

EIM2z05Ms2CTXKBTeZd\_XwHZSAnna1WrAqwXCXHDzw/Kn4\_Standart\_formirovania\_oblika\_goroda.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

18. Дубов Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. Н. Якимец. – Москва : Наука, 1986. – 296 с.

19. Божко А. Н., Толпаров А. Ч. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью / А. Н. Божко, А. Ч. Толпаров. – Режим доступа: <https://www.metodolog.ru/00562/00562.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

20. Доможиров В. Т. Метод упорядочения сочетаний объектов в задачах структурной динамики технических систем / В. Т. Доможиров // Известия вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 7.

© К. А. Прошунина, Т. В. Хоменко

**Ссылка для цитирования:**

Прошунина К. А., Хоменко Т. В. Перспективные варианты развития сложных систем городской среды // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 87–93.

УДК 624.05

DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-93-98

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ  
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ**

*А. В. Игнатьев, Д. А. Саушкин*

**Игнатьев Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (8442) 96-99-45; e-mail: alignat70@yandex.ru;

**Саушкин Дмитрий Александрович**, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (961) 064-29-29; e-mail: saushkin\_2014@mail.ru.

Исследование посвящено вопросам использования технологий информационного моделирования (BIM/ТИМ) для оптимизации календарно-сетевых графиков в строительстве. Авторы провели глубокий анализ существующих алгоритмических подходов, выявили их недостатки и ограничения, связанные с недостаточной адаптивностью к изменениям условий на строительной площадке и недостаточной интеграцией логистических и ресурсных аспектов. Предложена методика, в основе которой лежит динамический пересчет критических графиков с учетом многочисленных факторов, включая логические связи между строительными элементами, ресурсные ограничения, а также специально разработанный коэффициент готовности к монтажу (КГМ). Последний рассчитывается с учетом степени комплектности поставок материалов, обеспеченности строительной площадки необходимой проектно-сметной документацией и наличия квалифицированной рабочей силы. В работе показано, что интеграция BIM-технологий с алгоритмическими методами оптимизации (в частности, генетическими алгоритмами) позволяет существенно повысить точность прогнозирования сроков строительства, снизить вероятность простоев и оперативно реагировать на возникающие изменения. Авторы проанализировали существующие решения и определили направления дальнейших исследований, в том числе необходимость разработки более совершенных алгоритмов и методов интеграции информационных моделей в практику календарно-сетевого планирования. Сделаны выводы о перспективности предложенного подхода, а также о его потенциале для внедрения в практическую деятельность строительных организаций с целью повышения общей эффективности управления проектами.

**Ключевые слова:** сетевой график, генетический алгоритм, BIM, CPM, коэффициент готовности к монтажу, логические зависимости, 3D/4D-модель, 4D/5D-системы.

**USING INFORMATION MODELS TO OPTIMIZE NETWORK GRAPHS**

*A. V. Ignatyev, D. A. Saushkin*

**Ignatyev Aleksandr Vladimirovich**, Doctor of Engineering Sciences, As Professor of Digital Technologies in Urban Planning, Architecture, and Construction Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (8442) 96-99-45; e-mail: alignat70@yandex.ru;

**Saushkin Dmitriy Aleksandrovich**, postgraduate student, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (961) 064-29-29; e-mail: saushkin\_2014@mail.ru

The study examines the application of Building Information Modeling (BIM) technologies for the optimization of calendar-network schedules in construction projects. The authors address challenges associated with traditional planning methods, such as fragmented data, insufficient integration of logistical and resource aspects, and the limited capacity to dynamically adjust schedules to real-world conditions. A novel methodology is proposed, featuring dynamic recalcula-

tion of critical network schedules based on numerous factors, including logical dependencies between construction elements, resource constraints, and a specially developed Installation Readiness Coefficient (IRC). This coefficient reflects the status of material supplies, completeness of documentation, and availability of qualified labor. By integrating BIM with algorithmic optimization methods, particularly genetic algorithms, the proposed approach significantly improves accuracy in predicting project timelines, reduces potential downtime, and enhances the adaptability to on-site changes. Additionally, the authors analyze existing algorithmic approaches, identify limitations in current methods, and outline directions for future research, emphasizing deeper exploration into logistics integration and further methodological refinement. The results demonstrate the practical effectiveness of this integrated approach and its potential for improving construction project management and forming a foundation for subsequent advancements in scheduling methodologies.

