

Как видно из приведенных данных, на стадии приготовления пенопластов в воздушную среду выделяются эпихлоргидрин, этилендиамин и толуол. На стадии термообработки – эпихлоргидрин и толуол.

Спустя месяц с момента изготовления образца он продолжает выделять в воздушную среду за сутки эпихлоргидрина от 0,012 до 0,018 мг, толуола от 0,002 до 0,003 мг.

В целом выделение упомянутых вредных веществ незначительно и не может быть причиной загрязнения воздушной среды выше предельно допустимых уровней и вызывать заболеваемость, обусловленную производственными факторами.

#### Список литературы

1 А. с. № SU1289843 СССР, МПК C04B14/02. Способ получения теплоизоляционных изделий / В. И. Соломатов, Ю. Д. Золотухин, А. Г. Ташкинов. – № 3839891 ; заявл. 15.01.1985 ; опубл. 15.02.1987. Бюл. № 6. – 1987.

2 **Ташкинов, А. Г.** Оценка стойкости эпоксидных пенопластов, эксплуатируемых в условиях высоких температур и влажности / А. Г. Ташкинов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 111–112.

УДК 69.059.7:72.02

## АНАЛИЗ ОПЫТА АДАПТАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ ПОД ГИДРОПОННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ФЕРМЫ

*Т. С. ТИТКОВА, А. В. ТАЧИЛКИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Вертикальное фермерство – относительно новое направление городского сельского хозяйства, которое начало активно развиваться в последние десятилетия. Концепция предполагает культивирование растений в многоуровневых закрытых зданиях с контролируемой средой на территориях городских районов в условиях дефицита доступной земли.

Начиная с Японии и Сингапура, характеризующихся значительным уровнем развития технологического сектора и высокой плотностью населения, современные вертикальные тепличные комплексы стали актуальным направлением в сельском хозяйстве. Этот инновационный способ выращивания растений, основанный на применении передовых инженерных, климатических и информационно-технологических решений, привлек внимание профессионалов и интересующихся этой областью по всему миру [4].

Однако, задолго до возникновения современных вертикальных ферм, архитектурная практика уже разработала ряд методов и принципов, которые воплощали идею взаимосвязи между архитектурой и природой [2]. Еще древние цивилизации использовали гидропонические методы выращивания растений: чинампы ацтеков, древнекитайские плавучие острова, висячие сады Семирамиды.

Гидропоника, какой мы ее знаем, появилась из открытий, сделанных во время экспериментов, проводимых для определения состава растений, еще в начале XVII века. Позже над идеями гидропоники работали такие ученые как Дж. Пристли, Жан Инджен-Уш, Ю. фон Закс, Г. Эллис Бэйли, Уильям Ф. Герике, Говард Реш, Д. Деспоммьер и др. [3].

Благодаря исследованиям и работам ученых по совершенствованию методов беспочвенного выращивания растений, сегодня гидропоника получила широкое признание и активно практикуется во многих странах, включая Россию, Нидерланды, Голландию, Италию, Испанию, Объединенные Арабские Эмираты, Израиль, Китай, Корею и Австралию. Активно разрабатываются новые революционные решения в сельском хозяйстве – вертикальные гидропонные фермы. Растущий интерес к ним обусловлен существенными изменениями, связанными с будущим экологическим кризисом и недостатком сельскохозяйственных земель из-за роста числа населения. Прогнозируется, что к 2050 году население планеты увеличится в 1,2 раза, дойдя до отметки в 9,7 миллиардов человек, что значительно повысит объемы продовольствия для обеспечения потребностей населения. Вертикальные гидропонные фермы предлагают оптимальное решение этой проблемы путем получения высоких урожаев различных культур при минимально занимаемых ими территориях [2].

