

УДК 332.872.43

И.В. Напольских

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,
г. Ижевск, email: bagaga53@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЯ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ключевые слова: ремонтпригодность, эксплуатация зданий, проектирование зданий, экономия на содержании здания, информационная модель здания.

Статья посвящена проблеме улучшения ремонтпригодности элементов здания или сооружения для облегчения процесса эксплуатации объекта в рамках обслуживания и ремонта. Проблема ремонтпригодности появилась из-за недостаточного взаимодействия проектных организаций и застройщиков, поскольку обе стороны преследуют собственные интересы от объекта, а обслуживание объекта строительства не является прямой задачей проектной организации. Из-за пренебрежения этой проблемой проектной организацией застройщик несет дополнительные расходы на ремонт и обслуживание здания. Предлагаемый алгоритм проверки ремонтпригодности элементов информационной модели здания (сооружения) позволяет устранить недочеты проекта, что позволит балансодержателю экономить на содержании и обслуживании объекта, а также усиленный контроль за ремонтпригодностью проектных решений при проектировании объекта строительства способствует улучшению безопасности, экологичности и рентабельности объекта.

I.V. Napolskikh

Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov, Izhevsk,
email: bagaga53@gmail.com

IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR ANALYZING THE REPAIRABILITY OF BUILDING ELEMENTS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF BUILDING OPERATION AT THE DESIGN STAGE

Keywords: maintainability, building maintenance, building design, building maintenance savings, building information model.

The article is devoted to the problem of improving the maintainability of elements of a building or structure to facilitate the operation of an object in the framework of maintenance and repair. The maintainability problem arose due to insufficient interaction between design organizations and developers, since both parties pursue their own interests from the object, and maintenance of the construction object is not a direct task of the design organization. Due to the neglect of this problem by the design organization, the developer incurs additional costs for the repair and maintenance of the building. The proposed algorithm for checking the maintainability of elements of an information model of a building (structure) makes it possible to eliminate design flaws, which will allow the balance holder to save on the maintenance and service of the facility, as well as enhanced control over the maintainability of design solutions when designing a construction facility, which helps to improve the safety, environmental friendliness and profitability of the facility.

Техническое обслуживание относится к мерам и действиям, предпринимаемым на этапе эксплуатации здания или сооружения для обеспечения того, чтобы элементы объекта находились в работоспособном состоянии, соответствующим нормативным требованиям. Балансодержатель объекта отвечает за управление техническим обслуживанием, а работы по техническому обслуживанию выполняются обслуживающим персоналом. Эти действия включают очистку,

осмотр, ремонт и замену компонентов здания или сооружения. Владелец несет ответственность за техническое обслуживание, которое регламентируется государственными нормативными документами [1].

Ремонтпригодность – это практика проектирования, которая гарантирует, что операции по техническому обслуживанию могут выполняться легко, точно, безопасно и с минимальными затратами. Ремонтпригодность здания учитывает

ся путем включения в процесс проектирования опыта эксплуатации и технического обслуживания. Включение принципа ремонтпригодности в проект строительства требует постоянной обратной связи с балансодержателем объекта для установления общего понимания между этапами проектирования и эксплуатации [2].

Однако у проектировщиков и балансодержателей объектов разные приоритеты и взгляды на ремонтпригодность.

Объекты и методы исследования

Разница между приоритетами проектировщиков и балансодержателя объекта в отношении конструкции и инженерного оборудования здания создает разрыв между этапами проектирования и эксплуатации. Этот пробел приводит к неэффективности обслуживания, связанной со стоимостью жизненного цикла объекта, безопасностью обслуживающего персонала и удовлетворенностью владельцев и пользователей объекта.

В этом исследовании предлагается система, которую можно использовать вместе с технологией информационной модели здания (BIM) и которая может преодолеть пробел между этапами проектирования и эксплуатации, если будет развернута на этапе проектирования. Предлагаемая система применима к большей части элементов здания, что позволяет проектировщикам проверять свои проекты с точки зрения ремонтпригодности, не создавая дополнительной рабочей нагрузки.

