

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

2025, Том 12, № 2 / 2025, Vol. 12, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2025.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/03SATS225.pdf>

DOI: 10.15862/03SATS225 (<https://doi.org/10.15862/03SATS225>)

2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

УДК 625:69.05:004.8

## Формирование производственной программы подрядной организации для железнодорожного строительства с применением интеллектуальных технологий

Полянский А.В.

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Полянский Алексей Викторович, e-mail: polal\_82@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам формирования производственных программ подрядных организаций, работающих в области строительства железных дорог. Исследование строительной деятельности современных подрядных организаций показало стратегические цели и их влияние на конечный результат. Сложившаяся ситуация способствует внедрению гибких механизмов для решения организационно-технологических задач железнодорожного строительства. В связи с этим предложено воспользоваться возможностями подсистемы инженерно-интеллектуального обеспечения технологических процессов системы инженерно-технического сопровождения строительства объектов железнодорожного пути. Для этого были рассмотрены современные и перспективные этапы, а также методы и средства разработки строительных технологических процессов. Определен перечень задач, которые вследствие большой размерности и трудности формализации, определяют необходимость использования интеллектуальных методов для их решения. К таким задачам отнесены: технологическое обоснование конструктивных решений объектов железнодорожного пути, разработка, ресурсообеспечение и планирование

технологических процессов железнодорожного строительства. В рамках практического применения подсистемы инженерно-интеллектуального обеспечения технологических процессов разработаны расчетные и расчетно-логические модели. Полученные модели послужили основой для экспериментальных программных модулей — структурных элементов интеллектуальной автоматизированной системы. Рассмотрен пример практического применения интеллектуальной автоматизированной системы для решения задач формирования и выполнения производственной программы строительной (подрядной) организации для возведения насыпи железнодорожного земляного полотна на слабом основании.

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

**Ключевые слова:** производственная программа; подрядная организация; технологический процесс; железнодорожное строительство; земляное полотно; объект железнодорожного пути; методы искусственного интеллекта

## Formation of a production program for a contracting organization in railway construction using intelligent technologies

Aleksey V. Polyanskiy

Russian University of Transport, Moscow, Russia

**Corresponding author:** Aleksey V. Polyanskiy, e-mail: [polal\\_82@mail.ru](mailto:polal_82@mail.ru)

**Abstract.** The article addresses the formation of production programs for contracting organizations engaged in railway construction. The study of modern contracting organizations' construction activities reveals their strategic objectives and their impact on the final outcome. The current situation promotes the adoption of flexible mechanisms to address organizational and technological challenges in railway construction. In this regard, the article proposes utilizing the capabilities of the engineering-intellectual support subsystem for technological processes within the engineering-technical support system for railway track construction. For this purpose, contemporary and prospective stages, as well as methods and tools for developing construction technological processes, were examined. A set of tasks was identified that, due to their high dimensionality and difficulty in formalization, necessitate the use of intelligent methods for their solution. These tasks include: technological justification of design solutions for railway track objects, development, resource provision, and

planning of railway construction technological processes. Within the framework of the practical application of the engineering-intellectual support subsystem for technological processes, computational and computational-logical models were developed. The resulting models served as the basis for experimental software modules-structural elements of an intelligent automated system. An example of the practical application of the intelligent automated system is considered, addressing the formation and execution of a production program for a construction (contracting) organization in building a railway embankment on weak ground.

The results presented in the article were obtained during the author's dissertation research.

**Keywords:** production program; contracting organization; technological process; railway construction; embankment; railway track object; artificial intelligence methods

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

Стремление к модернизации существующей сети железных дорог, развитие национальных проектов в сфере железнодорожной инфраструктуры предъявляет повышенные требования строительным (подрядным) организациям (СПО), работающим в сфере транспортного строительства.

Особенностью текущей ситуации является преобладание краткосрочной стратегии максимизации прибыли у многих СПО, что зачастую затмевает долгосрочные перспективы, репутацию и качество работ. Экономия, к сожалению, часто становится приоритетом над качеством и долговечностью, а на стадии подготовки организационно-технологической документации (ОТД) решения принимаются, руководствуясь прежде всего ценой, а не техническими требованиями.

Такой подход порождает порочный круг: заниженная стоимость строительства вынуждает СПО экономить, в частности, на технологии производства работ и используемых ресурсах, а также игнорировать нормативные требования и технологические регламенты. Все это приводит к неизбежным последствиям: пролонгации сроков строительства, снижению качества работ, возникновению дефектов, а в конечном итоге — к несоответствию готового объекта железнодорожного пути (ОЖДП) запланированным параметрам и понижению его долговечности.

Несоответствие качества работ ожиданиям заказчика приводит к частым случаям разрыва договорных отношений. Заказчик, обнаружив нарушения или несоответствие работы техническому заданию, использует право на замену недобросовестной СПО. Это приводит к дополнительным затратам времени и средств, а также к риску дальнейшего снижения качества работ, поскольку новая СПО может столкнуться с наследием предыдущих ошибок. Более того, частая смена СПО нарушает последовательность производственного процесса, что еще больше ухудшает ситуацию.

Для решения проблемы необходим комплексный подход, включающий совершенствование системы подготовки производственной программы и соблюдения технологических регламентов. Необходимо внедрять средства интеллектуализации чтобы усилить роль разработчиков ОТД, обеспечив разработку высококачественной производственной программы, включающей детальную техническую документацию и реалистичную оценку стоимости работ. Важной также является интеллектуализация наблюдения и управления производством работ на всех этапах строительства, что позволит своевременно выявлять

отклонения от проектных требований и предотвращать негативные последствия.

Производственная программа СПО включает две стадии [1; 2]:

1. Формирование производственной программы, распределение программы по плановым временным периодам, расчеты календарно-плановых нормативов потребности ресурсов.
2. Оперативное управление строительным производством.

В целом, для достижения целей государственной программы строительства железных дорог необходимо создать условия для формирования производственной программы СПО и управления ее реализацией. Интенсивная цифровизация и интеллектуализация проектно-строительной деятельности в России позволяет предложить ряд решений по указанным направлениям. Далее, в рамках настоящей статьи, будет описан процесс формирования производственной программы СПО как составной части системы инженерно-технического сопровождения (ИТС) железнодорожного строительства (ЖДС). А основу формирования составят результаты теоретического исследования и пути практического применения подсистемы инженерно-интеллектуального обеспечения технологических процессов (ИИОТП) ЖДС [3; 4].

