

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2020, №1, Том 7 / 2020, No 1, Vol 7 <https://t-s.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/12SATS120.pdf>

DOI: 10.15862/12SATS120 (<http://dx.doi.org/10.15862/12SATS120>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Полянский А.В. Интеллектуализация инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №1, <https://t-s.today/PDF/12SATS120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/12SATS120

For citation:

Polyanskiy A.V. (2020). Intellectualization of engineering and technical support of railway construction. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/12SATS120.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/12SATS120

УДК 625:69.05:004.8

ГРНТИ 67.29.63

Полянский Алексей Викторович

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия
Доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: polal_82@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6190-0481>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=412433

Интеллектуализация инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства

Аннотация. Статья посвящена теоретическим основам совершенствования инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства. Одним из основных назначений существующей системы инженерно-технического сопровождения является оценка результатов разработки и контроль реализации технологических процессов строительства объектов железнодорожного пути. В ходе исследования было определено, что ряд этапов разработки и реализации технологических процессов содержит задачи, для решения которых достаточно применение автоматизированных систем проектирования и управления. Однако существуют задачи, решение которых зависит от опыта и интуитивных способностей инженера (разработчика организационно-технологической документации). Для решения таких задач помимо расчетных процедур необходимы и логические. Кроме того, интенсификация железнодорожного строительства, множество ограничений к производству работ и ресурсам, а также отклонения от запланированных показателей требуют оперативности в принятии решений, направленных на соблюдение проектных требований. Очевидно, что совокупный объем информации и данных о проектном и фактическом технологических процессах не гарантирует оперативности и рациональности в принятии решений инженером. В этом случае для решения технологических, организационных и управленческих задач становится возможным применение некоторых методов и средств искусственного интеллекта. В связи с этим предложено дополнить существующую систему инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства подсистемой инженерно-интеллектуального обеспечения технологического процесса строительства объекта железнодорожного пути. С целью интеллектуализации и формирования новой парадигмы инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства был проведен анализ современной и

перспективной практик разработки и реализации технологических процессов с позиции жизненного цикла объекта железнодорожного пути. Было установлено, что современные технологические процессы строительства объектов железнодорожного пути должны отличаться гибкостью к меняющимся условиям производства работ. Проведенное исследование показало, что этого можно достигнуть за счет формирования адаптивного цифрового технологического регламента. Основой цифрового регламента является информационная модель технологического процесса. Процедура формирования модели разделена на этапы, содержащие задачи, решение которых возможно с применением таких средств искусственного интеллекта как экспертные системы, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы. Принципиальной особенностью инженерно-интеллектуального обеспечения технологического процесса является возможность его оперативного регулирования на основе результатов мониторинга его развития во времени. Особенностью такого подхода является необходимость оперативной обработки большого количества данных, определяющих развитие технологических процессов во времени, условия производства работ, производственные возможности строительных (подрядных) организаций. Для этого разработаны математическая и концептуальная модели интеллектуальной автоматизированной системы. Ее основным назначением является оперативное решение задач разработки и реализации технологического процесса строительства объектов железнодорожного пути. Полученные в ходе исследования результаты, а также разработанный инструментарий позволили определить возможности интеграции разрабатываемой методологии в существующую систему проектирования и управления строительством объектов железнодорожного пути.

Результаты, приведённые в статье, получены в ходе диссертационного исследования, выполненного автором.

Ключевые слова: технологический процесс; железнодорожное строительство; объект железнодорожного пути; методы искусственного интеллекта; экспертная система; искусственная нейронная сеть; генетический алгоритм; управление проектами; управление железнодорожным строительством

Введение

Развитие современного железнодорожного строительства (ЖДС) актуализирует проблемы и задачи строительного производства, направленные на повышения качества выполняемых работ. В то же время рост определенных требований (технических, экономических, экологических, социальных и др.), способствует усложнению как самих объектов железнодорожного пути (ОЖДП), так и технологических процессов (ТП) их возведения. В связи с этим возникает необходимость в совершенствовании процедуры оперативной разработки ТП и схем в области сооружения земляного полотна, верхнего строения пути, искусственных сооружений, контактной сети и т. д.

Следует отметить, что этапы решения технологических и организационных задач отличаются слабой структуризацией, размытостью постановки задачи, интуитивным представлением инженера (разработчика организационно-технологической документации (ОТД)) о путях ее решения. Ряд требований и ограничений, которые используются в процессе разработки ОТД в этих условиях, являются нечеткими и зачастую не имеют количественных характеристик. В этом случае значения строительных параметров обычно задаются разработчиком ОТД на основе его опыта или интуиции, что объясняется их неявной и часто неизвестной взаимозависимостью (вследствие большой размерности и качественного характера ТП) [1; 2].

Разработка ТП опирается на многовариантный поиск и комплексную проработку альтернатив. Для этого активно применяются математические средства, учитывающие многокритериальность и неопределенность знаний с целью понимания характера целевой функции. В то же время, следует учитывать стохастический характер ЖДС, нечеткость и противоречивость целей, внутривидовые и внешние воздействия. Все это, в свою очередь, существенно усложняет процедуры принятия решений [3].

Существующая парадигма разработки ТП основана на решении задач технологии, организации и планирования строительных процессов с учетом утвержденной конструкции (принятого конструктивного решения (КР)) ОЖДП, имеющихся ресурсов в строительной (подрядной) организации (СПО) и оптимизационных мероприятий (рисунок 1). КР ОЖДП представляет собой результат технического проектирования и характеризуется параметрами, влияющими на номенклатуру работ (рабочих операций (РО)), которые необходимо выполнить, чтобы получить законченный строительством ОЖДП или его части.

Технология строительных процессов определяет схему и режимы производства работ. В то же время технология определяет ресурсы (перечень и методы использования машин, состав оборудования и потребность в рабочих) [4].

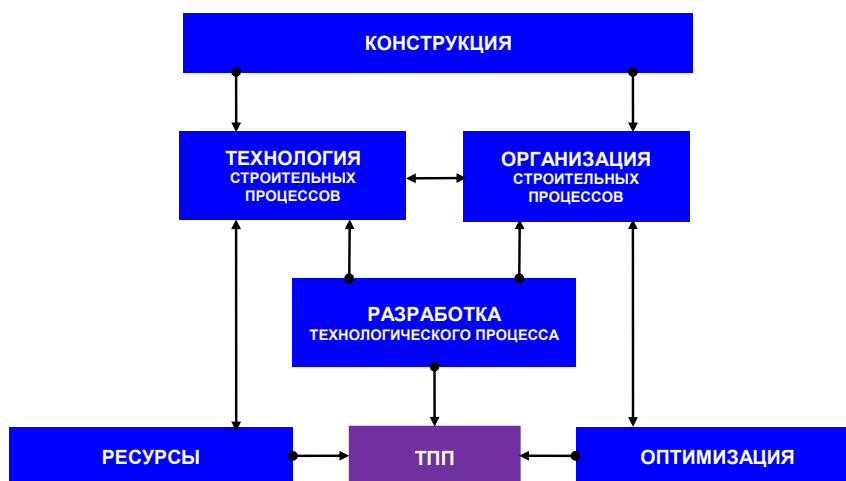


Рисунок 1. Укрупненная схема традиционной процедуры разработки технологического процесса строительства объекта железнодорожного пути (разработано автором)

Организация строительных процессов устанавливает и характеризует последовательность, направление развития и продолжительность РО, в результате которых реализуется КР ОЖДП [1; 3]. В итоге это определяет организационную структуру технологического процесса (ОСТП), представляющую собой множество вариантов решений. В этом случае сама разработка ТП приобретает вариантный характер. Поиск оптимального ТП принято реализовывать способами, в подавляющем большинстве из которых применяется метод сравнения технико-экономических оценок и показателей ряда вариантов. Поиск оптимального решения осуществляется варьированием технологических и организационных параметров, применением различных технических средств, учета их технологических характеристик и т. д. [3].

Оптимизационные мероприятия относятся к области творчества разработчика ОТД, зависят от его квалификации, опыта, интуиции, глубины проработки имеющейся в его руках информации. Однако низкий уровень автоматизации данных мероприятий, а также сомнительный уровень квалификации разработчика ОТД диктуют необходимость совершенствования процедуры разработки ТП с позиции ее интеллектуализации [5]. Именно такой подход может способствовать нахождению рационального и адекватного в сложившейся

ситуации ТП строительства ОЖДП, а также возможность его учета в системе управления ЖДС. Это требует определения и исследования этапов и задач разработки ТП строительства ОЖДП.

На рисунке 2 представлена структурная схема вариантной разработки ТП строительства ОЖДП, отражающая существующее состояние. Однако, некоторые этапы формирования ТП автоматизировать не представляется возможным. Это объясняется тем, что существуют задачи, для решения которых только расчетных процедур недостаточно.

