

УДК 658.7 DOI: 10.14451/1.257.258

Многоуровневая архитектура логистической экосистемы поставок в строительном комплексе

© 2026 Сапожников Арсений Юрьевич

Аспирант. Ростовский государственный университет путей сообщения.

E-mail: sapozhnikovars95@mail.ru

© 2026 Чекмарева Гэлера Ибрагимовна

Доктор экономических наук, профессор. Ростовский государственный университет путей сообщения.

E-mail: g.chekmareva@gmail.com

Ключевые слова: логистическая экосистема, управление цепями поставок, уровни управления, координация потоков, строительная логистика, ресурсное обеспечение, операционное управление, синхронизация поставок.

Рассматривается формирование логистической экосистемы поставок в строительном комплексе с учётом многоуровневой структуры управления и функциональной взаимосвязи подсистем. Установлено, что устойчивость цепей поставок определяется согласованностью управленческих контуров и сопряжением потоков в рамках календарно-сетевой логики работ. Обоснована роль подсистем в обеспечении синхронизации ресурсного обеспечения на различных уровнях управления.

Введение

Современное развитие строительного комплекса сопровождается усложнением логики ресурсного обеспечения, в рамках которой результативность определяется не отдельными параметрами снабжения, а степенью согласованности действий участников цепи поставок в едином поточном контуре. Для строительства данная зависимость носит принципиальный характер, поскольку материальный поток встроен в календарно-сетевую структуру работ и одновременно ограничен пространственными и технологическими параметрами площадки, вследствие чего любые расхождения между плановой

потребностью и фактической динамикой поставок проявляются не локально, а в форме сдвигов сроков, нарушения комплектности и роста затрат координации.

В этих условиях рассмотрение цепей поставок как линейной последовательности операций оказывается недостаточным, поскольку не отражает многоуровневый характер формирования потоков и распределения управленческих воздействий. Более адекватным является представление о логистической экосистеме, в рамках которой устойчивость формируется не только за счёт наличия ресурсов, но и за счёт сопряжения

управленческих контуров, охватывающих межорганизационный, стратегический, проектный и операционный уровни. При этом каждый уровень задаёт собственные горизонты решений, критерии результативности и механизмы воздействия на поток, а их несогласованность приводит к возникновению системных потерь, не устраняемых за счёт локальных оптимизаций.

Особенность строительной логистики заключается в том, что она функционирует в среде множества участников, сохраняющих самостоятельность и различающихся по целям, ресурсам и организационным возможностям, вследствие чего управление цепями поставок приобретает характер координации, а не иерархического регулирования. Это обуславливает необходимость формирования сопоставимого информационного поля, согласования правил взаимодействия и распределения ответственности за отклонения, поскольку при отсутствии таких механизмов возникает асимметрия информации и усиливается эффект локальной оптимизации, при котором улучшение отдельных элементов цепи сопровождается ухудшением её общей результативности.

Дополнительное усложнение формируется за счёт сочетания цифровизации и материалоёмкости строительного процесса, при котором, с одной стороны, возрастает роль инструментов моделирования и синхронизации потоков, а с другой – сохраняется зависимость от пространственных ограничений, режимов городской логистики и вариативности условий реализации проектов. В результате управление цепями поставок смещается от решения задач обеспечения наличия ресурсов к задаче их включения в согласованную систему движения, учитывающую временные, пространственные и организационные параметры.

В этой связи исследование логистической экосистемы поставок в строительном комплексе требует разграничения уровней управления и идентификации подсистем, через которые обеспечивается перевод стратегических и проектных решений в режим фактического испол-

нения. Такое представление позволяет соотнести объекты управления, горизонты решений и критерии результативности, а также обеспечить непротиворечивое сопряжение механизмов координации между различными контурами управления.

Основная часть

Формирование мегалогистической системы на основе цифровизации и системной конвергенции процессов как внутри участников цепи поставок, так и между ними, должно осуществляться на различных уровнях управления с учётом ключевых векторов развития такой макросистемы. Различные уровни управления предъявляют разноуровневые требования к формированию единого интегрированного поля взаимодействия участников. Вне зависимости от конфигурации цепей поставок необходимо формирование интегрированных конвергентных связей, позволяющих повысить эффективность функционирования всей цепи. Учитывая особенности строительного комплекса и зачастую проектный характер реализации объектов, требуется формирование единой методической базы построения логистических экосистем в строительстве.