## **1. Теоретические основания интеллектуализации производственной программы подрядной организации**

### **1. Theoretical foundations for the intellectualization of the production program of a contracting organization**

В условиях усиления и усложнения строительства железных дорог, особенно важной становится хорошо организованная система подготовки производства с технологической точки зрения. Планирование ЖДС требует точного представления не только о характере работ, но и о ключевых особенностях производства. Решение таких масштабных и динамических задач организационно-технологической подготовки ЖДС не может быть достигнуто только с помощью традиционных проектных расчетов. Это потребует использования автоматизированных вычислительных и интеллектуальных систем, разработка которых является одной из актуальных и благодарных задач в современной строительной науке. Очевидно, что решение таких задач будет поэтапным, так как информация об условиях строительства и ОЖДП будет постепенно пополняться. Однако важно обеспечить внутреннюю согласованность технологических решений на этапах разработки производственной программы.

Это означает, что основные положения и позиции должны быть последовательно развиты на каждом этапе [2; 5–7].

Необходимо, чтобы важные вопросы, решаемые на этапах разработки производственной программы СПО, находили свое продолжение и детализацию в рамках инженерно-технического сопровождения (ИТС) ЖДС.

Такой подход может быть реализован с помощью этапных автоматизированных систем железнодорожного строительства. Важно также не упустить возможности математического моделирования с помощью систем искусственного интеллекта, которые могут значительно расширить информацию о производственных условиях.

Интеллектуализация производственной программы СПО — это перспективное направление, радикально меняющее подход к проектированию и реализации технологических процессов строительства объектов железнодорожного пути (ОЖДП).

Переход к единой информационной среде ИТС ЖДС позволяет оптимизировать все этапы, от начального проектирования до завершающей приемки, повышая эффективность и снижая риски.

Ключевым элементом этой трансформации является подсистема ИИОТП. Эта подсистема, основанная на анализе современной и перспективной инженерной практики, представляет собой сложную структуру, включающую в себя несколько взаимосвязанных модулей.

Ее функционирование опирается на передовые средства искусственного интеллекта, такие как экспертные системы, искусственные нейронные сети и методы эволюционной оптимизации [3; 4; 8; 9].

Подсистема ИИОТП направлена на решение широкого спектра задач, важных для эффективного строительства ОЖДП. К ним относятся [3; 4]:

- технологическое обоснование конструктивных решений ОЖДП, включающее анализ характеристик грунта, климатических условий, планируемых нагрузок и другие факторы, предлагая конструктивные решения, учитывающие требования надежности, долговечности и экономичности;
- определение номенклатуры строительных работ, включающее формирование перечня необходимых строительных работ, на уровне простых процессов;
- планирование ресурсов технологического процесса с учетом номенклатуры, объемов и условий производства работ;

- оптимизация организационной структуры технологического процесса, включающая моделирование вариантов организации работ с учетом планируемых ресурсов (персонала, технических средств) и времени для определения наиболее эффективного порядка выполнения работ;
- разработка технологических схем производства работ с учетом данных, полученных в рамках разработки, моделирования и оптимизации технологического процесса;
- формирование адаптивного цифрового технологического регламента (АЦТР), включающего результаты разработки технологического процесса с возможностью гибкой подстройки к изменяющимся условиям производства работ, а также последующей интеграции с системами управления проектами, BIM (Building Information Modeling), 4D-моделированием;
- мониторинг и регулирование технологического процесса, включающие отслеживание хода работ путем сравнения фактических данных с плановыми показателями, оценкой производственной ситуации и прогнозом ее развития для последующей выработки регулирующего решения и его применения;
- наличие механизма обратной связи позволяет уточнять модель технологического процесса и адаптировать выполнение работ к реальным условиям.

## **2. Методические подходы к решению задач разработки технологических процессов в железнодорожном строительстве в автоматизированном и интеллектуальном режимах**

### **2. Methodological approaches to solving the problems of developing technological processes in railway construction in automated and intelligent modes**

Целью применения подсистемы ИИОТП в рамках разработки производственной программы СПО является интеллектуализация разработки и реализации технологического процесса строительства ОЖДП.

На рисунке 1 показано информационное взаимодействие между современной и перспективной инженерными практиками разработки и реализации технологического процесса.



**Рисунок 1.** Современная и перспективная инженерная практика формирования и выполнения производственной программы СПО с позиции инженерно-интеллектуального обеспечения технологического процесса строительства ОЖДП (разработано автором)

**Figure 1.** Contemporary and prospective engineering practice of forming and implementing the production program of a contracting construction organization from the perspective of engineering-intelligent support for the technological process of railway track facility construction (developed by the author)

На рисунке 1 также показаны средства искусственного интеллекта, направленные на решение определенных задач в рамках блока. В данном случае средства искусственного интеллекта являются связками между

расчетными процедурами на каждом этапе и позволяют обеспечить интеллектуальный режим. Именно это обстоятельство определяет ИИОТП как перспективную компоненту производственной программы СПО [3; 4; 9; 10].

Формирование производственной программы осуществляется в рамках этапа «Т. Проектный технологический процесс», который предполагает реализацию процедуры разработки технологического процесса строительства ОЖДП (рисунок 1, блоки Т.1–Т.28). Решения, принятые на данном этапе, являются отправной точкой для разработки технологического процесса. Здесь показано взаимодействие современной (рисунок 1, блоки Т.1–Т.16, Т.23, ТП) и перспективной (рисунок 1, блоки Т.17–Т.22, Т.24) практик разработки технологического процесса. Также показаны возможности обеспечения взаимодействия с современными методами управления строительством, в том числе с автоматизированными системами проектирования и управления (рисунок 1, блоки Т.25, Т.26). Осветленная область на рисунке 1 относится к решению задач *выполнения* производственной программы СПО и будет рассмотрена в другой публикации.

