

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-63-76

Цепилова О.П.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: tsepilova.art@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПРИ ПОВТОРНОЙ АДАПТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. Современные условия растущих тенденций устойчивого развития равновесных изменений экономических и социокультурных связей характеризуют взаимосвязь в потребительском отношении к эстетическим, временным, экономическим, социальным и другим ценностям. Грамотное прогнозирование, направленное на удовлетворение потребительского запроса и сохранение окружающей среды, раскрывает разнообразие вариативности успешной реализации своих проектных предложений перед архитекторами. Таким образом повышается актуальность повторного использования утративших первоначальную функцию зданий, которая является практическим решением для устойчивого развития городов. Это влечет за собой рост потребностей в поиске реально возможных путей автоматизации процессов рефункционализации архитектурных объектов.

В ходе данной работы были изучены различные принципы математического и информационного моделирования, основанные на вариациях метода многокритериального принятия решений (MCDM), проектировании BIM-моделирования в условиях повторной адаптации объектов культурного наследия и других. Было установлено, что в зависимости от типологии объектного применения, эти методы требуют более конкретной проработки, конкретизации весов экспертной оценки и взаимосвязи социальных потребностей и экономических возможностей.

По результатам анализа были выявлены дополнительные критерии, которые необходимо учитывать в процессе проработки сценариев многофункциональной адаптации промышленной архитектуры, утратившей первоначальную функцию. Это доказывает практическую целесообразность в использовании математического и информационного моделирования, которые позволяют исключить экспериментальные методы в натуре и ускорить процессы принятия решений по адаптации промышленной архитектуры в современных условиях.

Ключевые слова: повторная адаптация промышленной архитектуры, рефункционализация, математический метод, информационное моделирование, метод многокритериального принятия решений (MCDM), BIM-моделирование.

Введение. В наше время любая проектная деятельность неразрывно связана с такими понятиями как прогнозирование, моделирование, конструирование и другими. Когда речь идет о разработке каких-либо архитектурных форм или градостроительных структур, нам уже сложно представить современное проектирование без различных информационных вычислений и математических моделей-прогнозов. Основополагающее значение в этом процессе выполняет предварительное построение модели предполагаемого объекта, которая учитывает, как конкретные существующие условия застройки, так и потребности заказчика. Это способствует увеличению скорости просчета вариантов каких-либо параметров, созданию чертежей при комбинировании типовых элементов в нормативном проектировании. Развитие новых возможностей моделирования, основанных на математических вычислениях, а также стремительный рост количества различных способов компьютерного проектирования, позволяют архитектору производить точные расчеты, своевременно вносить корректировки в процессе работы и, как итог, создавать

наиболее концептуальную модель проектируемого объекта.

Построение различных видов математического и информационного моделирования позволяет также упростить процесс принятия решений при выборе функционального назначения объектов, пригодных для повторной адаптации. Среди проблем устойчивого развития городов значительное место занимают вопросы, связанные с поиском решений перепрофилирования зданий и сооружений, утративших первоначальную функцию. Актуальность данного вопроса подтверждается наличием большого количества различных подходов и методов прогнозирования, определяющих наиболее оптимальное функциональное назначение в контексте выбранного объекта повторной адаптации.

Исследования отечественных и зарубежных ученых, связанные с адаптацией промышленной архитектуры к новым функциям [1–13], посвящены анализу и поискам способов решения различных проблем, а также перспективных подходов в формировании современных принципов перепрофилирования. Так, в работах Бессарабовой Я.И., Евтушенко-Мулукаевой Н.М. [1], Карасева

Р.О., Денисенко Е.В. [2], Лёшиной К.С., Сысоевой Е.А., Слостенина П.В. [3], Толпинской Т.П., Альземеневой Е.В., Мамаевой Ю.В. [4], Цепиловой О.П. [5] и Plevoets B., Sowińska-Heim J. [6], Langston C., Shen L.-Y. [7], Oppio A., Bottero M., Ferretti V. [8] и других [9–13], среди проблем, влияющих в разной степени на объекты повторной адаптации, выделяют такие, как: значение градостроительных факторов; экологическое состояние; статус сохранности объектов; социокультурные потребности и экономические ограничения. Среди методов выделяются такие, как: концепция гибкости к подходам адаптации; применение принципов дизайна интерьеров в целях сохранения важности культурного наследия, как невозобновляемого ресурса; учет социальных и экологических изменений в результате построения системы возрождения характера и духа места и другие. Все больше ученых и архитекторов разных стран мира обращаются к использованию различных математических методов и моделей [14–35]. Прогнозирования таких типов существенно повышают уровень структурированности предлагаемых разработок и их пригодность в контексте повторного использования еще на этапе проектирования. Так в отечественной практике встречается разработка механизма функциональной архитектуры системы (ФАС), предложенная Супранович В.М. [14], которая позволяет представить вариативность синтеза объекта и функции с позиции удовлетворения запроса потребителей на основе нормативно-правовой и рабочей базы. В зарубежных исследованиях встречаются такие подходы, как создание метода оценки и предложения адаптивных стратегий на основе теории сложных адаптивных систем (CAS), используемые в работе Wang G., Liu S. [15], применение различных интеграций нечеткого метода (Fuzzy Method) в разработках Tan Y., Shen L.-Y., Langston C. [16], Vardopoulos I. [17] и других [18, 19], а также различные модификации и варианты усовершенствования метода многокритериального принятия решений (MCDM) в исследованиях Morkunaite Z., Kalibatas D., Kalibatiene D. [20], Ronzino P., Toth A., Falcidieno B. [21], De Medici S., Pinto M.R., Senia C., Fabbriatti K., De Toro P. [22] и других [23–34], которые, в зависимости от целей построения данной модели и экспертных оценок, позволяют оценить вариативность выбора функции. В своей работе Pavlovskis M., Migilinskas D., Antucheviciene J., Kutut V. [35] дополняют метод многокритериального принятия решений (MCDM), а также используют BIM-проектирование для определения наиболее подходящей функции повторной адаптации памятника архитектуры с учетом значимости его статуса, как объекта культурного наследия.

Определяющее значение в выборе нового функционального назначения играют факторы, которые зависят от конкретных требований и поставленных задач перед проектировщиком, что, в свою очередь, ограничивает универсальность выработанных моделей. В связи с этим, целью данного исследования является поиск наиболее оптимального подхода, который будет отвечать социально-экономическим потребностям и позволит учитывать типологические особенности и индивидуальные характеристики объекта при повторной адаптации. В задачи исследования входит рассмотрение и анализ существующих теоретической и практической базы по данному направлению, а также выявление методической основы, которая в дальнейшем послужит отправной точкой для построения математической модели, способствующей формированию универсального способа при определении возможностей многофункционального назначения промышленной архитектуры.

Методологический подход. В основу работы лег комплексный подход к изучению вариативности математических методов и информационного моделирования при повторной адаптации индустриальной архитектуры. На основе проведенного структурного анализа мирового и отечественного опыта были выявлены наиболее актуальные способы определения новых функциональных возможностей в процессе рефункционализации промышленных зданий, вышедших из употребления и объектов культурного наследия.