В этом случае неизбежно активное участие человека в разработке ТП. Однако с участием человека повышается доля эвристических и субъективных факторов в формировании технологических решений, что впоследствии, несомненно, повлияет на обоснованность последующей реализации ТП [6]. Накопление знаний разработчика ОТД и принятие решений в различных обстоятельствах требуют применения новых интеллектуальных средств в разработке и реализации ТП в ЖДС.

С целью повышения эффективности и качества исполнения ТП, строительства ОЖДП, обеспечения рентабельной работы СПО необходимо принимать меры, начиная с подготовительного этапа строительства и заканчивая вводом в эксплуатацию. Ключевым элементом в рамках перечисленных требований является оперативность как в разработке, так и в реализации ТП. В то же время современное ЖДС характеризуется применением новых, более совершенных КР, материалов и технологий, развитием специализации исполнителей и связанным с этим большим числом участников ТП. В этих условиях решающее значение приобретает эффективный контроль над организацией и технологией производства работ, выполняемых при строительстве ОЖДП [7]. Этого можно достигнуть путем совершенствования существующей системы инженерно-технического сопровождения (ИТС) ЖДС за счет внедрения подсистемы инженерно-интеллектуального обеспечения технологического процесса (ИИОТП) строительства ОЖДП.



Рисунок 2. Структурная схема вариантной разработки технологического процесса при строительстве объектов железнодорожного пути (существующее состояние) (разработано автором)

Существует мнение [5; 8], что действующая система ИТС не может обеспечивать выполнение возросших и принципиально новых требований к ведению и качеству строительства из-за отсутствия необходимой информационно-вычислительной базы у СПО. К тому же система, базирующаяся в основном на методах проектирования и управления, не обеспечивающим оперативное принятие решений по совокупности всех условий к разработке и особенностей реализации технологических процессов, не в состоянии гарантировать качество строительства, соответствующее новым требованиям.

Это относится и к строительству ОЖДП, где существующая система ИТС в первую очередь нуждается в дальнейшем совершенствовании и дополнении для соответствия новым требованиям. Прежде всего система должна быть направлена на обеспечение качества производства работ в процессе строительства и дальнейшей безопасной эксплуатации ОЖДП. Для этого нужны новые подходы к созданию эффективной подсистемы разработки и реализации ТП, должным образом оснащенной необходимым инструментарием.

В качестве такой подсистемы и предлагается ИИОТП с учетом специфики строительства ОЖДП. Это позволит установить эффективное выполнение ТП (с учетом его моделирования) строительства ОЖДП.

Следует подчеркнуть, что в задачу ИИОТП входит эффективное использование ЭВМ и программного обеспечения с элементами искусственного интеллекта (ИИ), направленное на получение единого конечного результата: готового ОЖДП соответствующего функционального назначения и качества в установленные сроки, запланированными себестоимостью и трудозатратами, а также отвечающего современным требованиям безопасности.

Применение подсистемы ИИОТП возможно при выполнении ряда требований и условий, необходимых для интеллектуальной разработки и реализации ТП. Выполнение всего комплекса мероприятий является основой для обеспечения качества выполнения ТП строительства ОЖДП.

На рисунке 3 показана структурная схема интеллектуальной разработки и реализации ТП строительства ОЖДП. Здесь этапы разделены на три вида: этапы 1–3, 5, 7, 10 – в рамках которых осуществляются только расчетные процедуры, этапы 4, 5, 8, 11, 12 – в рамках которых необходимо проведение расчетно-логических процедур. В данном случае выделенные расчетно-логические процедуры являются своеобразными связками между расчетными процедурами. Фактически это является основанием для создания комплексной автоматизированной системы с интеллектуальным компонентом в рамках проводимого исследования [9].

Разработка систем с интеллектуальным компонентом в определенных случаях предполагает использование одного или нескольких направлений ИИ: экспертных систем (ЭС), искусственных нейронных сетей (ИНС), генетических алгоритмов (ГА).

ИИ можно определить как научное направление, задачи которого связаны с разработкой методов моделирования отдельных функций интеллекта человека с помощью программно-аппаратных средств ЭВМ [8; 10; 11].

К сфере решаемых задач, использующих технологии ИИ, относятся задачи, обладающие, как правило, следующими особенностями [8; 10]:

- неизвестен или не может быть реализован алгоритм решения;
- если существует алгоритмическое решение, но его нельзя использовать из-за ограниченности ресурсов (время, память);

- задача не может быть сформулирована в числовой форме;
- цель нельзя выразить в терминах точно определенной целевой функции.



Рисунок 3. Структурная схема интеллектуальной разработки и реализации технологического процесса при строительстве объекта железнодорожного пути (разработано автором)

Учитывая особенности решаемых задач для воплощения расчетно-логических процедур, используются следующие средства ИИ:

- ЭС продукционного типа для генерации номенклатуры строительных работ (операций ТП) для возведения ОЖДП [12]. Программный модуль, реализующий работу ЭС, состоит из оболочки, в которой осуществляется работа механизма логического вывода, и базы знаний (БЗ). Механизм логического вывода основан на обработке продукционных правил, содержащих описание РО ТП строительства ОЖДП. БЗ обеспечивает хранение перечня РО, и продукционных правил, описывающих целесообразные преобразования данных в области строительства ОЖДП [13; 14].

- ГА для эволюционной оптимизации организационной структуры технологического процесса (ОСТП) строительства ОЖДП [15]. Программный модуль, реализующий работу ГА, состоит из оболочки, в которой осуществляется формализация

организационной структуры ТП строительства ОЖДП и задание ограничений для многокритериальной оптимизации [16; 17].

- ИНС для формирования технологической схемы строительства ОЖДП [18]. Программный модуль, реализующий работу ИНС, состоит из оболочки, в которой из отдельных фрагментов осуществляется формирование технологических схем производства работ для строительства ОЖДП. В качестве входных данных используются сведения об условиях производства работ, сведения об имеющихся ресурсах и возможностях СПО. Работа модуля обеспечивается с учетом предварительно разработанной и математически обоснованной архитектуры ИНС, и ее последующего обучения с применением алгоритма обратного распространения ошибки на примерах технологических схем производства работ [19; 20].

- ЭС вероятностного типа для мониторинга ТП строительства ОЖДП, в частности оценки его исполнения [12]. Программный модуль, реализующий ЭС, состоит из оболочки, в которой осуществляется работа механизма логического вывода, и БЗ. Механизм логического вывода основан на байесовской системе обработки знаний. БЗ обеспечивает хранение перечня оцениваемых показателей ТП, и вероятностных правил, описывающих целесообразные преобразования данных в области оценки состояния ТП в определенный момент времени.

- ИНС для регулирования ТП строительства ОЖДП в части принятия решения по результатам мониторинга [18; 21]. Программный модуль, реализующий работу ИНС, состоит из оболочки, в которой реализована возможность принятия решения о дальнейшей реализации ТП с учетом его оценки и прогноза развития. В качестве входных данных используются сведения об условиях производства работ, сведения об имеющихся ресурсах и возможностях СПО. Работа модуля обеспечивается с учетом предварительно разработанной и математически обоснованной архитектуры ИНС, и ее последующего обучения с применением алгоритма обратного распространения ошибки на ситуационных примерах [19; 20].

1. Современная и перспективная практики разработки и реализации технологических процессов с позиции жизненного цикла объекта железнодорожного пути

Необходимость в оперативном решении слабо- и трудноформализуемых задач, сочетающих в себе помимо расчетных еще и логические процедуры, определила потребность совершенствования существующих этапов разработки ТП и обоснования этапов его реализации. Применение методов ИИ, а также их привязка к этапам жизненного цикла ОЖДП позволит осуществить переход от существующего ИТС к интеллектуальному. Однако не следует забывать о том, что ИТС тесно связано как с проектированием ОЖДП, так и с вводом ОЖДП в эксплуатацию.

Нормативная строительная документация, в частности Градостроительный кодекс РФ, выделяют следующие этапы жизненного цикла (ЖЦ) строительных объектов, в частности ОЖДП: проектирование, строительство, эксплуатация, утилизация. Практически на каждом из указанных этапов, если речь идет об оценке, соответствии, принятии решений и т. п., применение методов ИИ будет эффективно.

Методы ИИ на междисциплинарном уровне в практическом плане реализуются, как правило, в виде процедуры разработки и реализации ТП. Стыки между разными видами профессиональной деятельности обеспечиваются итерациями путем согласований. Эти процессы структурированы, но слабо формализованы. Поэтому важны опыт разработчика ОТД, уровень эвристических знаний и эффективность их применения на разных этапах ЖЦ ОЖДП (рисунок 4).