Прежде всего целесообразно выделить ключевые уровни реализации с позиции управления цепями поставок. Выделение уровней управления цепями поставок в строительном комплексе обосновано тем, что управленческие воздействия на потоки ресурсов различаются по горизонту решений, составу участников и способам координации, а итоговая результативность цепи формируется как интегральный эффект согласованности этих воздействий. Для строительной сферы это особенно принципиально, поскольку материальный поток не может рассматриваться вне календарно-сетевой логики работ и пространственно-технологических ограничений площадки; следовательно, несогласованность управленческих контуров проявляется через расхождение между плановой моделью потребности и фактической динамикой поставок, что трансформируется в сдвиги сроков, нарушение комплектности и рост затрат координации. В связи с этим уровневое представление

управления позволяет зафиксировать, какие решения формируются в масштабе сети участников, какие — в масштабе портфеля проектов организации, какие — в масштабе отдельного проекта и какие — в операционном контуре исполнения на площадке, не смешивая разнотипные цели и показатели в едином массиве.

Межорганизационный уровень характеризует цепь поставок как сеть взаимодействующих субъектов, функционирующих в общей институциональной и городской среде, и потому фокус управления здесь связан с обеспечением устойчивости цепи и снижением системных потерь, возникающих из-за несогласованности регламентов, ограничений доступа и недостаточной совместимости информационного обмена. Стратегический, корпоративно-портфельный уровень отражает переход от разрозненных проектных решений к воспроизводимым моделям снабжения, где формируются типовые цепи по группам материалов, единые принципы выбора

поставщиков и логистических схем, а также механизмы управления затратами и рисками по портфелю. Tактический, проектный уровень концентрирует задачи синхронизации графика работ и графика поставок с учётом конкретных ограничений площадки и выбранной организационно-технологической схемы строительства; именно на этом уровне спецификации и календарные параметры преобразуются в требования к поставкам, их последовательности и комплектности, а качество координации участников становится определяющим для соблюдения сроков. Операционный уровень описывает управление движением ресурсов в границах площадки, включая приёмку, размещение, подачу к фронту работ и обеспечение непрерывности выполнения строительно-монтажных операций, поскольку отклонения на этом уровне непосредственно конвертируются в простои и потери рабочего времени независимо от качества предварительного планирования.

Таблица 1. Уровни управления цепями поставок в строительном комплексе и их характеристики.

Уровень	Объект управления	Управленческий фокус	Типовые управленческие механизмы
Межорганизационный (экосистемный)	Сеть поставщиков, подрядчиков, логистических операторов, регуляторные и городские ограничения	Согласованность правил взаимодействия, устойчивость цепи, снижение системных потерь (заторы, штрафы, срывы поставок)	соглашения о сотрудничестве и распределении ответственности; стандартизация обмена данными; согласование логистических регламентов в городской среде (в т. ч. через консолидационные центры)
Стратегический (корпоративный/портфельный)	Корпоративная логистика и закупки, типовые цепи по группам материалов и проектам	Перевод логистики от «проектной импровизации» к тиражируемым решениям (единые правила, сервисные модели, контроль затрат и рисков)	политика категорийных закупок; развитие поставщиков; внедрение сервисов управляемых запасов; централизация/аутсорсинг отдельных логистических функций

Продолжение на следующей странице

Таблица 1. Уровни управления цепями поставок в строительном комплексе и их характеристики. (Продолжение таблицы)

Уровень	Объект управления	Управленческий фокус	Типовые управленческие механизмы
Тактический (проектный)	Логистика проекта «площадка–склад/хаб–поставщик», календарь работ и поставок	Синхронизация графика, поставок и ограничений площадки (место, безопасность, доступность техники)	планирование поставок по этапам; выбор поставщиков и схем доставки; решения по консолидации/киттингу; координация участников через единый контур данных (в т.ч. BIM/GIS)
Операционный (площадка/смена)	Приёмка, внутривозовая логистика, выдача материалов в работу	Минимизация потерь времени на поиск/перемещение/ожидание; «поток» материалов в точку потребления	управляемые запасы на площадке; стандартизированная приемка; «доставка к месту работ»; контроль по слотам и маршрутам

Таким образом, исследование уровней управления формирует методическую основу, в которой каждый уровень соотносится с собственным объектом управления, горизонтом решений, результативным критерием и набором механизмов, а межуровневая согласованность становится проверяемой через систему показателей. Это создаёт основу для табличной фиксации уровней управления цепями поставок в строительном комплексе и сопоставления стратегий, применимых на различных контурах управления, без методологического смешения задач сети участников, портфеля проектов, отдельного проекта и операционного исполнения, что находит отражение в таблице 1.

