходомеры Стримлюкс можно несколькими способами:

- устанавливать расходомер отдельно от тела трубы рисунок;
- устанавливать расходомер на тело трубы рисунок;
- устанавливать расходомер отдельно от трубы в виде модуля рисунок.

При любом из перечисленных способов расходомер использует два накладных ультразвуковых датчика, которые работают одновременно как ультразвуковой передатчик и ультразвуковой приемник.

Накладные ультразвуковые датчики крепятся к трубопроводу снаружи на определенном расстоянии друг от друга. Ультразвуковые датчики могут быть установлены следующими способами:

- V-образным, когда ультразвук пересекает трубу дважды;
- W-образным (используется редко), когда ультразвук пересекает трубу четыре раза;
- Z-образным, когда накладные ультразвуковые датчики монтируются на противоположных сторонах трубы и ультразвук пересекает трубопровод один раз.

Выбор способа монтажа зависит от трубопровода и характеристик жидкости. Расходомер работает по принципу поочередной передачи и приема частотно-модулированного всплеска звуковой энергии между двумя ультразвуковыми датчиками и измерения времени, за которое звуковой сигнал проходит между ними. Разница в измеренном времени прохождения сигнала прямо и точно определяет скорость жидкости в трубопроводе.

Расходомер включает в себя стандартный интерфейс связи RS-485 и необходимый протокол передачи данных. Его аппаратные средства поддерживают модем для передачи данных по сети на базе телефонной линии. С помощью преобразователя RS232/RS485, расходомер может быть подключен к сетевой шине RS485. Можно также использовать модуль кратких сообщений GSM для передачи данных расхода жидкости на удаленный компьютер. С помощью модуля GSM, можно проверять данные расхода жидкости и статус расходомера с сотового телефона.

При работе данной системы можно использовать накладной расходомер, датчики которого устанавливаются на тело трубы. В этом случае управление расходомером может совершаться с удаленного компьютера. Протокол передачи данных основан на принципе ведущий/ведомый. Ведущий (удаленный компьютер) отправляет команду, ведомый (расходомер) реагирует на нее

При установке датчиков расходомера на тело трубы необходимо произвести земляные работы по вскрытию участка трубопровода. Для производства земляных работ, на спецавтомобиль предлагается установить мини экскаватор на прицепе. В настоящее время спецавтомобили комплектуются с гидравлическими манипуляторами. Недостатком этой комплектации является работа навесного оборудования от вала отбора мощности или штатной гидравлики. Использование мини экскаватора на прицепе позволит производить земляные работы вне зависимости от спецавтомобиля, но в его составе при передвижении к контрольному участку трубопровода.

Вывод: Мобильный комплекс для измерения расхода в МННПП с передачей данных в системы диспетчеризации позволит:

- проводить непрерывный мониторинг герметичности МННПП;
- оперативно обнаруживать утечки нефти и нефтепродукта для локализации участков МННПП;
- более точно определять координаты возникших утечек продукта и их интенсивность.

Применение мобильного комплекса для мониторинга и обнаружения утечек на МННПП позволит обеспечить уменьшение сверхнормативных потерь нефти и нефтепродукта при несанкционированных врезках, что даст минимизировать экономический ущерб трубопроводным организациям при транспортировке нефти и нефтепродукта. Кроме этого, оперативная реакция обслуживающей организации на разлив продукта обеспечит уменьшение экологических последствий при разливе продукта в окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов Г.Б. Примеры и некоторые статистические данные о разливах нефти и нефтепродуктов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. №4 (41). С.123-128.
2. Illegal tapping into oil pipelines remains an unsolvable problem for law enforcement and lawmakers, 2018 Потапенкова О.В.
3. Российский статистический ежегодник 2021 : статистический сборник / Под ред. П.В. Малкова. М.: Изд-во Федеральной службы государственной статистики, 2021. 692 с.
4. Мансуров А.С.у. Способы борьбы с аварийным разливом нефти // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. статей XLII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 15 февраля 2021 г.). Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 40–42.
5. Плехина, Е.Е. Метод обнаружения несанкционированных врезок на трубопроводах//Вестник Оренбургского государственного университета №16 2011.