Анализ проекта здания с точки зрения ремонтпригодности направлено на оценку и улучшение инженерных систем и строительных конструкций для облегчения мероприятий по восстановлению работоспособного состояния объекта в случае повреждения или во время планового обслуживания. Другими словами, проект, учитывающий ремонтпригодность, гарантирует, что неисправное оборудование может быть эффективно и безопасно восстановлено в течение ожидаемого периода времени и в соответствии с предписанными операциями и процедурами технического обслуживания. Рассмотрение вопросов ремонтпригодности на этапе проектирования требует определения физиче-

ских характеристик конструкции, связанных с ремонтпригодностью, изменения методов, вызывающих фрагментацию в процессе проектирования здания, оценки потребностей в обслуживании по типу и функциям объекта, понимания влияния проблем ремонтпригодности на стоимость и реализацию автоматизированного инструмента проверки ремонтпригодности на этапе проектирования.

Целостность конструкции с точки зрения ремонтпригодности требует учета физических характеристик конструкции, таких как визуальный доступ, эргономика и доступ для обслуживания.

Отсутствие дисплея визуального контроля оборудования значительно увеличивает время обслуживания. Дисплей визуального контроля оборудования позволяет обслуживающему персоналу безопасно и комфортно выполнять работы по техническому обслуживанию, поскольку дисплей оборудования часто содержит цветовые индикаторы, символы и метки, которые позволяют оперативно продиагностировать и принять меры по ремонту оборудования. Уровень визуального доступа определяется тем, может ли обслуживающий персонал осматривать конкретную часть оборудования, не перемещая другие элементы здания. Отсутствие визуального доступа, особенно в технических помещениях, делает практически невозможным проведение персоналом работ по техническому обслуживанию. Отсутствие визуального доступа можно рассматривать как результат проектирования, не учитывающего должным образом ремонтпригодность оборудования.

Эргономика – это наука, которая направлена на улучшение условий и деятельности на рабочем месте в соответствии с физическими возможностями и ограничениями работников. Основное внимание в эргономике уделяется устранению или минимизации профессиональных заболеваний и травм, поражающих части опорно-двигательного аппарата человека. Минимальное рабочее пространство является предметом организации эргономики и связано со свободным пространством вокруг оборудования и строительных конструкций. Большинство технических листов к оборудованию относятся к руковод-

ствам производителей относительно требований к зазорам для технического обслуживания. Однако в руководствах производителей не указаны минимальные требования к зазорам для всех типов оборудования и строительных компонентов. В случае, если требования к зазору не указаны в руководстве производителя, ответственность за принятие обоснованного решения, связанного с ремонтопригодностью системы, ложится на проектировщика. К сожалению, не существует универсального критерия допуска, охватывающего все оборудование и элементы здания. Несмотря на то, что зазор для обслуживания вокруг определенного оборудования может быть достаточным с точки зрения эргономики человека, применение такого зазора вокруг всего оборудования и компонентов здания было бы неэффективным с точки зрения функциональности пространства. При определении зазора для технического обслуживания вокруг конкретной части оборудования необходимо учитывать тип работ по техническому обслуживанию, поскольку положение, которое должен занимать обслуживающий персонал для выполнения работ по техническому обслуживанию, и размер необходимых вспомогательных инструментов влияют на требования к минимальному зазору для технического обслуживания [3].

Доступ для обслуживания. Доступ для технического обслуживания к компонентам здания является наиболее важной характеристикой ремонтопригодности. Плохой доступ для обслуживания влияет на состояние компонентов здания, ставит под угрозу безопасность обслуживающего персонала, приводит к переделке систем оборудования и, соответственно, требует дополнительных работ и затрат. Когда время, затрачиваемое на техническое обслуживание, больше ожидаемой продолжительности, вполне вероятно, что существует проблема технического обслуживания, связанная с доступом до оборудования. Проектирование должно учитывать вопросы ремонтопригодности таким образом, чтобы оборудование с низкой надежностью было наиболее доступным, обслуживание которого можно было бы произвести легко, безопасно и экономично.

Вопрос доступности оборудования для обслуживания можно легко упустить из виду на этапе проектирования. Проверка проекта с точки зрения доступа для обслуживания должна быть обязанностью непосредственно проектной организации и лиц, ответственных за строительство [4].