Фермы представляют собой высокоавтоматизированные многоэтажные теплицы. Используя технологию беспочвенного выращивания, растениям обеспечиваются оптимальные условия: пита-

ние специальными растворами, освещение светодиодными фитолампами с подобранными эффективными длинами световых волн, температурный и влажностный режимы [1]. За счет инновационных технологий и искусственного интеллекта такие фермы полностью автоматизированы. Полив, освещение, внесение удобрений и сбор урожая контролируются с помощью специальных систем. Основной продукцией, которую можно выращивать на вертикальных гидропонных фермах, является зелень премиальных сегментов и различные виды салатов, таких как руккола и базилик, а также клубника, овощи и грибы. Среди самых популярных методов вертикального земледелия в помещении можно выделить гидропонику, аэропонику и аквапонику.

Для устройства вертикальных гидропонных ферм может быть использовано как новое строительство, так и адаптация существующих зданий.

В разных странах мира действуют уже реализованные проекты, такие как подземная ферма в Лондоне, размещенная в тоннелях времен Второй мировой войны, городская ферма на территории заброшенной подземной парковки во Франции и гидропонные грядки, оборудованные на территории складов компанией Farm 360. Эти сооружения не только позволяют получать высококачественные продукты, но и экономят воду и электроэнергию, получая ее из возобновляемых источников.

В Ньюарке, штат Нью-Джерси, стартап-компания AeroFarms построила самую большую вертикальную ферму в мире в бывшем сталелитейном заводе. На ферме площадью 69 тысяч квадратных футов выращивают 12 различных сортов зелени и трав на грядках высотой 30 футов.

В Гленс-Фоллсе (штат Нью-Йорк) вертикальная ферма занимает третий этаж ресторана.

В Уэст-Хейвене (штат Коннектикут, США) городские власти рассматривают предложение о том, чтобы переоборудовать под гидропонную ферму одну из заброшенных городских школ.

В 2012 году компания The Plant представила свою недавно разработанную систему вертикального земледелия, размещенную в заброшенном здании мясокомбината в Чикаго, штат Иллинойс.

Самая крупная гидропонная система в Южной Корее и одна из крупнейших в мире расположена на территории заброшенного тоннеля. На площадке размером с половину футбольного поля выращивают 60 видов овощей и фруктов.

Российская компания «Городские Агротехнологии» стала первой в стране, реализующей инновационное решение – встраивание вертикальных гидропонных систем отечественного производства в пустующие городские помещения. Проект перепрофилирования цехов действующего машиностроительного завода стал уникальным примером использования пространств, непригодных для основной деятельности, но идеально подходящих для городского садоводства. Компания нашла способ трансформировать неиспользуемые технические этажи в эффективные сити-фермы, где успешно выращивают зелень.

Исходя из анализа опыта адаптации существующих зданий под гидропонные фермы, можно выделить следующие общие требования относительно основных градостроительных, архитектурно-планировочных и инженерно-конструктивных характеристик: размещение здания в приемлемой близости от точек сбыта продукции; отсутствие рядом вредных или пыльных производств; наличие (или возможность устройства) подъездных путей; прочность, устойчивость и надежность основных конструкций здания; наличие (или возможность подведения) коммуникаций; обеспечение хорошей вентиляции и отопления; стерильность помещений; наличие гидроизоляции; возможность выделения функциональных зон в объемно-планировочном решении (административной, сервисной, складской, овощехранилища, энергоцентра, производственного и тепличного блоков); использование в отделке экологичных и долговечных строительных материалов, обладающих гидроизоляционными и светоотражающими свойствами [5].

В заключение можно сказать, что адаптация существующих неиспользуемых зданий для размещения вертикальных ферм позволяет не только экономить дефицитные городские территории, но также предоставляет новые хозяйственные возможности для местной экономики и является фактором быстрой урбанизации современных сообществ.

#### Список литературы

1 Груднева, А. А. Вертикальное фермерство как инновационная технология решения проблемы продовольственного снабжения крупных городов [Электронный ресурс] / А. А. Груднева // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 9. – Режим доступа : [https://cyberleninka.ru/article/n/vertikalnoe-fermerstvo-kak-innovatsionnaya-tehnologiya-resheniya-prodovolstvennogo-snabzheniya-kрупnyh-gorodov/](https://cyberleninka.ru/article/n/vertikalnoe-fermerstvo-kak-innovatsionnaya-tehnologiya-resheniya-problemy-prodovolstvennogo-snabzheniya-kрупnyh-gorodov/). – Дата доступа : 14.09.2023.