Основная часть. В современной практике проектирования, строительства и эксплуатации архитектурных объектов произошли существенные изменения. Меняются требования не только к художественному облику архитектурного объекта, но и к темпам строительства, конструктивным элементам, условиям надежности и долговечности (рис. 1). Понятие «модели» стало одним из составляющих элементов современного проектирования. Каждый этап предпроектного или строительного процесса сопровождается наличием модели [35]: математической, механической, физической и других. Использование таких моделей влияет не только на промежуточные, но и на конечные результаты проектирования, а также может во многом упростить и ускорить определенные этапы строительства. Необходимо помнить, что поток поступающей информации не прекращается как во время разработки проектного предложения, так и в процессе эксплуатации объекта и его взаимодействия с окружающей средой.

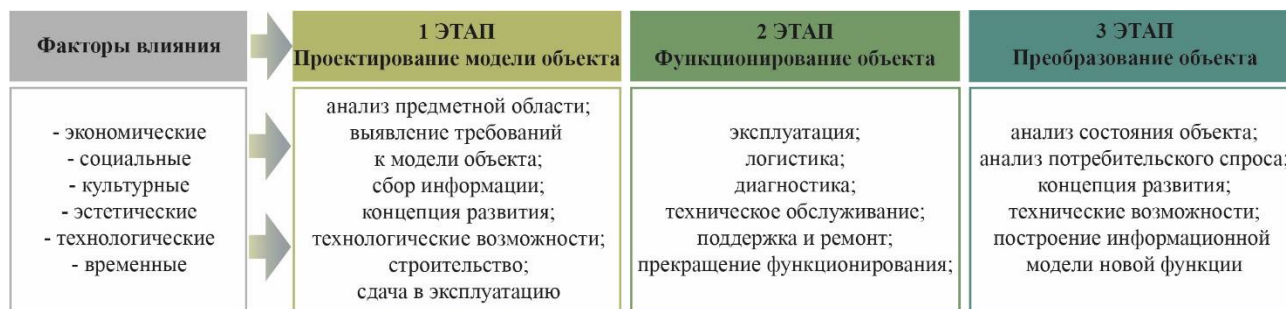


Рис. 1. Взаимосвязь факторов влияния и поэтапного анализа жизненного цикла здания

Этап моделирования подразумевает под собой построение и изучение модели потенциальных или реально существующих объектов, а также прогнозирование явлений, связанных с их жизненным циклом [36]. В процессе моделирования задействованы 3 элемента: субъект, то есть исследователь, объект исследования и модель, которая определяет или отражает взаимоотношение субъекта и объекта. Способ построения модели позволяет понять не только, как устроена структура объекта и его основные свойства, внутренние связи, законы развития, динамику изменения во времени, этапы взаимодействия с окружающим миром, но и определить наиболее подходящие методы прогнозирования последствий влияния различных форм воздействия на объект и способы реализации этих процессов. Построение математической модели помогает описать наиболее значимые связи между объектами, предсказать поведение объекта в различных условиях, оценить параметры зависимостей, спрогнозировать возможные негативные последствия, а затем определить наиболее подходящее решение для дальнейшей эксплуатации [37]. В данном случае методология математического моделирования является интеллектуальным ядром информационных технологий [38]. Развитие научно-технического прогресса требует учитывать различные технические, конструктивно-планировочные, социальные и экономические факторы на протяжении всех жизненных циклов проектирования. Информационно-математическое моделирование объединяет всю необходимую информацию, которая составляет определенную концептуальную модель исследуемого объекта, а также обработку, организацию и структуризацию полученных данных. Алгоритм преобразования этих данных позволяет сформировать математическую модель объекта, ее визуализацию и выполнить геометрические построения и преобразования [39]. Именно на этапе архитектурного проектирования закладываются основные качественные, то есть функциональные и пространственные характеристики здания как среды обитания, которая, в свою очередь, отражает основ-

ные периоды развития общества. Схема реальных и потенциальных возможностей объекта соединяется в сквозной транзитивной типологии [40], которая характеризует жизнеспособность и устойчивое развитие архитектурного объекта во времени.

Определение соответствующего механизма проектирования актуально и при решении задач, характерных для повторного использования объектов (рис. 2), утративших свою первоначальную функцию. Грамотное прогнозирование на стадии предпроектного анализа и определение успешного функционального назначения объекта [14] раскрывает перед архитектором возможность успешной реализации своих проектных предложений в будущем. Процесс информационно-математического моделирования позволяет определить системный подход к анализу и исследованию структуры изучаемого объекта, взаимосвязей его функциональных зависимостей и количественных показателей. Это дает возможность выявить базовые свойства и характеристики объекта и способствует разработке основных методов решения поставленных задач с точки зрения определенной проблематики. «Объекты промышленного наследия, которые устарели и не используются, все чаще воспринимаются как ресурс, который станет основой для развития общественной и культурной жизни в будущем» [5].

На сегодняшний день рефункционализация промышленной архитектуры не теряет своей значимости и продолжает подтверждать актуальность грамотного повторного использования таких объектов [6–11]. Тема устойчивого развития считается одной из главных проблем городских и региональных исследований. Повторное использование утративших первоначальную функцию зданий, является практическим решением для устойчивого развития городов. В связи с этим возрастает актуальность поиска возможных путей автоматизации процессов рефункционализации архитектурных объектов, которые ведут к сокращению трудоемкости этого процесса и способствуют разработке наиболее оптимальных методов определения новой функции для данных условий [41].



Рис. 2. Цикл повторной адаптации индустриальной архитектуры

Моделирование объектов на различных стадиях проектирования предполагает определение закономерностей, свойственных цикличности жизни здания, и способствует формированию обоснованных суждений о возможных состояниях и перспективах развития того или иного сценария в будущем. Одной из центральных задач таких исследований является получение оптимальных методов и решений для разработки наиболее эффективного функционального назначения, а также обеспечение наиболее подходящих эксплуатационных условий бывших индустриальных объектов. В соответствии с принципами целостности [14], разработка математической модели рефункционализации промышленной архитектуры, основанной на применении современных принципов архитектурного проектирования и математических методов, позволяет в дальнейшем решить художественные, технологические, социальные и экономические проблемы для обеспечения эффективного развития как отдельно изучаемого объекта, так и влияние его развития на структуру города в целом. В результате исследования данной модели с применением различных математических методов, численной обработки данных и информационных вычислений, основываясь на идентичности трактовки этой модели в реальных условиях, мы получаем реализуемый сценарий взаимодействия с объектом на практике [42].

В процессе современного устойчивого развития социальных и экономических условий, направленных на удовлетворение человеческих потребностей, а также последствий пренебрежительного отношения к окружающей среде и деградации некоторых архитектурных объектов, их повторное использование приобретает значительную роль. Проекты рефункционализации выступают своеобразным связующим звеном обновления городской структуры за счет объединения старого и нового поколений, восстанавливая культурные, социальные и экономические ценности. Если раньше выбор функционального назначения в большей степени определялся на основе предпочтений городских властей и инвесторов, то сейчас большое внимание уделяется социальным потребностям и мнению общества в данном

вопросе. Потенциал устойчивого развития в результате адаптации бывшей промышленной архитектуры к новой функции является одним из предметов различных исследований, например, таких как анализ решений по множеству атрибутов [27], использование нечеткой адаптивной модели выбора повторного использования [16] и процесса аналитической иерархии (АИР) [20], обращение к корреляции Ранка-Спирмена [34], употребление нечеткого метода Дельфи [28] и других. С учетом нескольких задействованных переменных повторное использование выступает основным фактором эксплуатации существующих городских ресурсов, что влияет на повышение значимости таких объектов с экономической, экологической и социальной сторон и приводит к разработке различных стратегических альтернатив и сценариев развития. В этой статье рассмотрены наиболее интересные решения применения математического моделирования в практике зарубежного и отечественного проектирования, такие как нечеткий метод DEMATEL, усовершенствованная проработка метода многокритериального принятия решений (MCDM) – PROMETHEE, интеграция грубого взвешивания оценки суммарного произведения (WASPAS) и BIM-моделирования, а также применение разработанного механизма функциональной архитектуры системы (ФАС) для адаптации промышленной архитектуры.