УДК 621.644.073

**ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОВОДА «МОЗЫРЬ-БРЕСТ»
НА УЧАСТКЕ 289-290 КМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ЕГО УКЛАДКЕ
С ОТСТУПЛЕНИЕМ ОТ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ****В.В. СТРИНАДКО***(Представлено: А.Н. Янушонок)*

В данной работе произведена оценка безопасности дальнейшей эксплуатации нефтепровода «Мозырь-Брест» на участке 289-290 км при проведении работ по его укладке с отступлением от проектных решений с применением метода расчета конструкции по предельным состояниям.

Производство работ по укладке магистрального нефтепровода «Мозырь-Брест» (диаметр 630 мм и толщиной стенки 9 мм, марка стали 09Г2Б К55 по ГОСТ 31447-2012 [1]) выполнялось с нарушением проектных решений, что потребовало оценки последующей безопасности его эксплуатации. Вместо предусмотренных проектом трех трубоукладчиков был задействован один, который производил укладку с бровки траншеи.

Оценку безопасности дальнейшей эксплуатации мы решили провести на основании расчета конструкции по предельным состояниям. Цель такого расчета заключается в том, чтобы определить возможность наступления любого из предельных состояний первой группы, т.е. обеспечить несущую способность, как отдельного элемента, так и всей конструкции в целом.

Строительные конструкции должны удовлетворять требованиям (критериям), соответствующим следующим предельным состояниям:

– первая группа предельных состояний - состояния строительных объектов, превышение которых ведет к потере несущей способности строительных конструкций и возникновению аварийной расчетной ситуации;

– вторая группа предельных состояний - состояния, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация строительных конструкций, исчерпывается ресурс их долговечности или нарушаются условия комфортности. [2]

Метод расчета конструкций по предельным состояниям является дальнейшим развитием метода расчета по разрушающим усилиям. При расчете по этому методу четко устанавливают предельные состояния конструкций и используют систему расчетных коэффициентов, введение которых гарантирует, что такое состояние не наступит при самых неблагоприятных сочетаниях нагрузок и при наименьших значениях прочностных характеристик материалов. Данный подход используется и для магистральных трубопроводов, что отражено в СНиП 2.05.06-85* [3].

В качестве критерия обеспечения безопасной и надежной работы магистральных трубопроводов принимается недопущение возникновения напряжений в металле трубопровода, превышающих нормативные значения. В данной работе принимается такой же подход и будет принято, что безопасность дальнейшей эксплуатации нефтепровода «Мозырь-Брест» на участке 289-290 км при проведении работ по его укладке с отступлением от проектных решений будет обеспечена в случае выполнения следующего условия:

$$|\sigma| \leq R, \quad (1)$$

где σ – максимальные действующие напряжения в металле стенки трубопровода, возникающие в момент производства работ по укладке нефтепровода, МПа;

R – расчетное (нормативное) значение сопротивления растяжению, МПа.

В качестве расчетного нормативного сопротивления растяжению в соответствии со СНиП 2.05.06-85* [3] следует принимать значение R_1 , МПа, определенное исходя из предела временного сопротивления $\sigma_{вр}$, МПа. в случае проведения расчета на прочность. В случае же определения недопустимых пластических деформаций следует принимать значение R_2 , МПа, определенное исходя из предела текучести σ_T , МПа. Второй подход является более жестким условием и в данной исследовательской работе в дальнейшем будем руководствоваться критерием недопустимости пластических деформаций при производстве работ по укладке магистрального нефтепровода.

В процессе производства работ ось нефтепровода меняет свое положение и в качестве расчетного положения должно быть принято такое положение, в результате которого возникнут максимальные напряжения. Очевидно, что максимальный изгибающий момент будет возникать в случае максимальных отклонений оси трубопровода от центрального положения. Это произойдет в момент поднятия трубопровода на максимальную высоту. При этом один из концов трубопровода будет находиться на дне траншеи.

Для оценки напряженного состояния нефтепровода, при проведении работ по его укладке с отступлением от проектных решений, определим изгибающие моменты, действующие в опасных сечениях нефтепровода, т.е. в зоне удержания нефтепровода текстильным ленточным стропом.