**Keywords:** network schedule, genetic algorithm, BIM, CPM, installation readiness coefficient, logical dependencies, 3D/4D model, 4D/5D systems.

### Введение

Календарно-сетевое планирование (методы CPM, PERT и др.) широко используется в строительной отрасли для координации многочисленных участников и ресурсов. Однако на практике оно сталкивается с затруднениями, связанными с разрозненностью данных, множеством форматов документации и сложностями учета разнообразных технологических условий. Существенным фактором, усложняющим этот процесс, является необходимость одновременного контроля поставок, соблюдения регламентов и корректного распределения рабочей силы [1].

Современная тенденция к цифровизации отрасли способствует более тесному взаимодействию классических методов планирования с технологиями информационного моделирования (BIM/ТИМ) [13]. Информационные модели выходят за рамки статичного 3D и позволяют включать временные (4D), финансовые (5D) и иные параметры, тем самым расширяя возможности для оптимизации календарно-сетевых графиков [2].

Несмотря на то, что CPM и PERT достаточно хорошо решают задачи определения критического пути и длительности, они обычно ориентированы на временные зависимости и не учитывают в полной мере такие аспекты, как доступность ресурсов и логистика. При этом в реальных условиях нередко возникает потребность учитывать динамический «коэффициент готовности к монтажу» (КГМ), отражающий состояние поставок материалов, комплектность документации и обеспеченность рабочей силой [3]. Отсутствие прямой интеграции 3D/4D-моделей и методов планирования оборачивается несогласованностью решений и простоями, в то время как гибкая цифровая среда могла бы автоматически вносить корректировки при изменении условий [8].

Применение BIM/ТИМ-технологий, дополненных алгоритмическими методами оптимизации, способно повысить точность сетевых графиков. Сочетание геометрической модели с логическими и ресурсными ограничениями потенциально снижает вероятность коллизий и простоев, а также дает более реалистичную оценку сроков [19].

Целью исследования является разработка методики интеграции BIM-технологий и эвристиче-

ских алгоритмов (например, генетических) в контур календарно-сетевого планирования. Такой подход позволит корректировать графики с учетом реальной готовности к монтажу каждого элемента и находить решения, оптимальные по времени, затратам и другим критериям [9].

### Анализ существующих подходов

BIM-технологии постепенно становятся нормой при проектировании и контроле качества в строительстве, расширяя возможности трехмерного моделирования до более функциональных 4D/5D-систем [16]. Большое значение имеет «Коэффициент готовности к монтажу» (КГМ), отражающий степень подготовки конструкций к установке [3]. При включении данного показателя в сетевые графики повышается точность определения сроков и ресурсов, особенно если речь идет о сборных конструкциях или сложных технологических узлах [20].

### Ограничения классических моделей

Ресурсные конфликты. CPM/PERT не всегда учитывают ограниченность материалов и техники, что может приводить к коллизиям при фактическом исполнении работ [11].

Недостаточная детализация. Стандартное планирование не позволяет быстро реагировать на изменения условий поставок или неожиданности на площадке, что осложняет контроль.

### Синтез направлений

Ряд исследований показывает, что наиболее перспективным подходом становится синергия 3D/BIM-моделей с алгоритмами оптимизации. Например, в работах Faghihi, Reinschmidt и Kang [4] 3D-модель используется для определения конструктивных зависимостей, тогда как генетический алгоритм выявляет оптимальное расписание с учетом технологических и временных ограничений. Подобные решения позволяют учесть несколько ключевых факторов: сокращение сроков, учет конструктивных требований и ресурсную обеспеченность, формируя динамические 4D-модели, адаптирующиеся под реальные условия [18].

В литературе остаются пробелы, связанные с системным учетом КГМ и логистикой, а также отсутствием единой методики внедрения эволюционных алгоритмов в строительные 4D-мо-

дели. Необходимы более глубокие исследования для отработки надежных методологических основ и их апробации на крупных проектах [6].

### Материалы и методы

Для достижения поставленной цели требовалось собрать комплекс сведений по архитектурно-строительной части объекта, ресурсным ограничениям и логике выполнения строительных операций. На первом этапе готовилась BIM-модель с детальным описанием несущих конструкций, инженерных систем и ключевых технологических узлов. Сметные и производственные регламенты позволили оценить длительности основных работ и потребности в бригадах, а данные о поставках стройматериалов и графике использования подъемных механизмов – учесть переменные логистические факторы [3]. Параллельно формировался сетевой график (CPM/PERT), в который закладывались предшествующие зависимости и информация о потенциальной параллельности работ [4].