В работе «*Критические факторы устойчивого развития в адаптивном повторном использовании городских промышленных зданий. Нечеткий подход DEMATEL*» [17] автор рассматривает преобразование пивоварни FIX (г. Афины, Греция) в Греческий национальный музей современного искусства. В своем исследовании, основываясь на применении нечеткого метода DEMATEL (Fuzzy DEMATEL) для анализа критически важных факторов и выделения среди них групп, образованных в соответствии с причинно-следственными связями, автор определяет причины, влияющие на устойчивое развитие города анализируя проекты адаптивного использования промышленной архитектуры к новым функциям, а также оценивает уровень взаимо-

действия между ними, что в конечном итоге станет инструментом для принятия оптимальных решений в будущем. Проекты повторного использования позволяют увеличить стоимость активов наследия, превращая их в туристические ресурсы, которые могут способствовать устойчивому развитию городов не только с экономической, но и с экологической, социальной и культурной точек зрения [17]. Так же это позволяет продлить жизненный цикл здания, ресурсов и материалов за счет интеграции существующих структурных элементов и при этом сохранить значимость культурного наследия индустриального здания. В своей работе автор рассматривает факторы, влияющие на местное устойчивое развитие, такие как изменение экономики, воздействие на общество, городская среда и различные культурные аспекты. В результате детального изучения каждого из них были выявлены основные параметры, определяющие их значение при повторной адаптации промышленной архитектуры.

Предложенный методологический подход включает в себя пошаговую разработку переменных оценки, сбор оценочного мнения экспертов на основе нечеткого метода DEMATEL (Fuzzy DEMATEL), проведение расчетов, определение нормированной нечеткой матрицы, построение нечеткой матрицы полной корреляции и извлечение значений. В результате работы факторы устойчивого развития при адаптации городских промышленных зданий были разделены на две категории: факторы-причины (положительные) и факторы-следствия (отрицательные) [17].

На примере адаптации пивоварни FIX, согласно систематическому исследованию, факторы-причины считаются наиболее фундаментальными, инициативными и стабильными, оказывающими влияние на всю систему. По этому принципу были выделены наиболее важные причины повторного использования промышленной архитектуры, которые включают в себя сохранение земель на фоне разрастания городов и защиту культурного наследия. Однако, как указывает сам автор, «могут иметь место особые исключительные случаи, когда факторы-следствия вносят значительный вклад во всю систему» [17]. Таким образом, экономические показатели выступили на первое место.

Данная работа показала, что использование нечеткого метода DEMATEL (Fuzzy DEMATEL) может быть недостаточно для определения рефункционализации бывшей промышленной архитектуры. Для этого подхода большое значение играет профессиональный опыт и образование экспертов, так как их оценка имеет определен-

ный вес. С этой точки зрения, необходимо провести не однозначное определение набора переменных для важности критериев оценки экспертов. При этом, чтобы избежать ненужного дублирования факторов в системе индексов, а также преобразовать точность исследования, необходимо сначала применить систему анализа глубинных интервью экспертов. И, наконец, как утверждает сам автор, для подтверждения полученных результатов следует рассмотреть несколько более репрезентативных примеров адаптации промышленной архитектуры к новой функции.

Более глубокая и усовершенствованная проработка метода многокритериального принятия решений (MCDM) представлена в статье *«Рейтинг адаптивных стратегий повторного использования заброшенного промышленного наследия в уязвимых контекстах: многокритериальный подход к принятию решений»* [24]. В контексте рефункционализации объектов культурного наследия многокритериальные подходы обеспечивают надлежащую теоретическую и методологическую основу для решения сложных задач, которые характеризуют эти стратегии. Оценка адаптивности повторного использования представляет собой всеобъемлющий многоцелевой процесс, который объединяет не только сохранение исторических, эстетических, научных и экономических ценностей, но и включает в себя среднесрочные и долгосрочные концепции развития в сочетании с планировочными стратегиями.

Для определения и реализации наиболее подходящих стратегий повторного использования бывших заводов, ученые предложили новое применение метода Организации ранжирования предпочтений для обогащения оценок (PROMETHEE – семейство методов опережения [24], основанных на попарном сравнении выбранных объектов, а также, учитывающих условия уязвимости и оценки относительных материальных и нематериальных эффектов). Предложенный метод базируется на ряде допущений, например, таких как конечность набора критериев, не имеющих иерархической структуры и не взаимодействующих друг с другом, а также точное определение параметров модели принятия решений. Попарные сравнения обеспечивают локальные оценки, которые затем объединяются в глобальные [24]. Разработка актуальных сценариев рефункционализации заброшенного промышленного наследия основывается на примере девяти различных зданий – шерстяных и шелковых фабрик 18 века, расположенных в промышленном районе на северо-западе Италии. Предложенный метод широко применяется в процессе многокритериального анализа решений (MCDA)

[39, 40]. Это позволяет рассмотреть множество конфликтующих факторов, возникающих при определении возможных вариантов.

Цель исследования заключается в том, чтобы выявить максимально подходящее здание, из девяти предложенных, для размещения одной из семи новых функций. Выбор был сформирован на анализе бывших заводов, расположенных в одном районе, и включал в себя такие параметры как аутентичность объекта и отсутствие какой-либо действующего производства, что позволяет вводить новые функции и направления. Определение возможных вариантов адаптации основано на соответствии рассматриваемых объектов конкретным назначениям и не учитывает дополнительных вариаций, что ограничивает потенциал их дальнейшего развития. Каждый из сценариев принятия решения для этих объектов был ранжирован по 15 критериям, от наиболее к наименее подходящим для использования в соответствующем случае. Предложенные варианты были подвергнуты экспертной оценке, представленной различными группами заинтересованных сторон [41, 42], в которую вошли инвесторы, предприниматели и практики в области туризма, недвижимости и культурного наследия. Каждый эксперт, в свою очередь, мог определить наиболее подходящее здание для преобразования в соответствии с конкретным сценарием, что позволило присвоить веса различным критериям, включенным в модель оценки. Специфика рынка недвижимости в исследуемом районе продиктовала более высокий вес экспертных оценок, ориентированных на коммерческое функциональное назначение. Это отражает более широкие возможности для организации государственно-частного партнерства, привлечения частных спонсоров и предоставления финансовых ресурсов [24], необходимых для дальнейшего инвестирования рефункционализации промышленной архитектуры в данном районе.