Максимальный изгибающий момент в пролете M_x , МН·м и момент в точке подъема нефтепровода трубоукладчиком M_1 , МН·м [4]:

$$M_x = |M_1| = 0,518 \cdot \sqrt{E \cdot I \cdot h_1 \cdot q_{тр}}, \quad (2)$$

где E – переменный параметр упругости (модуль Юнга). Для стали принимаем $2,1 \cdot 10^5$ МПа;
 I – осевой момент инерции относительно центральных осей кольцевого сечения трубы $м^4$;
 h_1 – высота подъема техникой;
 $q_{тр}$ – расчетная нагрузка от веса изолированного нефтепровода $\frac{Н}{м}$;
 Проверка условия прочности нефтепровода:

$$|M_1| \leq R_2 \cdot W, \quad (3)$$

где W – момент сопротивления изгибу кольцевого сечения трубы $м^3$.
 Произведя математические вычисления, получим:

$$0,425 \text{ МН} \cdot \text{м} \leq 0,82 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Условие прочности нефтепровода выполняется.

Определим максимальные изгибающие напряжения σ_x , МПа в пролете [4]:

$$\sigma_x = \bar{\sigma}_x \cdot \sqrt{E \cdot \rho_{ст} \cdot g \cdot h_1}, \quad (4)$$

где $\bar{\sigma}_x$ – безразмерный параметр симметричного подъёма. При использовании одного трубоукладчика принимаем 0,667 [4];
 $\rho_{ст}$ – плотность стали, принято значение 7850 кг/м^3 ;
 g – ускорение свободного падения, принятое в расчете как $9,81 \text{ м/с}^2$.
 Проверка условия прочности нефтепровода:

$$|\sigma_x| \leq R_2 \quad (5)$$

Произведя расчет получим:

$$132,23 \text{ МПа} < 305,22 \text{ МПа}$$

Условие прочности нефтепровода выполняется.

Заключение. Определены действующие усилия и напряжения в металле нефтепровода. Произведенные расчеты показали, что возникающие напряжения в металле нефтепровода не превысили нормативные значения. Работоспособность и долговечность нефтепровода при таком нагружении обеспечивается. Можно сделать вывод о том, что выполнение работ по укладке нефтепровода с рассмотренными отступлениями от проектных решений допустимо и не должно сказаться на безопасности дальнейшей эксплуатации нефтепровода.

ЛИТЕРАТУРА

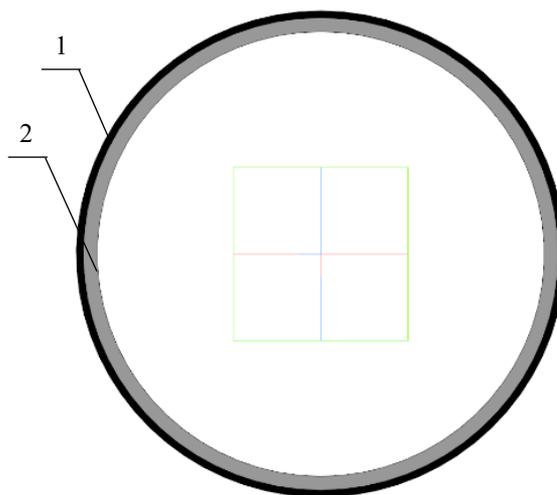
1. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия [Текст]. – Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 37 с.
2. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [Текст]. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с.
3. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы [Текст]. – Введ. 1986-01-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 62 с.
4. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов [Текст]: учеб. пособие / Л.И.Быков [и др.]; под ред. Л.И.Быков. – Санкт-Петербург.: Недра, 2006 – 824 с., ил.

УДК 621.644.073

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕФТЕПРОВОДА «МОЗЫРЬ-БРЕСТ» НА УЧАСТКЕ 289-290 КМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ЕГО УКЛАДКЕ С ОТСТУПЛЕНИЕМ ОТ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**В.В. СТРИНАДКО***(Представлено: А.Н. Янушонок)*

В данной работе произведено математическое моделирование процесса производства работ по укладке нефтепровода «Мозырь-Брест» на участке 289-290 км с отступлением от проектных решений в программном комплексе SolidWorks, а также осуществлена оценка его напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов.

Математическое моделирование процесса производства работ по укладке магистрального нефтепровода одним Komatsu PC220 с бровки траншеи, выполнялось в программном комплексе SolidWorks. Первым этапом проведения моделирования является внесение в программный комплекс всех составных компонентов, характеристик материалов, их геометрических параметров и создание трехмерных моделей всех элементов. На рис. 1 представлены основные компоненты, входящие в исследуемую систему, по мере формирования исходных данных и характеристик: заводская трёхслойная полимерная изоляция усиленного типа на основе экструдированного полиэтилена, трубопровод.



