

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2022, №1, Том 9 / 2022, N 1, Vol. 9 <https://t-s.today/issue-1-2022.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/03SATS122.pdf>

DOI: 10.15862/03SATS122 (<https://doi.org/10.15862/03SATS122>)

Разработка адаптивного цифрового технологического регламента для инженерно-интеллектуального обеспечения строительства объектов железнодорожного пути

Полянский А.В.

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Полянский Алексей Викторович, e-mail: polal_82@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены возможности разработки адаптивного цифрового технологического регламента на строительство объекта железнодорожного пути. Железнодорожное строительство как сложная динамическая система, требует определенных затрат ресурсов на свое обслуживание. В то же время оно характеризуется применением новых, более совершенных конструктивных решений, материалов и технологий, развитием специализации исполнителей и связанных с этим большим числом участников технологического процесса. В этих условиях решающее значение приобретает эффективный контроль над технологией производства работ, выполняемых при строительстве объектов железнодорожного пути. Этого можно достигнуть путем совершенствования существующей системы инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства за счет внедрения подсистемы инженерно-интеллектуального обеспечения технологических процессов строительства объектов железнодорожного пути. Одной из задач инженерно-интеллектуального обеспечения технологических процессов является эффективное использование автоматизированных систем, в том числе с элементами искусственного интеллекта. Их создание и внедрение ориентировано на достижение единого конечного результата: готового объекта железнодорожного пути соответствующего функционального назначения в установленные сроки, запланированной себестоимостью и трудозатратами, а также отвечающего современным требованиям безопасности в течение всего периода эксплуатации. В

рамках формирования методологии инженерно-интеллектуального обеспечения технологических процессов железнодорожного строительства была разработана структура адаптивного цифрового технологического регламента — цифрового нормативного документа, определяющего нормы и правила ведения технологического процесса строительства объекта железнодорожного пути. Отличительной особенностью адаптивного цифрового технологического регламента является возможность его корректировки в автоматизированном режиме. Целью корректировки является адаптация технологического процесса к меняющимся условиям производства работ и ресурсной оснащенности строительных (подрядных) организаций. При этом информация, содержащаяся в регламенте, может быть передана в системы 4D-проектирования и управления строительными проектами. На основе результатов теоретического исследования в статье представлены практические аспекты автоматизированной разработки адаптивного цифрового технологического регламента на примере возведения подтопленной насыпи железнодорожного земляного полотна.

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

Ключевые слова: железнодорожное строительство; объект железнодорожного пути; технологический процесс; технологический регламент; цифровизация; мониторинг; регулирование

Adaptive digital technological regulations development for engineering and intellectual support for the railway track facilities construction

Aleksey V. Polyanskiy

Russian University of Transport, Moscow, Russia

Corresponding author: Aleksey V. Polyanskiy, e-mail: polal_82@mail.ru

Abstract. The article considers the developing possibilities of adaptive digital technological regulation for the railway track facility construction. Railway construction as a complex dynamic system requires certain resources for its maintenance. At the same time, it is characterized by the use of new, more advanced design solutions, materials, and technologies, the performers' specialization development, and a large number of participants in the technological process associated with this. Under these conditions, effective control over the job practices performed during the railway track facilities construction is of decisive importance. This can be achieved by improving the existing engineering system and technical support for railway construction through the subsystem introduction for engineering and intellectual support of technological processes for the railway facilities construction. One of the tasks of engineering and intellectual support of technological processes is the effective use of automated systems, including those with artificial intelligence elements. Their creation and implementation are focused on achieving a single endresult: a finished railway track facility of the appropriate functional purpose within the established time frame, planned cost and labor costs and also meeting modern safety requirements throughout the entire operation period. As part of the methodology formation

for engineering and intellectual support of railway construction technological processes, the structure of an adaptive digital technological regulation was developed - a digital regulatory document that defines the norms and rules for conducting the technological process of building a railway facility. A distinctive feature of the adaptive digital technological regulations is the possibility of its adjustment in an automated mode. The purpose of the adjustment is to adapt the technological process to the changing working conditions and the resource equipment of construction (contractor) organizations. At the same time, the information contained in the regulations can be transferred to 4D design and construction project management systems.

Based on the theoretical study results, the article presents practical aspects of the automated development of adaptive digital technological regulations on the example of the flooded railway roadbed construction.

The results presented in the article were obtained in the dissertation course research carried out by the author.

Keywords: railway construction; railway track object; technological process; technological regulations; digitalization; monitoring; regulation

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

Интеллектуализация и цифровизация проектно-строительной деятельности являются принципиальными и ответственными задачами повышения темпов экономического развития Российской Федерации. Железнодорожное строительство (ЖДС) не является исключением. В связи с этим возникает необходимость в развитии существующих подходов к технологической подготовке, разработке и реализации технологических процессов (ТП) в ЖДС. По сути это означает необходимость совершенствования существующей системы инженерно-технического сопровождения (ИТС) ЖДС. И ключевой особенностью здесь является обеспечение технологической гибкости строительных (подрядных) организаций (СПО) с позиции быстрого реагирования на изменяющиеся производственные условия [1; 2].

Все вышеуказанное может быть достигнуто путем совершенствования существующей системы ИТС ЖДС за счет внедрения подсистемы инженерно-интеллектуального обеспечения технологического процесса (ИИОТП) строительства объекта железнодорожного пути (ОЖДП) [1].

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 оперативно обработать и проанализировать, что сказывается на эффективности разрабатываемых и выполняемых ТП. В результате возможности мощных автоматизированных 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 [3–5].

В подсистеме ИИОТП предложена общая последовательность разработки и реализации ТП на уровне простого технологического процесса (ПП), которая включает необходимость формирования его структуры, определение средств технологического оснащения, расчёт параметров строительства. Следует подчеркнуть, что в задачу ИИОТП входит эффективное использование ЭВМ и программного обеспечения с элементами искусственного интеллекта, ориентированных на достижение единого конечного результата: готового ОЖДП соответствующего функционального назначения в установленные сроки, запланированной

себестоимостью и трудозатратами, а также отвечающего современным требованиям безопасности в течение всего периода эксплуатации [1; 6–8].

В современных условиях разработчикам ОТД, в рамках реализации ИИОТП, необходима интеллектуальная надстройка — интеллектуальная автоматизированная система (ИАС), которая, выполняя обработку результатов технологического проектирования ОЖДП, осуществляла бы адресный анализ этапов разработки и реализации ТП в соответствии с перечнем возможных решений. По сути ИАС должна [1; 9–12]:

- 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 «болевые 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 данных на участках производства работ, их передачу и сохранение в специальном нормативном документе — адаптивном цифровом технологическом регламенте (АЦТР) (рис. 1).

Здесь АЦТР призван дополнить, а в некоторых случаях и расширить возможности разрабатываемых технологических регламентов в бумажной форме. В то же время АЦТР должен обеспечить взаимосвязь между разработанным (ТПП) и реализуемым ТП (ТПФ) строительства ОЖДП.

Распределенный характер модели ИИОТП определяет возможность интеграции АЦТР в существующую систему проектирования и управления строительством ОЖДП на основе взаимодействий, показанных на рисунке 2.

Данные взаимодействия показывают связи между участниками строительства ОЖДП, структурными элементами ТП, результатами организационно-технологического проектирования, АЦТР 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.

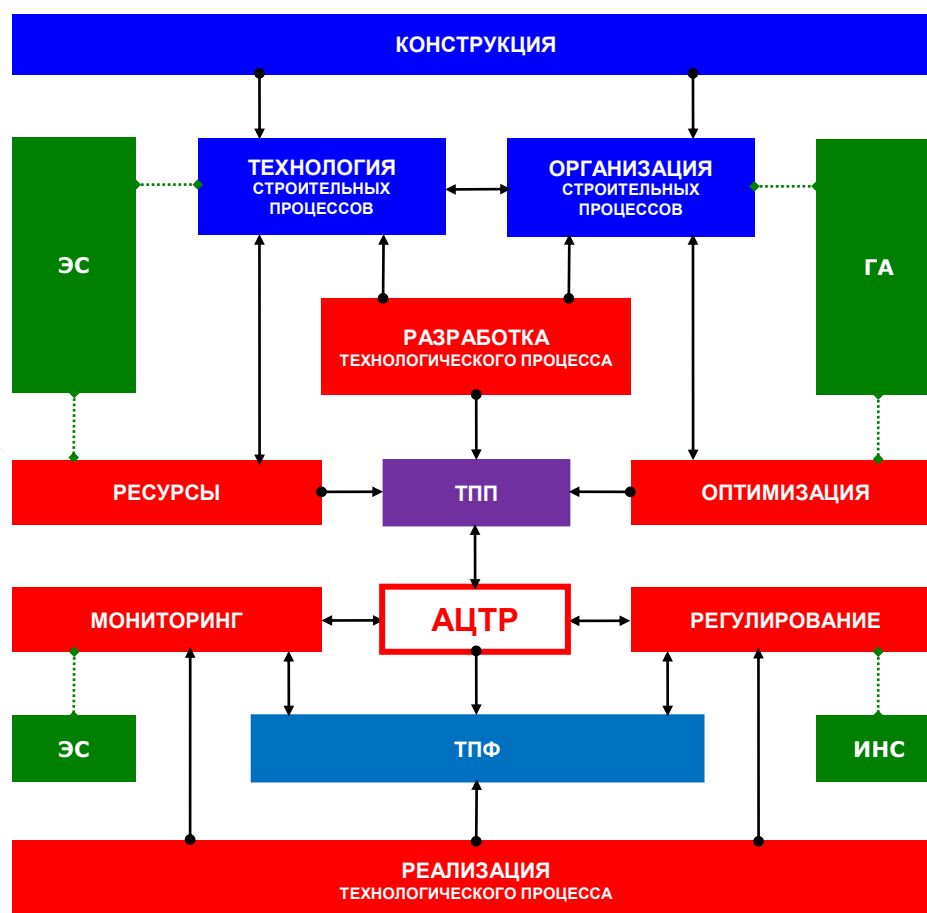


Рисунок 1. Место адаптивного цифрового технологического регламента в системе инженерно-интеллектуального обеспечения технологических процессов строительства объектов железнодорожного пути (разработано автором)

Figure 1. The place of adaptive digital technological regulations in the engineering and intellectual support system of technological processes for the railway track facilities construction (developed by the author)

В рамках показанного взаимодействия АЦТР является цифровым нормативным документом, определяющим содержание и порядок реализации ТП строительства ОЖДП в соответствии с проектными требованиями и изменяющимися условиями производства работ. Соблюдение всех требований АЦТР обеспечивает строительство ОЖДП требуемого качества, рациональное и экономичное ведение ТП, сохранность ресурсов СПО, безопасные условия труда.