Практически значимая часть реализации экосистемы поставок в строительстве, проявляющаяся на уровне проекта и строительной площадки, наиболее отчётливо формируется в сопряжении тактического и операционного контуров управления. При этом четырёхуровневая архитектура экосистемы сохраняется в полном объёме: межорганизационный и стратегический контуры задают правила взаимодействия, принципы типизации решений и параметры ответственности участников, тогда как тактический и операционный контуры обеспечивают перевод этих установок в режим ресурсного обеспечения, непосредственно связанный с календарно-сетевым графиком работ и фактическим движением

материалов. В исследованиях по оптимизации строительной логистики показано, что на тактическом уровне рационально решать задачу укрупнённого согласования календарного плана работ с потребностью в ресурсах, решениями по размещению и хранению, а также с объёмами перевозок, тогда как на операционном уровне требуется ежедневная или сменная оптимизация доставок и перемещений; такое управление корректно описывается задачей маршрутизации поставок с учётом запасов, ориентированной на обеспечение поставок без дефицита при ограничениях складской ёмкости и транспортных ресурсов [9]. Двухуровневая связка тактического и операционного уровней выступает механизмом устойчивого исполнения в строительной среде, поскольку тактический контур фиксирует фронты работ, временные окна поставок и лимиты по приёмке и хранению, а операционный контур обеспечивает стабилизацию исполнения при неизбежных отклонениях, обусловленных погодными и транспортными факторами, коллизиями на площадке и ограничениями городской логистики.

Таким образом, содержательно экосистема поставок в строительном комплексе проявляется как совокупность взаимосвязанных подсистем, каждая из которых выполняет собственную функцию и формирует результат только при сопряжении с другими элементами управления

потоками. Подсистема планирования и диспетчеризации обеспечивает перевод календарно-сетевой модели работ в график снабжения и тем самым задаёт требования к ритмичности, последовательности и допустимым отклонениям поставок; подсистема поставщиков и производственной кооперации формирует качество, комплектность, партийность и технологическую готовность ресурсов, определяя возможность их использования в заданной технологической последовательности; транспортно-распределительная подсистема организует маршруты, временные окна доставки, использование парков и режимы последней мили, обеспечивая соответствие фактических поставок ограничениям территории и площадки; складская и внутриплощадочная логистика отвечает за буферизацию запасов, организацию зон разгрузки, применение вертикального транспорта и маршрутизацию перемещений внутри объекта, обеспечивая доведение ресурсов до точки потребления без потерь времени на ожидание и поиск; информационно-аналитическая подсистема поддерживает единое поле данных, мониторинг и прогнозирование отклонений, обеспечивая сопоставимость плановых и фактических параметров движения ресурсов; отдельное значение приобретает подсистема обеспечения

устойчивости, в рамках которой обратная логистика выступает механизмом замыкания материальных потоков по возвратам, повторному использованию и переработке, что снижает потери и повышает предсказуемость ресурсного обеспечения при проектной вариативности строительства [1; 11]. Для строительной сферы принципиально важно, что данная экосистема функционирует в среде множества участников без жёстко заданной иерархии: даже при наличии генерального подряда значительная часть участников сохраняет экономическую самостоятельность и собственные критерии результативности, вследствие чего требуется механизм координации правил взаимодействия, доступа к сопоставимой информации и распределения ответственности за отклонения, иначе возникает асимметрия информации и формируется локальная оптимизация решений, при которой улучшение отдельных участков цепи приводит к ухудшению её общей траектории по срокам, комплектности и затратам.

Ниже приведена сводная таблица 2, которая показывает, какие узлы будут входить в логистическую экосистему поставок в строительном комплексе, и какие управленческие решения делают связи между узлами рабочими.

Таблица 2. Основные узлы логистической экосистемы поставок в строительном комплексе.