Для внедрения ИИОТП создан прототип интеллектуальной автоматизированной системы (ИАС), которая состоит из экспериментальных программных модулей (ЭПМ) и баз данных, взаимодействующих между собой. Подробное описание функционала каждого ЭПМ требует отдельного развернутого описания. Однако важно отметить, что ИАС представляет собой сложный комплекс, требующий высокой степени интеграции и масштабируемости, чтобы эффективно управлять большими объемами данных и обеспечивать бесперебойную работу на всех этапах разработки и выполнения производственной программы.

Повышение уровня автоматизации процессов проектирования и их интеллектуализации обеспечивается введением в состав ИАС экспертных систем, искусственных нейронных сетей и алгоритма генетической оптимизации, расположение которых в схеме отражает условный переход от вариантного проектирования технологических процессов к интеллектуальному сопровождению строительства ОЖДП. Применение средств искусственного интеллекта позволяет увязать в автоматизированном режиме процедуры разработки и реализации технологического процесса и обеспечит возможность его оперативной корректировки при выполнении производственной программы СПО.

Преимущества интеграции разрабатываемых положений, в частности ИАС, в существующую систему разработки и выполнения производственной программы СПО на основе описанных взаимодействий состоят в следующем [4]:

- упрощение уже существующих систем подготовки ОТД строительного периода;
- повышение оперативности подготовки организационно-технологической документации строительного периода;
- оптимизация использования ресурсов технологических процессов;
- установление единой базы для непрерывного улучшения показателей исполнения технологических процессов;
- создание всех необходимых условий для осуществления деятельности по планированию, мониторингу, корректировке технологических процессов;
- 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. Практические аспекты формирования производственной программы подрядной организации с применением интеллектуальной автоматизированной системы**

#### **3. Practical aspects of forming the production program of a contracting organization using an intelligent automated system**

В основу формирования и выполнения производственной программы СПО заложены этапы реализации ИИОТП строительства ОЖДП. Выявленные в результате проведенного анализа существующих методов разработки технологических процессов задачи позволили разработать состав и структуру ИАС, включающую подсистему: «Технология», которая состоит из ЭПМ, баз данных, баз знаний, выборки данных [3; 4; 8; 9].

В рамках этапа разработки технологического процесса подсистема «Технология» представлена ЭПМ: «Исходные данные», «Нормативно-технические данные», «Конструкция», «Техструктура», «Техпараметры», «Ресурсы», «Оптимизация», «Техрегламент», «ОргТехСхема». В информационное поле этих модулей входят одноименные базы данных. При этом первые три служат основой для разработки технологического процесса, а остальные служат для сохранения результатов разработки.

В задачи подсистемы «Технология» входит подготовка исходных данных (включающие результаты проектирования ОЖДП, возможности СПО, условия производства работ и пр.), нормативно-технические требования, технологическое обоснование ОЖДП, определение номенклатуры строительных работ, решение задач ресурсобеспечения технологического процесса, формирование и оптимизация организационной структуры технологического процесса, формирование адаптивного цифрового технологического регламента. На основании полученных результатов определяется технологическая схема производства работ.

Основным положением, используемым при формировании концептуальной модели ИАС, является то, что исходной информацией для разработки и реализации технологического процесса 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 формирования и выполнения производственной программы СПО для строительства ОЖДП, должно обеспечить не только разработку технологического процесса, но и его оперативную адаптацию к конкретным условиям ЖДС [3; 4].

Далее будет описано применение ИАС для формирования и исполнения производственной программы СПО, на примере разработки и реализации технологического процесса строительства ОЖДП. Для этого будут продемонстрированы фрагменты работы ЭПМ, входящих в состав ИАС. В качестве примера в данной работе рассмотрен участок длиной 500 м, расположенный на двухпутной железнодорожной линии. На рисунке 2 показан поперечный профиль насыпи ЖДЗП.

На участке присутствует почвенно-растительный (плодородный) слой грунта толщиной 0,3 м. Предусмотрено усиление основания насыпи двумя слоями геотекстиля и укладка гидроизоляционной мембраны.

Геологическое строение основания для насыпи на участке представлено третьей категорией сложности инженерно-геологических условий, вследствие распространения карстовых процессов.

Карстовые полости встречаются на различной глубине, по данным бурения не превышают 0,8–1,5 м. Для повышения прочности и устойчивости насыпи предусмотрена замена грунта слабого основания.

Для технологического обоснования конструктивного решения ОЖДП в автоматизированном режиме предназначены ЭПМ «Исходные данные», «Нормативно-технические данные», «Конструкция» и «Техструктура».