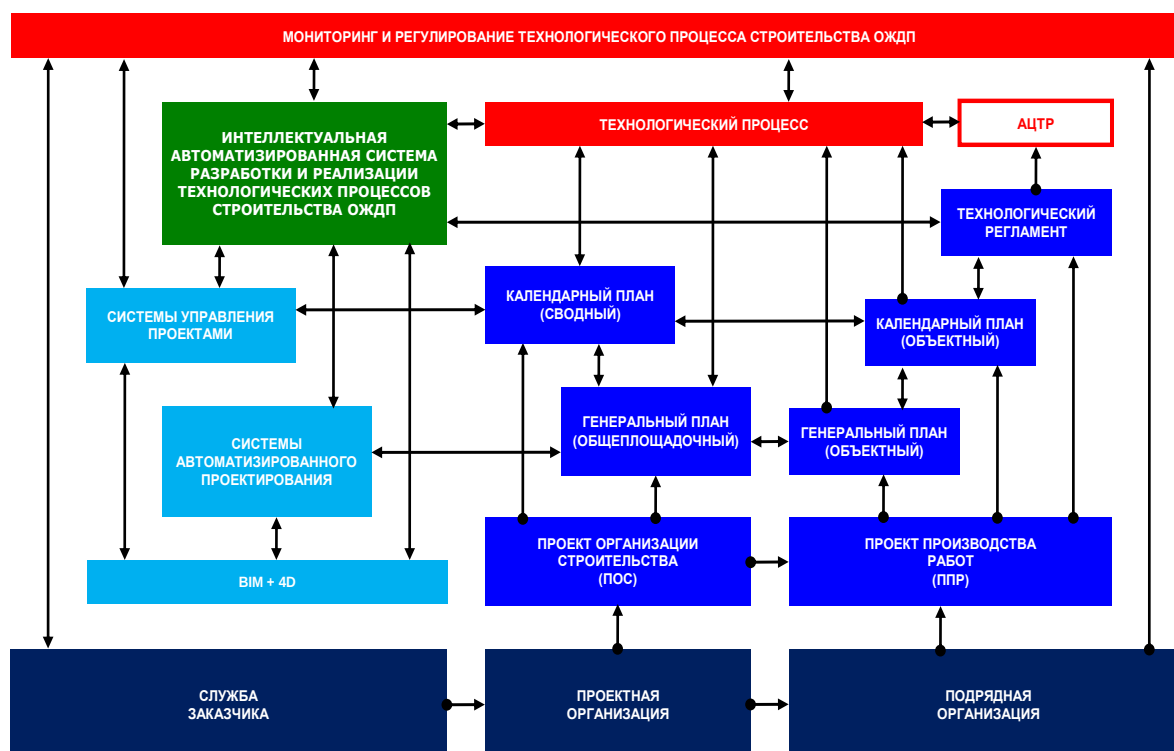


Рисунок 2. Место и роль адаптивного цифрового технологического регламента в существующей системе проектирования и управления строительством объектов железнодорожного пути (разработано автором)

Figure 2. Place and role of adaptive digital technological regulations in the existing system for designing and managing the railway facilities construction (developed by the author)

Учитывая вышеперечисленное, в перспективе АЦТР может заменить бумажную форму технологического регламента, что будет соответствовать намеченной тенденции к полному переходу в строительстве на электронный документооборот и применение технологий информационного моделирования зданий и сооружений.

1. Структура и содержание адаптивного цифрового технологического регламента

1. Adaptive digital technological regulations structure and content

Перечисленные во введении цели АЦТР позволяют определить структуру и содержание документа. На рисунке 3 представлена схема, отражающая структуру АЦТР, как последовательность основных разделов.

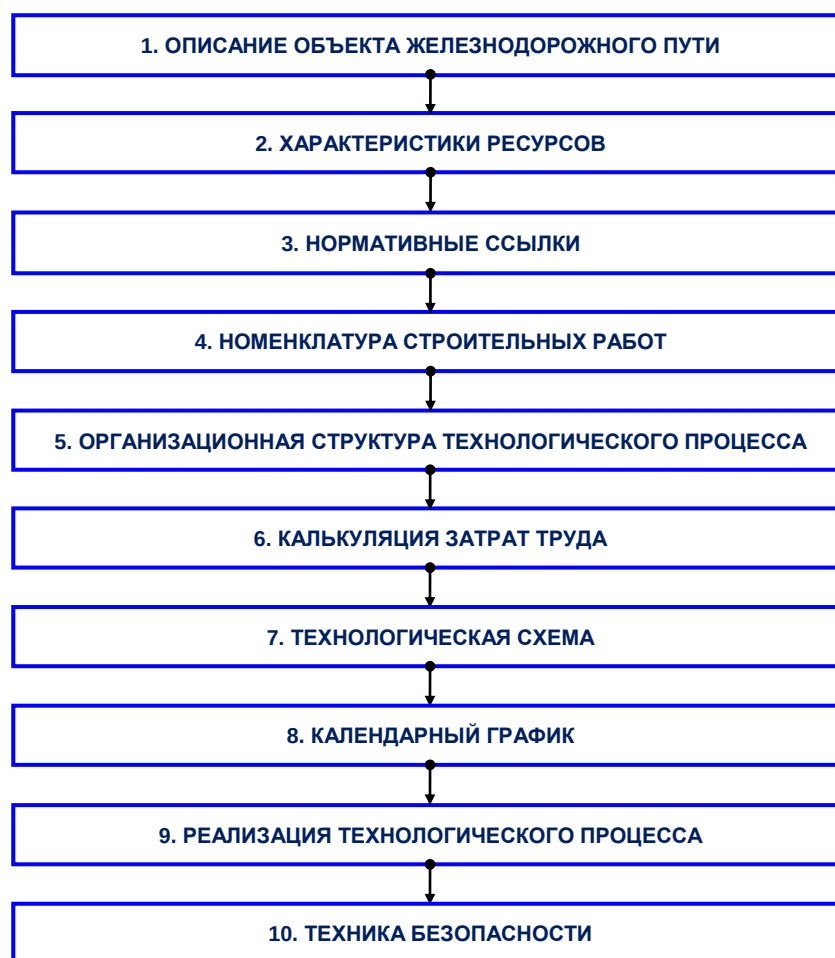


Рисунок 3. Структура адаптивного цифрового технологического регламента (разработано автором)

Figure 3. Adaptive digital technological regulations structure (developed by the author)

Содержание десяти разделов АЦТР отражает результаты разработки и реализации ТП строительства ОЖДП. Также каждый раздел является структурным элементом БД реляционного типа, как неотъемлемой части ИАС.

Раздел 1. «Описание объекта железнодорожного пути» — содержит сведения об ОЖДП: вид, назначение, протяженность, местоположение, параметры профиля и плана, массо-габаритные характеристики и др. Данные в раздел передаются из модулей ИАС «Исходные данные» и «Конструкция».

Раздел 2. «Характеристики ресурсов» — содержит сведения о ресурсах, имеющихся в СПО и необходимых для реализации ТП: трудовых (количество исполнителей (рабочих, машинистов), профессии, специальности), технических (количество машин, механизмов, их виды, марки, параметры) и материальных (используемые строительные материалы и конструкции). Данные в раздел передаются из модулей ИАС «Исходные данные» и «Ресурсы».

Раздел 3. «Нормативные ссылки» — содержит перечень и ссылки на нормативно-правовые документы (строительные и элементарно-сметные нормы, правила, стандарты и др.), определяющие разработку и реализацию ТП строительства ОЖДП. Данные в раздел передаются из модуля ИАС «Нормативно-техническая документация».

Раздел 4. «Номенклатура строительных работ» — содержит результаты технологического обоснования конструктивного решения ОЖДП в виде перечня строительных работ (ПТП), составляющих содержание ТП строительства ОЖДП. Строительные работы характеризуются: усреднённой категорией всех задействованных рабочих, трудоёмкостью, машиноёмкостью, нормой расхода материалов для строительства одной единицы измерения. Данные в раздел передаются из модулей ИАС «Техструктура» и «Техпараметры».

Раздел 5. «Организационная структура технологического процесса» — содержит оптимизированную модель ТП строительства ОЖДП в виде сетевого графа. Структура ТП определяется технологическими связями между строительными работами (ПТП). Данные в раздел передаются из модулей ИАС «Ресурсы» и «Оптимизация».

Раздел 6. «Калькуляция затрат труда» — содержит сведения о затратах труда на реализацию ТП строительства ОЖДП, а именно: номер позиции в составе ТП, обоснование, шифр работы, наименование работы, объёмы работы, нормы времени, трудоёмкость, машиноёмкость, состав бригады, потребные машины для выполнения работы (наименование, количество), стоимость работ, расценки и стоимость работ. Также для каждой работы определена ее длительность и представлена в календарном графике. Данные в раздел передаются из модуля ИАС «Оптимизация».

Раздел 7. «Технологическая схема» — содержит схему ТП строительства ОЖДП, представленную в графической форме и составленную из графических фрагментов, описывающих определенный ТП по захваткам с указанием его ресурсообеспеченности. Данные в раздел передаются из модулей ИАС «Техпараметры» и «Оптимизация».

Раздел 8. «Календарный график» — содержит сведения о продолжительности ТП в целом и отдельных работ (ПТП) в частности. Определяет последовательность реализации ПТП, их взаимоувязку, а также потребность (с распределением во времени) в материальных, технических и трудовых ресурсах. Предусмотрена возможность адаптации календарного графика реализации ТП и его ресурсного обеспечения к изменениям (корректировкам) условий производства работ. Данные в раздел передаются из модуля ИАС «Оптимизация».

Раздел 9. «Реализация технологического процесса» — содержит сведения о реализации ТП, а также результаты мониторинга и регулирования параметров производства работ. Мониторинг представлен реализацией трех режимов (функций): наблюдения за ходом исполнения ТП, оценки исполнения и прогноза дальнейшего его развития во времени и пространстве. Режим регулирования предусмотрен для случаев несоответствия реализуемого ТП плановым показателям. Порядок регулирования ТП предусматривает анализ результатов мониторинга и оперативную выработку решения (правил коррекции основных технологических характеристик и параметров) использования ресурсов с целью обеспечения плановых (близких к плановым) показателей. Данные в раздел передаются из подсистем ИАС «Мониторинг» (включает модули «Наблюдение», «Оценка», «Прогноз») и «Регулирование» (включает модули «Принятие решения», «Регулирование»).

Раздел 10. «Техника безопасности» — содержит правила и рекомендации для безопасного ведения ТП строительства ОЖДП с учетом меняющихся условий производства строительных работ. Данные в раздел передаются из модуля ИАС «Регулирование».

2. Влияние адаптивного цифрового технологического регламента на технологический процесс строительства объекта железнодорожного пути

2. The influence of adaptive digital technological regulations on the technological process of railway track facility construction

Поскольку АЦТР — это нормативный цифровой документ, определяющий нормы, порядок и правила реализации ТП строительства ОЖДП, он является частью схемы его контроля. Контроль соответствия ТП проектным требованиям, последовательности строительных работ (ПТП), их продолжительности и ресурсообеспеченности осуществляется с применением ИАС. Для этого были созданы расчетные и расчетно-логические модели контроля соблюдения и регулирования технологии.

В то же время АЦТР содержит параметры и характеристики ТП (рис. 4), которые являются связующими элементами интеграции ИАС с системами управления проектами строительства ОЖДП (иерархическая структура работ, календарный график, расходование ресурсов), системами информационного моделирования ОЖДП во времени и пространстве (*BIM+4D*) и системами автоматизированной разработки проектов

производства работ (ППР), технологических карт (ТК) для реализации ТП [13–22].

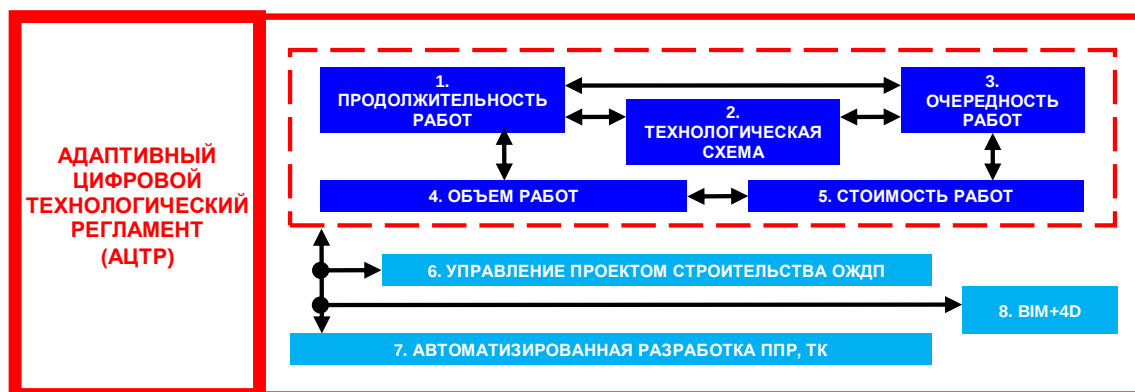


Рисунок 4. Схема взаимодействия адаптивного цифрового технологического регламента с системами автоматизированного проектирования и управления железнодорожным строительством (разработано автором)

Figure 4. Adaptive digital technological regulations with computer-aided design and railway construction management systems collaboration diagram (developed by the author)

Информация о режимах эксплуатации технических средств, работы исполнителей, условиях выполнения и реконфигурации строительных работ, представленная в АЦТР, является основой для организации контроля и управления ТП. А понимание технологии ЖДС, взаимосвязи ТП и ресурсов, их влияния друг на друга — позволяет ИАС предлагать решение для его коррекции. По сути АЦТР является «исполняемым» компонентом ИАС, который определяет порядок активизации ресурсов ТП (технических средств и исполнителей СПО), а также формирует требования для осуществления организационных, регулирующих и контролирующих воздействий на ТП. В конечном итоге это позволяет определить уровни ответственности исполнителей СПО и обозначить тех, кто, каким образом и в каких ситуациях должен реагировать на отклонения в ходе реализации ТП строительства ОЖДП.