Подсистема (узел экосистемы)	Функция в системе поставок	Типовые управленческие решения	Информационные и организационные решения
Тактическое планирование снабжения	Синхронизация календарного плана строительно-монтажных работ с потребностью в материалах и мощностями хранения/транспорта	Недельная увязка фаз работ и поставок; выбор сценариев поставок и буферов; правила «окон»	Двухуровневое планирование: тактика → ограничения для оперативного уровня [9]
Оперативная диспетчеризация доставок	Стабилизация исполнения «по факту» и минимизация потерь от ежедневных отклонений	Маршруты, последовательность доставок, объёмы партий, приоритеты по фронтам	Модели маршрутизации с учётом запасов и ограничений площадки [9]

Продолжение на следующей странице

Таблица 2. Основные узлы логистической экосистемы поставок в строительном комплексе. (Продолжение таблицы)

Подсистема (узел экосистемы)	Функция в системе поставок	Типовые управленческие решения	Информационные и организационные решения
Центр консолидации строительных поставок (Construction Consolidation Center, CCC)	Снижение числа въездов на площадку, консолидация партий, безопасное хранение и выдача «точно вовремя»	Локация, правила приёмки, комплектование, расписания отгрузок на площадку	Инструменты оценки и выбора CCC, анализ затрат/выгод, локаторы и планировщики [5; 6]
Управление внутриплощадочной логистикой	Преобразование «доставлено на площадку» в «доставлено в точку потребления»	Схемы разгрузки, маршруты перемещения, временные склады, приоритеты подъёмных механизмов	3D/4D координация площадки, актуализация логистического плана по мере прогресса [3; 4; 7; 8; 10]
Информационно-координационный контур (BIM/4D + совместная координация)	Единая картина, согласование действий участников, повышение интерпретируемости логистической информации	Обновление логистических сценариев, выявление конфликтов до факта, согласование общих ресурсов	Информационное моделирование зданий (Building Information Modelling, BIM) в 4D для логистики, совместная координация [3; 4; 7; 8; 10]
Поддержка принятия решений (Decision Support System, DSS)	Обоснование мер «город-площадка-цепь поставок» и оценка эффектов по экологии/здоровью/операциям	Выбор мер (ограничения транспорта, CCC, сценарии), сравнение «что-если»	Наборы DSS для публичных и частных стейкхолдеров, оценка политик и мер [5; 6]
Обратная логистика и замкнутые контуры	Возвраты, повторное использование, переработка, снижение захоронения и потерь стоимости материалов	Деконструкция, отбор пригодных материалов, вторичные рынки/площадки	Связка прямой и обратной логистики, роли участников и барьеры внедрения [11]
Математическое обеспечение оптимизации	Формализация решений, снижение субъективности, поддержка ресурсных и временных компромиссов	Выбор методов (линейное/нелинейное программирование, управление запасами, критический путь)	Использование оптимизационных моделей и сетевых методов (PERT/CPM) для увязки сроков и ресурсов [2]

Привязка подсистем экосистемы поставок к уровням управления позволяет зафиксировать различие управленческих горизонтов и, как следствие, различие критериев результативности, через которые оценивается качество функционирования цепей поставок в строительном комплексе. На межорганизационном уровне в фокус попадают такие узлы, которые по своей природе не ограничиваются рамками отдельного проекта или площадки, поскольку именно они формируют режим взаимодействия сети участников и инфраструктурные

условия движения потоков. В этом контуре центр консолидации строительных поставок выступает инструментом согласования логистических режимов на стыке города или региона и строительных площадок, поддержка принятия решений обеспечивает обоснование мер и сопоставление альтернатив в масштабе системы звеньев логистической цепи, а обратная логистика и замкнутые контуры задают возможность управляемого возврата ресурсов и снижения потерь стоимости материалов, что требует согласования ролей и организационных



Рис. 1. Каркас построения логистической экосистемы в строительном комплексе в разрезе уровней.
Источник: составлено автором.

процедур между участниками. Перечисленные подсистемы объединяет то, что их эффекты проявляются как системные параметры устойчивости цепи, выраженные в снижении внешних потерь, упорядочивании доступа и обеспечении совместимости режимов работы участников.