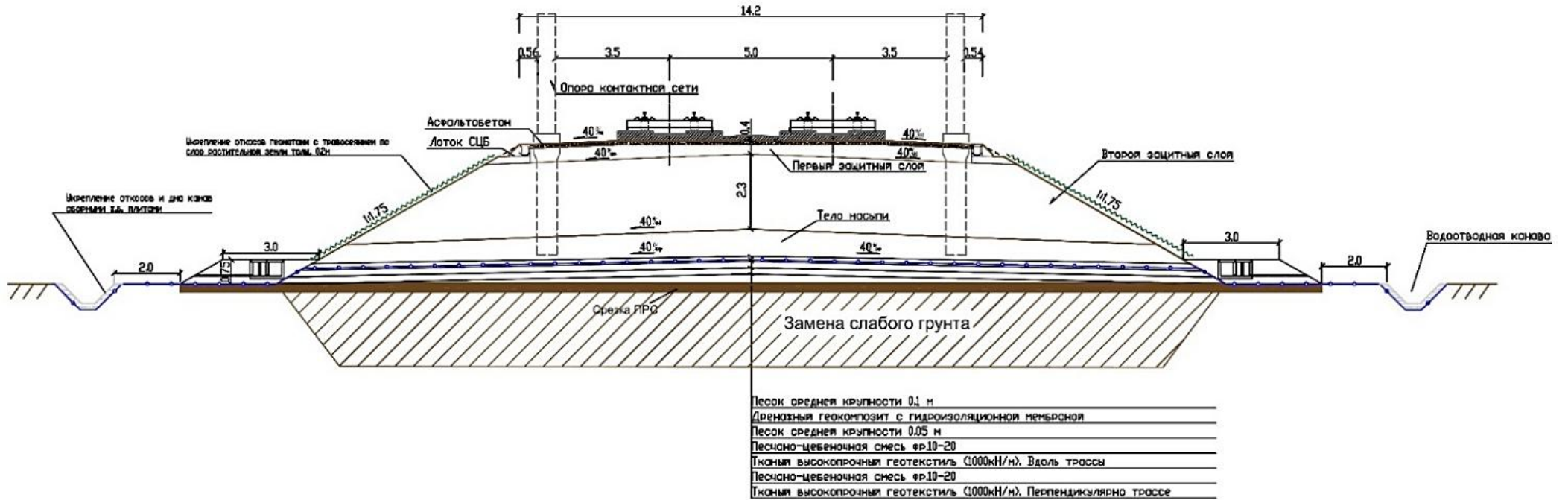
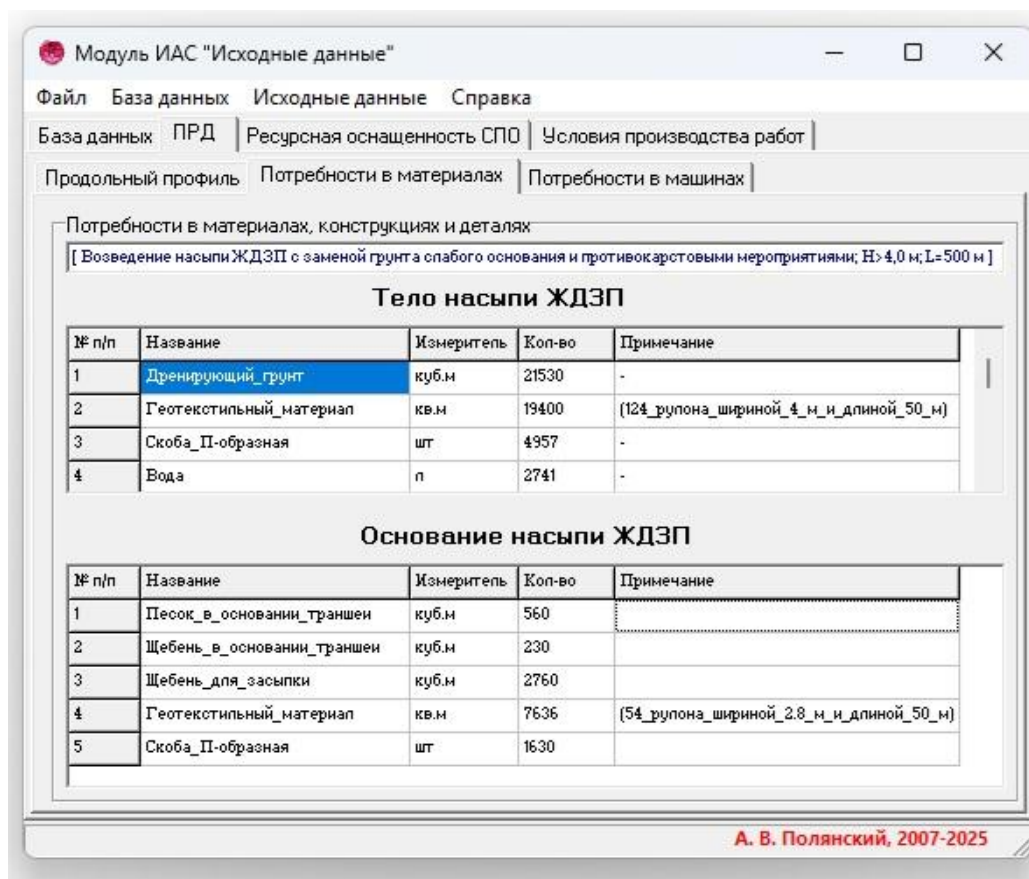


Рисунок 2. Поперечный профиль насыпи высотой более 4 м на слабом основании (разработано автором)

Figure 2. Cross-section of an embankment higher than 4 m on weak subgrade (developed by the author)

ЭПМ «Исходные данные» содержит информацию по следующим категориям (рис. 3):

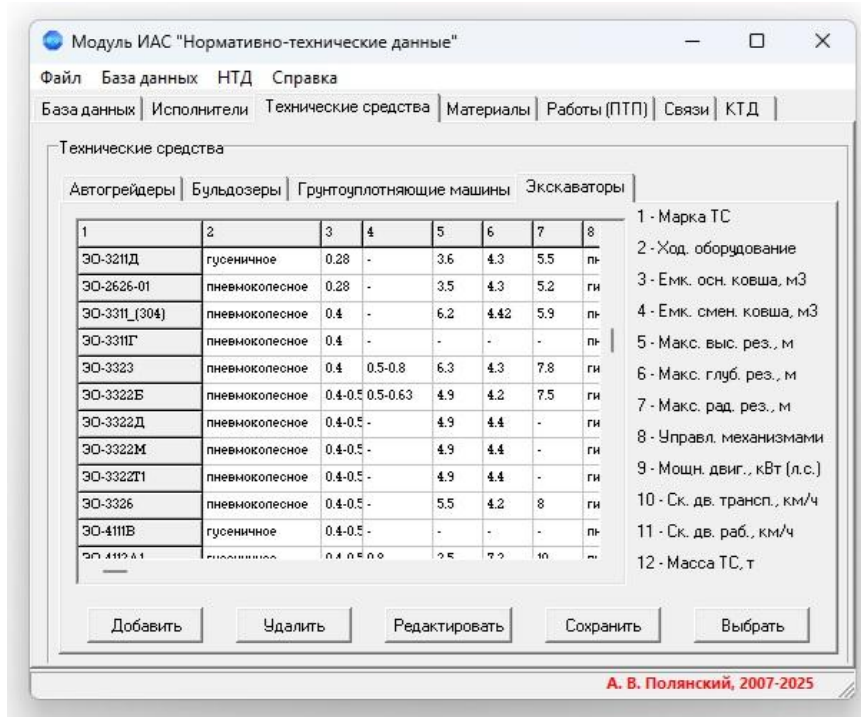
- принятые решения, полученные в результате разработки проектной и рабочей документации: характеристика рассматриваемого участка линии; технические параметры продольного профиля и плана; потребности в материалах;
- ресурсная оснащенность СПО: информация о технологических возможностях оборудования, средствах технического оснащения, сведения о трудовых ресурсах, квалификации исполнителей, составах бригад и др.;
- сведения о природно-климатических, инженерно-геологических и гидрогеологических условиях района строительства.