Следует отметить, что традиционная схема контроля и управления строительными процессами рассматривает разработчика ОТД в качестве иницилирующего и контролирующего звена этапов разработки и реализации ТП, а главным ограничителем здесь будут требования ОТД (ПОС, ППР) и инструкции. АЦТР, с одной стороны, способствует интеллектуализации ряда функций, исполняемых в традиционной схеме разработчиком ОТД, с другой — ограничивает роль исполнителей СПО на определенных этапах реализации ТП. Иначе говоря, необходимость в каких-либо воздействиях на ход ТП от исполнителей СПО на основе предложенного решения возникнет только тогда, когда оно определено технологией с учетом рекомендаций и требований нормативных документов [23–26]. Здесь АЦТР призван обеспечить исполнителям СПО

планирование своих действий по регулированию ТП строительства ОЖДП. В то же время, роли исполнителей СПО, которые связаны с регулированием ТП (непосредственным воздействием на него) можно занести в ИАС с тем, чтобы она планировала и направляла их действия в соответствии с профессией, специальностью и квалификацией.

Для регулирования ТП строительства ОЖДП в меняющихся условиях производства работ в АЦТР предусмотрена иерархия подобно устроенных ТП и задания последовательности ПТП в виде технологических сценариев (ТСц) [23].

ТСц — это последовательности ПТП, определяющие локальные цели ТП в виде совокупности работ и условий их выполнения. Каждый ТСц описывает последовательность запланированных работ и регулирующих процедур для достижения цели ТП, которые определены в АЦТР. При этом в ТСц:

- ТП представляют собой совокупность ПТП, выполняемых в рамках строительства ОЖДП;
- ПТП является частным случаем преобразования ресурсов в конструктивный элемент ОЖДП;
- ресурсобеспечение ПТП представляет собой последовательность преобразований состояний ресурсов и показывает готовность к их использованию;
- мониторинг ТП представляют собой процедуру непрерывного контроля соответствия текущих ПТП проектным (плановым) показателям с одновременным уточнением текущей потребности в ресурсах;
- регулирование ТП является процедурой осуществления определенных руководящих (инструктивных) воздействий исполнителей СПО на порядок преобразований состояний ресурсов.

В рамках ТСц последовательно осуществляются четыре преобразования состояний ресурсов ТП, непосредственно не влияющих на возведение ОЖДП, но обеспечивающих их готовность к применению:

- регистрация планируемой потребности в ресурсе для реализации ПТП;
- регистрация ожидания ресурса для реализации ПТП;
- регистрация подготовки ресурса для реализации ПТП;
- регистрация готовности ресурса для реализации ПТП,

а также обеспечиваются необходимые организационные, технические и нормативные требования для реализации ТП.

Однако здесь следует учитывать, что преобразование ресурса в часть ОЖДП отражает только факт его использования в ПТП и не является функцией регулирования ТП [27].

Преобразования ресурсов описываются параметрами реализации ТП и его ресурсообеспеченности. Большая часть параметров относится к проектными (планируемыми) величинами, а оставшаяся часть — к расчетным [24; 25; 28; 29].

Изменения в ходе производства работ, а также преобразований ресурсов, влекут за собой корректировку ТСс с последующим изменением значений параметров (вычисляемых и логических), что характеризует напряженность ТП строительства ОЖДП.

В проводимом автором исследовании под напряженностью ТП строительства ОЖДП ($Int_{ТП}$) подразумевается установление соответствия своевременности и качества реализации текущих ПТП, параметров их ресурсообеспечения, а также организационных, технических и нормативных ограничений реализации ПТП начально-конечным условиям реализации ТП по календарному графику. Изменение величины $Int_{ТП}$ позволяет вовремя принимать решение с целью обеспечения непрерывности ТП строительства ОЖДП [28]. Таким образом, напряженность ТП позволяет показать соответствие/несоответствие исполнения и фактического ресурсообеспечения ТП планируемой потребности и календарному графику производства работ (в конкретный момент (интервал) времени) с учетом текущих вне- и внутрипроизводственных ограничений на реализацию ТП.

В целом напряженность ТП определяется как максимальное значение напряженности нескольких ПТП (одновременно реализуемых):

$$Int_{ТП} = \max \{ Int_{ПТП} \}. \quad (1)$$

Напряженность отдельного ПТП определяется пятью факторами:

$$Int_{ПТП} = F(\eta_{ОР}, \eta_{ГР}, \eta_{СГ}, \eta_{ОГ}, K_{ВУ}), \quad (2)$$

$$Int_{ПТП} = \frac{\eta_{ОР} \cdot \eta_{СГ} \cdot \eta_{ОГ}}{\eta_{ГР}} \cdot K_{ВУ}. \quad (3)$$

1. $\eta_{ОР}$ — показатель текущего выполнения объемов работ в рамках реализации ПТП:

$$\eta_{OP} = \frac{V_{\Pi} - V_{\Phi}}{V_{\Pi}}, \quad (4)$$

где V_{Π} — проектный (плановый) объем работ в рамках реализации ПТП;

V_{Φ} — фактический объем работ, выполненный в ходе реализации ПТП.

Диапазон допустимых значений η_{OP} : $0 \leq \eta_{OP} \leq 1$.

2. η_{CG} — показатель соответствия реализации ПТП календарному графику

$$\eta_{CG} = 1 + \frac{t_{\Phi}^{ПТП} - t_H^{ПТП}}{t_K^{ПТП} - t_H^{ПТП}} - \frac{V_{\Phi}}{V_{\Pi}}, \quad (5)$$

где $t_{\Phi}^{ПТП}$ — текущее время реализации ПТП;

$t_H^{ПТП}$ — время начала реализации ПТП;

$t_K^{ПТП}$ — дата завершения реализации ПТП в соответствии с календарным графиком.

Диапазон допустимых значений η_{CG} : $1 \leq \eta_{CG} \leq 2$.

3. η_{OG} — показатель вне- и внутрипроизводственных текущих ограничений (организационных, технических, нормативных) выполнения ПТП, $1 < \eta_{OG} \leq 3$;

$$\eta_{OG} = 1 + K_{OG}; \quad K_{OG} = \sum_{i=0}^n K_i + \sum_{j=0}^m K_j, \quad (6)$$

где m и n — число текущих ограничений реализации ПТП.

В таблице 1 приведены значения коэффициентов $K_{(i,j)}$, которые были определены эмпирическим способом. Для этого была оценена возможность реализации ПТП спустя определенное время после появления ограничений. Существующий перечень коэффициентов, указанных в таблице, может быть расширен, но их суммарное значение по столбцам должно быть равно единице, а это согласно (6) соответствует наибольшему значению $\eta_{OG} = 3$.

Таблица 1 / Table 1

**Коэффициенты, определяющие текущие вне-
и внутрипроизводственные ограничения реализации ПТП**

**Coefficients that determine the current non-production
and production restrictions on the simple technical process implementation**

Группа ограничений Restriction group	А. Внутрипроизводственные ограничения (n) A. Production constraints (n)		Б. Внепроизводственные ограничения (m) B. Non-production constraints (m)	
	наименование Title	K_n	наименование Title	K_m
I. Организационные I. Organizational	1. Неготовность фронта работ 1. Work front unreadiness	0,15	1. «Отказ» ресурсной базы СПО 1. "Failure" of the contractor resource base	0,35
	2. Несоответствие решений требованиям ОТД (ППР, ТК) 2. Decisions nonconformities with the requirements of the process control and management documentation (method statement, flowchart)	0,1	2. Отсутствие решений в ОТД 2. Absence of decisions in the process control and management documentation	0,2
	3. Несоответствие квалификации исполнителей СПО 3. Nonconformities in the contractor qualifications	0,15	-	
II. Технические II. Technical	4. Неисправность технических средств 4. Malfunction of technical means	0,2	3. Ограничения по ПОС 3. Constraints restrictions	0,2
	5. Несоответствие материалов и конструкций 5. Nonconformities of materials and designs	0,15	-	
	6. Конструктивные изменения ОЖДП вследствие изменений в проектной документации или допущенных дефектов 6. Structural changes to the railway track object due to changes in the design documentation or admitted defects	0,15	-	
III. Нормативные III. Regulatory	7. Отклонение от требований правил техники безопасности 7. Deviation from safety requirements	0,1	4. Отсутствие указаний в техническом задании и договоре 4. Absence of instructions in the terms of reference and contract	0,05
	-		5. Предписания надзорных органов или требования заказчика 5. Regulations of supervisory authorities or customer requirements	0,2
	$\max(K_i) = \sum_{i=0}^n K_i = 1$ при $n_{\max} = 7$	$\Sigma = 1$	$\max(K_j) = \sum_{j=0}^m K_j = 1$ при $m_{\max} = 5$	$\Sigma = 1$

Составлено автором / Compiled by the author

4. $\eta_{ГР}$ — показатель готовности ресурсов для реализации ПТП.

В таблице 2 приведены значения $\eta_{ГР}$, отражающие этапы преобразования состояний ресурсов (исполнителей, технических средств, материалов) с учетом предполагаемой равнозначности выполнения каждого из них в последовательности преобразований.

Таблица 2 / Table 2

Значения показателя готовности ресурса к использованию в ПТП

Values of the resource readiness indicator for use in simple technological processes

№ п/п	Регистрируемый параметр преобразования состояния ресурса Registered Resource status Transformation Parameter	$\eta_{ГР}$
1	Ресурс запланирован для реализации ПТП The resource is planned for the simple technological processes implementation	0,25
2	Ожидание ресурса для реализации ПТП The resource is waiting for the simple technological processes implementation	0,5
3	Подготовка ресурса для реализации ПТП Preparing a resource for the simple technological processes implementation	0,75
4	Ресурс готов для реализации ПТП The resource is ready for the simple technological processes implementation	1

Составлено автором / Compiled by the author

5. K_{BY} — коэффициент временной удаленности ПТП от начала ТП в соответствии с календарным графиком. Диапазон допустимых значений K_{BY} : $0 \leq K_{BY} \leq 1$, причем 0 соответствует окончанию ТП, а 1 — началу ТП.

$$K_{BY} = t_H^{ТП} - \frac{1}{t_K^{ТП} - t_H^{ТП}} \cdot t_H^{ПТП}, \quad (7)$$

где $t_H^{ТП}$ — время начала реализации ТП в соответствии с календарным графиком;

$t_K^{ТП}$ — время конца реализации ТП в соответствии с календарным графиком.

Формула напряженности ПТП в развернутом виде:

$$Int_{ПТП} = \frac{V_{II} - V_{\Phi}}{V_{II}} \cdot \left(\frac{t_{\Phi}^{ПТП} - t_H^{ПТП}}{t_K^{ПТП} - t_H^{ПТП}} - \frac{V_{\Phi}}{V_{II}} \right) \cdot \left(1 + \sum_{i=0}^n K_i + \sum_{j=0}^m K_j \right) \cdot \frac{1}{\eta_{ГР}} \cdot \left(t_H^{ТП} - \frac{1}{t_K^{ТП} - t_H^{ТП}} \cdot t_H^{ПТП} \right). \quad (8)$$

Измеритель:

$$\left[\frac{\text{объем исполняемых процедур ресурсного и организационного обеспечения ПТП}}{\text{оставшаяся продолжительность ПТП по календарному графику}} \right] = \left[\frac{\text{ед.}}{\text{час / смена}} \right].$$

Формулы (1–8) содержат значительное количество начально-конечных условий, описывающих реализацию ТП строительства ОЖДП, что обуславливает необходимость их расчета в автоматизированном режиме. Данные для расчета определяются на основе плановых и текущих показателей производства работ. Результаты расчетов отражаются в АЦТР в модуле ИАС «Техрегламент».