Достижение высокой ремонтопригодности при проектировании объектов требует общего взаимопонимания, связи и сотрудничества между сторонами инвестиционно-строительного проекта. Однако эти стороны часто имеют разные приоритеты и взгляды на ремонтопригодность. Застройщик заинтересован в максимальной экономической отдаче проекта, проектная организация в скорости выполнения проекта строительства и минимизации затрат на разработку нетиповых конструктивных и технологических решений, подрядная организация в получении дохода от строительства и минимизации затрат на строительство и издержки производства. Это приводит к тому, что проектная организация применяет решения из предыдущих проектов, которые в определенных случаях могут приводить к проблемам в плане обслуживания оборудования, а подрядная организация в процессе строительства не обращает на это внимание, что в конечном счете осложняет жизнь будущему владельцу здания. Ключевые аспекты ремонтопригодности, такие как простота очистки и доступа для обслуживания, являются главными проблемами пользователей зданий, в то время как проектировщики считают эти аспекты наименее важными факторами, связанными с обслуживанием. Различные приоритеты между сторонами, участвующими в этапах проектирования и после строительства, создают фрагментированную строительную отрасль. Несмотря на то, что проектировщик должен получать обратную связь от балансодержателей объектов, чтобы проектировать объекты с оптимальными характеристиками жизненного цикла, как правило, такого не происходит. Учитывается ли ремонтопригодность на этапе проектирования зачастую зависит от опыта проектировщика. Однако часто предполагается, что все проектировщики имеют достаточный опыт

для создания конструкции, полностью учитывающей ремонтпригодность [5].

Нынешнее содержание образовательных программ, предлагаемых в строительных институтах, не дает возможности будущим проектировщикам узнать о проблемах ремонтпригодности. Заказчик объекта строительства практически не участвует в этапе проектирования. Первое участие заказчика в проекте часто начинается на этапе ввода в эксплуатацию, когда возможность редактирования проекта крайне ограничена, а самые значительные проектные решения уже выполнены. Информация, относящаяся к требованиям управления объектами, такая как доступ для обслуживания, не учитывается на традиционном этапе проектирования, и в результате возникает несоответствующее распределение пространства. Предполагается, что раннее вовлечение заказчика на этапе проектирования может сократить пробел между этапами проектирования и эксплуатации и может улучшить общую ремонтпригодность за счет выявления проблем и предотвращения потенциальных проблем с обслуживанием. Когда ремонтпригодность принимается во внимание на этапе проектирования, это улучшает общую производительность объекта, повышает безопасность, эффективность эксплуатации и обслуживания.

Одной из наиболее распространенных проблем, с которыми сталкиваются балансодержатели объекта строительства, является невозможность обслуживать некоторые строительные элементы как в новых, так и в реконструированных зданиях. Проектирование без учета ремонтпригодности не только увеличивает стоимость работ по техническому обслуживанию, но иногда делает невозможным его выполнение [6].

Результаты и их обсуждение

Наиболее распространенные проблемы технического обслуживания, с которыми сталкиваются руководители объектов из-за отсутствия учета ремонтпригодности при проектировании, заключаются в следующем:

- Отсутствие доступа для обслуживания
- Плохая планировка технических помещений

- Ограниченный опыт проектных организаций в сфере эксплуатации существующих зданий

- Недостаток понимания того, как дизайн и компоновка системы влияют на ремонтпригодность

В дополнение к преодолению разрыва раннее участие застройщика на этапе проектирования может улучшить общую производительность строительных объектов. Ожидаемые выгоды от участия балансодержателей объектов на этапе проектирования заключаются в следующем.

- Простота изменения инженерных систем здания

- Простота обслуживания

- Повышенная безопасность, защищенность, устойчивость и функциональность

- Повышение энергоэффективности объекта

- Экологичность

- Повышение эффективности управления объектами

- Улучшение общей ремонтпригодности

Вовлечение застройщика на этапе проектирования должно быть облегчено для решения проблем ремонтпригодности. Данный процесс может выполняться с помощью компьютерных инструментов (например, BIM), которые могут передавать знания по управлению объектами проектировщикам.