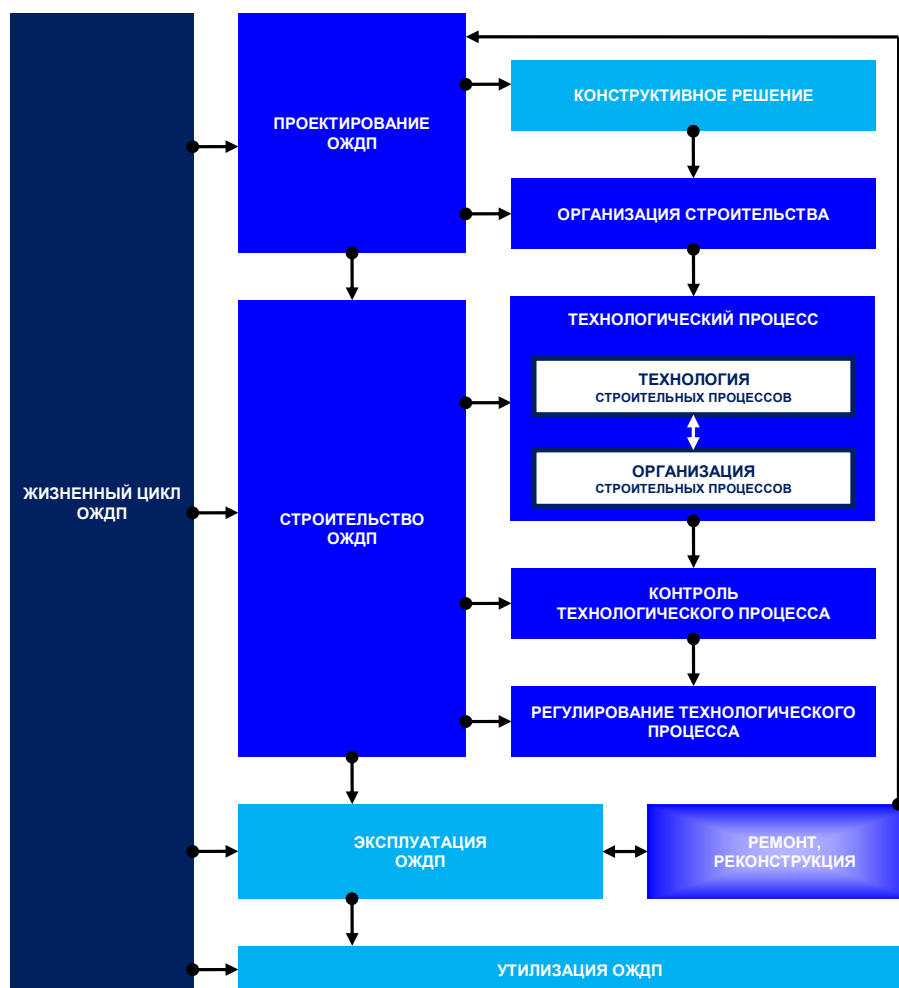


Рисунок 4. Этапы жизненного цикла объекта железнодорожного пути и основные направления их обоснования (укрупненная схема) (разработано автором)

Этап проектирования предполагает решение вопросов технического проектирования с целью разработки (выбора) конструкции ОЖДП. Конструкция ОЖДП в зависимости от сложности может быть представлена одним или совокупностью КР. Системное описание КР ОЖДП является основой для его дальнейшего технологического обоснования.

Этап строительства представляет собой разработку и реализацию ТП, в основе которых лежат результаты решения задач технологии и организации железнодорожного строительного производства. С целью достижения планового результата осуществляется контроль ТП. В зависимости от хода протекания ТП (исполнения строительно-монтажных работ (СМР), материально-технического снабжения, документационного обеспечения и т. д.) осуществляется регулирование ТП путем выработки руководящих решений.

Этап эксплуатации предполагает помимо реализации основной функции ОЖДП, еще и поддержание самого ОЖДП в надлежащем состоянии. Для этого осуществляются различные мероприятия, направленные на ремонт, реконструкцию и модернизацию. В связи с этим возникает необходимость в разработке проектной документации, в частности ОТД. Это в свою очередь требует разработки и реализации ТП.

Этап утилизации представляет собой реализацию процессов, связанных с ликвидацией (демонтажем, сносом) ОЖДП. На этом этапе также требуется разработка ТП, но уже с другой спецификой и это требует отдельного рассмотрения.

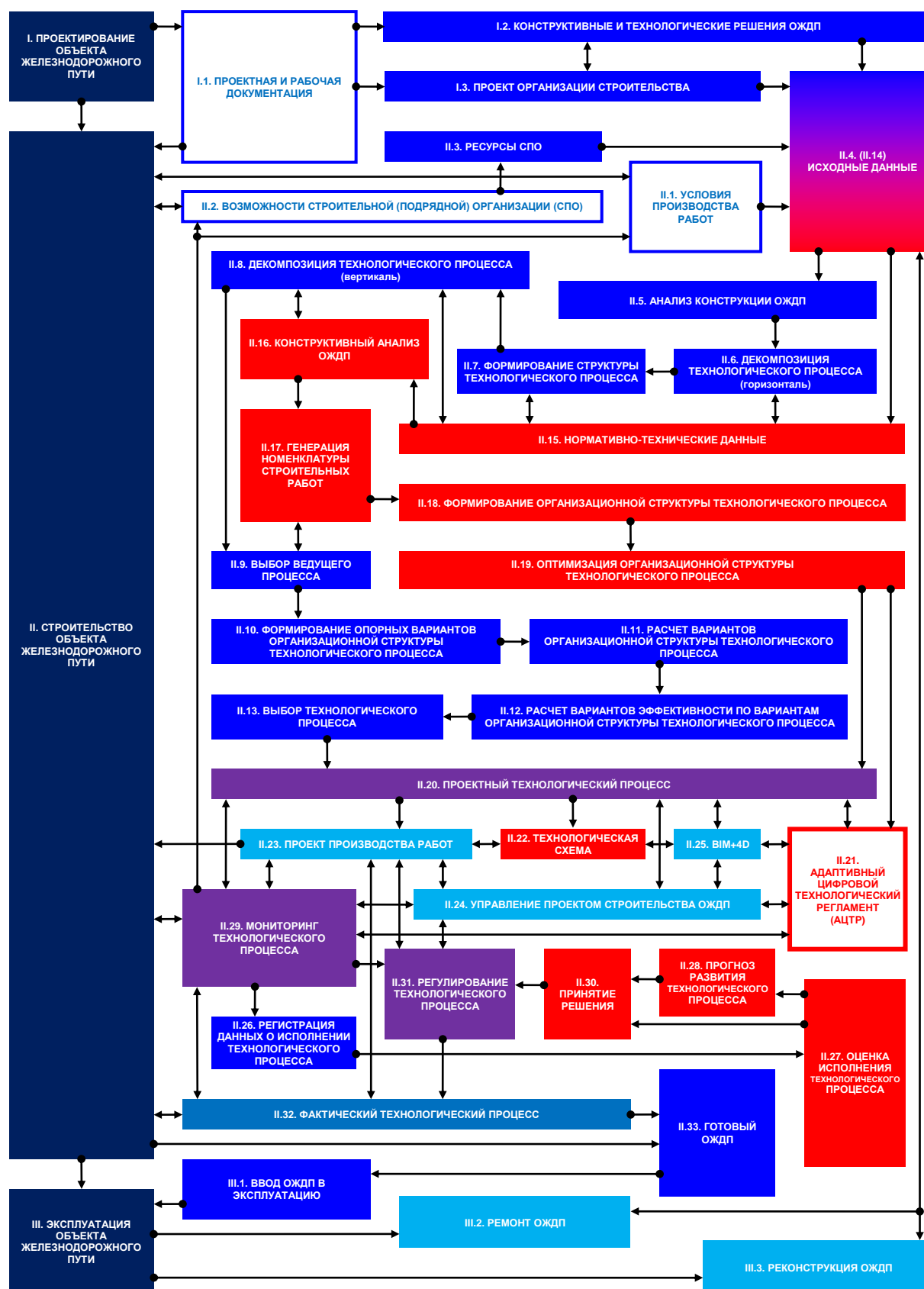


Рисунок 5. Современная и перспективная инженерная практики разработки и реализации технологического процесса с позиции жизненного цикла объекта железнодорожного пути (разработано автором)

Как уже отмечалось выше для данного исследования особый интерес представляет этап строительства ОЖДП. В рамках данного этапа решаются основные задачи, направленные на поиск эффективных ТП. В то время как другие этапы оказывают существенное влияние на процедуру разработки и реализации ТП строительства ОЖДП.