Чтобы успешно справляться с динамическими изменениями на строительной площадке – такими как задержки поставок, нехватка крепежных элементов или отсутствие специализированного оборудования, – была разработана схема расчета коэффициента готовности к монтажу (КГМ) [5]. Этот коэффициент наделяет сетевой график необходимой «адаптивностью», позволяя своевременно корректировать сроки и предотвращать фиктивное «стартование» незавершенных работ [7].

В общем виде КГМ можно рассматривать как функцию нескольких факторов:

$$K_{GM} = f(K_{\text{материалы}}, K_{\text{документация}}, K_{\text{рабочая сила}}, \dots)$$

где  $K_{\text{материалы}}$  – степень обеспеченности необходимыми материалами (бетон, арматура, сборные детали, метизы и т. д.);  $K_{\text{документация}}$  – степень готовности проектно-сметного комплекта (включая чертежи, технические условия и разрешительные документы);  $K_{\text{рабочая сила}}$  – наличие рабочей силы требуемой квалификации и в нужном количестве.

Если в рассматриваемом проекте присутствуют дополнительные специфические факторы, например, опалубка для монолитных работ или специальные шаблоны для каменных конструкций, формулу можно расширить за счет добавления соответствующих составляющих.

Для сборных конструкций коэффициент готовности к монтажу имеет особое значение, так как он базируется на множестве специфических факторов, влияющих на возможность выполнения монтажных работ. Итоговая формула, учитывающая ключевые аспекты готовности, может быть записана в виде произведения:

$$K_{GM_{\text{сборные}}} = K_{\text{комплект}} \times K_{\text{комплектация метизами}} \times K_{\text{готовность крана}}$$

Каждая составляющая в этой формуле отвечает за выполнение определенных условий, необходимых для осуществления монтажа. Все компоненты находятся в диапазоне от 0 до 1, и, если хотя бы один из показателей равен 0, это сигнализирует о невозможности проведения монтажа. Данная возможность позволяет заранее выявить и устранить потенциальные проблемы.

Теперь подробнее рассмотрим каждый из компонентов формулы:

$K_{\text{комплект}}$  отражает, какую долю из всех имеющихся на площадке сборных элементов реально возможно установить на текущем этапе. Определяется по формуле:

$$K_{\text{комплект}} = \frac{D_m}{D_n},$$

где  $D_m$  – это элементы, которые можно монтировать. Другими словами, это элементы, для которых не требуется ожидать дополнительных конструкций. Например, балки монтируются только при наличии (и установке) несущих колонн. Если колонны не доставлены или не смонтированы, балки считаются «заблокированными»;  $D_n$  – это общее количество доставленных элементов.

$K_{\text{комплектация метизами}}$  оценивает, опираясь на «бинарный принцип», сколько конструкций можно полностью обеспечить всеми требуемыми крепежными элементами (болтами, анкерами, сварочными материалами).

Определяется по формуле:

$$K_{\text{комплектация метизами}} = \frac{\text{число полностью укомплектованных деталей}}{\text{число логически готовых деталей}}$$

$K_{\text{готовность крана}}$  отражает наличие крана на данном участке строительной площадки и его доступность. Если все эти факторы выполняются, то  $K_{\text{готовность крана}} = 1$  в противном случае  $K_{\text{готовность крана}} = 0$ .

Таким образом, каждое из этих значений вносит свой вклад в общий коэффициент готовности к монтажу, что позволяет эффективно управлять процессом и своевременно решать возникающие проблемы.

При необходимости можно развить этот показатель, если задействовано несколько кранов или имеются разные ограничения (например, по высоте подъема).

Рассмотрим пример расчета КГМ.

### Пример расчета

Предположим, на стройплощадку привезли 20 сборных элементов (колонны и балки). Из них «логически» можно установить двенадцать (остальные восемь заблокированы отсутствием фундаментных элементов или других несущих конструкций). Это дает:

$$K_{\text{комплект}} = \frac{12}{20} = 0,6.$$

У каждой из двенадцати пригодных к монтажу деталей есть четкие требования по крепежам: для полного набора нужно, допустим, четыре болта на колонну и шесть – на балку. Суммарно на двенадцать деталей нужно 48 болтов. Допустим, в наличии есть 36 болтов. При «оптимальном распределении» можно укомплектовать девять деталей, а оставшиеся три нет. Тогда:

$$K_{\text{комплектация метизами}} = \frac{9}{12} = 0,75.$$

Кран соответствующей грузоподъемности свободен (или есть несколько подходящих механизмов):

$$K_{\text{готовность крана}} = 1.$$

Тогда общий коэффициент:

$$KGM_{\text{сборные}} = 0,6 \times 0,75 \times 1 = 0,45.$$

Полученное значение 0.45 указывает, что только около 45 % от «идеальной» готовности. Основная проблема в данном примере – часть деталей «не монтируется логически» (балки без опор или узлов), а также наблюдается нехватка болтов для некоторых конструкций.