Влияние эксплуатации и технического обслуживания на стоимость жизненного цикла здания хорошо изучено и имеет значительное влияние. Тем не менее, экономический эффект рассмотрения вопросов ремонтпригодности на этапе проектирования, как правило, остается без большого внимания. Другими словами, даже несмотря на то, что рассмотрение ремонтпригодности на этапе проектирования может потребовать дополнительных первоначальных затрат, связанных с услугами по проектированию, первоначальные затраты будут значительно ниже по сравнению с долгосрочной экономией, которая будет достигнута на этапе эксплуатации.

Решения, принимаемые на этапе проектирования, составляют 65 % стоимости жизненного цикла объекта, а 20% стоимости технического обслуживания вызваны неэффективными проектными решениями, большинство которых свя-

заны с проблемами доступа для технического обслуживания. Принимая во внимание влияние на стоимость жизненного цикла, проектирование является наиболее важным этапом для выявления и решения потенциальных проблем обслуживания с учетом ремонтпригодности.

Несмотря на представленные преимущества, адаптация объекта к повышенной ремонтпригодности считается обязанностью исключительно для разработчиков. Рекомендации по внедрению повышенной ремонтпригодности в проектах, могут побудить проектные организации уделять больше внимания обнаружению и устранению проблем, связанных с этим явлением. Несмотря на то, что рекомендации по внедрению ремонтпригодности, содержащие потребности застройщика, является хорошим источником информации, спроектировать объект в соответствии с ними сложно, поскольку проект часто меняется, а рассмотрение каждого изменения в соответствии с рекомендациями создаст дополнительную нагрузку на разработчика. Традиционная проверка ремонтпригодности объекта проектирования часто проводится по двумерным чертежам, точность и эффективность которых сильно зависят от опыта проектировщиков. Вместо ручных усилий, затрачиваемых на проектирование и соблюдение рекомендаций, набор рекомендаций может быть реализован с помощью информационной модели здания. Информационную модель здания можно использовать для моделирования технического обслуживания, многоцелевых оптимизационных моделей и пользовательских алгоритмов проверки ремонтпригодности. Статистически значимая взаимосвязь между компоновкой оборудования, доступом для обслуживания и ремонтпригодностью может использоваться для многоцелевой оптимизации, направленной на достижение ремонтпригодности на этапе проектирования. Аналогичным образом можно использовать алгоритм для автоматического создания 3D-схемы оборудования, которая соответствует требованиям и ограничениям доступа для обслуживания. BIM является наиболее подходящей платформой для реализации автоматизированного процесса проверки ремонтпригодности на этапе

проектирования, поскольку параметрическая и геометрическая информация о компонентах здания, необходимая для проверки ремонтпригодности, уже существует в модели BIM.

В этом исследовании предлагается система комплексного инструмента проверки ремонтпригодности, которую можно легко собрать на платформе BIM с помощью шаблона алгоритма, разработанного в этом исследовании. Шаблон алгоритма можно настроить для различных компонентов здания, которые могут быть в конструкции. Шаблон алгоритма состоит из 14 шагов (рис. 1).

- Шаг 1. Алгоритм сканирует все элементы здания в модели BIM и определяет, существует ли в модели интересующий компонент здания. Если интересующий компонент здания отсутствует в модели, проверять нечего.

- Шаг 2. Определяется местоположение интересующего компонента здания, если оно существует.

- Шаг 3. Получение параметрической информации об интересующем компоненте здания (например, локальные координаты x-y-z, длина, ширина и высота).

- Шаг 4. Вокруг интересующего компонента здания создается зазор с использованием параметрической информации и заранее определенных критериев доступа для обслуживания.

- Шаг 5. Алгоритм определяет, находится ли какой-либо компонент здания частично или полностью в пределах зазора вокруг интересующего компонента здания. Проблемы ремонтпригодности не обнаруживаются, если внутри зазора нет строительного компонента.

- Шаг 6. Перечисляются элементы здания, расположенные в пределах зазора.

- Шаг 7. Алгоритм проверяет, не связаны ли какие-либо из перечисленных компонентов здания напрямую с интересующим компонентом здания.