Диапазон допустимых значений для напряженности ПТП, в соответствии с начально-конечными условиями составляет: $0 < Int_{ПТП} \leq (1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1) / 0,25 = 24$. $Int_{ПТП} = 0$ соответствует завершенному ПТП; $0 < Int_{ПТП} \leq 6$ соответствует плановому режиму реализации ТП; $Int_{ПТП} = 24$ означает максимальное несоответствие ПТП плановым показателям (пространственным и временным параметрам, текущим потребностям в ресурсах) в условиях максимальных вне- и внутрипроизводственных организационных, технических и нормативных ограничений. Если одновременно выполняется несколько ПТП, то согласно формуле (1) напряженности ТП будет соответствовать максимальное значение из множества значений напряженности ПТП. В том случае, когда величина напряженности ТП попадает в интервал $6 < Int_{ТП} \leq 24$ требуется корректировка ТСц с учетом текущих ресурсных возможностей СПО для обеспечения плановых показателей и требований указанных в ОТД.

В обычных условиях производства работ в данной ситуации необходимо срочное вмешательство производителя работ, начальника ПТО. В условиях интеллектуализации проектно-строительной деятельности возможна оперативная выработка решения с применением экспертных и нейросетевых технологий положенных в основу подсистем ИАС «Мониторинг» (модули «Наблюдение», «Оценка», «Прогноз») и «Регулирование» (модули «Принятие решения», «Регулирование») [1].

Корректировка ТСц подразумевает внесение изменений в ТПП с учетом изменившихся условий производства работ, ресурсной оснащенности СПО, требований и ограничений. Для этого используется формальное представление информации из АЦТР при разработке модели ТСц реализации ТП Сама разработка предполагает учет выполненного объема работ и осуществляется с привлечением специально разработанного программного инструментария в рамках создания ИАС, описанного в п. 1 настоящей работы.

3. Практические аспекты формирования и применения адаптивного цифрового технологического регламента

3. Practical aspects of the adaptive digital technological regulations formation and application

В целях практического воплощения результатов исследования разработан экспериментальный программный модуль ИАС «Техрегламент», который позволяет в автоматизированном режиме сформировать АЦТР для последующей реализации ТП строительства ОЖДП. Модуль состоит из программной оболочки и БД «Техрегламент». При этом программная оболочка включает интерфейс представления плановых значений параметров ТП и его ресурсного обеспечения; календарного планирования ТП; порядок получения и процедуры обработки параметров реализации ТП. БД предназначена для накопления и хранения данных, полученных в результате разработки (корректировки) и реализации ТП.

АЦТР составляется на весь период и для определенного участка реализации ТП (производства строительных работ). Пересмотр АЦТР может осуществляться досрочно в случае несоответствия ТП плановым значениям, указанным в утвержденной ОТД. В этом случае пересмотр АЦТР направлен на адаптацию ТП к реальным условиям производства работ с неукоснительным соблюдением требований безопасности и качества строительных работ.

Для примера практической реализации процедуры формирования и применения АЦТР рассмотрен участок подтопляемой насыпи железнодорожного земляного полотна (ЖДЗП) с устройством полуобоймы из геотекстиля. Для этого был проанализирован участок длиной 400 м, расположенный на однопутной железнодорожной линии IV категории (подъездной путь к порту), проходящей в Астраханской области. АЦТР содержит результаты разработки ТП возведения насыпи, полученные с применением интеллектуальных и автоматизированных режимов.

На рисунках 5–13 представлены фрагменты работы программного модуля ИАС «Техрегламент» реализующие ТСц возведения подтопляемой насыпи. На рисунке 5 показана работа в режиме «*Описание объекта железнодорожного пути*». Режим включает две вкладки. Вкладка «Текстовая часть» содержит текстовое описание параметров рассматриваемого участка и насыпи. А вкладка «Визуально-графическая часть» (активизирована) содержит:

- часть продольного профиля железнодорожной линии с рассматриваемым участком;
- поперечный профиль подтопленной насыпи ЖДЗП;
- 3D-модель насыпи в послойном формате с учетом вида грунта, его технических и технологических свойств, определяющих порядок отсыпки и уплотнения.

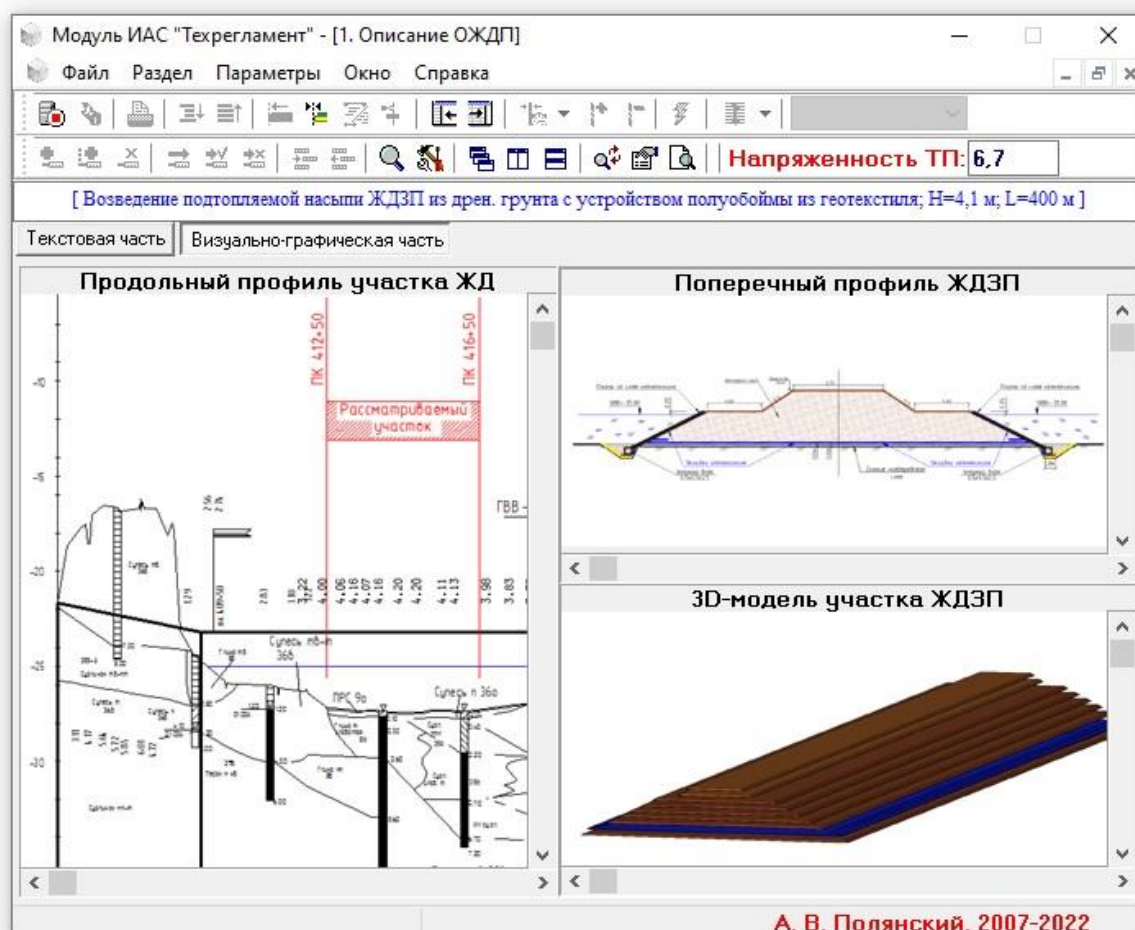


Рисунок 5. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», режим «Описание объекта железнодорожного пути», вкладка «Визуально-графическая часть» (разработано автором)

Figure 5. An operation fragment of the intelligent automated systems "Technical regulations" software module, the "Description of the railway track object" mode, the "Visual-graphic part" tab (developed by the author)

На рисунке 6 показан режим «Номенклатура строительных работ». Представлен фрагмент списка работ (с учетом вариативности) необходимых для реализации ТП возведения насыпи на рассматриваемой железнодорожной линии.

Работы содержат нормативы, приходящиеся на единицу их объема, расход строительных материалов, затраты труда исполнителей и технических средств. Список является основой для разработки и последующей коррекции перечня работ (ПТР), составляющего основу организационной структуры ТП.

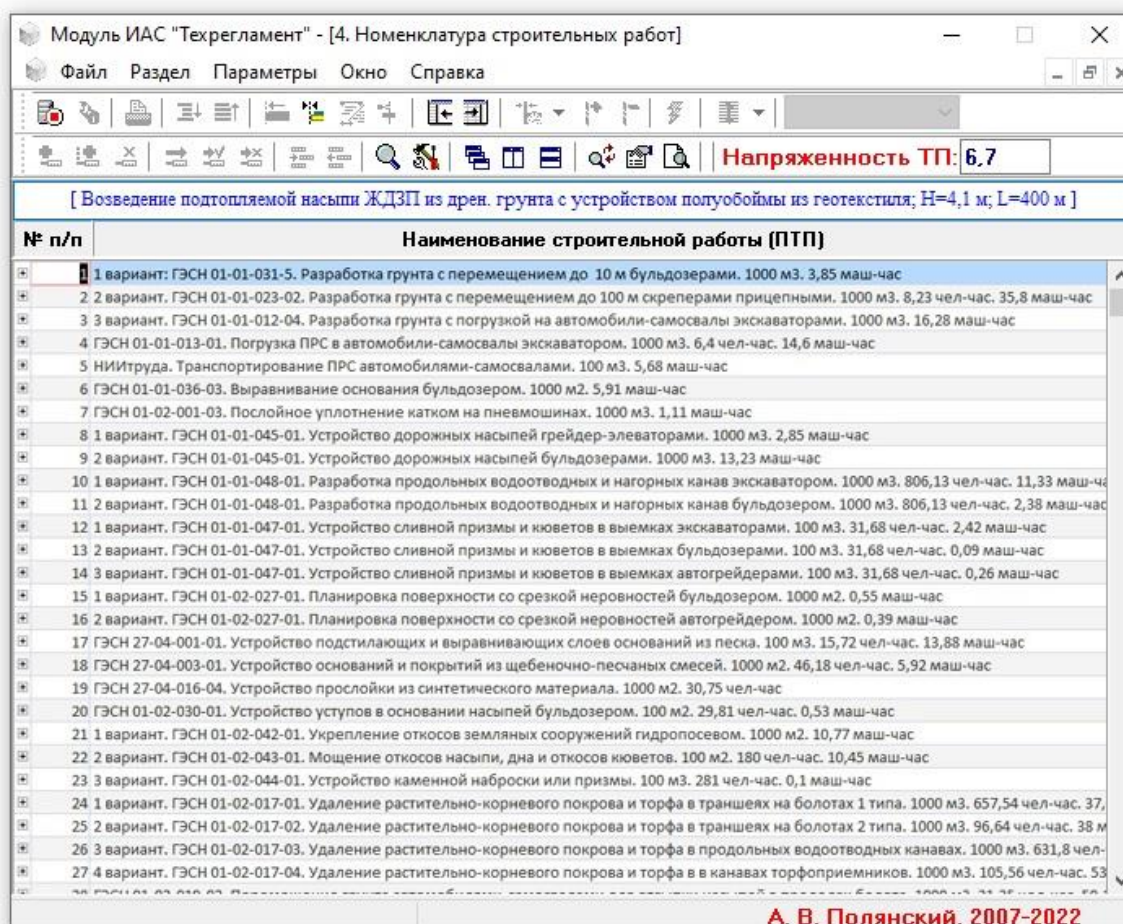


Рисунок 6. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», режим «Номенклатура строительных работ» (разработано автором)

Figure 6. A fragment of the program module intelligent automated systems "Technical regulations", "Nomenclature of construction works" mode (developed by the author)

На рисунке 7 показан режим «Организационная структура технологического процесса». Представлен фрагмент организационной структуры ТП возведения подтопляемой насыпи в виде сетевого графа. Показаны вариативность, последовательность, взаимоувязка работ (ПТР) и расценки на их выполнение.