Несмотря на то, что критерии достаточно обширны и охватывают многие стороны, включая качество окружающей среды, элементы инфраструктуры и архитектурные особенности, их определение базируется только на основе характеристик предложенных вариантов повторного использования, учитывающих аспекты рассматриваемой проблемы каждого сценария. Жесткое ограничение целевого определения эксплуатации здания не предполагает возможности многофункционального назначения, что в свою очередь, не всегда может удовлетворить социальным потребностям населения. Стоит отметить, что вариативность выбора конкретных промышленных объектов и выбор новой функции для

каждого здания также зависит от группы экспертов, которые играли определяющую роль. Тем не менее, их взгляды были полезны для ограничения потенциальных адаптивных стратегий повторного использования набором осуществимых стратегий, которые должны быть подвергнуты более широкому процессу общественного признания действий власти [24] за счет предполагаемого участия местных сообществ.

Использование современных технологий и информационного моделирования могут повысить приоритеты адаптации архитектурного наследия с целью достижения баланса между социально-экономическими и социокультурными аспектами как часть экономического, социального и культурного развития каждого города. Любое вмешательство, которое способствует повторному использованию зданий наследия, должна включать критерии, гарантирующие, что адаптация к новой функции не повлияет на ценности наследия и что оно будет сочетать в себе историческое сохранение и устойчивый дизайн [25].

Авторы статьи «*Рейтинг альтернатив преобразования исторических зданий с применением BIM и MCDM: пример дворца Сапегов в Вильнюсе*» [35], чтобы определить приоритеты и возможности конверсии архитектуры, в своей работе используют соединение метода многокритериального принятия решений (MCDM) и 3d-моделирования существующих зданий культурного наследия на примере дворца Сапегов, построенного в стиле барокко в 1689–1691 гг. в г. Вильнюс (Литва). Объекты культурного наследия имеют уникальную социально-экономическую и образовательную ценность. Они могут быть использованы для обеспечения устойчивого развития городов [33], а управление такими зданиями создает новые рабочие места и дополнительные экономические ресурсы. Впервые авторы применили синтез BIM-моделирования и одного из методов многокритериального принятия решений (MCDM) в 2016 г. при оценке возможных решений по реконструкции бывших промышленных зданий с упором на устойчивое развитие [33].

Применение различных технологий и программного обеспечения, таких как Autodesk Revit, Autodesk ReCap и Agisoft Photoscan, позволили создать точную текстурированную модель экстерьера и интерьера здания. Также в трехмерной модели были отображены наиболее характерные черты здания. На основе этой модели авторы сформулировали возможные варианты переустройства здания, а также определили связанные с ними критерии оценок принятия решений и их относительную значимость с помощью ме-

тогда экспертного опроса. Для ранжирования альтернатив по множеству критериев они использовали грубую взвешенную оценку суммарного произведения (WASPAS- G) [35]. В процессе выбора наиболее эффективной стратегии устойчивого развития здания или городской территории в последнее время все чаще используется метод многокритериального принятия решений (MCDM) для решения теоретических и практических задач. Большое внимание в работе уделяется качественному BIM-моделированию объекта на основе полученных данных, таких как фотограмметрия, использование чертежей, строительных материалов и конструктивных деталей, описанных в архивах.

На основе предложенной системы, состоящей из 21 критерия, для оценки 3-х возможных сценариев конверсии (1- туристско- информационный центр с действующим музеем; 2 - научно-исследовательский институт; 3 - гостиница с конференц-центром) и проведения расчетов с использованием метода принятия решений по множеству критериев (Rough WASPAS) были ранжированы альтернативы возможной адаптации исторического здания. В группу экспертов вошли представители, чей опыт связан с сохранением памятников архитектурного наследия, строительством, архитектурой и инженерией. По их мнению, сохранение аутентичности здания является наиболее приоритетным для дальнейшей адаптации памятника архитектуры. И так как анализ чувствительности показал практически одинаковое значение 1 и 2 сценариев с небольшой лишь разницей, то авторы статьи предложили преобразовать дворец Сапегов в здание комбинированного назначения [35], в состав которого войдут научно-исследовательский институт, изучающий историю архитектуры, с музеем и туристическим информационным центром.

На примере данной статьи можно сделать вывод, что использование синтеза различных вариаций метода многокритериального принятия решений (MCDM) и BIM-моделирования существующих зданий культурного наследия может стать хорошей базой для многофункционального использования бывших в употреблении памятников промышленной архитектуры. Построение 3d-модели для объекта культурного наследия предоставляет новые возможности использования информации для дальнейшего перепрофилирования здания, является своеобразным «технологическим мостом» между прошлым и настоящим и позволяет анализировать объект как локально, так и в связке с современной застройкой. Это дает дополнительные возможности в процессе анализа возможных вариантов адаптации объектов культурного наследия.

Применение математических расчетов для определения наиболее подходящей новой функции для повторного использования зданий бывшей промышленной архитектуры также встречается и в отечественной практике. Для рассмотрения таких методов предлагается статья «*Информационное моделирование процесса рефункционализации объекта, как метод предпроектного исследования*» [14], в которой автор на примере большепролетных промышленных зданий осуществляет выработку алгоритма, включающего в себя как архитектурно-планировочные аспекты промышленных комплексов, так и построение модели выбора альтернатив.

Рассмотрение состава и структуры информационного облика изучаемых объектов повторной адаптации в контексте трех аспектов (функциональном, системном и техническом) позволяет воспринимать данный объект как единое целое. Изучение происходит с трех разных сторон, но в непрерывной связи друг с другом [44].

Автор разрабатывает механизм функциональной архитектуры системы (ФАС) [14], которая дает возможность представить синтез с позиции удовлетворения потребительского спроса пользователей и возможностей выбора различных вариантов состояний объекта на основе нормативно-правовой и рабочей базы. Результат построения функциональной архитектуры системы рефункционализации [14] основывается на выборе элементов системы рассматриваемого промышленного комплекса, подлежащих сохранению и выявлению зданий, которые имеют ключевое значение по ряду назначенных критериев. Наиболее подходящей моделью для определения этих критериев автор использует модель выбора по назначенным весовым коэффициентам, что способствует определению модели выбора альтернатив вариантов использования, включающей в себя массив объектов и их взаимодействий.

Изучение каждого потенциально возможного функционального назначения происходит с учетом затрат как на реконструкцию промышленных объектов, так и на дополнительные меры, обязательные для новой адаптации. В связи с этим по каждому из выбранных объектов, потенциально подходящих для рефункционализации, был построен «граф состояний, а также определены векторы возможных состояний» [14]. Для каждого вида нового функционального назначения был определен состав и значимость таких факторов, как реставрационные работы, инженерное, функциональное оборудование, общественные работы, градостроительное расположение и инфраструктура территории, а также возможности бюджета, представленные как векторы

постоянных ограничений; сформированы матрицы взвешенных коэффициентов и вектор переменных. На завершающем этапе построения процедуры решения систем линейных неравенств, которые описывают состояние выбранного объекта по каждому варианту, определяется значение целевых функций по выбранному спектру разделов проекта рефункционализации. Автор подтверждает, что «предлагаемый подход к оптимальному выбору вариантов решений предполагает реализацию основного принципа исследования операций – предварительное количественное обоснование оптимальных решений» [14].