2 Иконописцева, О. Г. Экоархитектура вертикальных ферм как новая типология агропромышленных зданий городского хозяйства будущего [Электронный ресурс] / О. Г. Иконописцева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – Т. 20, № 3. – 2018. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/ekoarhitektura-vertikalnyh-ferm-kak-novaya-tipologiya-agropromyshlennyh-zdaniy-gorodskogo-hozyaystva-buduschego>. – Дата доступа : 14.09.2023.

3 История гидропоники [Электронный ресурс] // HydroponEast Magazine. – 2012. – № 3. – Режим доступа : <https://autogrow.ru/assets/images/tickets/1776/cba6ba0f04887c9b575327efc8bfc894d82bcd0c.pdf>. – Дата доступа : 14.09.2023.

4 Михайлова, А. Грядки растут вверх. Вертикальные фермы расширяют экспансию в регионы // Агроинвестор [Электронный ресурс] / А. Михайлова. – Режим доступа : <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/39141-gryadki-rastut-vverkh-vertikalnye-fermy-rasshiryayut-/>. – Дата доступа : 16.09.2023.

5 Тачилкина, А. В. Принципы проектирования гидропонных ферм / А. В. Тачилкина // Архитектура и строительство: традиции и инновации : материалы Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 22 декабря 2022 года / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 122–125.

УДК 624.012.35.001.18

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В КАРБОНИЗИРОВАННОМ БЕТОНЕ

*М. И. ТКАЧЕВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В ходе эксплуатации на железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) воздействуют сложные по своему характеру внешние и внутренние факторы, к которым можно отнести постоянные и переменные нагрузки и воздействие окружающей среды (агрессивная среда или открытая атмосфера), влекущие за собой повышение вероятности отказа. Карбонизация бетона является наиболее важным из процессов, что влечет за собой возникновение коррозии стальной арматуры и ее дальнейшее развитие.

В ходе коррозии уменьшается диаметр стальной арматуры и, как следствие, площадь ее поперечного сечения, при этом также происходит снижение механических характеристик стали. Установление степени влияния карбонизации бетона на величину коррозии стальной арматуры является одной из проблем, которая исследуется в настоящее время [1, 2].

Согласно данным исследования [5], погодные условия являются ключевым фактором, определяющим скорость коррозии арматуры в карбонизированном бетоне, при этом температура и относительная влажность являются определяющими, что отображено в формуле

$$r = C_T r_0, \quad (1)$$

где  $C_T$  – температурный коэффициент;  $r_0$  – скорость коррозии при температуре +20 °С.

В исследовании [4] представлены рекомендуемые в расчетах значения средней скорости коррозии при карбонизации бетона при относительной влажности воздуха (RH):

$$RH = 90...98 \% - r_0 = 510 \text{ мкм/год};$$

$$RH < 85 \% - r_0 \leq 2 \text{ мкм/год}.$$

Невозможно точно определить глубину поражения коррозией стальной арматуры и ее скорость при карбонизации бетона, опираясь только на условия эксплуатации, необходимо учитывать влияние конструктивных особенностей ЖБЭ (ЖБК): толщины защитного слоя бетона и его состава, класса арматуры и др.

Длительные исследования в области карбонизации бетона ЖБЭ (ЖБК) в различных условиях эксплуатации дали возможность получить регрессионные зависимости скорости коррозии стальной арматуры и ее глубины от толщины защитного слоя для бетонов классов по прочности на сжатие  $C^{12/15}-C^{30/37}$  [1].

Скорость коррозии стальной арматуры для установленной толщины защитного слоя и времени эксплуатации

$$v_{t,s} = \left( b_0 + \frac{b_1}{s} \right) \left( c_0 + \frac{c_1}{s} \right) \cdot \exp \left[ - \left( c_0 + \frac{c_1}{s} \right) t \right]. \quad (2)$$

Глубина коррозии стальной арматуры

$$h_{t,s} = \left( b_0 + \frac{b_1}{s} \right) \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( c_0 + \frac{c_1}{s} \right) t \right] \right\}, \quad (3)$$