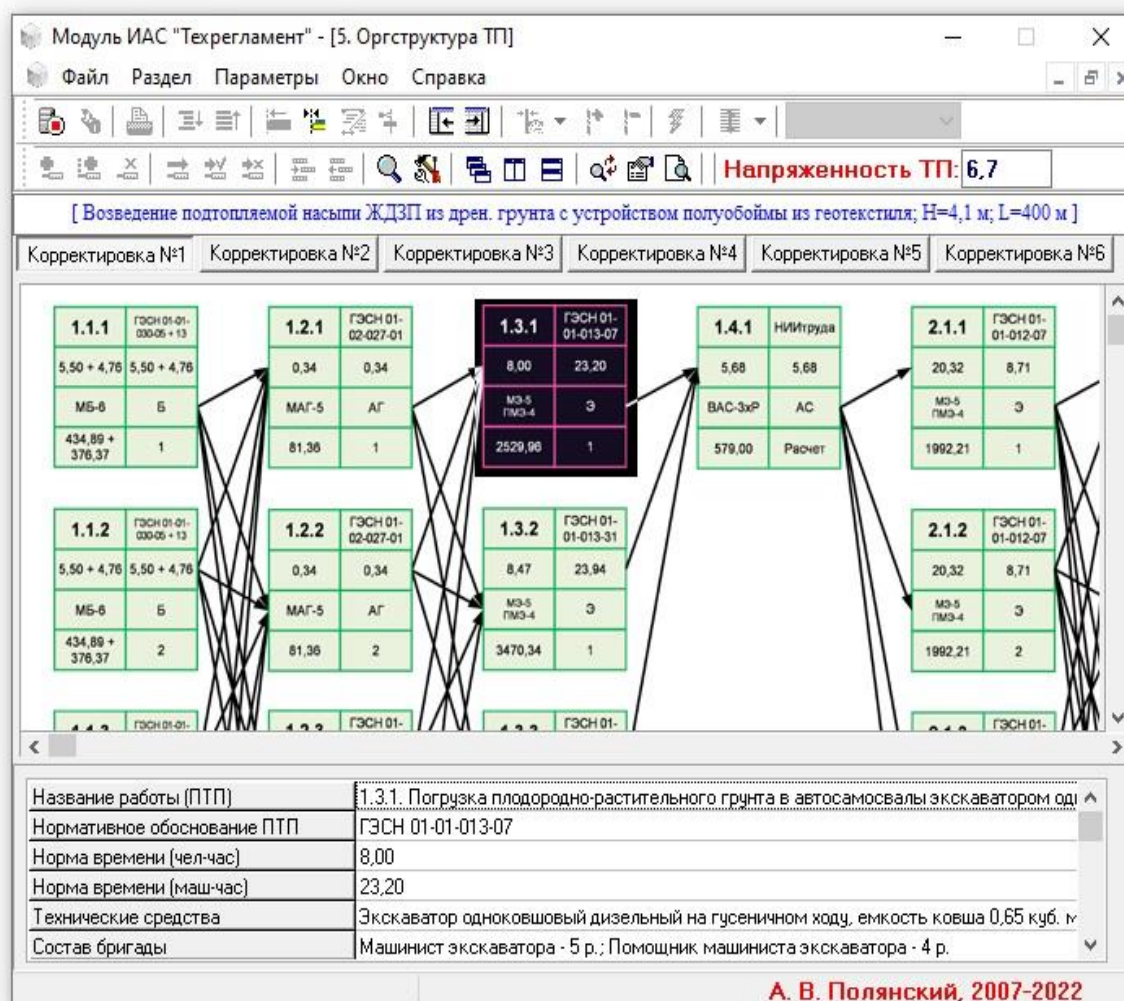


Рисунок 7. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», режим «Организационная структура технологического процесса» (разработано автором)

Figure 7. A fragment of the program module intelligent automated systems "Technical regulations", "Organizational Structure of the technological process" mode (developed by the author)

На рисунке 8 показан режим «Калькуляция затрат труда». Представлена калькуляция затрат труда для реализации ТП возведения подтопляемой насыпи. Представляет собой разделенный на части (этапы) перечень строительных работ (ПТП), с рассчитанными затратами труда машинистов (трудоемкость), технических средств (машиноемкость), ресурсообеспеченностью работы с учетом её объема. Предусмотрена возможность внесения корректив (перерасчет в автоматизированном режиме) в зависимости от изменений в структуре ТП.

Модуль ИАС "Техрегламент" - [6. Калькуляция затрат труда]

Файл Раздел Параметры Окно Справка

Напряженность ТП: 6.7

[Возведение подтопленной насыпи ЖДЗП из дрен. грунта с устройством полуобоймы из геотекстиля; H=4,1 м; L=400 м

Корректировка №1 Корректировка №2 Корректировка №3 Корректировка №4 Корректировка №5 Корректировка №6

№ п/п	Обоснование, шифр	Наименование работ	Ед. изм.	Объем работ	Нвр на чел.-час
Подготовка естественного основания под насыпь земляного полотна					
1.	ГЭСН 01-01-031-5	Срезка плодородно-растительного слоя бульдозером	1000 м ³	2,10	0,00
2.	ГЭСН 01-01-031-13	Добавлять на каждые последующие 10м к ГЭСН 01-01-031-5	1000 м ³	2,10	0,00
3.	ГЭСН 01-02-027-1	Планировка естественного основания бульдозером	1000 м ²	14,00	0,00
4.	ГЭСН 01-01-13-7	Погрузка плодородно-растительного грунта в автосамосвалы экскаватором с ковшом вместимостью 0,65 м ³	1000 м ³	2,10	9,28
5.	НИИТруда	Транспортирование ПРС автосамосвалами	100 м ³	21,00	0,00
Сооружение земляного полотна					
1.	ГЭСН 01-01-012-7	Разработка грунта из штабеля гидронамыва с погрузкой на автомобили-самосвалы экскаватором с ковшом вместимостью 1,6 м ³	1000 м ³	33,33	4,86
2.	НИИТруда	Транспортирование песчаного грунта автосамосвалами	100 м ³	333,30	0,00
3.	ГЭСН 01-01-031-5	Разравнивание грунта бульдозером	1000 м ³	33,33	0,00
4.	ГЭСН 01-01-36-3	Планировка поверхности грунта перед уплотнением бульдозером	1000 м ²	204,99	0,00
5.	ГЭСН 01-02-006-1	Полив водой уплотняемого грунта насыпей	1000 м ³	33,33	0,00
6.	ГЭСН 01-02-001-2	Уплотнение грунта прицепными катками на пневмоколесном ходу	1000 м ³	33,33	0,00
7.	ГЭСН 01-02-001-8	На каждый последующий проход по одному следу x10	1000 м ³	333,30	0,00
8.	ГЭСН 27-04-016-5	Устройство прослойки из геотекстиля (полуобоймы)	1000 м ²	13,68	79,75

А. В. Полянский, 2007-2022

Рисунок 8. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», режим «Калькуляция затрат труда» (разработано автором)

Figure 8. A fragment of the program module intelligent automated systems "Technical regulations", "Calculation of labor costs" mode (developed by the author)

На рисунке 9 показан режим «Технологическая схема» с демонстрацией:

- технологической схемы возведения подтопленной насыпи с учетом установленного ранее перечня работ (ПТП);
- блока выбора уточняющего работу (ПТП) разреза на технологической схеме;
- разреза, выбранного из перечня.

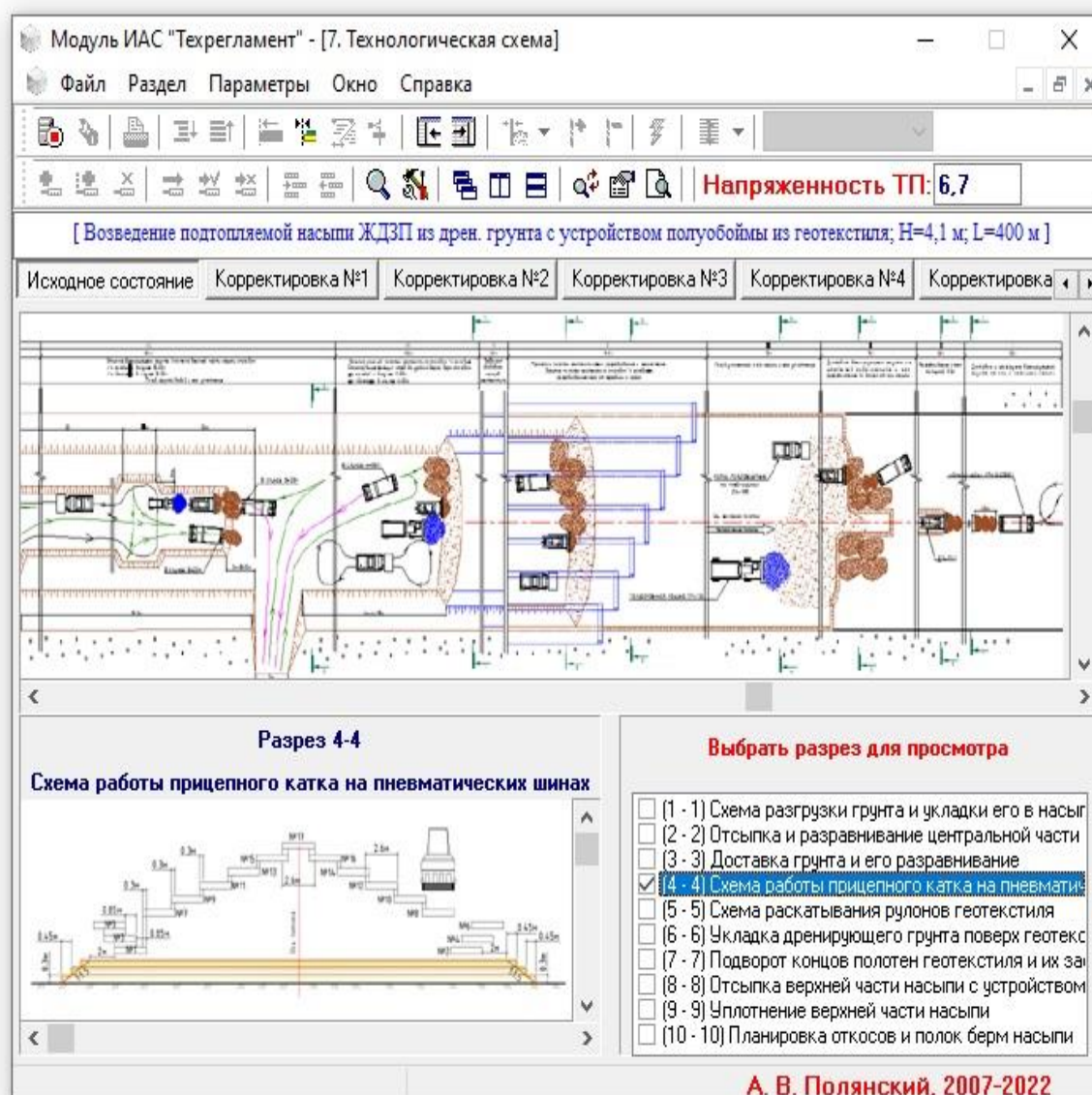


Рисунок 9. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», режим «Технологическая схема» (разработано автором)

Figure 9. An operation fragment of the intelligent automated systems "Technical regulations" software module, "Technological scheme" mode (developed by the author)

На рисунке 10 показан режим «Календарный график», который содержит фрагмент календарного графика производства работ по возведению подтопляемой насыпи и блок инструментария для обеспечения его актуального состояния (адаптации) с учетом возможных изменений в ТП. Также предусмотрена возможность корректирования ресурсного обеспечения работ на уровне ПТП.