Предложенный метод построения логико-вероятностной конструкции выработки определенных решений позволяет учитывать необходимые факторы и степень детализации процесса для перепрофилирования промышленных объектов и может быть доработан в соответствии с требованиями, например, такими, как оценка экономической эффективности предложенных вариантов нового многофункционального назначения в процессе конкретизации выбора объекта для перепрофилирования к новой функции. После проведения соответствующих расчетов появляется необходимость выбора области приемлемых решений, в пределах которых можно произвести окончательный выбор [45] наиболее эффективного проекта адаптации к новой функции промышленной архитектуры, утратившей свое первоначальное значение. Построение таких моделей предполагает определение основополагающих закономерностей, которые необходимы для дальнейшей рефункционализации архитектурных объектов.

Выводы. Современные подходы и методы для перепрофилирования архитектурных объектов под новые функции постепенно развиваются и модернизируются. Это продиктовано постоянным развитием структурированности предлагаемых разработок и использованием различных математических и информационных моделей. Изменение экономической ситуации и повышение качества жизни создают соответствующие предпосылки для развития социально-культурных аспектов и способствуют приспособлению заброшенных зданий, имеющих историческую и архитектурную ценность к потребностям местного населения, науки или бизнеса. Используя различные математические подходы, рассмотренные в данном исследовании, и применяя современное информационное моделирование, можно определить, какие методы, инструменты и технологии лучше всего подходят для того или иного этапа исследований в процессе решения соответствующих задач продления срока эксплуатации заброшенного архитектурного объекта, обеспечивая

при этом комплексный сбор данных и анализ конкретного объекта.

Существует множество методов решения многокритериальных задач, различных по степени сложности и приоритетным направлениям, типам используемых данных или по количеству лиц, вовлеченных в процесс принятия решения. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки, свой алгоритм и выделяет тот или иной аспект анализируемого объекта или ситуации. Следовательно, с помощью проведения соответствующей исследовательской работы, построения структуры, методологии и метода оценки, можно определить перспективные подходы к рефункционализации промышленной архитектуры, которые содержат стандарты и рекомендации и также могут применяться к объектам, имеющим охранный статус. Проработка методологии применения математических моделей и информационных технологий при решении различных проектных задач позволяет расширить ассортимент направлений осознанного поиска новых архитектурных форм, способствует более детальному исследованию аспектов возможного формообразования современных объемно-пространственных решений, а также дает возможность продлить жизненный цикл здания. Использование современных цифровых технологий помогает ускорить процесс принятия решений в определении степени значимости рефункционализации.

Анализируя результаты существующих исследований в различных междисциплинарных областях, в этой статье рассмотрены наиболее подходящие методы исследований с целью определения оптимальной систематической оценки для адаптации промышленных комплексов, утративших свою первоначальную функцию. Практическая полезность использования метода многокритериального принятия решений (MCDM) и его дополнений может стать отправной точкой для определения возможностей многофункционального назначения промышленной архитектуры, так как позволяет учитывать множество критериев разной направленности. При этом необходимо избегать лишнего дублирования фактов в системе индексов оценивания критериев, а также обеспечить точность исследования за счет пересмотра весов этих критериев и уточнения параметрических характеристик исходного объекта, учитывая при этом социальные потребности и инвестиционные возможности. Определение сценариев вариативности многофункционального назначения в рамках границ территории может базироваться на механизме функциональной архитектуры системы (ФАС) с дальнейшим уточнением и наложением ограничений. Исходя из типологических особенностей

определяющего объекта проектирования внедрение методов параметризации [46] и BIM-моделирования позволит структурировать факторы, влияющие на созависимость свойств и характеристик этого объекта, взаимосвязь сценариев вариативности конечного определения и возможность корректировок в процессе изменения данных параметров. Важным аспектом в выборе конечной функции перепрофилирования является баланс между социокультурными запросами потребителей и экономическими возможностями исполнителей, преобразующих объекты промышленной архитектуры, как часть политики экономического, социального и культурного развития каждого города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессарабова Я.И., Евтушенко-Мулукаева Н.М. Архитектурная адаптация промышленного предприятия к новой функции // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 2 (28). С. 28–33.
2. Карасев Р.О., Денисенко Е.В. Реорганизация промышленных территорий и архитектурных объектов с учетом адаптивных процессов // Известия КГАСУ. 2020. № 2 (52). С. 177–186.
3. Лёшина К.С., Сысоева Е.А., Слостенин П.В. Принципы и приемы архитектурной адаптации исторических комплексов и зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 1. С. 72–77. doi:10.17673/Vestnik.2018.01.13.
4. Толпинская Т.П., Альземенова Е.В., Мамаева Ю.В. Основные направления реновационного процесса в преобразовании промышленных территорий под общественные пространства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 3(29). С. 52–63.
5. Цепилова О.П. Анализ опыта повторной адаптации промышленной архитектуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 12. С. 74–90. doi:10.34031/2071-7318-2020-5-12-74-90.
6. Plevoets B., Sowinska-Heim J. Community initiatives as a catalyst for regeneration of heritage sites: Vernacular transformation and its influence on the formal adaptive reuse practice // Cities. 2018. Vol. 78. Pp. 128–139. doi:10.1016/j.cities.2018.02.007.
7. Langston C., Shen L.-Y. Application of the adaptive reuse potential model in Hong Kong // International Journal of Strategic Property Management. 2007. №11(4). Pp. 193–207. doi:10.1080/1648715X.2007.9637569.
8. Oppio A., Bottero M., Ferretti V. Designing adaptive reuse strategies for cultural heritage with choice. Experiments // Appraisal: From Theory to Practice. Green Energy and Technology. Springer International Publishing AG. 2017. Pp. 303–315. doi: 10.1007/978-3-319-49676-4_23.
9. Della Spina L. Cultural heritage: A hybrid framework for ranking adaptive reuse strategies // Buildings. 2021. № 11(132). Pp. 1–24. doi:10.3390/buildings11030132.
10. Scolaro A.M., De Medici S. Downcycling and upcycling in rehabilitation and adaptive reuse of pre-existing buildings: Re-designing technological performances in an environmental perspective // Energies. 2021. № 14 (21). 6863. Pp. 1–23. doi:10.3390/en14216863.
11. Tu H.-M. The attractiveness of adaptive heritage reuse: a theoretical framework // Sustainability. 2020. Vol. 12, Iss. 6. Pp. 1–15. doi:10.3390/su12062372.
12. Bazazzadeh H., Nadolny A., Mehan A., Hashemi Safaei S. S. The importance of flexibility in adaptive reuse of industrial heritage: learning from Iranian cases // International Journal of Conservation Science. 2021. Vol. 12, Iss. 1. Pp. 113–128.
13. Blagojevic M.R., Tufegdžic A. The new technology era requirements and sustainable approach to industrial heritage renewal // Energy and Buildings. 2016. Vol. 115. Pp. 148–153. doi:10.1016/j.enbuild.2015.07.062.
14. Супранович В.М. Информационное моделирование процесса рефункционализации объекта, как метод предпроектного исследования // Современные проблемы науки и образования. 2015. №1-1. 1991. С. 1–8.
15. Wang G., Liu S. Adaptability evaluation of historic buildings as an approach to propose adaptive reuse strategies based on complex adaptive system theory // Journal of Cultural Heritage. 2021. № 52. Pp. 134–145. doi:10.1016/j.culher.2021.09.009.
16. Tan Y., Shen L.-Y., Langston C. A fuzzy approach for adaptive reuse selection of industrial buildings in Hong Kong // International journal of strategic property management. 2014. Vol. 18(1). Pp. 66–76. doi:10.3846/1648715X.2013.864718.
17. Vardopoulos I. Critical sustainable development factors in the adaptive reuse of urban industrial buildings. A fuzzy DEMATEL approach // Sustainable Cities and Society. 2019. Vol. 50. 50.101684. Pp. 1–12. doi:10.1016/j.scs.2019.101684.
18. Fedorczak-Cisak M., Kowalska-Koczwara A., Pachla F., Radziszewska-Zielina E., Szewczyk B., Sładowski G., Tadeusz T. Fuzzy model for selecting a form of use alternative for a historic building to be subjected to adaptive reuse // Energies. 2020. № 13(11). 2809. Pp. 1–24. doi:10.3390/en13112809.
19. Milosevic D.M., Milosevic M.R., Simjanovic D.J. Implementation of adjusted fuzzy AHP method in the assessment for reuse of industrial buildings // Mathematics. 2020. № 8(10). 1697. Pp. 1–24. doi:10.3390/math8101697.