1 – заводская трёхслойная полимерная изоляция усиленного типа на основе экструдированного полиэтилена; 2 – трубопровод

Рисунок 1. – Трехмерная модель (вид 1)

Характеристика изоляции:

– заводская трёхслойная полимерная изоляция усиленного типа на основе экструдированного полиэтилена – 2,5 мм согласно ГОСТ Р 51164-98 [1].

Характеристика трубопровода:

– наружный диаметр – 630 мм;

– толщина стенки трубопровода – 9 мм;

– марка стали трубопровода – 09Г2Б К55 по ГОСТ 31447-2012 [2].

С целью ограничения степеней свободы концов трубопровода, находящегося в траншее, были смоделированы опоры, позволяющие ему свободно перемещаться в трех направлениях: вдоль оси трубопровода, подъем оси трубопровода вверх, поворот оси трубопровода и представлены на рисунке 2. Прилагаемые усилия полотноцем моделировались в виде распределенной нагрузки с заданным усилием.

Сборка в данном случае подготовлена в соответствии с функционалом и программными особенностями SolidWorks Simulation, так как процесс моделирования включает большое количество компонентов, имеющих разные характеристики.

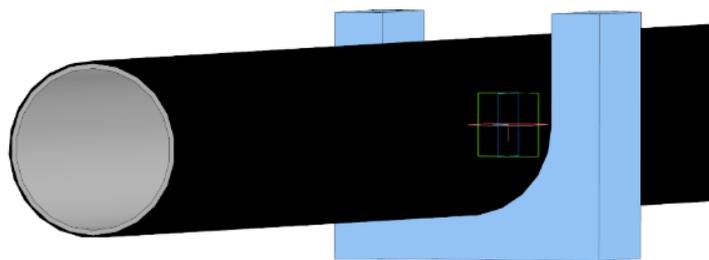


Рисунок 2. – Подготовленная сборка трехмерной модели фиксирующих компонентов

Следующий этап моделирования – это сам процесс «симуляции» напряженно-деформированного состояния системы. В результате выполнения моделирования определены пятна контакта, действующие усилия и, возникающие напряжения и деформации в рассматриваемой системе. При проведении моделирования рассматривалась статическая линейно-упругая изотропная модель взаимодействия компонентов и использовался встроенный решатель FFEPlus, которому позволялось моделировать в том числе и большие смещения элементов модели.

Для определения напряженно-деформированного состояния использовалось сплошное покрытие расчетной модели сеткой с размером ячейки 60 мм. На рис. 3 визуальнo представлен только фрагмент модели трубопровода для лучше визуального восприятия.

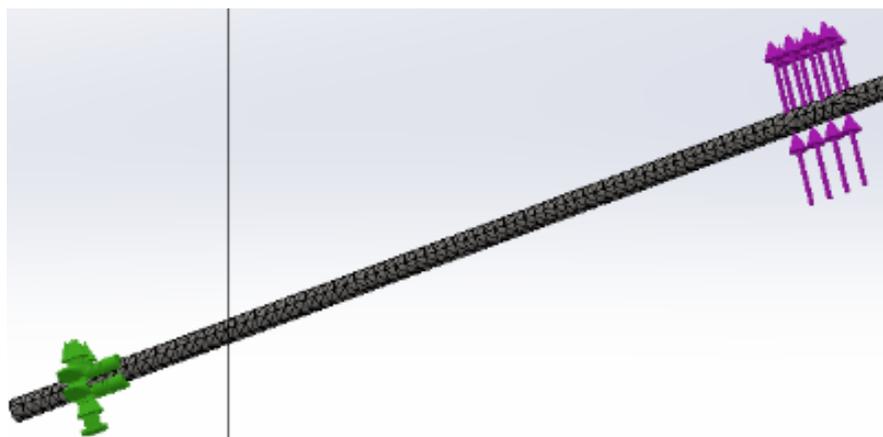


Рисунок 3. – Фрагмент покрытой сеткой модели трубопровода

В результате проведения расчета разработанной модели трубопровода получено распределение нагрузок и напряжений в анализируемых компонентах модели, которые визуальнo представлены на рисунках 4 и 5.