Сущность перспективной практики разработки и реализации ТП при строительстве ОЖДП заключается в совершенствовании существующей практики разработки ТП и создании этапов его реализации. Нужно указать на то, что вместо множества вариантов ТП, разрабатываемых даже с привлечением средств автоматизации исключительно для расчетных процедур, предлагается разрабатывать ОСТП, обладающую динамическими свойствами, т. е. подстраивающуюся под ситуацию. Однако потенциальная большая размерность задачи требует привлечения ЭВМ (больших вычислительных мощностей). Смысл научно-технической гипотезы перспективной практики разработки и реализации ТП состоит в определении круга задач решаемых с привлечением методов и средств ИИ. Именно методы ИИ призваны реализовать возможности подстройки и настройки ТП под конкретные условия строительства ОЖДП [14]. Реализация такого подхода на этапах ЖЦ ОЖДП создает предпосылки для формирования ИИОТП в рамках ИТС как самостоятельного направления.

На рисунке 5 показано информационное взаимодействие между современной и перспективной практиками разработки и реализации ТП с целью совершенствования ИТС за счет дополнения ИИОТП.

Следует отметить, что в данной работе рассматриваются три этапа ЖЦ ОЖДП, имеющее непосредственное отношение к объекту и предмету исследования.

Этап «I. Проектирование объекта железнодорожного пути» обусловлен результатами разработки проектной и рабочей документации на строительство ОЖДП, а также принятыми конструктивными, организационными и технологическими решениями (рисунок 5, блоки I.1–I.3). Решения, принятые на данном этапе, являются отправной точкой для разработки ТП.

Этап «II. Строительство объекта железнодорожного пути» представлен задачами разработки (рисунок 5, блоки II.1–II.22) и реализации (рисунок 5, блоки II.23–II.32) ТП строительства ОЖДП. Также показано взаимодействие существующей (рисунок 5, блоки II.1–II.13, II.21) и перспективной (рисунок 5, блоки II.14–II.18, II.20, II.22, II.29, II.30) практики разработки ТП строительства ОЖДП. Именно такое взаимодействие призвано обеспечить совершенствование существующей практики за счет интеллектуального обеспечения решаемых задач.

Реализация ТП представлена процедурами его мониторинга и регулирования. Задачи мониторинга (рисунок 5, блоки II.23, II.24, II.28, II.32) и регулирования (рисунок 5, блоки II.25–II.27) обеспечивают контроль и выработку решений в ходе реализации ТП, с целью соблюдения проектных требований и условий производства работ. При этом допускаются возможности обеспечения взаимодействия с современными методами управления строительством, в том числе с автоматизированными системами проектирования и управления.

Этап «III. Эксплуатация объекта железнодорожного пути» в рамках проводимого исследования представляет интерес исключительно с точки зрения осуществления строительных мероприятий (рисунок 5, блоки III.1–III.3) для поддержания работоспособности ОЖДП. В частности, это ремонт и реконструкция. На этих стадиях также возникает необходимость разработки и реализации ТП, но с определенной спецификой, что требует проведения дополнительных исследований.

2. Интеграция разрабатываемых положений в существующую систему проектирования и управления строительством объектов железнодорожного пути

Существующая в настоящее время в ИТС ЖДС информационная среда, включает системы сбора данных, вычислительную инфраструктуру, программные комплексы, базы данных (БД). Однако отдача от этих систем низкая, и они не дают ожидаемого эффекта. Причина кроется в том, что на разработчиков ОТД и строителей обрушивается громадный объём слабо упорядоченной информации. Его сложно своевременно усвоить и проанализировать, а, значит, получить эффективные технологические процессы. В результате возможности мощных систем не используются в полной мере. Различные виды ОТД представляют собой материалы, которые зачастую служат больше для «закручивания гаек» в отношении СПО, чем для анализа хода строительных работ и оперативного реагирования на возникающие изменения.

В современных условиях разработчикам ОТД, в рамках реализации ИИОТП, необходима интеллектуальная надстройка – интеллектуальная автоматизированная система (ИАС), которая перерабатывала бы данные из информационных систем и выдавала бы адресный анализ – разный для различных рабочих мест в соответствии с перечнем возможных решений. По сути ИАС должна [21]:

- выполнять детальный анализ ТП по различным параметрам (видам и объемам выполняемых работ, производственным и погоднo-климатическим условиям, по времени и др.);
- выявлять «узкие места» в ТП, указывать на «болевыe точки» современной технологии, плохую стыковку отдельных операций, причины возникновения простоев;
- использовать корректно построенную принципиальную модель ТП для объективной трактовки полученной информации;
- различать проектный технологический процесс (ТПП), полученный на этапе разработки, и фактический технологический процесс (ТПФ), реализуемый в ходе строительства ОЖДП;
- проводить оперативный анализ/прогноз эффективности принимаемых управляющих решений;
- опираться на существующую информационную среду, обеспечивающую сбор информации в местах возникновения, её передачу в БД с последующей обработкой и хранением в АЦТР (рисунок 6). Результаты анализа и рекомендации по управляющим решениям должны выдаваться в максимально удобном виде (календарные графики, технологические схемы и т. п.).

В перспективе ИАС должна не только проводить анализ работы, но и давать рекомендации по её совершенствованию в виде конкретных управляющих решений. Разумеется, анализ и рекомендации должны носить адресный характер – в соответствии с потребностями и полномочиями конкретной СПО.

Анализ является важной частью процесса регулирования ТП. Хорошо проведённый анализ в значительной мере предопределяет эффективность управления и оптимальность принимаемых решений.

Но интерпретация результатов мониторинга требует понимания сущности ТП. То есть разработчик ОТД должен иметь некоторую теоретическую модель, показывающую как в принципе можно объяснить те или иные результаты или показатели функционирования. Таким

образом, теоретическая модель «говорит» где искать возможную причину (причины) тех или иных проблем в ТП при его реализации. Не понимая сущности ТП, нельзя дать правильную трактовку результатов мониторинга. Анализ в этом случае не будет готовить рациональное управляющее воздействие.

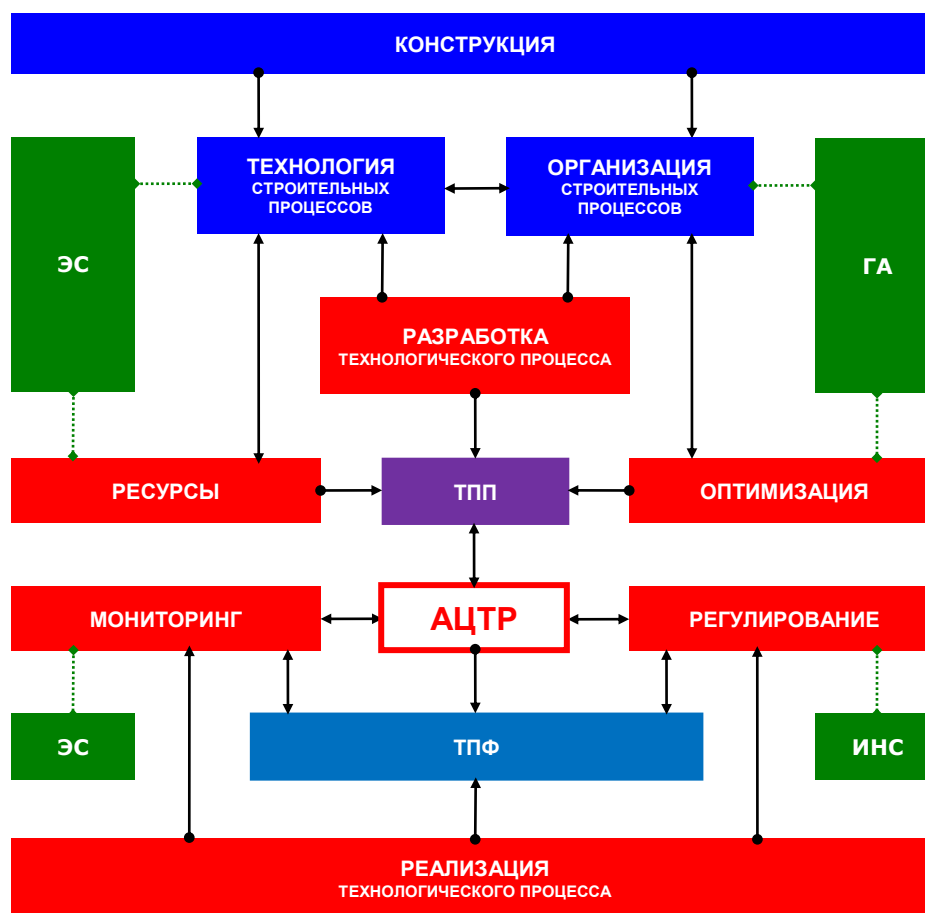


Рисунок 6. Укрупненная схема перспективной процедуры автоматизированной разработки и реализации технологического процесса строительства объекта железнодорожного пути с применением методов искусственного интеллекта (разработано автором)

ИАС должна соответствовать требованиям, предъявляемым СПО и стыковаться с используемыми прикладными системами.