- Шаг 8. Элементы здания, непосредственно связанные с интересующим элементом здания, удаляются из списка, созданного на шаге 6.

- Шаг 9. Идентифицируются элементы здания, расположенные в пределах зазора, но не связанные напрямую с интересующим компонентом здания.

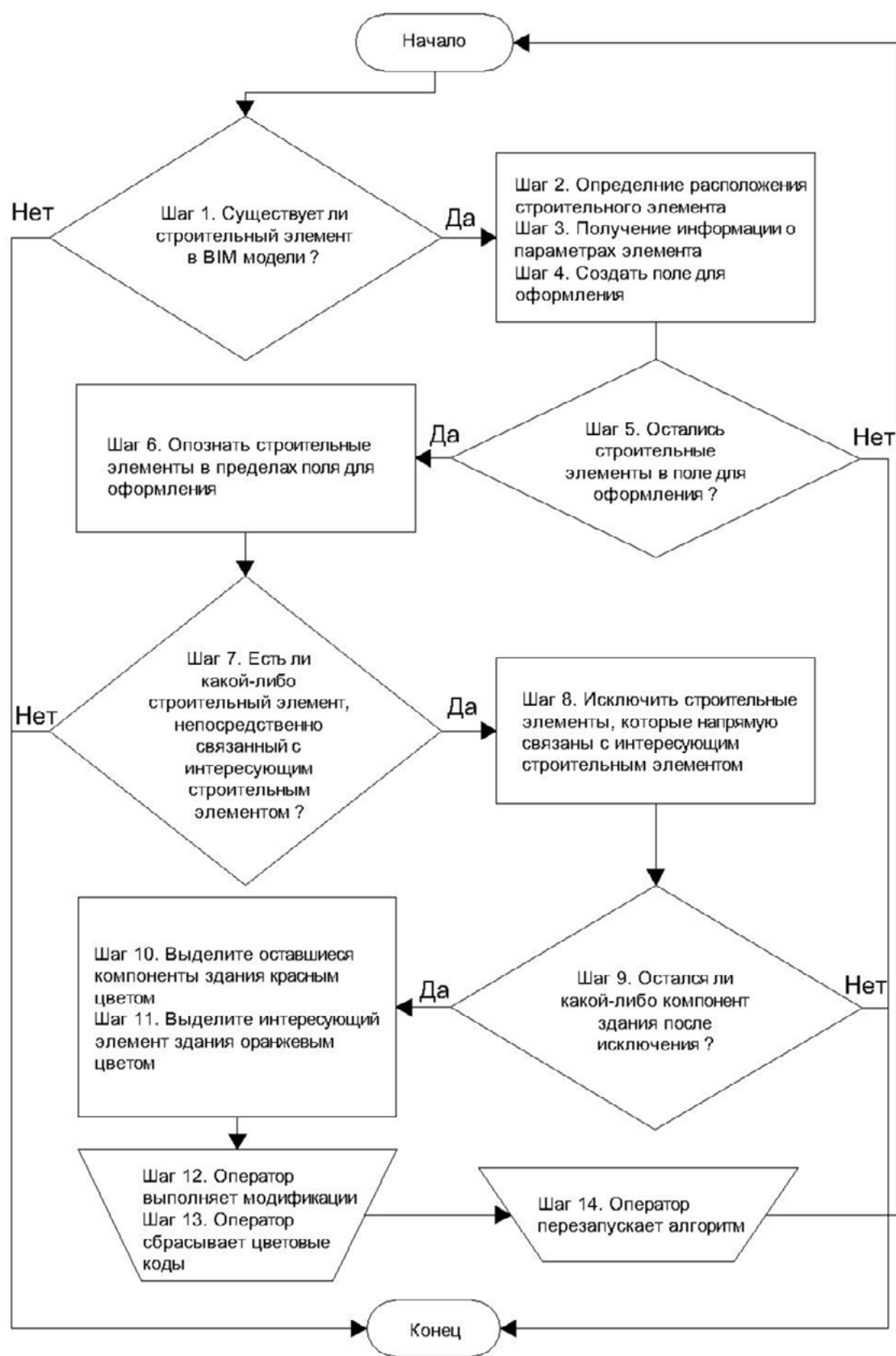


Рис. 1. Алгоритм работы проверки ремонтпригодности

• Шаг 10. Элементы здания, указанные на шаге 9, выделены красным цветом для привлечения внимания проектировщика. Элементы здания, выделенные красным, вызывают проблемы с ремонтпригодностью интересующего компонента здания.