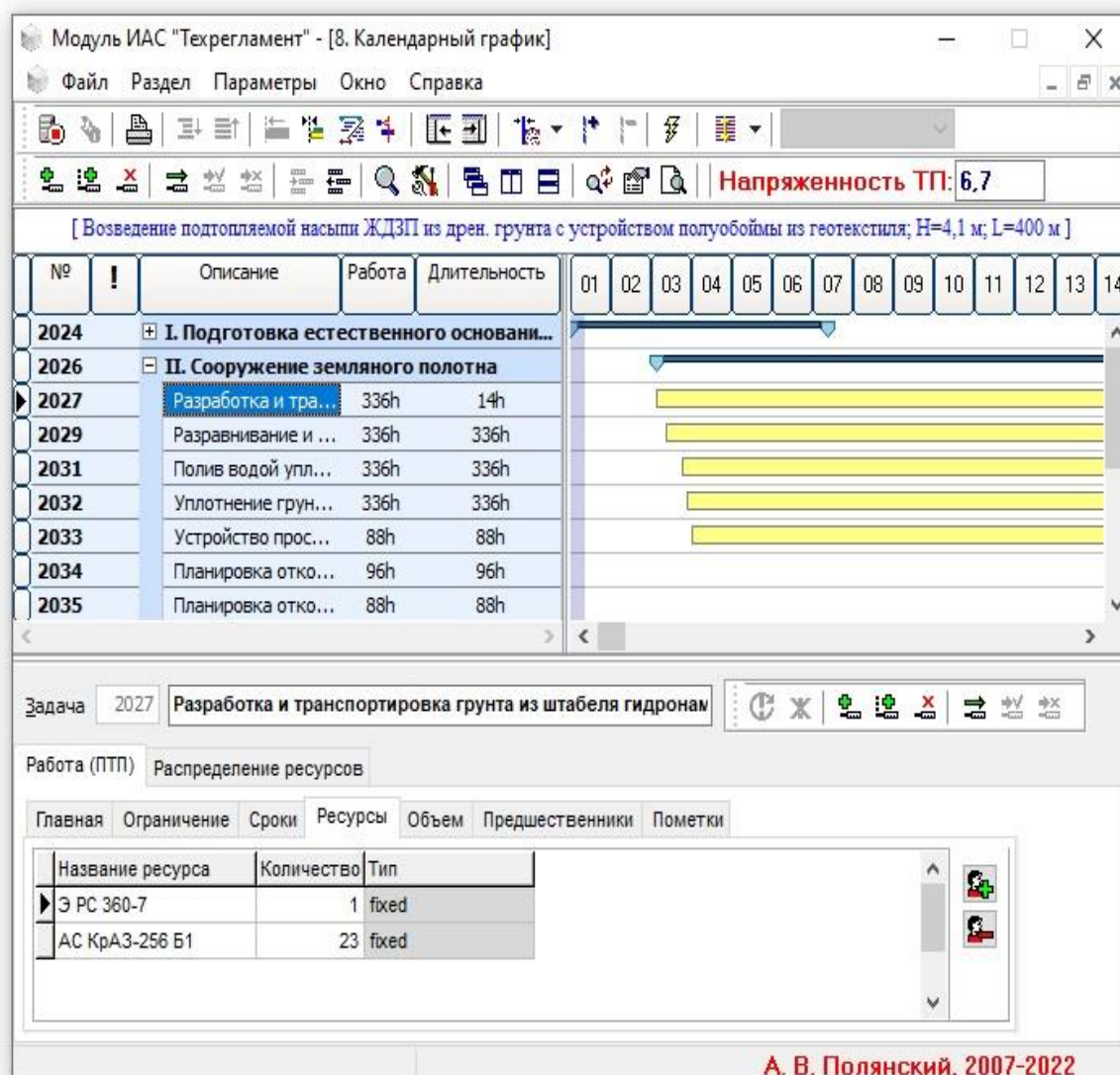


Рисунок 10. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», режим «Календарный график» (разработано автором)

Figure 10. An operation fragment of the intelligent automated systems "Technical regulations" software module, "Calendar schedule" mode (developed by the author)

Календарный график служит основой для расчета напряженности ТП. Для примера расчета напряженности ТП на фрагменте календарного графика выполнения работ по возведению подтопляемой насыпи (рис. 11) выделены специальные области. Прямоугольный контур красного цвета на рисунке 11 охватывает перечень работ (ПТП) в рамках этапа «II. Сооружение земляного полотна» для примера. Вертикальная линия синего цвета показывает начало реализации ТП по календарному графику — с третьей смены. Область, образованная пересечением контуров, позволила сформировать таблицу 3 для определения напряженностей ПТП, составляющих ТП возведения подтопляемой насыпи.

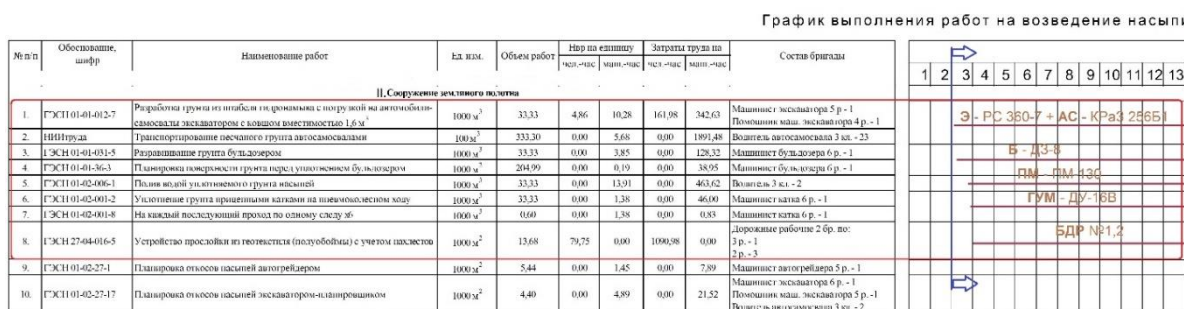


Рисунок 11. Фрагмент календарного графика выполнения работ по возведению подтопленной насыпи железнодорожного земляного полотна

Figure 11. A fragment of the calendar schedule for the railway roadbed flooded embankment construction

В таблице 3 в графе «Код ПТП» работы представлены в кодированной форме:

«<Этап>. <Работа (ПТП) из перечня>».

При заполнении данной графы учитывалась организационная увязка работ между собой. В графе «Текущие ограничения» содержатся сведения о вне- и внутрипроизводственных ограничениях реализации ПТП согласно таблице 1 в кодированной форме:

«<Вид ограничений>. <Группа ограничений>. <Наименование ограничения>».

Графа «Готовность ресурса к использованию» содержит данные о готовности ресурсов (организационных, технических, нормативных) к реализации ПТП согласно таблице 2 в кодированной форме:

«<Вид ресурса>. <Состояние ресурса>».

Следует отметить, что значение показателя готовности ресурсов для реализации ПТП ($\eta_{ГР}$) определяется минимальным значением из трех по видам ресурсов. Оставшиеся графы содержат значения показателей (факторов) реализации ПТП и его напряженность.

Полученные значения напряженностей ПТП (табл. 3) позволяют сделать выводы о напряженностях ПТП по возведению подтопленной насыпи. В частности, ПТП № 1, 2, 3, 5 исполняются в плановом режиме. ПТП № 4 имеет отклонения как по производственным параметрам, так и по параметрам ресурсного обеспечения.

В целом напряженность ПТП возведения подтопленной насыпи в соответствии с формулой (1) составляет: 6,7. Это значит, что требуется корректировка ТСс с учетом текущих ресурсных возможностей СПО для обеспечения плановых показателей ПТП и требований, указанных в ОТД.

Для этого разработчику ОТД можно воспользоваться вышеупомянутыми в данной работе средствами, реализующими интеллектуальный и автоматизированный режимы разработки ПТП.

Таблица 3 / Table 3

**Пример определения напряженностей простых технологических процессов
возведения подтопляемой насыпи железнодорожного земляного полотна**

**An example of determining the simple technological processes
intensity or the railway roadbed flooded embankment construction**

№ п/п	Код ПТП Sequence number	Текущие ограничения Simple technological processes code	Готовность ресурса к использованию Current restrictions	$\eta_{ПР}$	$\eta_{СГ}$	$\eta_{ОГ}$	$\eta_{ГР}$	$K_{ВУ}$	Напряженность ПТП ($Int_{ПТП}$) Resource readiness for use
1.	П.1 + П.2	-	И.4	0,7	1,13	1	1	1	0,791
			ТС.4						
			М.4						
2.	П.3 + П.4	-	И.4	0,7	1,075	1	1	1	0,753
			ТС.4						
			М.4						
3.	П.5	-	И.4	0,3	1,04	1	1	0,9	0,281
			ТС.4						
			М.4						
4.	П.6 + П.7	А.1.2, А.П.4, Б.1.1, Б.П.3	И.4	1	2	1,85	0,5	0,9	6,7
			ТС.2						
			М.3						
5.	П.8	-	И.4	0,5	1,09	1	1	0,9	0,491
			ТС.Х						
			М.4						

Составлено автором / Compiled by the author

На рисунке 12 показан режим «Реализация технологического процесса», демонстрирующий параметры реализации ТП возведения подтопляемой насыпи: оценку и прогноз развития. Данные параметры определяются в ходе мониторинга ТП.

Например, до смены № 3 развитие ТП определено состоянием «Норма (0,98)» означает, что ТП соответствует проектным требованиям с вероятностью 98 %, которая определена с учетом его напряженности и с привлечением экспертной системы вероятностного типа в модуле ИАС «Оценка» подсистемы «Мониторинг».

Прогноз развития ТП осуществляется по данным наблюдения за ходом ТП и его оценки с привлечением математического аппарата теории случайных процессов в модуле ИАС «Прогноз» подсистемы «Мониторинг». В представленном примере прогноз развития ТП определяется состоянием «Развивающийся», то есть вероятно развитие ТП на горизонте трех последующих смен как в сторону соответствия плановым показателям, так и сторону отклонения от них. Это возможно, например, в том случае, когда проектными условиями предусмотрено использование определенного ресурса, а его готовность к началу работ (смены) низкая, однако, ведутся интенсивные работы, направленные на повышение готовности ресурса.

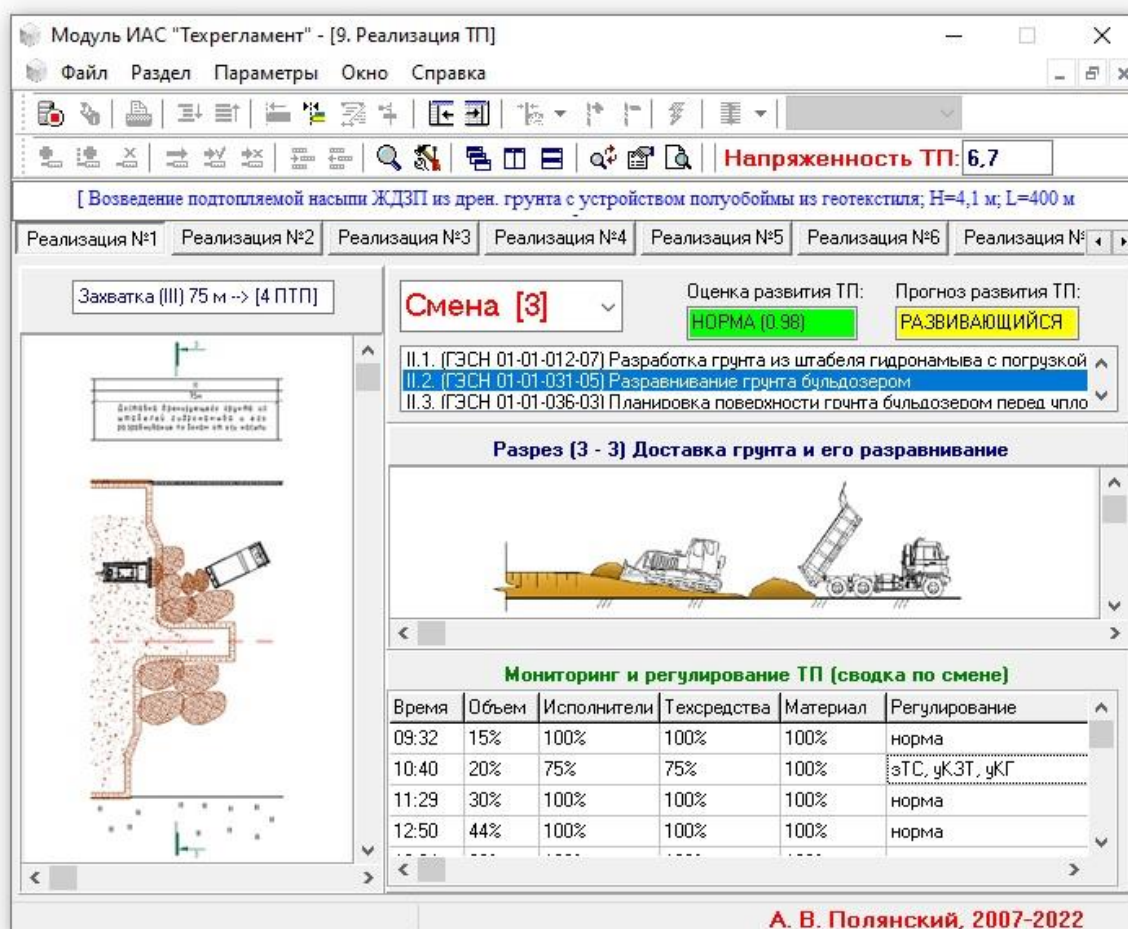


Рисунок 12. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», режим «Реализация технологического процесса» для смены № 3 (разработано автором)