*Рисунок 3. Фрагмент работы ЭПМ «Исходные данные», режим «Проектная и рабочая документация — Потребности в материалах» (разработано автором)*

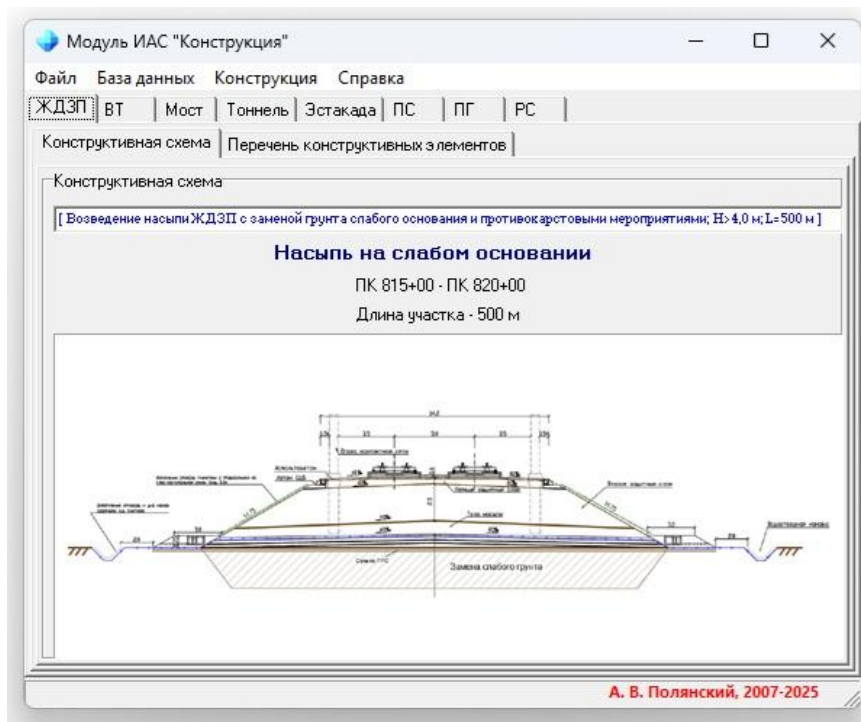
*Figure 3. Fragment of the operation of the experimental software module «Initial data», mode «Design and construction documentation — Material requirements» (developed by the author)*

ЭПМ «Нормативно-технические данные» содержит технические и технологические описания (рис. 4): ресурсов: исполнители, технические средства (по видам машин), работ, технологических связей между работами.



**Рисунок 4.** Фрагмент работы ЭПМ «Нормативно-технические данные», режим «Технические средства — Экскаваторы» (разработано автором)

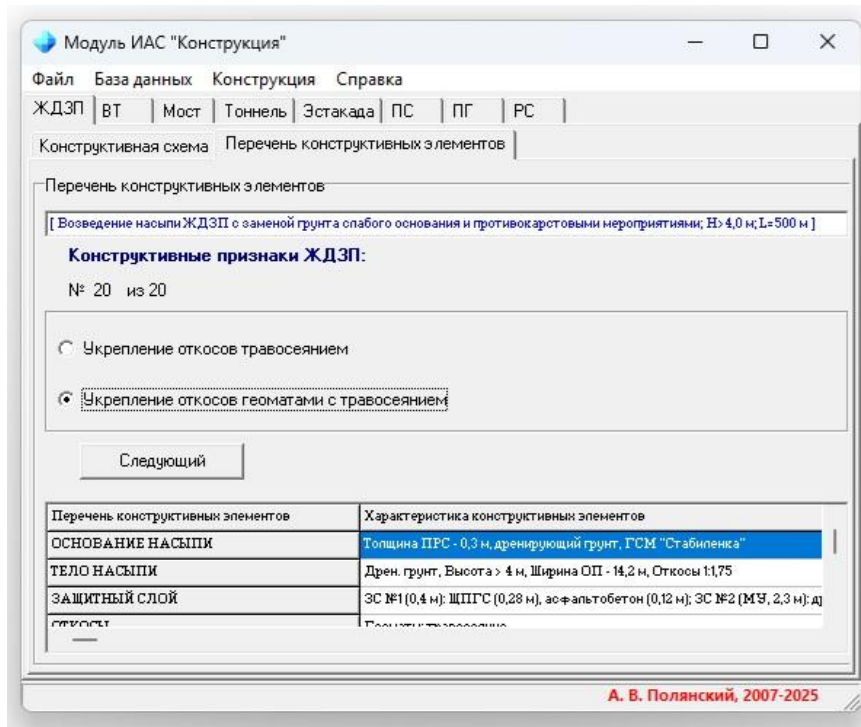
**Figure 4.** Fragment of the operation of the experimental software module «Regulatory and technical data», mode «Technical equipment — Excavators» (developed by the author)



**Рисунок 5.** Фрагмент работы ЭПМ «Конструкция», режим «Железнодорожное земляное полотно — Конструктивная схема» (разработано автором)

**Figure 5.** Fragment of the operation of the experimental software module «Construction», mode «Railway earth bed — Structural scheme» (developed by the author)

ЭПМ «Конструкция» позволяет в автоматизированном режиме осуществить декомпозицию ОЖДП на конструктивные элементы. Для примера практической реализации процедуры технологического обоснования конструктивного решения ОЖДП рассмотрен поперечный профиль насыпи ЖДЗП на слабом основании (рис. 5, 6).



*Рисунок 6. Фрагмент работы ЭПМ «Конструкция», режим «Железнодорожное земляное полотно — Перечень конструктивных элементов» (разработано автором)*

*Figure 6. Fragment of the operation of the experimental software module «Construction», mode «Railway earth bed — List of structural elements» (developed by the author)*

ЭПМ «Техструктура», в основе которого лежит экспертная система продукционного типа, позволил получить последовательность строительных работ, учитывая технологические, погодные-климатические, геологические и другие ограничения, а также условия производства работ (рис. 7) [4].