20. Morkunaite Z., Kalibatas D., Kalibatiene D. A bibliometric data analysis of multi-criteria decision making methods in heritage buildings // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2019. Vol. 25, Iss. 2: Pp. 76–99. doi:10.3846/jcem.2019.8315.
21. Ronzino P., Toth A., Falcidieno B. Documenting the structure and adaptive reuse of Roman amphitheatres through the CIDOC CRMba model // *Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2022. Vol. 15, Iss. 2(36). Pp. 1–23. doi:10.1145/3485466.
22. De Medici S., Pinto M.R., Senia C., Fabbri-catti K., De Toro P. Building reuse: multi-criteria assessment for compatible design // *International journal of design sciences and technology*. 2017. Vol. 22(2). Pp. 165–193.
23. Ragheb G.A. Multi-criteria decision making of sustainable adaptive reuse of heritage buildings based on the A'WOT analysis: A case study of cordahi complex, Alexandria, Egypt // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2021. Vol. 16. № 3. Pp. 485–495. doi:10.18280/ijstdp.160309.
24. Bottero M., D'Alpaos C., Oppio A. Ranking of adaptive reuse strategies for abandoned industrial heritage in vulnerable contexts: A multiple criteria decision aiding approach // *Sustainability*. 2019. №11. 785. Pp. 1–18. doi:10.3390/su11030785.
25. Li Y., Zhao L., Huang J., Law A. Research frameworks, methodologies, and assessment methods concerning the adaptive reuse of architectural heritage: a review // *Built Heritage*. 2021. Vol. 5(6). Pp. 1–19. doi:10.1186/s43238-021-00025-x.
26. Sharifi A.A., Farahinia A.H. A theoretical framework for developing the MAU model to determine the most appropriate use for historic buildings // *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021. Vol. ahead of print, Iss. ahead of print. doi:10.1108/ECAM-06-2021-0500.
27. Giulian F., De Falco A., Landi S., Bevilacqua M.G., Santini L., Pecori S. Reusing grain silos from the 1930s in Italy. A multi-criteria decision analysis for the case of Arezzo // *Journal of Cultural Heritage*. 2018. № 29. Pp. 145–159. doi:10.1016/j.culher.2017.07.009.
28. Chen C.S., Chiu Y. H., Tsai L. Evaluating the adaptive reuse of historic buildings through multicriteria decision-making // *Habitat International*. 2018. № 81. Pp. 12–23. doi:10.1016/j.habitatint.2018.09.003.
29. Corrent S., Figueira J.R., Greco S. The SMAA-PROMETHEE method // *European Journal of Operational Research*. 2014. № 239(2). Pp. 514–522. doi:10.48550/arXiv.1302.5540.
30. Bottero M., D'Alpaos C., Oppio A. Multicriteria evaluation of urban regeneration processes: An application of PROMETHEE method in northern Italy // *Advances in Operations Research*. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–12. doi:10.1155/2018/9276075
31. Dias L.C., Antunes C.H., Dantas G., De Castro N., Zamboni L. A multi-criteria approach to sort and rank policies based on Delphi qualitative assessments and ELECTRE TRI: The case of smart grids in Brazil // *Omega*. 2018. № 76. Pp. 100–111. doi:10.1016/j.omega.2017.04.004.
32. D'Alpaos C., Bragolusi P. Multicriteria prioritization of policy instruments in buildings energy retrofit // *Valori Valutazioni*. 2018. № 21. Pp. 15–26.
33. Pavlovskis M., Antucheviciene J., Migilinskas D. Application of MCDM and BIM for evaluation of asset redevelopment solutions // *Stud. Inform. Control*. 2016. № 25. Pp. 293–302. doi:10.24846/V25I3Y201603.
34. Adiwibowo R. S., Widodo P., Santosa I. Correlations between public appreciation of historical building and intention to visit heritage building reused as retail store // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. № 184. Pp. 357–364. doi:10.1016/j.sbspro.2015.05.103.
35. Pavlovskis M., Migilinskas D., Antucheviciene J., Kutut V. Ranking of heritage building conversion alternatives by applying BIM and MCDM: A case of sapieha palace in Vilnius // *Symmetry*. 2019. № 11. 973. Pp. 1–26. doi:10.3390/sym11080973.
36. Леденёв В.В., Монастырёв П.В., Куликов Г. М., Плотникова С.В. Расчетные модели для проектирования конструкций зданий // *Монография для научных и инженерно-технических работников, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. 296 с.*
37. Бабич В.Н., Кремлёв А.Г. Геометрическое моделирование архитектурных форм и градостроительных структур // *Архитектон: известия вузов*. 2015. №2(50). 2.
38. Боргоякова Т.Г., Лозицкая Е.В. Математическое моделирование: определение, применимость при построении моделей образовательного процесса // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2017. Том 9, №2. 81. С. 1–8.
39. Звонарев С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 112 с.
40. Бабич В.Н., Кремлёв А.Г. Информационно-математическое моделирование в задачах архитектуры и градостроительства // *Архитектон: известия вузов*. 2012. №1(37). 5.
41. Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных пространств: учебн. пос. для вузов. Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т - Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. 265 с.
42. Применение ЭВМ и САПР при проектировании реконструкции объектов. Реконструкция промышленных предприятий. [Электронный

ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. <https://injzashita.com/primenenie-evm-i-sapr-pri-proektirovanii-rekonstrukcii-obektov.html> (дата обращения: 02.04.2022).

43. Бабич В.Н. Геометризация форм и структур инженерно-строительных объектов и процессов // Архитектон: известия вузов. 2016. № 4(56). 2.

44. Шпак В.Ф. Информационные технологии в системе управления силами ВМФ (теория и

практика, состояние и перспективы развития). СПб.: Элмор. 2005. 832 с.

45. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио. 1972. 552 с.

46. Свирневский Н.С. Параметризация геометрических моделей. Моделирование и распознавание 2D/3D образов. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://api-2d3d-cad.com/param> (дата обращения: 03.02.2022).

Информация об авторах

Цепилова Ольга Павловна, аспирант кафедры архитектурного проектирования. E-mail: tsepilova.art@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская улица, д. 4.

Поступила 09.04.2022 г.

© Цепилова О.П., 2022

Tsepilova O.P.