Figure 12. An operation fragment of the intelligent automated systems "Technical regulations" software module, "Implementation of the technological process" mode for shift No. 3 (developed by the author)

В целом мониторинг ТП предполагает периодический сбор сведений по каждой работе (ПТП), входящей в ТП и осуществляемой в определённую смену. В частности, на рисунке 12 дается описание работы (ПТП) «II. 2. (ГЭСН 01-01-031-05) Разравнивание грунта бульдозером». Описание включает в себя:

- блок с перечнем работ для выбранной смены и местом работы в перечне;
- фрагмент технологической схемы — захватка длиной 75 м с выполнением выбранной работы;
- разрез фрагмента технологической схемы с демонстрацией рассматриваемой работы;
- блок «Мониторинг и регулирование ТП (сводка по смене)» содержит результаты мониторинга ТП возведения подтопляемой

насыпи, распределенные на временном интервале с учетом выполненного объема и использования ресурсов. Результаты переданы в АЦТР из ранее упомянутых в настоящей статье модулей подсистемы ИАС «Мониторинг». По результатам мониторинга были предложены решения, направленные на обеспечение плановых показателей ТП с последующей передачей в АЦТР. Для этого были использованы модули подсистемы ИАС «Регулирование». В блоке в графе «регулирование» решения указаны в сокращенном виде (рис. 12).

Для рассматриваемой смены в 11 часов 40 минут было зафиксировано снижение выполняемого объема работ вследствие снижения производительности машины. Сильное повышение температуры воздуха привело к технической неисправности в бульдозере, ликвидация которой потребовала длительного ремонта. Данное обстоятельство вызвало необходимость в регулировании ТП и заключалось оно в исполнении следующих решений:

- «зТС» — замена машины — из резерва СПО необходимо задействовать новый бульдозер, но его технические характеристики будут отличаться от характеристик бульдозера, выводимого в ремонт;
- «уКЗТ» — уточнение калькуляции затрат труда — необходимо скорректировать перечень работ (ПТП) и затраты труда в связи с использованием новой машины;
- «уКГ» — уточнение календарного графика — необходимо скорректировать календарный график и график распределения ресурсов после корректировки перечня работ и затрат труда.

На рисунке 13 показан другой пример работы в режиме «*Реализация технологического процесса*», демонстрирующий параметры реализации ТП возведения подтопленной насыпи для смены № 12. Здесь соответствие ТП плановыми показателями составляет 0,95 (95 %) и прогноз его дальнейшего развития определен как «Стабильный», то есть соответствующий проектным требованиям.

Далее представлено описание работы (ПТП) «И. 5. (ГЭСН 27-04-016-05) Устройство прослойки из геотекстиля (полуобоймы)». Описание включает в себя те же блоки, что для предыдущего примера (рис. 12). Сведения, представленные в блоке «Мониторинг и регулирование ТП (сводка по смене)», показали отклонение ТП от запланированных показателей.

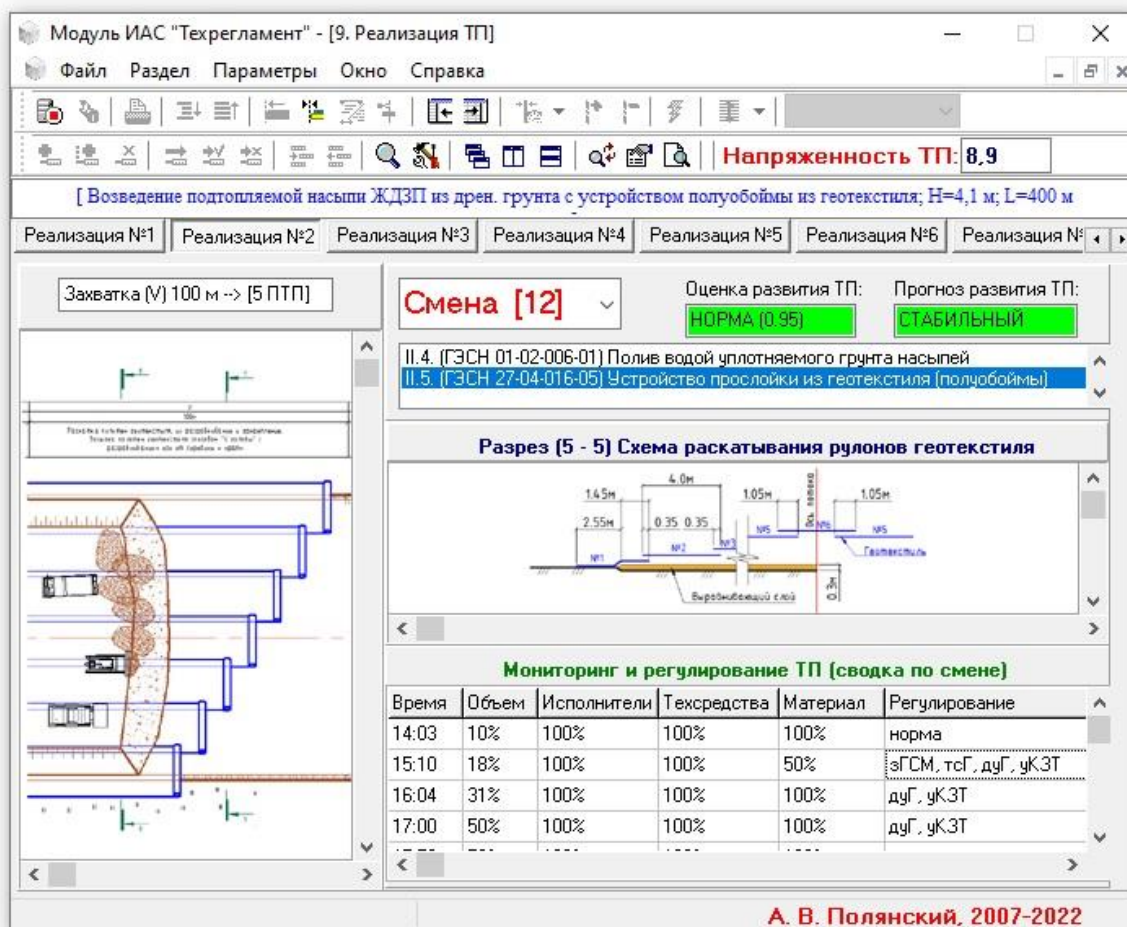


Рисунок 13. Фрагмент работы программного модуля ИАС «Техрегламент», вкладка «Реализация технологического процесса» для смены № 12 (разработано автором)

Figure 13. An operation fragment of the intelligent automated systems "Technical regulations" software module, "Implementation of the technological process" tab for shift No. 12 (developed by the author)

Для рассматриваемой смены в 15 часов 10 минут было зафиксировано снижение выполняемого объема работ из-за повреждения уложенного геосинтетического материала при засыпке и разравнивании пересушенным грунтом (вследствие влияния высокой температура воздуха). Предусмотренная проектом производства работ толщина грунта оказалась недостаточной для засыпки. В этом случае на основании выявленных отклонений регулирование ТП заключалось в исполнение следующих решений:

- «зГСМ» — замена геосинтетического материала — необходима замена геотекстиля на месте повреждения;
- «тсГ» — изменение толщины слоя грунта — необходимо увеличить толщину разравниваемого слоя грунта;

- «дуГ» — дополнительное уплотнение грунта — необходимо увеличить количество проходов по слою грунта прицепным катком с пневмоколесными шинами;
- «уКЗТ» — уточнение калькуляции затрат труда — необходимо скорректировать перечень работ и затраты труда в связи с увеличением толщины разравниваемого грунта и количества проходов грунтоуплотняющей машиной.

Представленные фрагменты работы модуля ИАС «Техрегламент» показывают некоторые возможности АЦТР отличающие его от обычных технологических регламентов: консолидацию результатов разработки ТП с возможностью интеллектуальной корректировки (адаптации) ТП в случае изменения условий производства работ; отражение результатов мониторинга и регулирования ТП строительства ОЖДП для обеспечения плановых показателей производства работ; автоматизированный контроль и регулирование деятельности исполнителей, координацию участников производства строительных работ. Само регулирование с помощью АЦТР заключается в интерпретации шагов ТСц, и в соответствии с инструкциями в его позициях вырабатываются решения на изменение режимов работ (ППП) и (или) регламентации неавтоматизированных действий исполнителей СПО на строительстве ОЖДП.

Также следует отметить, что действующее законодательство допускает внесение корректировок в ОТД. И эта процедура строго контролируется, потому как предполагаемые корректировки и дополнения должны соответствовать требованиям безопасности труда в строительстве, реализации ТП, деятельности исполнителей и всей СПО в целом. Жесткий контроль процедуры внесения изменений в ОТД исключает случаи игнорирования новых требований, включенных в нее.

Заключение

Conclusion

В работе были представлены теоретические результаты исследования и возможности практического применения АЦТР для реализации ТП строительства ОЖДП.

В рамках формирования методологии ИИОТП ЖДС была разработана структура АЦТР — цифрового нормативного документа, определяющего нормы и правила ведения ТП строительства ОЖДП. Для этого были рассмотрены структура и содержание АЦТР, предназначенного для разработки и реализации ТП строительства ОЖДП.

Отличительной особенностью АЦТР является возможность его корректировки в автоматизированном режиме. Целью корректировки является адаптация ТП к меняющимся условиям производства работ и ресурсной оснащенности СПО.

Для регулирования ТП строительства ОЖДП в меняющихся условиях производства работ в АЦТР предусмотрена иерархия подобно устроенных ТП и задания последовательности ПТП в виде ТСц.

Изменения в ходе производства работ, а также преобразований ресурсов, влекут за собой корректировку ТСц с последующим изменением логических и численных значений параметров, что характеризует напряженность ТП строительства ОЖДП. Для этого были определены интервалы изменения величины напряженности ТП, позволяющие определять его соответствие/несоответствие плановым показателям и требованиям ОТД.

Практическое воплощение АЦТР осуществлено в автоматизированном режиме на примере возведения подтопленной насыпи ЖДЗП с применением специально разработанного программного модуля ИАС.

Внедрение АЦТР для реализации ТП в ЖДС способствует оперативному планированию, контролю и регулированию строительных работ. В условиях цифровизации и интеллектуализации строительного производства это будет способствовать обеспечению рентабельности и экономической эффективности работы СПО.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Полянский, А.В.** Интеллектуализация инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства / А.В. Полянский. — DOI <https://doi.org/10.15862/12SATS120> // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». — 2020. — Т 7. — № 1. — С. 12SATS120. — URL: <https://t-s.today/PDF/12SATS120.pdf> (дата обращения: 18.10.2021).
2. **Полянский, А.В.** ВСМ: интеллектуальный подход / А.В. Полянский // Мир транспорта. — 2014. — № 2. — С. 38–44. — URL: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/46/89> (дата обращения: 13.11.2021).
3. Автоматизированное проектирование организации строительства железных дорог / под редакцией С.П. Першина. — М.: Транспорт, 1991. — 261 с.
4. **Небритов, Б.Н.** Организационно-технологическое проектирование в строительстве / Б.Н. Небритов. — М.: Вузовская книга, 2011. — 144 с.
5. **Леонтьев, Р.Г.** Инвестиционные процессы и железнодорожное строительство: российский опыт, региональные перспективы, оценка эффективности: монография / Р.Г. Леонтьев, Н.В. Дербас, М.А. Немчанинова. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. — 371 с.