Традиционные методы проектирования ОЖДП часто страдают от неполного учета многочисленных факторов, а экспертная система способна обрабатывать большие объемы данных, анализировать множество вариантов и выбирать оптимальное решение с учетом всех заданных параметров [4; 9; 11].

Внедрение экспертной системы в процесс технологического обоснования конструктивного решения ЖДЗП способствовало решению сложной задачи, обеспечив оперативную разработку и адаптацию технологического процесса под условия формируемой производственной программы. Это особенно актуально для меняющихся условий производства

работ, геологических, гидрологических, природно-климатических условий, а также ограничений, связанных с экономическими параметрами.

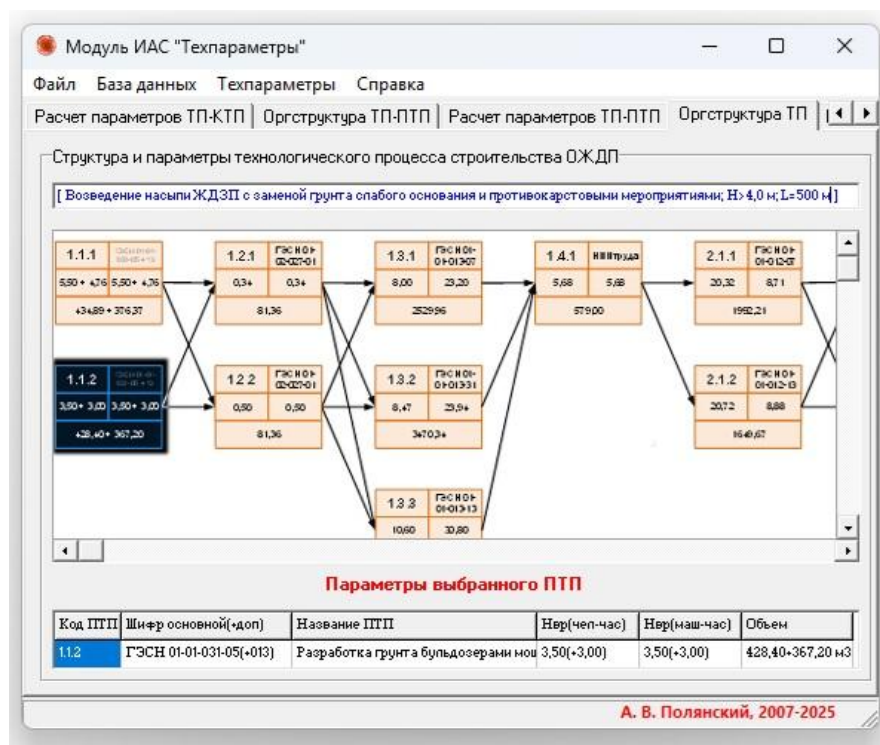
№	Названия работ (ППП)	Названия КЭ	КЭ -> ППП
5	НИИтруда. Транспортирование ПРС автомобилями-самосвалами. 100 м3. 5,68 маш-ч.	Есть ПРС	12
6	ГЭСН 01-01-036-03. Выравнивание основания бульдозером. 1000 м2. 5,91 маш-час	Полная замена гру	27
7	ГЭСН 01-02-001-03. Послойное уплотнение катком на пневмошинах. 1000 м3. 1,11 маш-ч	Полная замена гру	34
8	1 вариант. ГЭСН 01-01-045-01. Устройство дорожных насыпей грейдер-элеваторами.	---	0
9	2 вариант. ГЭСН 01-01-045-01. Устройство дорожных насыпей бульдозерами. 1000 м3	Защитный слой	41
10	1 вариант. ГЭСН 01-01-048-01. Разработка продольных водоотводных и нагорных кан	Водоотводные кан	43
11	2 вариант. ГЭСН 01-01-048-01. Разработка продольных водоотводных и нагорных кан.	---	0
12	1 вариант. ГЭСН 01-01-047-01. Устройство сливной призмы и кюветов в выемках экс	Сливная призма	49
13	2 вариант. ГЭСН 01-01-047-01. Устройство сливной призмы и кюветов в выемках булл	---	0
14	3 вариант. ГЭСН 01-01-047-01. Устройство сливной призмы и кюветов в выемках авт	---	0
15	1 вариант. ГЭСН 01-02-027-01. Планировка поверхности со срезкой неровностей булл	---	0
16	2 вариант. ГЭСН 01-02-027-01. Планировка поверхности со срезкой неровностей авт	---	0
17	ГЭСН 27-04-001-01. Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований и	Геотекстиль	57
18	ГЭСН 27-04-003-01. Устройство оснований и покрытий из щебеночно-песчаных смес	Геотекстиль	58
19	ГЭСН 27-04-016-04. Устройство прослойки из синтетического материала. 1000 м2. 3	Геотекстиль	59
20	ГЭСН 01-02-030-01. Устройство уступов в основании насыпей бульдозером. 100 м2. 2	---	0
21	1 вариант. ГЭСН 01-02-042-01. Устройство ступов в основании насыпей бульдозером	Числовая оценка	51

*Рисунок 7. Фрагмент работы ЭПМ «Техструктура», режим «Результаты экспертизы» (разработано автором)*

*Figure 7. Fragment of the operation of the experimental software module «Techstructure», mode «Expertise results» (developed by the author)*

Важнейшим преимуществом используемой в данном случае продукционной модели представления знаний является её гибкость и возможность расширения. База знаний экспертной системы постоянно пополняется, что позволяет ей решать все более сложные задачи и адаптироваться к новым технологиям и материалам [11]. Например, включение информации о новых видах геосинтетических материалов или совершенствовании методов укрепления грунтов позволяет автоматически рассматривать эти варианты в процессе разработки технологического процесса. Кроме того, продукционная модель позволяет четко формализовать инженерные правила и экспертный опыт, обеспечивая повторяемость и надежность результатов. При этом система предоставила не только определенный перечень работ, но и обоснование своего выбора, что позволяет разработчикам ОТД проверить результаты и принять окончательное решение.

Полученные с применением ЭПМ «Техструктура» результаты были переданы в ЭПМ «Техпараметры», что позволило сформировать организационную структуру технологического процесса, за счет установленных технологических связей (рис. 8) [4].