Обычно работа может стартовать, если  $KGM_{\text{задачи}} \geq KGM_{\text{min}}$ . На практике порог  $KGM_{\text{min}}$  часто выбирается в диапазоне 0,90–1,00, чтобы гарантировать стопроцентную готовность к монтажу. При снижении КГМ ниже порога (например, из-за нехватки материалов) сетевой график корректируется, сдвигая начало задач «вправо». Для данных манипуляций в модели должна быть предусмотрена регулярная переоценка, основанная на фактических данных о поставках, состоянии техники и наличии рабочей силы, благодаря чему график сохранит актуальность на протяжении всего цикла строительства. Следует помнить, что в нашей концепции КГМ играет ключевую роль в Формировании сетевого графика.

#### Формирование сетевого графика

В качестве основы для построения сетевого графика использовался метод критического пути (СРМ), который ориентирован на определение минимально возможной общей продолжительности проекта [12]. Этот подход позволяет не только планировать время выполнения задач, но и выявлять ключевые операции, от которых зависит общий срок выполнения проекта.

При создании графика каждая крупная операция разбивается на более мелкие подоперации, такие как монолитные работы, монтаж сборных конструкций и установка инженерных систем. На этом этапе особое внимание уделяется детальным зависимостям между задачами, чтобы четко понимать, какие работы могут выполняться параллельно, а какие требуют последовательного выполнения. При этом важно учитывать конкуренцию за одинаковые ресурсы, что может повлиять на график выполнения работ [13].

Интеграция коэффициента готовности к монтажу (КГМ) в сетевой график придает ему дополнительную гибкость. Это позволяет блокировать выполнение тех работ, чьи значения КГМ в текущем периоде не достигают установленного порога. Такой подход обеспечивает возможность адаптивного реагирования на изменения на строительной площадке, что существенно повышает эффективность управления проектом.

#### Учет “constructability constraints” и переход к алгоритмической оптимизации

При формировании сетевого графика важным шагом стало дополнение его набором технологических связей, отражающих ограничения, связанные с возможностью проведения определенных работ. Эти связи указывают, что ряд операций не может быть выполнен без предварительного завершения критических этапов. Например, монтаж стропильных ферм не может начаться до установки колонн, а прокладка инженерных коммуникаций – до бетонирования несущих плит.

Для упрощения этого процесса данные были выгружены из BIM-модели (например, с использованием Navisworks или аналогичных инструментов) в формате, совместимом с системами календарно-сетевого планирования, такими как MS Project или Primavera [14]. В случае любых перестановок задач в графике, генетический алгоритм учитывал существующие “constructability constraints”, что приводило либо к наложению штрафов, либо к немедленному отклонению решения. Таким образом, мы подготовили все необходимые данные для реализации алгоритмической оптимизации.

#### Алгоритмическая оптимизация

В качестве ключевого элемента оптимизации использовался эвристический метод, основанный на генетическом алгоритме (GA) [4]. Этот подход позволил эффективно решать многокритериальные задачи, такие как минимизация длительности проекта, расходов и трудозатрат. Для этой цели применялась либо взвешенная сумма критериев:

$$F = w_1 \times T + w_2 \times C + w_3 \times M,$$

где  $T$  – общее время,  $C$  – общие затраты, а  $M$  – уровень трудозатрат. Использовалась Pareto-оптимизация, при которой алгоритм сохранял несколько «равноценных» решений.

В рамках генетического алгоритма каждая хромосома кодировала последовательность работ или приоритет для каждой задачи, а набор операторов скрещивания и мутации генерировал новые варианты графиков [17]. При оценке каждого расписания учитывались следующие параметры:

- 1) логические зависимости (constructability constraints) – соблюдение технологических последовательностей;
- 2) статус КГМ задачи – готовность к монтажу отдельных работ;
- 3) многокритериальные параметры ( $T, C, M$ ) – включая время, затраты и трудозатраты.