6. **Полянский, А.В.** Основные принципы технологического обоснования конструктивных решений транспортных объектов с применением экспертной системы / А.В. Полянский // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Десятой Междунар. науч.-практ. конф., Т. 1. — Иркутск: ИрГУПС, 2019. — С. 499–504. — URL: <https://www.irgups.ru/sites/default/files/oo/science/conferences/TISR/2019/ТИСП-1-2019.pdf> (дата обращения: 14.09.2021).
7. **Polyanskiy, A.V.** Scheduling of construction works in the formation of technological processes of railway construction using a genetic algorithm / A.V. Polyanskiy. — DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1151/1/012018> // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1151, The 2020 International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans 2020) 11th–13th November 2020, Irkutsk, Russia / Иркутск: IOP Publishing Ltd, 2020. — С. 12018. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1151/1/012018> (дата обращения: 19.08.2021).
8. **Полянский, А.В.** Планирование ресурсов технологического процесса строительства объектов железнодорожного пути с применением искусственной нейронной сети / А.В. Полянский. — DOI <https://doi.org/10.15862/01SATS321> // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». — 2021. — Т 8. — № 3. — С. 01SATS321. — URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS321.pdf> (дата обращения: 14.11.2021).
9. **Pan, Y.** Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends / Y. Pan, L. Zhang. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517> // Automation in Construction. — 2021. — Т 122. — С. 103517. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520310979> (дата обращения: 24.11.2021).
10. **Leo Kumar, S.P.** State of the art-intense review on artificial intelligence systems application in process planning and manufacturing / S.P. Leo Kumar. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.08.005> // Engineering Applications of Artificial Intelligence. — 2017. — Т 65. — С. 294–329. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197617301896> (дата обращения: 18.10.2021).
11. **Завадскас, Э.-К.** Системотехническая оценка технологических решений строительного производства / Э.-К. Завадскас. — Л.: Стройиздат, 1991. — 256 с.
12. **Васильев, В.М.** Автоматизация организационно-технологического планирования в строительном производстве / В.М. Васильев, Л.Б. Зеленцов. — М.: Стройиздат, 1991. — 152 с.
13. **Walker, A.** Project management in construction / A. Walker. 6th ed. — Oxford: Wiley-Blackwell, 2015. — 339 pp.
14. **Zavadskas E.** Sustainable Decision-Making in Civil Engineering, Construction and Building Technology / E. Zavadskas, J. Antucheviciene, T. Vilutiene, H. Adeli. — DOI <https://doi.org/10.3390/su10010014> // Sustainability. — 2017. — № 1. — С. 14. — URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/1/14> (дата обращения: 26.09.2021).
15. **Кoo, B.** Feasibility study of 4D CAD in commercial construction / B. Koo, M. Fischer. — DOI [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2000\)126:4\(251\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:4(251)) // Journal of construction engineering and management. — 2000. — Т 126. — № 4. — С. 251–260. — URL: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282000%29126%3A4%28251%29> (дата обращения: 18.07.2021).
16. **Zhang, J.P.** BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies / J.P. Zhang, Z.Z. Hu. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013> // Automation in construction. — 2011. — Т 20. № 2. — С. 155–166. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580510001421> (дата обращения: 28.09.2021).
17. **Hu, Z.Z.** BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials / Z.Z. Hu, J.P. Zhang. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.014> // Automation in construction. — 2011. — Т 20. № 2. — С. 155–166. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580510001433> (дата обращения: 28.09.2021).

18. **Kim, C.** 4D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring / C. Kim, B. Kim, H. Kim — DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.03.005> // Automation in Construction. — 2013. — Т 35. — № 11. — С. 44–52. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580513000332> (дата обращения: 10.10.2021).
19. **Doukari, O.** Automatic generation of building information models from digitized plans / O. Doukari, D. Greenwood. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103129> // Automation in Construction. — 2020. — Т 113. — С. 103129. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580519313500> (дата обращения: 17.12.2021).
20. **Small, E.P.** Examination of Job-site Layout Approaches and their Impact on Construction Job-site Productivity / E.P. Small, M. Baqer. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.634> // Procedia Engineering. — 2016. — Т 164. — С. 383–388. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816339753> (дата обращения: 02.12.2021).
21. **Gbadamosi, A.-Q.** IoT for predictive assets monitoring and maintenance: An implementation strategy for the UK rail industry / A.-Q. Gbadamosi, L.O. Oyedele, J.M. Davila Delgado, H. Kusimo, L. Akanbi, O. Olawale, N. Muhammed-yakubu. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103486> // Automation in Construction. — 2021. — Т 122. — С. 103486. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520310669> (дата обращения: 24.11.2021).
22. **Hassan, F.** Computer-assisted separation of design-build contract requirements to support subcontract drafting / F. Hassan, T. Le. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103479> // Automation in Construction. — 2021. — Т 122. — С. 103479. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520310591> (дата обращения: 27.11.2021).
23. **Амбарцумян, А.А.** Модель технологического регламента в АСУТП / А.А. Амбарцумян, С.А. Браништов // Проблемы управления. — № 3. — 2008. — С. 73–77. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9955416> (дата обращения: 26.09.2021).
24. **Соколов, Ф.Г.** Контроль качества железнодорожного строительства: Справочник / Ф. Г. Соколов, А. Е. Вичеревин — М.: Транспорт, 1982. — 399 с.
25. **Федюкин, В.К.** Управление качеством процессов / В. К. Федюкин. — СПб.: Питер, 2004. — 208 с.
26. **Олейник, П.П.** Организация строительного производства: Научное издание / П. П. Олейник. — М.: Издательство АСВ, 2010. — 576 с.
27. **Нейман, А.О.** Системное управление ресурсопотоками строительных процессов: Монография / А.О. Нейман. — М.: Маршрут, 2006. — 240 с.
28. **Яблонский, А.А.** Моделирование систем управления строительными процессами: Монография / А.А. Яблонский. — М.: АСВ, 1994. — 300 с.
29. **Zavadskas, E.** Multi-criteria assessment model of technologies / E. Zavadskas, Z. Turskis, R. Volvaciovas, S. Kildiene. — DOI <https://doi.org/10.24846/v22i4y201301> // Studies in Informatics and Control. — 2013. — Т 22. — С. 249–258. — URL: <https://sic.ici.ro/multi-criteria-assessment-model-of-technologies/> (дата обращения: 22.10.2021).

Сведения об авторах:

Полянский Алексей Викторович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия, e-mail: polal_82@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6190-0481>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=412433

Статья получена: 04.02.2022. Принята к публикации: 11.04.2022. Опубликовано онлайн: 25.04.2022.

REFERENCES

1. Polyanskiy A.V. Intellectualization of engineering and technical support of railway construction. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2020; 7(1). (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/12SATS120>.
2. Polyanskiy A.V. Possibilities of Applications of Artificial Intelligence in Design Technology and Organization of Construction of High-Speed Rail. *World of Transport and Transportation*. 2014; (2): 38–44. Available at: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/46/89> (accessed 13th November 2021). (In Eng.).
3. Pershin S.P., Ivanov M.I., Akuratov A.F. et al. [Computer-aided design of the organization of construction of railways]. Moscow: Transport Publ.; 1991. (In Russ.).
4. Nebritov B.N. [Organizational and technological design in construction]. Moscow: Vuzovskaya Kniga; 2011. (In Russ.).
5. Leont'yev R.G., Derbas N.V., Nemchaninova M.A. [Investment processes and railway construction: Russian experience, regional perspectives, efficiency assessment: monograph]. Khabarovsk: Publishing house "DVGUPS"; 2004. (In Russ.).
6. Polyanskiy A.V. [Basic principles of technological justification of constructive solutions for transport facilities using an expert system]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona = Transport infrastructure of the Siberian region*. 2019; 1: 499–504. Available at: <https://www.irgups.ru/sites/default/files/oo/science/conferences/TISR/2019/TICP-1-2019.pdf> (accessed 14th September 2021). (In Russ.).
7. Polyanskiy A.V. Scheduling of construction works in the formation of technological processes of railway construction using a genetic algorithm. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1151, The 2020 International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans 2020) 11th–13th November 2020, Irkutsk, Russia*. Irkutsk: IOP Publishing Ltd; 2020. p. 12018. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1151/1/012018> (accessed 19th August 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1151/1/012018>.
8. Polyanskiy A.V. Resource planning of the railway facilities construction technological process with the use of an artificial neural network. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2021;8(3): 01SATS321. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/01SATS321>.
9. Pan Y., Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*. 2021; 122: 103517. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517>.
10. Leo Kumar S.P. State of The Art-Intense Review on Artificial Intelligence Systems Application in Process Planning and Manufacturing. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2017; 65: 294–329. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.08.005>.
11. Zavadskas, E.-K. [System-technical evaluation of technological solutions of construction industry]. Leningrad: Stroyizdat; 1991. (In Russ.).
12. Vasil'yev V.M., Zelentsov L.B. [Automation of organizational and technological planning in the construction industry]. Moscow: Stroyizdat; 1991. (In Russ.).
13. Walker A. Project management in construction. 6th ed. Oxford: Wiley-Blackw; 2015. (In Eng.).
14. Zavadskas E., Antucheviciene J., Vilutiene T., Adeli H. Sustainable Decision-Making in Civil Engineering, Construction and Building Technology. *Sustainability*. 2017; 10(1). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/su10010014>.
15. Koo B., Fischer M. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. *Journal of construction engineering and management*. 2000; 126(4): 251–260. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2000\)126:4\(251\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:4(251)).
16. Zhang J.P., Hu Z.Z. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in Construction*. 2011; 20(2): 155–166. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.013>.
17. Hu Z.Z., Zhang J.P. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials. *Automation in Construction*. 2011; 20(2): 167–180. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.014>.

18. Kim C., Kim B., Kim H. 4D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring. *Automation in Construction*. 2013; 35: 44–52. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.03.005>.
19. Doukari O., Greenwood D. Automatic generation of building information models from digitized plans. *Automation in Construction*. 2020; 113: 103129. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103129>.
20. Small E.P., Baqer M. Examination of Job-site Layout Approaches and their Impact on Construction Job-site Productivity. *Procedia Engineering*. 2016; 164: 383–388. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.634>.
21. Gbadamosi A.-Q., Oyedele L.O., Davila Delgado J.M., Kusimo H., Akanbi L., Olawale O., Muhammed-yakubu N. IoT for predictive assets monitoring and maintenance: An implementation strategy for the UK rail industry. *Automation in Construction*. 2021; 122: 103486. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103486>.
22. Hassan F., Le T. Computer-assisted separation of design-build contract requirements to support subcontract drafting. *Automation in Construction*. 2021; 122: 103479. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103479>.
23. Ambartsumian A.A., Branishtov S.A. A Model of Process Regulations in Industrial Automation Systems. *Control Sciences*. (3): 73–79. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9955416> (accessed 26th September 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
24. Sokolov F.G., Vicherevin A.E. [Railway Construction Quality Control: A Handbook]. Moscow: Transport Publ.; 1982. (In Russ.).
25. Feduykin V.K. [Process Quality Management]. St. Petersburg: Piter Publishing House; 2004. (In Russ.).
26. Oleynik P.P. [Organization of construction production: Scientific publication]. Moscow: ASV; 2010. (In Russ.).
27. Neyman A.O. [System management of resource flows of construction processes: Monograph]. Moscow: Marshrut publ.; 2006. (In Russ.).
28. Yablonskiy A.A. [Modeling of building process control systems: Monograph]. Moscow: ASV; 1994. (In Russ.).
29. Zavadskas E., Turskis Z., Volvaciovas R., Kildiene S. Multi-criteria assessment model of technologies. *Studies in Informatics and Control*. 2013; 22: 249–258. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.24846/v22i4y201301>.

Information about the authors:

Aleksey V. Polyanskiy — Russian University of Transport, Moscow, Russia, e-mail: polal_82@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6190-0481>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=412433

Submitted: 04th February 2022. Revised: 11th April 2022. Published online: 25th April 2022.