Распределенный характер модели ИИОТП определяет возможность интеграции разрабатываемых положений в существующую систему проектирования и управления строительством ОЖДП на основе взаимодействий, показанных на рисунке 7.

Данные взаимодействия показывают связи между участниками строительства ОЖДП, структурными элементами ТП, результатами ОТП и современными информационными программными средами:

1. системами автоматизированного проектирования;
2. системами управления проектами;
3. средствами, реализующими информационное моделирование ОЖДП (BIM);
4. средствами, реализующими 4D-проектирование.

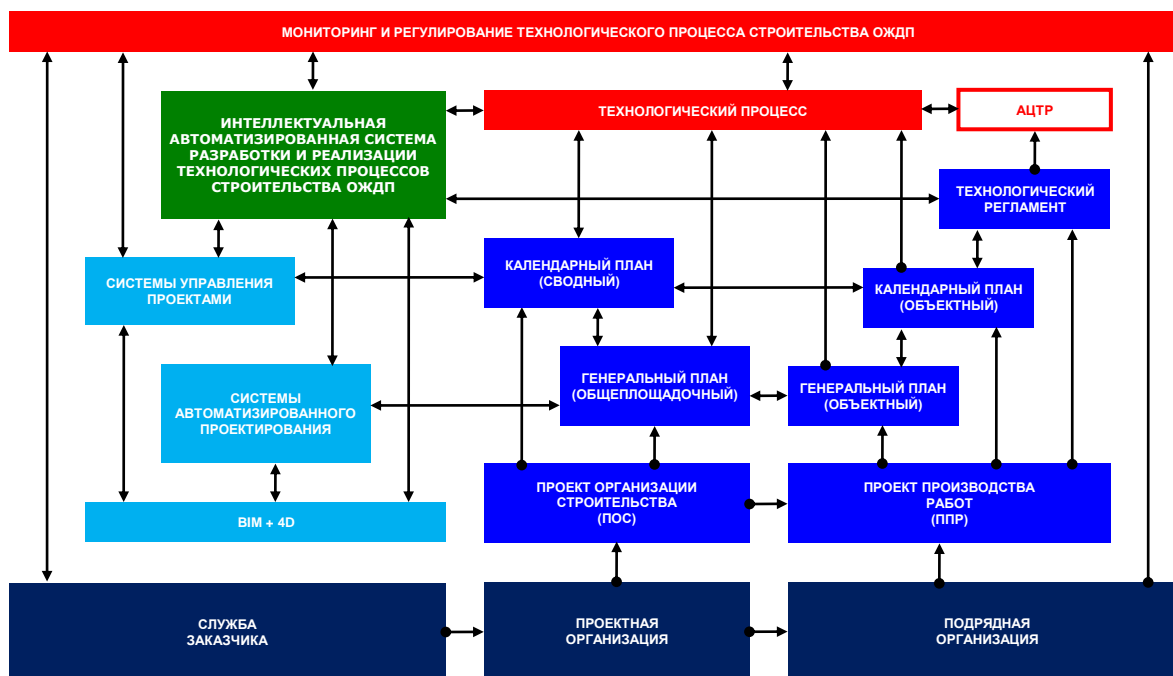


Рисунок 7. Место и роль интеллектуальных технологий в проектировании и строительстве объектов железнодорожного пути (разработано автором)

Преимущества интеграции разрабатываемых положений, в частности ИАС, в существующую систему проектирования и управления строительством ОЖДП на основе описанных взаимодействий состоят в следующем:

- упрощение уже существующих систем подготовки организационно-технологической документации строительного периода;
- повышение оперативности подготовки организационно-технологической документации строительного периода;
- оптимизация использования ресурсов ТП;
- установление единой базы для непрерывного улучшения показателей исполнения ТП;
- создание всех необходимых условий для осуществления деятельности по планированию, мониторингу, корректировке ТП;
- повышение способности адаптироваться к изменениям условий производства работ, требованиям проектной и рабочей документации.

На современном этапе создания и развития информационных технологий в ЖДС наблюдается стремление к объединению информационных ресурсов или, другими словами, интеграция различных информационных технологий в единый комплекс.

3. Разработка математической модели интеллектуальной автоматизированной системы разработки и реализации технологических процессов строительства объектов железнодорожного пути

Выявленные ранее пути решения поставленных в работе задач с позиций интеллектуализации, интеграции и перспектив развития определяют необходимость создания ИАС в рамках ИИОТП строительства ОЖДП.

В настоящее время экспериментальное исследование больших систем является достаточно ограниченным. В связи с этим актуализируется использование методик их моделирования. Это позволяет в определенной форме представить процедуры и этапы работы систем с помощью математических моделей, а также показать результаты экспериментов с моделями по оценке параметров исследуемых процессов и объектов. С целью выявления и описания структуры и организации сложной системы – ИАС, с использованием общего системного подхода разработаны ее математическая и концептуальная модели.

Следует отметить, что сложность реальных систем не позволяет строить для них абсолютно адекватные модели. Например, математическая модель описывает, по сути, некоторый упрощенный объект, где представлены основные явления, входящие в реальный объект, и только главные факторы, действующие на реальную систему. Процесс функционирования одного и того же реального объекта может быть представлен в виде различных математических моделей в зависимости от поставленной задачи [21; 22].

Модели, в зависимости от характера решаемых задач, делятся на функциональные и структурные. Разработанная и описанная ниже модель относится к структурным, так как определяет структуру сложного объекта (ИАС), состоящего из отдельных частей (подсистем, и их составляющих), между которыми существуют определенные связи.

С учетом общего принципа организации систем ядро модели ИАС представляет собой следующую функциональную зависимость [21]:

$$\{P_1, P_2, P_3\} \subseteq A$$

где A – ИАС, P – подсистема в составе ИАС. При этом, P_1 – подсистема «Технология», P_2 – подсистема «Мониторинг», P_3 – подсистема «Регулирование».

В свою очередь элементный состав каждой из подсистем можно представить как:

$$P_1 = \{p_{1,i}, p_{1,j}^{ai}, KB_{1,1}, DM_{1,1}, DB_{1,k}\}, i = \overline{1,5}, j = \overline{1,3}, k = \overline{1,8},$$

где $P_{1,i}$ – вычислительные модули подсистемы «Технология», $P_{1,j}^{ai}$ – модули подсистемы «Технология» с интеллектуальным компонентом, $KB_{1,k}$ – БЗ подсистемы «Технология», $DM_{1,1}$ – выборка данных подсистемы «Технология», $DB_{1,k}$ – БД подсистемы «Технология». При этом, $P_{1,1}$ – модуль «Исходные данные», $P_{1,2}$ – модуль «Нормативно-технические данные», $P_{1,3}$ – модуль «Конструкция», $P_{1,4}$ – модуль «Оргструктура», $P_{1,5}$ – модуль «Техпроцесс», $p_{1,1}^{ai}$ – ЭС «Технология» (модуль «Техструктура»), $p_{1,2}^{ai}$ – ГА (модуль «Оптимизация»), $p_{1,3}^{ai}$ – ИНС (персептрон) «Техсхема»; $KB_{1,1}$ – БЗ «Технология»; $DM_{1,1}$ – выборка данных для ИНС «Техсхема», $DB_{1,1}$ – БД «Исходные данные», $DB_{1,2}$ – БД «НТД», $DB_{1,3}$ – БД «Конструкция», $DB_{1,4}$ – БД «Техструктура», $DB_{1,5}$ – БД «Оргструктура», $DB_{1,6}$ – БД «Оптимизация», $DB_{1,7}$ – БД «Техпроцесс», $DB_{1,8}$ – БД «Техсхема».

$$P_2 = \{p_{2,i}, p_{2,1}^{ai}, KB_{2,1}, DB_{2,1}\}, i = \overline{1,2},$$

где $P_{2,i}$ – вычислительные модули подсистемы «Мониторинг». При этом, $P_{2,1}$ – модуль «Наблюдение», $P_{2,2}$ – модуль «Прогноз»; $P_{2,1}^{ai}$ – ЭС «Оценка», $KB_{2,1}$ – БЗ «Оценка», $DB_{2,1}$ – БД «Наблюдение», $DB_{2,2}$ – БД «Оценка», $DB_{2,3}$ – БД «Прогноз».

$$P_3 = \{p_{3,1}, p_{3,1}^{ai} DM_{3,1} DB_{3,1}\},$$

где $P_{3,1}$ – вычислительный модуль «Регулирование», $P_{3,1}^{ai}$ – ИНС (персептрон) «Решение», $DM_{3,1}$ – выборка данных для ИНС «Решение», $DB_{3,1}$ – БД «Решение», $DB_{3,2}$ – БД «Регулирование».