Главными критериями оценки эффективности проектного расписания выступали:

- общее время ( $T$ ), необходимое для завершения проекта;
- общие затраты ( $C$ ), включая компенсацию за простой техники и дополнительные расходы при сбоях;
- уровень трудозатрат ( $M$ ) для бригад и подъемных средств, которая уменьшалась при логичной группировке монтажных работ;
- число коллизий или противоречий, которые включали как нарушение технологических последовательностей, так и попытки начать работы при условии, что КГМ ниже допустимого уровня.

Таким образом, алгоритмическая оптимизация, основанная на генетическом подходе, стала эффективным инструментом для улучшения планирования и управления строительными проектами, учитывая их специфические условия и ограничения.

#### Обсуждение и результаты

Сравнение результатов, полученных с использованием предложенной методики, и данных классического планирования, в котором не учитывался коэффициент готовности к монтажу (КГМ), показало уменьшение длительности выполнения проектов на 10-20% и снижение простоев. Регулярная проверка КГМ исключала ситуации, когда задачи формально открыты, но фактически невыполнимы. Последовательный перебор с помощью эволюционного алгоритма позволял находить новые, «неочевидные» варианты расположения работ, оптимизируя сроки и распределение ресурсов.

Экспериментальные данные подтверждают, что интеграция КГМ в сетевой график и автоматическая адаптация к изменяющимся условиям

ведут к сокращению общей длительности и снижению логистических задержек. Этот эффект достигается за счет повышения точности планирования и своевременного перераспределения задач при нехватке материалов или техники. Кроме того, дополнительным преимуществом является более эффективный контроль над коллизиями: использование 3D/4D модели позволяет заранее выявлять конструктивные пересечения, а оптимизационный алгоритм обеспечивает оперативную корректировку порядка работ.

#### Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что сочетание BIM-технологий с эвристическими алгоритмами может существенно повысить эффективность и точность календарно-сетевое планирования в строительстве. Введение динамического КГМ, который учитывает наличие материалов и готовность документации, способствует сокращению простоев и уменьшению сроков выполнения работ по сравнению с классическим подходом. Использование 4D-модели помогает предотвращать коллизии и оперативно перестраивать графики при изменении исходных условий.

Результаты данного исследования свидетельствуют о высокой эффективности комплексного подхода, объединяющего сетевые графики, BIM и эволюционные алгоритмы. Такой симбиоз открывает перспективы для дальнейшей цифровой трансформации строительной отрасли и может стать стандартом будущего. Разработанная методика способна послужить основой для углубленной работы в области 5D/6D моделирования и содействовать созданию регуляторных документов, закрепляющих использование КГМ как обязательного компонента в строительных проектах.

#### Список литературы

1. Бовтеев, С.В. Требования к разработке 3D-модели и календарно-сетевое графика для оптимизации процесса 4D-моделирования / С.В. Бовтеев, М.Е. Петелин // Инновации и инвестиции. – 2023. – №10. – С. 226-230.
2. Шерстобитова, П.А. Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей / П.А. Шерстобитова, С.В. Колесников, С.В. Бовтеев // Управление проектами и программами. – 2020. – №4(64). – С. 276-284. DOI: 10.36627/2075-1214-2020-4-4-276-284.
3. Король, С.П. Алгоритмический подход в сетевом моделировании в строительстве: графические решения и оптимизационные задачи / С.П. Король, Р.А. Король // Жилищные стратегии. – 2023. – Т. 10, №3. – С. 317-332. DOI: 10.18334/zhs.10.3.118842.
4. Faghihi, V. Construction scheduling using Genetic Algorithm based on Building Information Model / V. Faghihi, K.F. Reinschmidt, J.H. Kang // Expert Systems with Applications. – 2014. – Vol. 41. – P. 7565–7578. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.05.047.
5. Faghihi, V. Extended Genetic Algorithm for Optimized BIM-Based Construction Scheduling / V. Faghihi, K.F. Reinschmidt, J.H. Kang // Wiley StatsRef: Statistics Reference Online. – 2018. DOI: 10.1002/9781118445112.stat07892.
6. Ahankoob, A. Optimizing Construction Scheduling by Building Information Modeling in Construction Industry / A. Ahankoob, S.M. Khoshnava, R. Rostami, C. Preece // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 123. – P. 74–81.
7. Чепелева, К.В. Стратегические приоритеты внедрения технологий информационного моделирования в управление инвестиционно-строительными проектами / К.В. Чепелева, Т.А. Шпенькова, Е.А. Киль и др. // Инновации и инвестиции. – 2023. – №10. – С. 456-460.
8. Пименов, С.И. Строительная информационная модель / С.И. Пименов // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, №3. – С. 72–84. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.07.
9. Ahankoob, A., Khoshnava, S.M., Rostami, R., Preece, C. The Role of BIM in Optimizing Resource Allocation in Construction Projects / A. Ahankoob et al. // Construction Research Journal. – 2016. – Vol. 14. – P. 123–130.
10. Faghihi, V., Reinschmidt, K.F., and Kang, J. (2014) Construction scheduling using genetic algorithm based on BIM. Exp.Syst. Appl., 41 (16), 7565–7578. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.05.047.
11. Faghihi, V., Nejat, A., Reinschmidt, K.F., and Kang, J. (2015) Automation in construction scheduling: a review of the literature. Int. J. Adv. Manuf. Technol., DOI: 10.1007/s00170-015-7339-0.

12. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Экономические науки. - 2017. - №6. - С. 25-30.

13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2021 г. № 3883-р «Стратегическое направление в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 13.10.2022 № 1817)

14. Волкодав В. А., Волкодав И. А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM технологий // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – №.6. – С. 867-906.

15. Faghihi, V., Reinschmidt, K.F., and Kang, J.H. (2016) Objective-driven and Pareto front analysis: optimizing time, cost, and job-site movements. Autom. Constr., 69, 79–88. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.06.003

16. Лысенко Д. А. Алгоритм применения метода автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта строительства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. №4 (30).

17. Санжапов Б. Х., Санжапов Р. Б., Катеринин К. В. Поддержка принятия решений на ранней стадии анализа вариантов реализации проекта сложной системы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. №4 (42).

18. С В. Бовтеев, Е С. Евстифеева Методика формирования моделей визуализации строительных процессов // Системные технологии. 2023. №2 (47).

19. С В. Бовтеев Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов // Системные технологии. 2023. №4 (49).

20. Гвоздев Н. Н. Особенности планирования ресурсов в инвестиционно-строительной сфере // Инновации и инвестиции. 2023. № 8.

© А. В. Игнатъев, Д. А. Саушкин

#### Ссылка для цитирования:

Игнатъев А. В., Саушкин Д. А. Использование информационных моделей для оптимизации сетевых графиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 93–98.

УДК 001.891

DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-98-106

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

*В. А. Харитонов, Я. А. Овчинников, Г. Ф. Овчинникова*

**Харитонов Валерий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: +7 (908) 268-00-51; e-mail: cems@pstu.ru;

**Овчинников Ярослав Алексеевич**, аспирант, ассистент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: +7 (999) 125-88-85; e-mail: y.ovchinnikov@pstu.ru;

**Овчинникова Гульнара Фуатовна**, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: +7 (952) 652-17-76; e-mail: zinnurushka97@gmail.com

В статье рассматриваются подходы к применению механизмов комплексного оценивания в задачах повышения эффективности научной деятельности в области строительства. В исследовании [1] были проанализированы характеристики индивидуальной и коллективной научной деятельности. Этот анализ позволил выявить ряд преимуществ и недостатков, связанных с различными факторами, влияющими на эффективность научной работы. В результате было сделано заключение о том, что сочетание индивидуальной и коллективной научной деятельности с учетом их сильных сторон может повысить эффективность работы исследователей благодаря синергетическому эффекту [2]. В связи с этим, актуальной становится задача разработки нескольких моделей с различными комбинациями индивидуальной и коллективной научной деятельности для сравнения их целесообразности и эффективности. Для создания оптимальных комбинаций в настоящей работе предлагается использовать механизмы комплексного оценивания<sup>1</sup>.

**Ключевые слова:** индивидуальная научная деятельность, коллективная научная деятельность, особенности научной деятельности, синергетический эффект, эффективность научных исследований, принятие решений, комплексное оценивание.

<sup>1</sup>Механизм комплексного оценивания – это процедура агрегирования комплекса частных показателей с целью получения более общих показателей. Механизм позволяет строить агрегированную оценку сложного объекта путем свертки большого числа показателей, характеризующих объект, с учетом степени их влияния. Механизм основан на переводе показателей в единую шкалу балльных оценок, объединении показателей в группы обобщенные характеристики объекта), формировании балльной оценки направления и последующей попарной свертке оценок направлений.