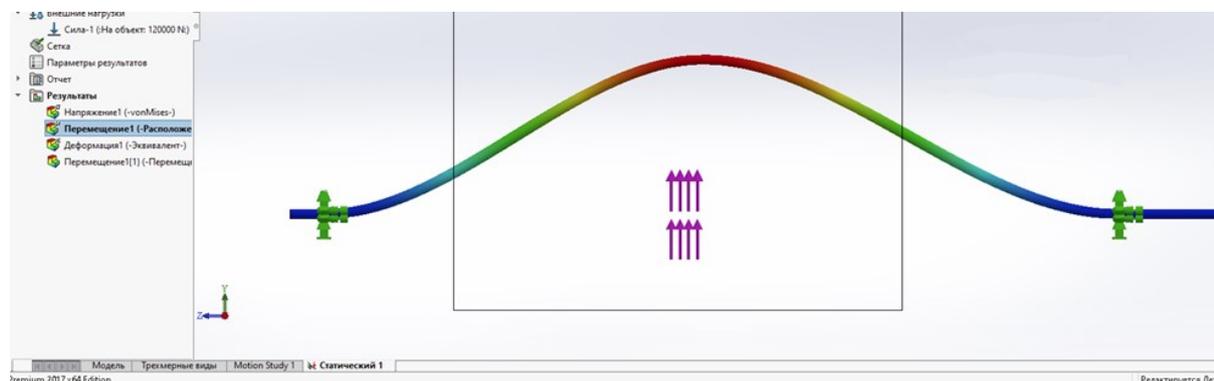


Рисунок 4. – Распределение прикладываемой нагрузки в исследуемых компонентах трубопровода

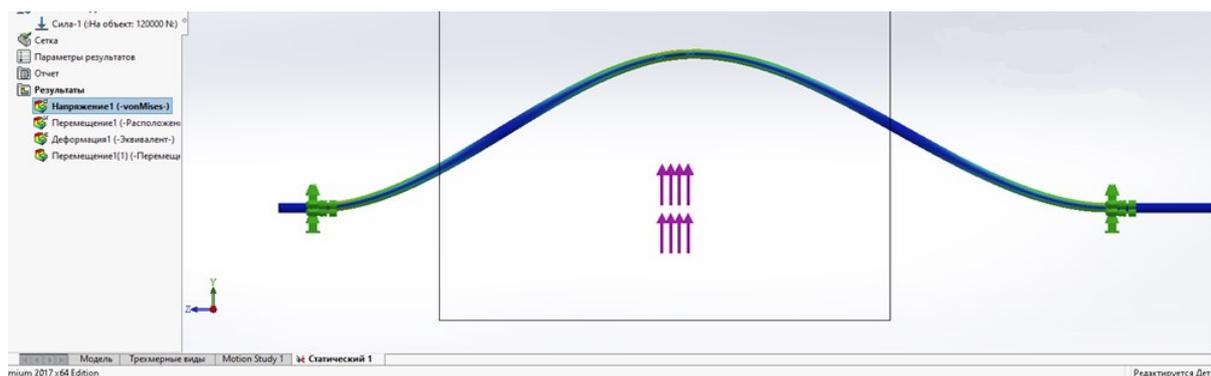


Рисунок 5. – Распределение напряжений в исследуемых компонентах трубопровода

Заключение. В процессе работы разработана математическая модель нефтепровода DN 600, участвующего в процессе укладки его в траншею. В результате анализа полученных данных выявлено распределение напряжений в металле нефтепровода, которые не превысили нормативных значений. Следовательно, выполнение работ по укладке нефтепровода с такими отступлениями от проектных решений допустимо и не должно сказаться на безопасности дальнейшей эксплуатации нефтепровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии [Текст]. – Введ. 1999-07-01. – М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1998. – 46 с.
2. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия [Текст]. – Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 37 с.
3. Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации [Текст]: руководство / А.А.Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 562 с.
4. Dassault Systemes. Новые возможности SolidWorks 2019 [Текст]: компьютерная литература /Dassault Systemes. – USA: Waltham: Dassault Systemes (DS) SolidWorks Corp, 2019. – 242 с.
5. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов [Текст] / К. Бате, Е. Вилсон; пер. с англ. А.С. Алексеева и др.; Под ред. А.Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с., ил. – Перевод изд.: Numerical methods in finite element analysis / К. – J. Bathe, E.L. Wilson (1976).
6. Голованов, А.П. Метод конечных элементов в статике и динамике тонкостенных конструкций [Текст] / А.П.Голованов, О.Н. Тюленева, А.Ф. Шигабутдинов. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 392 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОДЕЗИЯ

<i>Герасимова М.А.</i> Гиперспектральная и мультиспектральная съёмка в точном земледелии	3
<i>Герасимова М.А.</i> Определение индекса NDVI для целей точного земледелия	5
<i>Давидовская А.И., Иванов Н.С.</i> Расчёт объёмов земляных работ с использованием цифровых моделей рельефа	7
<i>Давидовская А.И., Иванов Н.С.</i> Определение объёмов земляных работ в системах автоматизированного проектирования	10
<i>Стегайёва В.С.</i> Возможности исследования оползневых процессов при помощи спутниковых снимков	14
<i>Стегайёва В.С.</i> Дешифрирование оползневых процессов на космических и аэрофотоснимках	16
<i>Шкут Д.В.</i> Нейронные сети в геодезии	18

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА. ДИЗАЙН

<i>Машинова А.А.</i> К вопросу безбарьерной среды для людей, имеющих дефекты зрения	20
<i>Машинова А.А.</i> К вопросу особенностей зрения в дизайне	22
<i>Машинова А.А.</i> Как работают художники-дальтоники	24
<i>Posled E.V., Konyuhov M.V.</i> Comparison of sorption humidity indicators of insulations based on natural raw materials	26
<i>Posled E.V., Konyuhov M.V.</i> Strength characteristics of insulations from natural fibers	28
<i>Konyuhov M.V., Posled E.V.</i> Thermal insulation from jute and coconut fibers	32
<i>Konyuhov M.V., Posled E.V.</i> Thermal insulation plates with fiber structure based on plant raw materials	35
<i>Guona M.</i> The experience of the Chinese construction Industry in the implementation of the wet shotcrete	37
<i>Guona M.</i> The experience of the Chinese construction Industry in the implementation of the 3D constructions printers	40
<i>Guona M.</i> The use of Chinese industrial waste in construction	42
<i>Guona M.</i> Mix design of high performance wet shotcrete	44
<i>Guona M.</i> Mix design of 3D construction printers	46
<i>Guona M.</i> Performance test and result analysis of high performance concrete	48
<i>Обрамтольский Р.Л.</i> Тепловая изоляция с использованием волокон коры эвкалипта	50
<i>Обрамтольский Р.Л.</i> Теплоизоляционные материалы на основе древесной коры	53
<i>Плещенкова М.С., Анушкевич Т.А.</i> Прочность и деформативность обжимных муфтовых соединений арматуры	56
<i>Плещенкова М.С., Анушкевич Т.А.</i> Механические соединения арматуры	59
<i>Поправко С.А.</i> Костёл святых Петра и Павла – символ города Ивье, Гродненская область	62
<i>Поправко С.А.</i> Новые туристические маршруты по Республике Беларусь	64
<i>Поправко С.А.</i> Структура новых туристических маршрутов по тематическим направлениям	67
<i>Zhang Xinxin</i> Scientific research analysis of the regulatory and legal framework in the field of green building technologies	71
<i>Zhang Xinxin</i> Review and comparison of design and technological solutions for green roofs with extensive landscaping	79
<i>Ципан Г.О., Сироткина Л.В.</i> Сопротивление изгибу нормальных сечений перекрытий из древесины и железобетона	85
<i>Ципан Г.О.</i> Напряженно-деформированное состояние сечений перекрытий из древесины и железобетона	88
<i>Шагибалова А.О.</i> Влияние погрешностей исходных параметров на достоверность параметров напряженно деформированного состояния статически неопределимых рамных конструкций	91
<i>Шагибалова А.О.</i> Влияние погрешностей исходных параметров на достоверность параметров напряженно деформированного состояния неразрезных балок	96

ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

Гринь А.А., Любецкий М.А. Теплогидравлический расчет транспортирования высокопарафинистой нефти через отечественную магистральную трубопроводную систему	101
Гринь А.А., Любецкий М.А. О возможных маршрутах транспортирования казахстанской высокопарафинистой нефти через Республику Беларусь	105
Петроченко М.А. Разработка мобильного комплекса измерения расхода в магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах с передачей данных в системы диспетчеризации для локализации участков со сверхнормативными потерями нефтепродуктов	107
Стринадко В.В. Оценка безопасности эксплуатации нефтепровода «Мозырь – Брест» на участке 289-290 км при проведении работ по его укладке с отступлением от проектных решений	110
Стринадко В.В. Моделирование и оценка напряженно-деформированного состояния нефтепровода «Мозырь – Брест» на участке 289-290 км при проведении работ по его укладке с отступлением от проектных решений методом конечных элементов	112