В то же время модули работают (ввод/вывод, сохранение/извлечение данных) совместно с БД, являющихся частью ИАС. При этом определенная БД работает с определенным модулем, т. е.

$$\begin{aligned} & p_{1,1} \cup DB_{1,1}, p_{1,2} \cup DB_{1,2}, p_{1,3} \cup DB_{1,3}, p_{1,1}^{ai} \cup DB_{1,4}, p_{1,4} \cup DB_{1,5}, p_{1,2}^{ai} \cup DB_{1,6}, \\ & p_{1,5} \cup DB_{1,7}, p_{1,3}^{ai} \cup DB_{1,8}; \\ & p_{2,1} \cup DB_{2,1}, p_{2,1}^{ai} \cup DB_{2,2}, p_{2,2} \cup DB_{2,3}; \\ & p_{3,1}^{ai} \cup DB_{3,1}, p_{3,1} \cup DB_{3,2}. \end{aligned}$$

В качестве инструментальных средств функционирования модулей предполагается использовать расчетные процедуры и специально разработанные модели. Причем в основе вычислительных модулей лежат расчетные процедуры, а в основе модулей с интеллектуальным компонентом – расчетно-логические модели.

Для представления структурного состава каждого из модулей введены следующие символьные обозначения: M'_k – расчетные модели, M''_l – расчетно-логические модели, причем:

$$\{ES_i \cup KB_j\} \subseteq M'_l \text{ или } \{NNW_i \cup DM_j\} \subseteq M''_l \text{ или } \{GA\} \subseteq M''_l,$$

где ES_i – i -я экспертная система, KB_j – j -я база знаний, NNW_i – i -я искусственная нейронная сеть (персептрон), DM_j – j -я выборка данных, GA – генетический алгоритм. В таком случае

$$\begin{aligned} & \{ES_1 \cup KB_1\} \subseteq M'_1, \\ & \{GA\} \subseteq M''_2, \\ & \{NNW_1 \cup DM_1\} \subseteq M''_3, \\ & \{ES_3 \cup KB_3\} \subseteq M'_4 \\ & \{NNW_2 \cup DM_2\} \subseteq M''_5, \end{aligned}$$

где ES_1 – ЭС «Технология», KB_1 – БЗ «Технология», NNW_1 – ИНС «Техсхема», DM_1 – выборка данных для ИНС «Техсхема», ES_2 – ЭС «Оценка», KB_2 – БЗ «Оценка», NNW_2 – ИНС «Решение», DM_2 – выборка данных для ИНС «Решение».

Тогда

$$\begin{aligned} & (M'_1 \cup DB_{1,1}) \in p_{1,1}, (M'_2 \cup DB_{1,2}) \in p_{1,2}, (M'_3 \cup DB_{1,3}) \in p_{1,3}, (M''_1 \cup DB_{1,4}) \in p_{1,1}^{ai}, \\ & (M'_4 \cup DB_{1,5}) \in p_{1,4}, (M''_2 \cup DB_{1,6}) \in p_{1,2}^{ai}, (M'_5 \cup DB_{1,7}) \in p_{1,5}, (M''_3 \cup DB_{1,8}) \in p_{1,3}^{ai}; \\ & (M'_6 \cup DB_{2,1}) \in p_{2,1}, (M''_4 \cup DB_{2,2}) \in p_{2,1}^{ai}, (M'_7 \cup DB_{2,3}) \in p_{2,2}; \\ & (M''_6 \cup DB_{3,1}) \in p_{3,1}^{ai}, (M'_{12} \cup DB_{3,1}) \in p_{3,2}. \end{aligned}$$

В результате поэтапного моделирования ИАС была произведена математическая формализация системы. Это позволило представить ее структуру и математически описать соотношения между структурными составляющими. На основе математической модели была разработана концептуальная модель системы в графическом представлении ее элементного состава.

Структурные элементы (подсистемы, модули и др.), необходимые для функционирования ИАС разработки и реализации ТП строительства ОЖДП, взаимодействуют в динамике друг с другом в соответствии с концепцией целостности управления и образуют распределенную систему знаний. Основой такой системы являются распределенные иерархические БЗ [8; 10]. Совокупность знаний, хранящихся в БЗ и необходимых для решения комплекса задач разработки и реализации ТП, можно рассматривать как систему знаний.

БЗ занимает центральное положение по отношению к другим компонентам ИАС, через нее осуществляется интеграция большинства других средств, входящих в контур управления. Она выступает как система, содержащая декларативные знания и ассоциированные с ними процедуры. При этом знания и процедуры имеют единые принципы представления и язык описания. В то же время манипулирование знаниями предполагает использование унифицированной схемы, направленной на реализацию инвариантных операций со знаниями всех уровней (относительно различных применений). Знания, содержащиеся в БЗ, независимы от обрабатываемых программ и образуют целостную систему [8; 10].

Еще одним структурным элементом ИАС являются базы данных. БЗ и БД взаимосвязаны и взаимодействуют друг с другом. В то же время БЗ являются логическим развитием БД. Необходимо подчеркнуть, что БЗ не отвергает и не заменяет БД, БД и БЗ рассматриваются как разные уровни представления информации в ИАС. В связи с этим знания представляются знаковой (семиотической) системой.

При этом различают [10]:

- *интенциональные знания*, которые описывают абстрактные объекты, события, отношения такие, как «Ресурсы», «Объект железнодорожного пути», «Технологический процесс». Интенциональные знания S можно представить следующей моделью:

$$S = \{A, D\},$$

где A – атрибут абстрактного объекта, D – домен, определяющий допустимые свойства объекта. Например, A – «Ресурсы», D – {«Исполнители», «Технические средства», «Материалы»};

- *экстенциональные знания* определяют характеристики конкретных объектов, их состояния, значения параметров в определенные моменты времени. Так, экстенционалом понятия «Ресурсы» может быть «Исполнители», понятия «Объект железнодорожного пути» –

«Земляное полотно», понятия «Технологический процесс» – «Рабочие операции». Экстенциональные знания F можно представить следующей моделью:

$$F = \{A, K\},$$

где K – конкретное значение свойства, например, K – «Исполнители».

В характеристиках семиотических систем выделяют три аспекта: синтаксический, семантический и прагматический. Наличие семантических и прагматических аспектов – наиболее существенный признак, отличающий знания от данных. Включение новой информации в БЗ может быть реализовано различными путями [8; 10; 11; 13]:

- пополнение БЗ путем внесения изменений в тексты БЗ;
- обучение системы пользователем в рабочем режиме;
- самообучение системы (приспособление ее к новым условиям/задачам).

Для хранения и использования знаний представляется возможным размещать их в БД. При этом знания структурируются в БЗ и в таком виде размещаются в БД. Вполне подходящим вариантом БД является реляционная структура хранения. К тому же такая модель способствует установлению связей как между знаниями из разных БЗ, так и между БЗ в целом.

4. Разработка концептуальной модели интеллектуальной автоматизированной системы для разработки и реализации технологических процессов строительства объектов железнодорожного пути

В рамках проводимого исследования, перспективных направлений развития предложенной концепции ИИОТП, а также анализа процедуры разработки и реализации ТП разработана концептуальная модель ИАС. На рисунке 8 модель ИАС представлена, в виде круговой схемы, развивающейся по спирали и наглядно отражающей этапы разработки и реализации ТП строительства ОЖДП.

Так в направлении от центра последовательно представлены: подсистемы, модули, инструментальные средства функционирования модулей, базы данных – на этапах разработки и реализации ТП. Повышение уровня автоматизации процессов проектирования и их интеллектуализации обеспечивается введением в состав ИАС ЭС, ИНС и алгоритма генетической оптимизации, расположение которых в схеме отражает условный переход от вариантного проектирования ТП к интеллектуальному сопровождению строительства ОЖДП. При этом все три уровня относятся к направлениям развития ИАС, использование которых позволит увязать в автоматизированном режиме процедуры разработки и реализации ТП и обеспечит возможность оперативной корректировки ТП, в частности технологических решений, в процессе производства работ.

В основу модели заложены выявленные в результате проведенного анализа существующих методов разработки ТП составляющие их этапы и задачи. На основе полученных данных и предложений автора разработаны состав и структура ИАС. Ядром модели является интеллектуальная автоматизированная система, состоящая из подсистем: «Технологический процесс», «Мониторинг», «Управление». Дальнейшая декомпозиция представленных подсистем отражает их составные части: модули (где производятся те или иные программные процедуры), базы знаний, выборки данных, базы данных, используемые для реализации этих процедур, либо являющиеся их результатом.