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: tsepilova.art@gmail.com

RESEARCH OF METHODS FOR DETERMINING A FUNCTION DURING ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL COMPLEXES

Abstract. *Modern conditions of growing trends in sustainable development of equilibrium changes in economic and socio-cultural ties characterize the relationship in consumer attitudes towards aesthetic, temporal, economic, social and other values. Competent forecasting which aimed at meeting consumer demand and preserving the environment reveals the variety of variability in the successful implementation of their project proposals to architects. Thus, the relevance of the reuse of buildings that have lost their original function which is a practical solution for the sustainable development of cities is increasing. This entails an increase in the need to find really possible ways to automate the processes of refunctionalization of architectural objects. In the research, various principles of mathematical and information modeling are studied based on variations of the multi-criteria decision-making method (MCDM), designing BIM modeling in the context of re-adaptation of cultural heritage objects, etc. It is found that, depending on the typology of object application, these methods require more specific elaboration, concretization of the weights of expert assessment and the relationship of social needs and economic opportunities. Based on the results of the analysis additional criteria are identified that must be taken into account in the process of developing scenarios for multifunctional adaptation of an industrial architecture that has lost its original function. This proves the practical expediency in the use of mathematical and information modeling which make it possible to exclude experimental methods in nature and speed up decision-making processes for adapting industrial architecture in modern conditions.*

Keywords: *adaptive reuse of industrial architecture, refunctionalization, mathematical method, information modeling, multi-criteria decision-making method (MCDM), BIM modeling.*

REFERENCES

1. Bessarabova Ya.I., Evtushenko-Mulukaeva N.M. Architectural adaptation of an industrial enterprise to a new function [Arkhitekturnaya adaptatsiya promyshlennogo predpriyatiya k novoy funktsii]. Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea: Scientific and Technical Journal / Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan: GAOU JSC VO "AGASU". 2019. No. 2 (28). Pp. 28–33. (rus)

2. Karasev R.O., Denisenko E.V. Reorganization of industrial territories and architectural objects, taking into account adaptive processes [Reorganizatsiya promyshlennykh territoriy i arkhitekturnykh ob'yektov s uchetom adaptivnykh protsessov]. News of KGASU. 2020. No. 2 (52). Pp. 177–186. (rus)

3. Lyoshina K.S., Sysoeva E.A., Slastenin P.V. Principles and methods of architectural adaptation of historical complexes and buildings [Printsipy i priyemy arkhitekturnoy adaptatsii istoricheskikh kompleksov i zdaniy]. Urban planning and architecture.

2018. Vol. 8. No. 1. Pp. 72–77. doi:10.17673/Vestnik.2018.01.13. (rus)

4. Tolpinskaya T.P., Alzemeneva E.V., Mamaeva Yu.V. The main directions of the renovation process in the transformation of industrial territories into public spaces [Osnovnyye napravleniya renovatsionnogo protsessa v preobrazovanii promyshlennykh territoriy pod obshchestvennyye prostranstva]. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2019. No. 3(29). Pp. 52–63. (rus)

5. Tsepilova O.P. Analysis of the experience of re-adaptation of industrial architecture [Analiz opyta povtornoy adaptatsii promyshlennoy arkhitektury]. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 12. Pp. 74–90. doi:10.34031/2071-7318-2020-5-12-74-90. (rus)

6. Plevoets B., Sowinska-Heim J. Community initiatives as a catalyst for regeneration of heritage sites: Vernacular transformation and its influence on the formal adaptive reuse practice. *Cities*. 2018. Vol. 78. Pp. 128–139. doi:10.1016/j.cities.2018.02.007.

7. Langston C., Shen L.-Y. Application of the adaptive reuse potential model in Hong Kong. *International Journal of Strategic Property Management*. 2007. No11(4). Pp. 193–207. doi:10.1080/1648715X.2007.9637569.

8. Oppio A., Bottero M., Ferretti V. Designing adaptive reuse strategies for cultural heritage with choice. *Experiments. Appraisal: from theory to practice. Green Energy and Technology*. Springer International Publishing AG. 2017. Pp. 303–315. doi:10.1007/978-3-319-49676-4_23.

9. Della Spina L. Cultural heritage: A hybrid framework for ranking adaptive reuse strategies. *Buildings*. 2021. No 11(132). Pp. 1–24. doi:10.3390/buildings11030132.

10. Scolaro A.M., De Medici S. Downcycling and upcycling in rehabilitation and adaptive reuse of pre-existing buildings: Re-designing technological performances in an environmental perspective. *Energies*. 2021. No 14 (21). 6863. Pp. 1–23. doi:10.3390/en14216863.

11. Tu H.-M. The attractiveness of adaptive heritage reuse: a theoretical framework. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Iss. 6. Pp. 1–15. doi:10.3390/su12062372.

12. Bazazzadeh H., Nadolny A., Mehan A., Hashemi Safaei S. S. The importance of flexibility in adaptive reuse of industrial heritage: learning from Iranian cases. *International Journal of Conservation Science*. 2021. Vol. 12, Iss. 1. Pp. 113–128.

13. Blagojevic M.R., Tufegdzic A. The new technology era requirements and sustainable approach to industrial heritage renewal. *Energy and*

Buildings. 2016. Vol. 115. Pp. 148–153. doi:10.1016/j.enbuild.2015.07.062.

14. Supranovich V.M. Information modeling of the object refunctionalization process as a method of pre-project research [Informatsionnoye modelirovaniye protsessa refunktsionalizatsii ob"yekta, kak metod predproyektного issledovaniya]. *Modern problems of science and education*. 2015. No. 1-1. 1991. Pp. 1–8. (rus)

15. Wang G., Liu S. Adaptability evaluation of historic buildings as an approach to propose adaptive reuse strategies based on complex adaptive system theory. *Journal of Cultural Heritage*, 2021. No. 52. Pp. 134–145. doi:10.1016/j.culher.2021.09.009.

16. Tan Y., Shen L.-Y., Langston C. A fuzzy approach for adaptive reuse selection of industrial buildings in Hong Kong. *International journal of strategic property management*. 2014. Vol. 18(1). Pp. 66–76. doi:10.3846/1648715X.2013.864718.

17. Vardopoulos I. Critical sustainable development factors in the adaptive reuse of urban industrial buildings. A fuzzy DEMATEL approach. *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 50. 50.101684. Pp. 1–12. doi:10.1016/j.scs.2019.101684.

18. Fedorczak-Cisak M., Kowalska-Koczwara A., Pachla F., Radziszewska-Zielina E., Szewczyk B., Sladowski G., Tadeusz T. Fuzzy model for selecting a form of use alternative for a historic building to be subjected to adaptive reuse. *Energies*. 2020. No. 13(11). 2809. Pp. 1–24. doi:10.3390/en13112809.

19. Milosevic D.M., Milosevic M.R., Simjanovic D.J. Implementation of adjusted fuzzy AHP method in the assessment for reuse of industrial buildings. *Mathematics*. 2020. No 8(10). 1697. Pp. 1–24. doi:10.3390/math8101697.

20. Morkunaite Z., Kalibatas D., Kalibatiene D. A bibliometric data analysis of multi-criteria decision making methods in heritage buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2019. Vol. 25, Iss. 2: Pp. 76–99. doi:10.3846/jcem.2019.8315.

21. Ronzino P., Toth A., Falcidieno B. Documenting the structure and adaptive reuse of Roman amphitheatres through the CIDOC CRMba model. *Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2022. Vol. 15, Iss. 2(36). Pp. 1–23. doi:10.1145/3485466.