**Рисунок 8.** Фрагмент работы ЭПМ «Техпараметры», режим «Оргструктура ПП» (разработано автором)

**Figure 8.** Fragment of the operation of the experimental software module «Tech parameters» mode «Organizational structure of the technological process» (developed by the author)

Далее в ЭПМ «Ресурсы» решается задача, связанная с планированием обоснованного набора ресурсов (исполнителей работ и технических средств) для реализации технологического процесса возведения насыпи ЖДЗП.

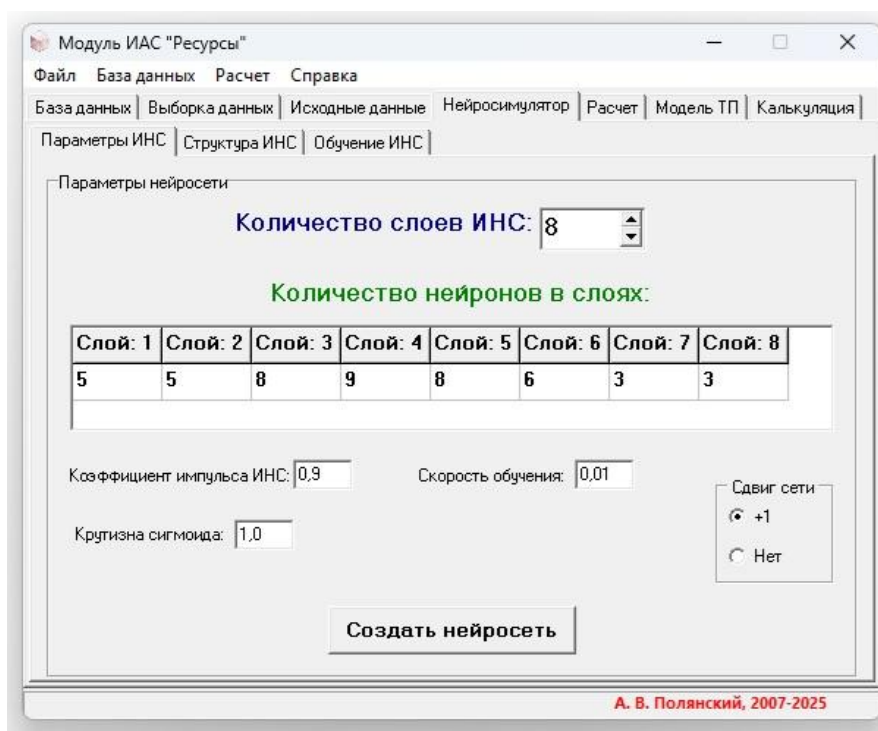
Оперативность принятия решений, учет специфики работы СПО, а также многочисленные ограничения, связанные с доступностью ресурсов, погодными факторами и технологическими требованиями, делают ручное планирование чрезвычайно трудоёмким [12].

Учитывая размерность задачи и ряд ограничений, для ее решения используется искусственная нейронная сеть (ИНС).

Разработанная расчетно-логическая модель нейросетевого планирования ресурсообеспечения технологического процесса возведения насыпи решает эту проблему, предлагая эффективный аналитический подход. Ключевым элементом модели является ИНС, специально обученная на данных, отражающих различные варианты ресурсного обеспечения работ

входящих в состав технологического процесса. Обучающая выборка сформирована на основе данных о выполненных проектах, включая информацию о типах работ, необходимых ресурсах (количество рабочих, единицы техники, объемы материалов), продолжительности работ, погодных условиях, геологических особенностях местности, и, что особенно важно, о фактических затратах времени и ресурсов. В зависимости от архитектуры используемой ИНС, модель способна учитывать сложные взаимосвязи между различными факторами, которые не всегда очевидны для традиционных методов планирования. Например, модель может учитывать влияние погодных условий не только на продолжительность конкретной работы, но и на доступность определенного типа техники или на качество используемых материалов.

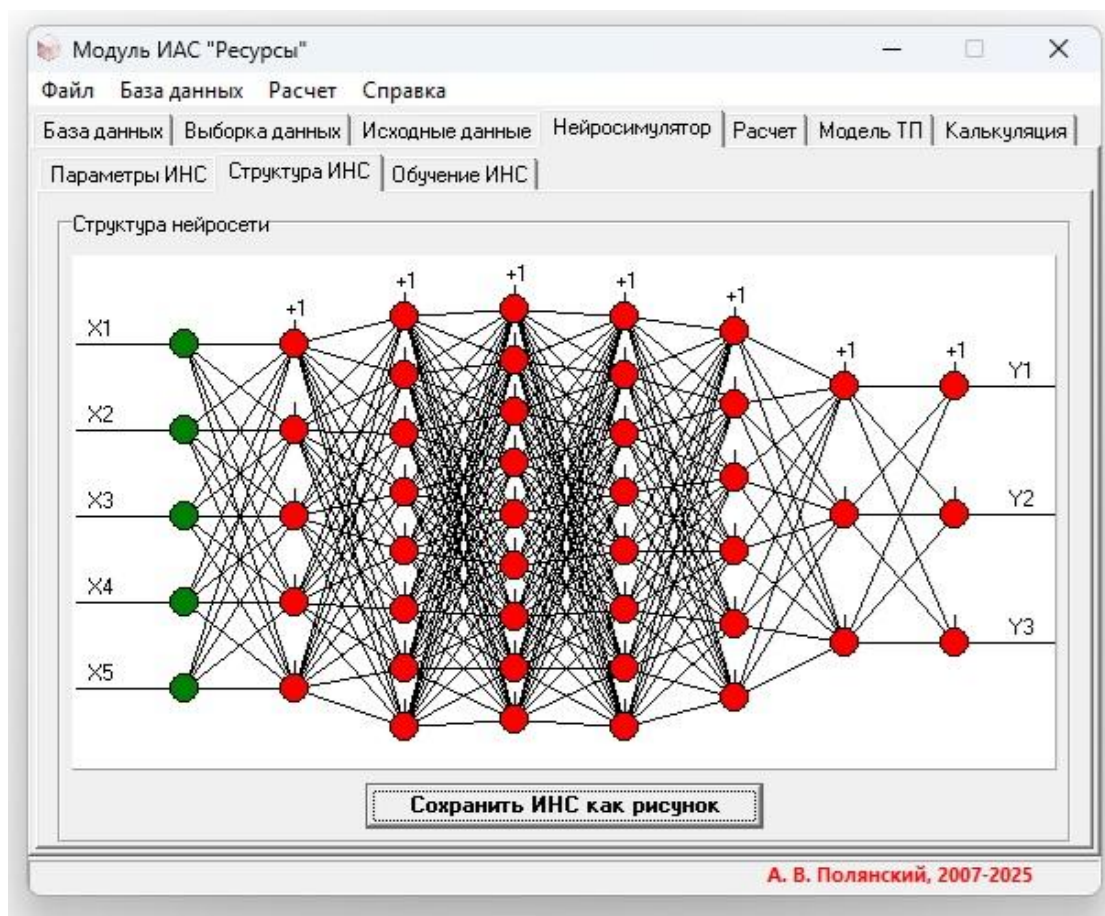
На рисунке 9 представлен фрагмент работы модуля ИАС «Ресурсы» вкладки «Нейросимулятор-Параметры ИНС». Здесь задаются основные параметры ИНС: количество слоев, количество нейронов в слоях, коэффициент импульса, крутизна сигмоидной функции, скорость обучения и сдвиг сети. Параметры определяют количество входных данных (слой 1), выходных параметров (слой 8) и количество скрытых слоев и нейронов в них. Данные параметры необходимы для формирования структуры сети и ее последующего обучения [4; 8; 13; 14].