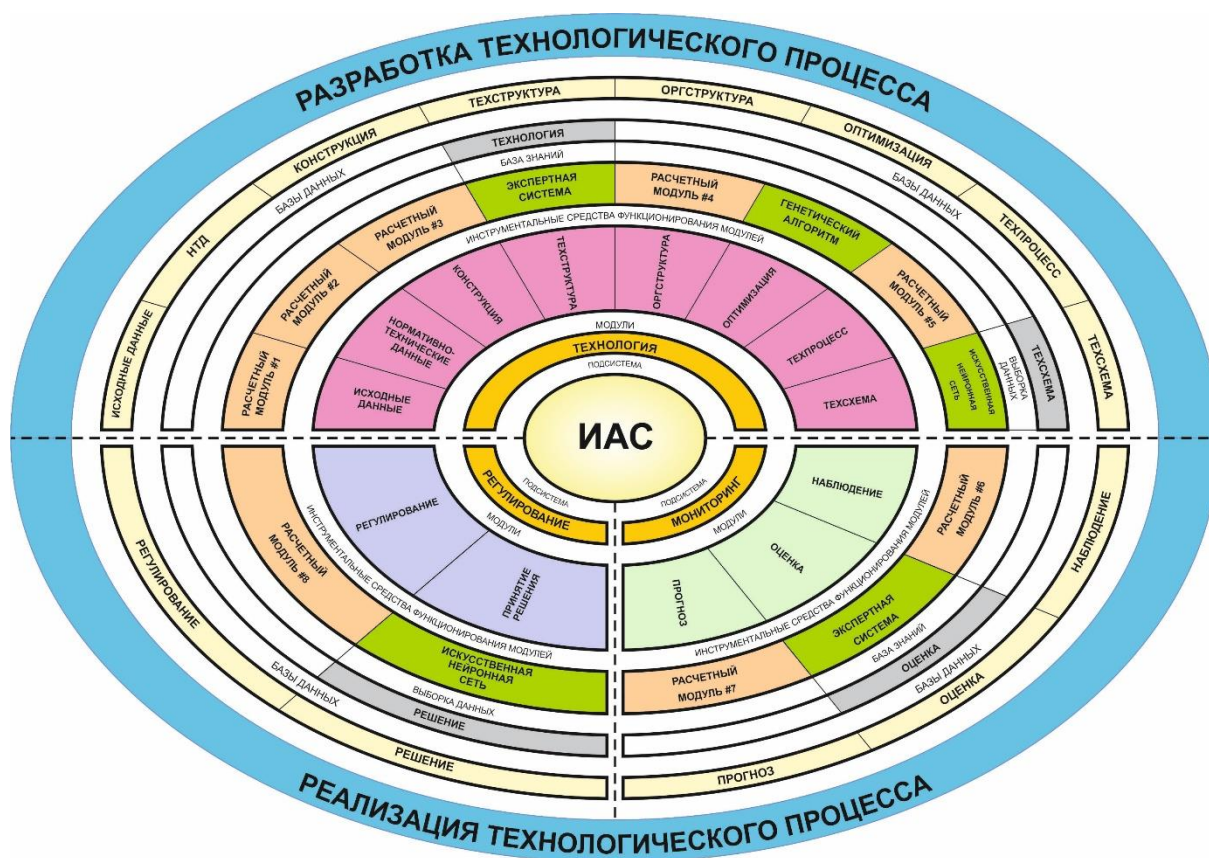


Рисунок 8. Концептуальная модель интеллектуальной автоматизированной системы с учетом технологий интеллектуализации (разработано автором)

В рамках этапа разработки ТП подсистема «Технологический процесс» представлена модулями: «Исходные данные», «Транспортный объект», «Конструкция», «Техструктура», «Оргструктура», «Оптимизация», «Техпроцесс», «Техсхема». В информационное поле этих модулей входят одноименные базы данных (БД). При этом первые три служат основой для разработки ТП, а остальные служат для сохранения результатов разработки.

В задачи подсистемы «Технологический процесс» входит подготовка исходных данных (включающие результаты проектирования ОЖДП, возможности СПО, условия производства работ и пр.), технологическое обоснование ОЖДП, определение номенклатуры строительных работ, решение задач ресурсообеспечения ТП, формирование ОСТП, оптимизацию ОСТП, формирование ТП и электронного технологического регламента. На основании полученных результатов определяется технологическая схема производства работ. Также, результаты, полученные в рамках данной подсистемы, могут служить основой для формирования ППР и интеграции с системами управления проектами, BIM и 4D-строительства.

Этап реализации ОТР включает две подсистемы: «Мониторинг» и «Регулирование». Подсистема «Мониторинг» представлена модулями: «Наблюдение», «Оценка» и «Прогноз». Подсистема «Регулирование» состоит из двух модулей «Решение» и «Регулирование». В информационное поле этих модулей входят одноименные БД. Данные БД содержат результаты разработки ТП и служат источниками целевых показателей (параметров) развития ТП во времени и пространстве.

Функционирование подсистемы «Мониторинг» характеризуется получением данных о ходе ТП в результате непрерывного наблюдения по заданным параметрам. На основе результатов наблюдения производится оценка исполнения ТП и прогноз его развития.

Подсистема «Регулирование» предполагает принятие решения об исполнении ТП и оперативное регулирование ТП с возможностью корректировки (адаптации) под конкретные условия производства работ.

Основным положением, используемым при формировании концептуальной модели ИАС, является то, что исходной информацией для разработки и реализации ТП служат результаты технического и организационно-технологического проектирования ОЖДП (конструктивное решение, план, профиль, общая организация строительства, сводный календарный план) с описанием условий производства работ и возможностей СПО. Таким образом, использование ИАС, как инструмента ИИОТП строительства ОЖДП, должно обеспечить не только разработку ТП, но и его оперативную адаптацию к конкретным условиям ЖДС.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что перспективным направлением совершенствования ИТС ЖДС является интеллектуализация, позволяющая организовать процесс разработки и реализации ТП строительства ОЖДП в единой информационной среде. На основе анализа современной и перспективной инженерной практики разработки и реализации ТП строительства ОЖДП, и сформированного структурного состава предложена структурно информационная модель процесса функционирования подсистемы ИИОТП.

ИИОТП призвано обеспечить разработку и реализацию ТП при строительстве ОЖДП на качественно новом уровне. Это достигается за счет применения экспертных и нейросетевых технологий, а также методов эволюционной оптимизации. Показана целесообразность заимствования и развития указанных направлений для решения актуальных задач ЖДС, связанных с технологическим обоснованием КР ОЖДП, определением номенклатуры строительных работ, оптимизацией ОСТП, формированием АЦТР и технологических схем производства работ, мониторингом и регулированием ТП и др.

Для интеллектуального сопровождения процедуры разработки и реализации ТП строительства ОЖДП создана концептуальная модель ИАС. Определен элементный состав каждой из подсистем ИАС, состоящий из модулей и баз данных. В соответствии с функциональными задачами элементов выявлены их внутренние и внешние информационные взаимосвязи, на основании чего составлена соответствующая схема. Применение ИАС позволит СПО оперативно разрабатывать и регулировать ТП с целью обеспечения собственной рентабельности и качества СМР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированное проектирование организации строительства железных дорог / Под ред. С.П. Першина. – М.: Транспорт, 1991. 261 с.
2. Мастаченко, В.Н. Автоматизированный выбор проектных решений объектов строительства: Уч. Пособие / В.Н. Мастаченко. М.: МИИТ, 1996. – 85 с.
3. Небритов, Б.Н. Организационно-технологическое проектирование в строительстве / Б.Н. Небритов. – М.: Вузовская книга, 2011. – 144 с.
4. Железнодорожное строительство. Технология и механизация / Под ред. проф. С.П. Першина. – М.: Транспорт, 1991. – 399 с.
5. Мастаченко, В.Н. Искусственный интеллект в контексте транспортной науки / В.Н. Мастаченко // Мир транспорта. 2004. – № 3. – С. 12–17.