Стратегический, корпоративно-портфельный уровень фиксирует переход от ситуативной организации снабжения к воспроизводимым решениям, которые тиражируются на группе проектов и обеспечивают сопоставимость затрат, рисков и показателей выполнения. В данном контуре поддержка принятия решений применяется как инструмент выбора и закрепления портфельных сценариев и мер, обратная логистика рассматривается как элемент корпоративной политики ресурсной эффективности и управления возвратами, а центр консолидации включается в управленческую модель как вариант сервисной конфигурации снабжения с заданными требованиями к уровню обслуживания и экономическим параметрам. Существенно, что именно на стратегическом уровне формируется рамка требований к качеству поставок и к организационным процедурам, которая затем транслируется в проектные решения и операционное исполнение.

Тактический, проектный уровень концентрирует подсистемы, непосредственно связывающие

календарно-сетевой график строительно-монтажных работ с планом обеспечения ресурсами и ограничениями площадки. Тактическое планирование снабжения формирует укрупнённые решения по фазам работ, сценариям поставок, буферизации и правилам временных окон, тем самым задавая параметры управляемости потока на горизонте, достаточном для согласования участников и подготовки исполнения. Информационно-координационный контур на базе информационного моделирования зданий в 4D обеспечивает сопоставимость временных и пространственных параметров работ и поставок, повышая точность согласования ресурсов и снижая вероятность конфликтов до начала фактического исполнения. Математическое обеспечение оптимизации в проектной постановке позволяет формализовать компромиссы по срокам и ресурсам, включая сетевые методы увязки работ и потребности, что повышает устойчивость проектных решений к вариативности входных условий.

Операционный уровень, локализованный на строительной площадке и в сменном цикле управления, включает подсистемы, через которые плановые параметры преобразуются в фактическое движение ресурсов и их подачу к фронтам работ. Оперативная диспетчеризация доставок обеспечивает очередность, маршрутизацию, партийность и приоритетность поставок,

ориентируясь на минимизацию потерь времени при ежедневных отклонениях. Управление внутриплощадочной логистикой доводит материальный поток до точки потребления, включая приёмку, размещение, перемещения и использование подъёмных механизмов, что непосредственно влияет на непрерывность выполнения работ и исключение простоев бригад из-за отсутствия материалов. Информационно-координационный контур на базе BIM/4D на данном уровне применяется как средство актуализации по факту и согласования действий участников в пространственно-временных ограничениях площадки, тогда как математическое обеспечение используется для оперативных расчётов маршрутизации и приоритизации, обеспечивая обоснованность решений в условиях ограниченного времени и высокой вариативности.

Таким образом, представленная группировка подсистем по уровням управления фиксирует место каждого узла в общей логике формирования и стабилизации потоков: верхние уровни задают институционально-организационные условия и портфельные режимы, проектный уровень формирует параметры синхронизации календаря и снабжения, а операционный уровень обеспечивает фактическое исполнение и доведение ресурсов до точки потребления на строительной площадке.

Заключение

Проведённый анализ позволяет установить, что логистическая экосистема поставок в строительном комплексе не может рассматриваться как совокупность изолированных обеспечительных функций, поскольку её результативность формируется только в условиях сопряжения управленческих воздействий, распределённых между различными уровнями и подсистемами. Для строительной сферы это имеет принципиальное значение, так как устойчивость ресурсного обеспечения определяется не фактом наличия материальных потоков как таковых, а степенью их согласованности с календарно-сетевой логикой работ, пространственными ограничениями площадки и организационной структурой взаимодействия участников.

Выделение межорганизационного, стратегического, тактического и операционного уровней управления показывает, что каждый из них связан с собственным объектом регулирования, горизонтом решений и системой критериев результативности, тогда как общее качество функционирования цепи поставок возникает как интегральный эффект их непротиворечивого сопряжения. Межорганизационный и стратегический контуры задают институционально-организационные условия, правила взаимодействия и параметры типизации решений, проектный уровень переводит данные установки в режим синхронизации графика работ и снабжения, а операционный уровень обеспечивает фактическое доведение ресурсов до точки потребления. Вследствие этого отклонения на любом из уровней не локализуются в пределах отдельной функции, а распространяются по всей системе, изменяя сроки, комплектность и стоимостные параметры реализации проекта.