• Шаг 11. Интересующий строительный компонент выделяется оранжевым цветом в случае наличия строительного компонента (компонентов), вызывающих проблемы с ремонтпригодностью. Цветовые коды, примененные на шагах 10 и 11, остаются в силе до тех пор, пока проектировщик не решит проблемы с ремонтпригодностью.

• Шаг 12. Проектировщик вносит изменения в модель BIM, чтобы решить проблемы ремонтпригодности, обнаруженные алгоритмом.

• Шаг 13. Элементы здания с цветовой кодировкой возвращаются к своим цветам по умолчанию после внесения дизайнером необходимых изменений.

• Шаг 14. Проектировщик повторно запускает алгоритм, чтобы убедиться, что проект соответствует требованиям ремонтпригодности интересующего компонента здания.

Выводы

У проектировщиков и балансодержателей разные приоритеты в отношении ремонтпригодности. Это создает разрыв между проектированием и этапом эксплуатации, когда возникают проблемы, связанные с техническим обслуживанием. Некоторые конструкции делают операции по техническому

обслуживанию непрактичными, а в некоторых случаях невозможными при эксплуатации объекта и увеличивают стоимость жизненного цикла объектов. Потенциальные проблемы обслуживания могут быть обнаружены и решены на этапе проектирования, если вопросы ремонтпригодности включены в этап проектирования с помощью соответствующего алгоритма.

В данном исследовании был предложен алгоритм системы проверки ремонтпригодности. Алгоритм можно настроить для всех компонентов здания, которые могут быть в структуре, и его можно реализовать вместе с инструментом BIM, такими как Autodesk Revit. Или Graphisoft Archicad. Также это позволит сократить разрыв между этапами проектирования и эксплуатации, не увеличивая рабочую нагрузку проектировщиков, позволяя проектировщикам создавать проекты, которые улучшают доступ для обслуживания и безопасность на рабочем месте, облегчают ремонт элементов здания, сокращают количество изменений в проектных решениях, повышает эффективность процесса эксплуатации и сокращает время, затрачиваемое на техническое обслуживание.

Автоматизированный процесс проверки ремонтпригодности следует рассматривать как неотъемлемую часть процесса проектирования. Строительная отрасль должна разработать и принять проект стандартов ремонтпригодности для каждого компонента здания, который может быть в конструкции, и соблюдать их с помощью инструментов BIM.

Библиографический список

1. Петров К.С., Середина В.В., Швец Ю.С., Аль-Мсари А.А.Р. Применение BIM-технологий при ремонте и эксплуатации зданий // Постулат. 2018. № 12-1(38). С. 28.
2. Абрамов Н.М. Ремонтпригодность зданий // Новейшие достижения и успехи развития технических наук: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, Краснодар, 25 июня 2016 года. Краснодар: Федеральный центр науки и образования «Эвенсис», 2016. С. 31-343.
3. Грахов В.П., Кислякова Ю.Г., Мохначев С.А., Симаков Н.К. Актуальность цифрового строительства зданий в промышленности // Россия и мир: развитие цивилизаций. Инновации и консерватизм: поиск баланса: материалы XII международной научно-практической конференции, Москва, 06–07 апреля 2022 года. М.: Институт мировых цивилизаций, 2022. С. 88-91.

4. Бурцева В. Расширение BIM-технологии, или Как сэкономить миллионы рублей на эксплуатации здания // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2019. № 3 (207). С. 24-27.
5. Талапов В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. 1-е изд. М.: ДМК-Пресс, 2015. 412 с.
6. Теличенко В.И., Лapidус А.А., Морозенко А.А. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве. М.: Издательство АСВ, 2008. 144 с.