6. Рыбальский, В.И. Кибернетика в строительстве / В.И. Рыбальский. – Киев: «Будівельник», 1975. – 232 с.
7. Соколов Ф.Г., Вичеревин А.Е. Контроль качества железнодорожного строительства: Справочник, – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982, 399 с.
8. Мастаченко, В.Н. Применение методов искусственного интеллекта в решении строительных задач: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.Н. Мастаченко. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 308 с.
9. Полянский А.В. Интеллектуальные подходы к разработке рациональных организационно-технологических решений в транспортном строительстве. // Транспортное строительство, №10, 2013. – С. 13–15.
10. Матвеев, М.Г. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике: Учебное пособие / М.Г. Матвеев, А.С. Свиридов, Н.А. Алейникова. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. – 448 с.
11. Ручкин, В.Н. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы / В.Н. Ручкин, В.А. Фулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 240 с.
12. Полянский А.В. Основные принципы технологического обоснования конструктивных решений транспортных объектов с применением экспертной системы // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Десятой Междунар. науч.-практ. конф., Т.1. – Иркутск: ИрГУПС, 2019. – С. 499–504.
13. Нейлор, К. Как построить свою экспертную систему: Пер. с англ / К. Нейлор – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
14. Kapliński O., Zavadskas E. Expert systems for construction processes // Statyba – Civil engineering – Строительство, Nr. 4(12), 1997. – P. 49–61.
15. Полянский А.В. Решение задачи планирования строительных работ при формировании организационно-технологических моделей с применением генетического алгоритма // Механизация строительства, №8, 2017. – С. 20–24.
16. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. – 432 с.
17. Zavadskas, E.K. Mehrkriterielle Entscheidungen im Bauwesen: Monografija / E.K. Zavadskas. – Vilnius: Technika, 2000. 207 S.
18. Полянский А.В. Интеллектуализация поиска рациональных технологических решений при строительстве транспортных объектов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т.1. С. 559–564.
19. Рутковская Д., Пилиньский Л., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
20. Каклаускас А., Завадскас Э.-К. Биометрическая и интеллектуальная поддержка решений: монография. Вильнюс: Техника, 2012. – 344 с.
21. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / Под ред. профессора А.А. Большакова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 160 с.
22. Rooney, M. Artificial intelligence in engineering design / M. Rooney, S.E. Smith // Computers and Structures. 1983. – P. 279–288.

Polyanskiy Aleksey Viktorovich
Russian university of transport, Moscow, Russia
E-mail: polal_82@mail.ru

Intellectualization of engineering and technical support of railway construction

Abstract. The article is devoted to the theoretical foundations of improving the engineering support of railway construction. One of the main purposes of the existing engineering support system is to evaluate the results of development and monitor the implementation of technological processes for the construction of railway facilities. In the course of the study, it was determined that a number of stages in the development and implementation of technological processes contain tasks for which the use of automated design and control systems is sufficient. However, there are tasks whose solution depends on the experience and intuitive abilities of the engineer (developer of organizational and technological documentation). To solve such problems, in addition to settlement procedures, logical ones are also necessary. In addition, the intensification of railway construction, many restrictions on the production of works and resources, as well as deviations from planned indicators, require prompt decision-making aimed at compliance with design requirements. Obviously, the total amount of information and data on the design and actual technological processes does not guarantee the efficiency and rationality in decision-making by an engineer. In this case, to solve technological, organizational and managerial tasks, it becomes possible to use some methods and means of artificial intelligence. In this regard, it was proposed to supplement the existing system of engineering and technical support for railway construction with a subsystem of engineering and intellectual support for the technological process of constructing a railway track. For the purpose of intellectualization and the formation of a new paradigm of engineering support for railway construction, an analysis was made of modern and promising practices in the development and implementation of technological processes from the perspective of the life cycle of a railway track object. It was found that modern technological processes for the construction of railway facilities should be flexible to changing working conditions. The study showed that this can be achieved through the formation of adaptive digital technological regulations. The basis of the digital regulation is the information model of the technological process. The model formation procedure is divided into stages containing tasks, the solution of which is possible using artificial intelligence tools such as expert systems, artificial neural networks, and genetic algorithms. A fundamental feature of the engineering and intellectual support of the technological process is the possibility of its operational regulation based on the results of monitoring its development over time. A feature of this approach is the need for the operational processing of a large amount of data that determine the development of technological processes over time, the conditions of work, the production capabilities of construction (contracting) organizations. For this, the mathematical and conceptual models of an intelligent automated system have been developed. Its main purpose is the operational solution of the problems of development and implementation of the technological process of construction of railway facilities. The results obtained during the study, as well as the developed tools, made it possible to determine the possibilities of integrating the developed methodology into the existing system for designing and managing the construction of railway facilities.

The results given in the article were obtained during the dissertation research performed by the author.

Keywords: technological process; railway construction; railway track object; artificial intelligence methods; expert system; artificial neural network; genetic algorithm; project management; railway construction management

REFERENCES

1. Ed. by Pershin S.P. (1991). Avtomatizirovannoe proektirovanie organizatsii stroitel'stva zheleznnykh dorog. [*Computer-aided design of the organization of railway construction.*] Moscow: Transport, p. 261.
2. Mastachenko V.N. (1996). Avtomatizirovannyi vybor proektnykh resheniy ob"ektov stroitel'stva. [*Automated selection of design solutions for construction projects.*] Moscow: Moscow Institute of Transport Engineers, p. 85.
3. Nebritov B.N. (2011). Organizatsionno-tekhnologicheskoe proektirovanie v stroitel'stve. [*Organizational and technological design in construction.*] Moscow: University book, p. 144.
4. Ed. by Pershin S.P. (1991). Zheleznodorozhnoe stroitel'stvo. Tekhnologiya i mekhanizatsiya. [*Railway construction. Technology and mechanization.*] Moscow: Transport, p. 399.
5. Mastachenko V.N. (2004). Artificial Intelligence in the Context of Transport Science. *World of Transport*, 3, pp. 12–17 (in Russian).
6. Rybal'skiy V.I. (1975). Kibernetika v stroitel'stve. [*Cybernetics in construction.*] Kiev: The Builder, p. 232.
7. Sokolov F.G., Vicherevin A.E. (1982). Kontrol' kachestva zheleznodorozhnogo stroitel'stva: Spravochnik. [*Quality Control of Railway Construction: A Handbook.*] Moscow: Transport, p. 399.
8. Mastachenko V.N. (2007). Primenenie metodov iskusstvennogo intellekta v reshenii stroitel'nykh zadach. [*The use of artificial intelligence in solving construction problems.*] Moscow: Training center for education in railway transport, p. 308.
9. Polyanskiy A.V. (2013). Intelligent approaches to the development of rational organizational and technological solutions in transport construction. *Transport construction*, 10, pp. 13–15 (in Russian).
10. Matveev M.G., Sviridov A.S., Aleynikova N.A. (2008). Modeli i metody iskusstvennogo intellekta. Primenenie v ehkonomie. [*Models and methods of artificial intelligence. Application in economics.*] Moscow: Finance and statistics; INFRA-M, p. 448.
11. Ruchkin V.N., Fulin V.A. (2009). Universal'nyy iskusstvennyy intellekt i ehkspertnye sistemy. [*Universal Artificial Intelligence and Expert Systems.*] Saint Petersburg: BHV-Petersburg, p. 240.
12. Polyanskiy A.V. (2019). Osnovnye printsipy tekhnologicheskogo obosnovaniya konstruktivnykh resheniy transportnykh ob"ektov s primeneniem ehkspertnoy sistemy. [*The basic principles of the technological feasibility of constructive solutions for transport objects using an expert system.*] Irkutsk: Irkutsk State Transport University, pp. 499–504.
13. Neylor K. (2018). *How to build your own expert system*. [Russ. ed.: Kak postroit' svoju ehkspertnyuyu sistemu. Moscow: Energoatomizdat, p. 286].
14. Kapliński O., Zavadskas E. (1997). Expert systems for construction processes. *Statyba – Civil engineering – Construction*, 4(12), pp. 49–61.

15. Polyanskiy A.V. (2017). The solution of the task of planning construction works in the formation of organizational and technological models using the genetic algorithm. *Mechanization of construction*, 8, pp. 20–24 (in Russian).
16. Emel'yanov V.V., Kureychik V.V., Kureychik V.M. (2003). Teoriya i praktika ehvolyutsionnogo modelirovaniya. [*Theory and practice of evolutionary modeling.*] Moscow: Fizmatlit, p. 432.
17. Zavadskas E.K. (2000). *Multi-criteria decisions in construction: Monografija*. Vilnius: Technika, p. 207.
18. Polyanskiy A.V. (2018). Intellectualization of the search for rational technological solutions in the construction of transport facilities. *Transport infrastructure of the Siberian region*, (1), pp. 559–564 (in Russian).
19. Rutkovskaya D., Pilin'skiy L., Rutkovskiy L. (2006). *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*. [Russ. ed.: Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechyotkie sistemy. Authorized transl. by I.D. Rudinskiy. Moscow: Hotline-Telecom, p. 452].
20. Kaklauskas A., Zavadskas E.K. (2012). Biometricheskaya i intellektual'naya podderzhka resheniy: monografiya. [*Biometric and Intellectual Solution Support: Monograph.*] Vilnius: Technics, p. 344.
21. Ed. by A.A. Bol'shakov (2006). Intellektual'nye sistemy upravleniya organizatsionno-tekhnicheskimi sistemami. [*Intelligent management systems for organizational and technical systems.*] Moscow: Hotline-Telecom, p. 160.
22. Rooney M., Smith S.E. (1983). Artificial intelligence in engineering design. *Computers and Structures*, pp. 279–288.