22. De Medici S., Pinto M.R., Senia C., Fabbri-catti K., De Toro P. Building reuse: multi-criteria assessment for compatible design. *International journal of design sciences and technology*. 2017. Vol. 22(2). Pp. 165–193.

23. Ragheb G.A. Multi-criteria decision making of sustainable adaptive reuse of heritage buildings based on the A'WOT analysis: A case study of cordahi complex, Alexandria, Egypt. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2021. Vol. 16, No 3. Pp. 485–495.

doi:10.18280/ijdsdp.160309.

24. Bottero M., D'Alpaos C., Oppio A. Ranking of adaptive reuse strategies for abandoned industrial heritage in vulnerable contexts: A multiple criteria decision aiding approach. *Sustainability*. 2019. No 11. 785. Pp. 1–18. doi:10.3390/su11030785.

25. Li Y., Zhao L., Huang J., Law A. Research frameworks, methodologies, and assessment methods concerning the adaptive reuse of architectural heritage: a review. *Built Heritage*. 2021. Vol. 5(6). Pp. 1–19. doi:10.1186/s43238-021-00025-x.

26. Sharifi A.A., Farahinia A.H. A theoretical framework for developing the MAU model to determine the most appropriate use for historic buildings. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021. Vol. ahead of print, Iss. ahead of print. doi:10.1108/ECAM-06-2021-0500.

27. Giuliani F., De Falco A., Landi S., Bevilacqua M.G., Santini L., Pecori S. Reusing grain silos from the 1930s in Italy. A multi-criteria decision analysis for the case of Arezzo. *Journal of Cultural Heritage*. 2018. No 29. Pp. 145–159. doi:10.1016/j.culher.2017.07.009.

28. Chen C.S., Chiu Y.H., Tsai L. Evaluating the adaptive reuse of historic buildings through multicriteria decision-making. *Habitat International*. 2018. No 81. Pp. 12–23. doi:10.1016/j.habitatint.2018.09.003.

29. Corrent S., Figueira J.R., Greco S. The SMAA-PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*. 2014. No 239(2). Pp. 514–522. doi:10.48550/arXiv.1302.5540.

30. Bottero M., D'Alpaos C., Oppio A. Multicriteria evaluation of urban regeneration processes: An application of PROMETHEE method in northern Italy. *Advances in Operations Research*. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–12. doi:10.1155/2018/9276075.

31. Dias L.C., Antunes C.H., Dantas G., De Castro N., Zamboni L. A multi-criteria approach to sort and rank policies based on Delphi qualitative assessments and ELECTRE TRI: The case of smart grids in Brazil. *Omega*. 2018. No 76. Pp. 100–111. doi:10.1016/j.omega.2017.04.004.

32. D'Alpaos C., Bragolusi P. Multicriteria prioritization of policy instruments in buildings energy retrofit. *Valori Valutazioni*. 2018. No 21. Pp. 15–26.

33. Pavlovskis M., Antucheviciene J., Migilinskas D. Application of MCDM and BIM for evaluation of asset redevelopment solutions. *Stud. Inform. Control*. 2016. No 25. Pp. 293–302. doi:10.24846/V25I3Y201603.

34. Adiwibowo R.S., Widodo P., Santosa I. Correlations between public appreciation of historical building and intention to visit heritage building reused as retail store. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. No 184. Pp. 357–364. doi:10.1016/j.sbspro.2015.05.103.

35. Pavlovskis M., Migilinskas D., Antucheviciene J., Kutut V. Ranking of heritage building conversion alternatives by applying BIM and MCDM: A case of sapieha palace in Vilnius. *Symmetry*. 2019. No 11. 973. Pp. 1–26. doi:10.3390/sym11080973.

36. Ledenev V.V., Monastirev P.V., Kulikov G.M., Plotnikova S.V. Calculation models for the design of building structures [Raschetnyye modeli dlya proyektirovaniya konstruktivnykh zdaniy]. Monograph for scientific and engineering workers, graduate students, undergraduates and students of construction specialties. Tambov: Publishing House of FGBOU VO "TSTU", 2016. 296 p. (rus)

37. Babich V.N., Kremlev A.G. Geometric modeling of architectural forms and urban structures [Geometricheskoye modelirovaniye arkhitekturnykh form i gradostroitel'nykh struktur]. *Architecton: University news*. 2015. No. 2 (50). 2. (rus)

38. Borgoyakova T.G., Lozitskaya E.V. Mathematical modeling: definition, applicability in building models of the educational process [Matematicheskoye modelirovaniye: opredeleniye, primenyayemost' pri postroyenii modeley obrazovatel'nogo protsessa]. *Internet journal "Science"*. 2017. Vol. 9, No. 2. 81. Pp. 1–8. (rus)

39. Zvonarev S.V. Fundamentals of mathematical modeling: a tutorial [Osnovy matematicheskogo modelirovaniya]. Yekaterinburg: Ural Publishing House. University. 2019. 112 p. (rus)

40. Babich V.N., Kremlev A.G. Information-mathematical modeling in the problems of architecture and urban planning [Informatsionno-matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh arkhitektury i gradostroitel'stva]. *Architecton: University News*. 2012. No. 1 (37). 5. (rus)

41. Gelfond A.L. Architectural design of public spaces: textbook for universities [Arkhitekturnoye proyektirovaniye obshchestvennykh prostranstv]. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering - N. Novgorod: NNGASU. 2013. 265 p. (rus)

42. The use of computers and CAD in the design of the reconstruction of objects. Reconstruction of industrial enterprises [Primeneniye EVM i SAPR pri proyektirovanii rekonstruktsii ob'yektov. Rekonstruktsiya promyshlennykh predpriyatij]. Adobe Acrobat Reader. <https://injzashita.com/primeneniye-vm-i-sapr-pri-proektirovanii-rekonstruktsii-obektov.html> (date of access: 04.02.2022). (rus)

43. Babich V.N. Geometrization of forms and structures of engineering and construction objects and processes [Geometrization of forms and structures of engineering and construction objects and processes [Geometrization of forms and structures of engineering and construction objects and processes [Geometrization of forms and structures of engineering and construction objects and processes]]. *Architecton: university news*. 2016. No. 4 (56). 2. (rus)

44. Shpak V.F. Information technologies in the command and control system of the Navy (theory

and practice, state and development prospects) [Informatsionnyye tekhnologii v sisteme upravleniya silami VMF (teoriya i praktika, sostoyaniye i perspektivy razvitiya)]. St. Petersburg: Elmor. 2005. 832 p. (rus)

45. Wentzel E.S. Operations research [Issledovaniye operatsiy]. Moscow: Soviet radio. 1972. 552

p. (rus)

46. Svirnevsky N.S. Parameterization of geometric models [Parametrizatsiya geometricheskikh modeley]. Modeling and recognition of 2D/3D images. Adobe Acrobat Reader. URL: <https://api-2d3d-cad.com/param> (date of access: 03.02.2022). (rus)

Information about the authors

Tsepilova, Olga P. Postgraduate student. E-mail: tsepilova.art@gmail.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya street, 4.

Received 09.04.2022

Для цитирования:

Цепилова О.П. Исследование методов определения функции при повторной адаптации промышленных комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 9. С. 63–76. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-63-76

For citation:

Tsepilova O.P. Research of methods for determining a function during adaptive reuse of industrial complexes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 9. Pp. 63–76. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-63-76