Установлено, что содержательная структура логистической экосистемы в строительстве раскрывается через совокупность взаимосвязанных подсистем, выполняющих различные, но функционально сопряжённые задачи. Планирование и диспетчеризация обеспечивают перевод календарной модели в режим ресурсного снабжения; поставщики и производственная кооперация формируют параметры качества, комплектности и технологической готовности ресурсов; транспортно-распределительная и внутриплощадочная логистика обеспечивают пространственно-временную реализацию движения потоков; информационно-аналитическая подсистема поддерживает сопоставимость плановых и фактических параметров; контур обеспечения устойчивости, включая обратную логистику, формирует возможность управляемого замыкания потоков и снижения потерь стоимости материалов. Это означает, что логистическая экосистема в строительном комплексе представляет собой не вспомогательную оболочку производственного процесса, а одну из ключевых основ его устойчивого воспроизводства.

Принципиально важным является и то обстоятельство, что в условиях строительного комплекса координация не может строиться исключительно на жёсткой иерархии, поскольку значительная часть участников сохраняет экономическую и организационную самостоятельность. В этой связи центральным условием устойчивости становится формирование сопоставимого информационного поля, согласование правил взаимодействия и распределение ответственности за отклонения, так как именно в противном случае возникает асимметрия информации и усиливается локальная оптимизация, разрушающая общую траекторию движения потоков.

Таким образом, логистическая экосистема поставок в строительном комплексе должна рассматриваться как многоуровневая управленческая конструкция, в которой устойчивость и результативность цепей поставок формируются за счёт согласования уровней управления и функционального сопряжения подсистем. Теоретическое значение такого подхода состоит в уточнении самой логики анализа строительной логистики как системного процесса, а практическое – в возможности более точно локализовать источники отклонений, разграничить зоны ответственности и обосновать выбор механизмов координации, обеспечивающих повышение предсказуемости, ритмичности и устойчивости ресурсного обеспечения строительного производства.

Библиографический список

1. Радкевич А. В., Арутюнян И. А. Инновационные подходы к организации и управлению материальными потоками строительного комплекса // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2013. – 4 (46). – С. 145–152. – DOI: [10.15802/stp2013/16618](#).
2. Самбурский А. В., Самбурская Д. В., Мавзовин В. В. Оптимизация логистики и управления строительством с помощью математических методов // Вестник науки. – 2025. – Т. 1, 6 (87). – С. 1843–1851.
3. A BIM based tool for evaluating building renovation strategies: the case of three demonstration sites in different European countries / O. Doukari [et al.] // Construction Innovation. – 2023. – Oct. – Vol. 24, no. 1. – P. 365–383. – ISSN 1471-4175. – DOI: [10.1108/ci-12-2022-0314](#).
4. Beamon B. M. Measuring supply chain performance // International Journal of Operations & Production Management. – 1999. – Vol. 19, no. 3. – P. 275–292. – DOI: [10.1108/01443579910249714](#).
5. Decision Support Systems for Smarter and Sustainable Logistics of Construction Sites / C. Guerlain [et al.] // Sustainability. – 2019. – May. – Vol. 11, no. 10. – P. 2762. – ISSN 2071-1050. – DOI: [10.3390/su11102762](#).
6. Guerlain C., Renault S., Ferrero F. Understanding Construction Logistics in Urban Areas and Lowering Its Environmental Impact: A Focus on Construction Consolidation Centres // Sustainability. – 2019. – Nov. – Vol. 11, no. 21. – P. 6118. – ISSN 2071-1050. – DOI: [10.3390/su11216118](#).
7. Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management / Y. Deng [et al.] // Journal of Construction Engineering and Management. – 2019. – Apr. – Vol. 145, no. 4. – ISSN 1943-7862. – DOI: [10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001633](#).
8. Integrating BIM and LiDAR for Real-Time Construction Quality Control / J. Wang [et al.] // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2014. – Sept. – Vol. 79, no. 3/4. – P. 417–432. – ISSN 1573-0409. – DOI: [10.1007/s10846-014-0116-8](#).
9. Nolz P. C. Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics: a case study from the building industry // Flexible Services and Manufacturing Journal. – 2020. – June. – Vol. 33, no. 3. – P. 846–878. – ISSN 1936-6590. – DOI: [10.1007/s10696-020-09391-7](#).
10. Ocheoha I. A., Moselhi O. A BIM-based Supply Chain Integration for Prefabrication and Modularization // Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings. – 2018. – May. – ISSN 2562-5438. – DOI: [10.29173/mocs35](#).
11. Reverse logistics in the construction industry / M. R. Hosseini [et al.] // Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy. – 2015. – May. – Vol. 33, no. 6. – P. 499–514. – ISSN 1096-3669. – DOI: [10.1177/0734242x15584842](#).