**Рисунок 9.** Фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы», вкладки «Нейросимулятор-Параметры ИНС» (разработано автором)

**Figure 9.** Fragment of the operation of the experimental software module «Resources», tab «Neurosimulator — artificial neural networks parameters» (developed by the author)

На рисунке 10 представлен фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы» вкладки «Нейросимулятор-Структура ИНС». Вкладка содержит графическое изображение структуры ИНС, сформированной по результатам теоретического исследования и заданных параметров на вкладке «Параметры ИНС».

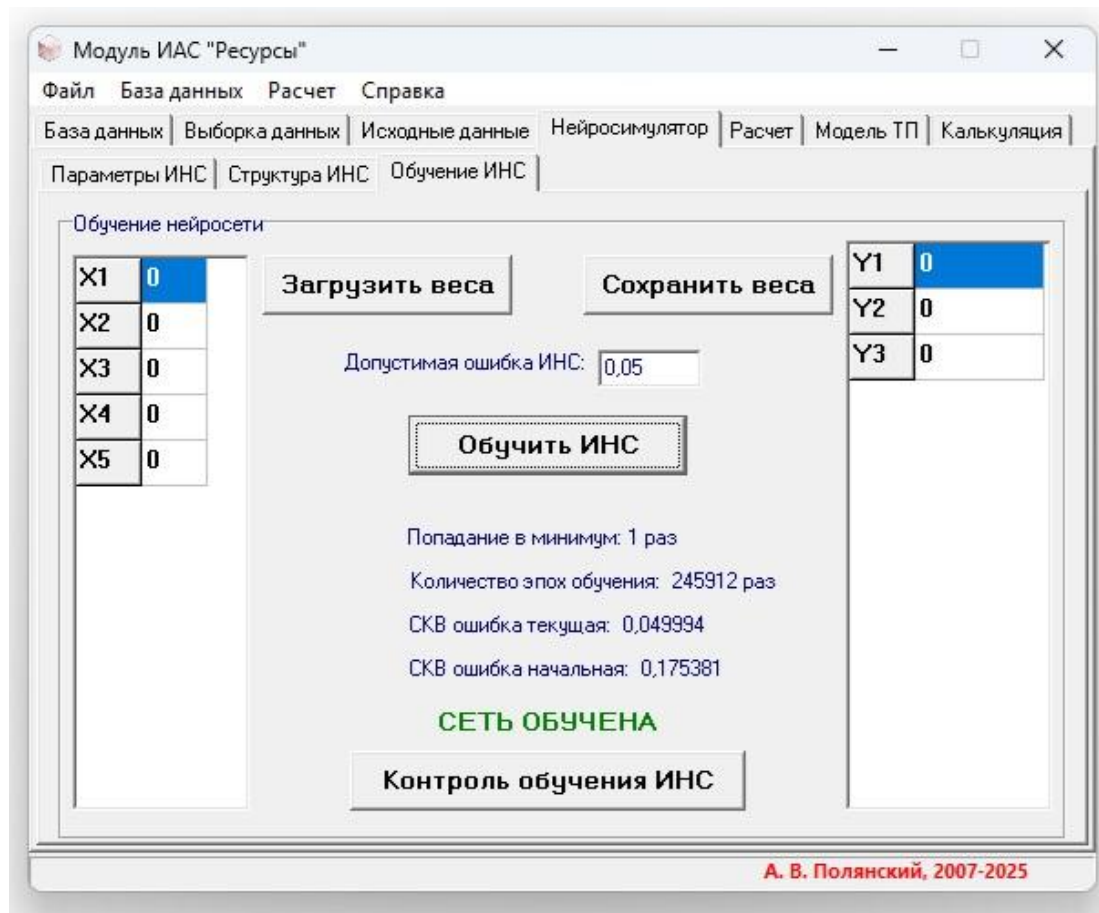


*Рисунок 10. Фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы», вкладка «Нейросимулятор-Структура ИНС» (разработано автором)*

*Figure 10. Fragment of the operation of the experimental software module «Resources», tab «Neurosimulator — artificial neural networks structure» (developed by the author)*

На рисунке 11 представлен фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы» вкладки «Нейросимулятор-Обучение ИНС». Здесь предоставлена возможность обучить ИНС и осуществить контроль обучения путем ввода входных данных, например, из тестирующей выборки. Применительно к рассматриваемой топологии ИНС обучение было завершено на 245 912 эпохе, а среднеквадратичная ошибка составила 0,049994 при допустимой ошибке обучения ИНС 0,05 [4].

На вкладке «Обучение ИНС» предусмотрена возможность сохранения синаптических весов нейронных связей с целью использования результатов обучения для планирования ресурсов технологического процесса. Для этого имеется возможность загрузки синаптических весов.

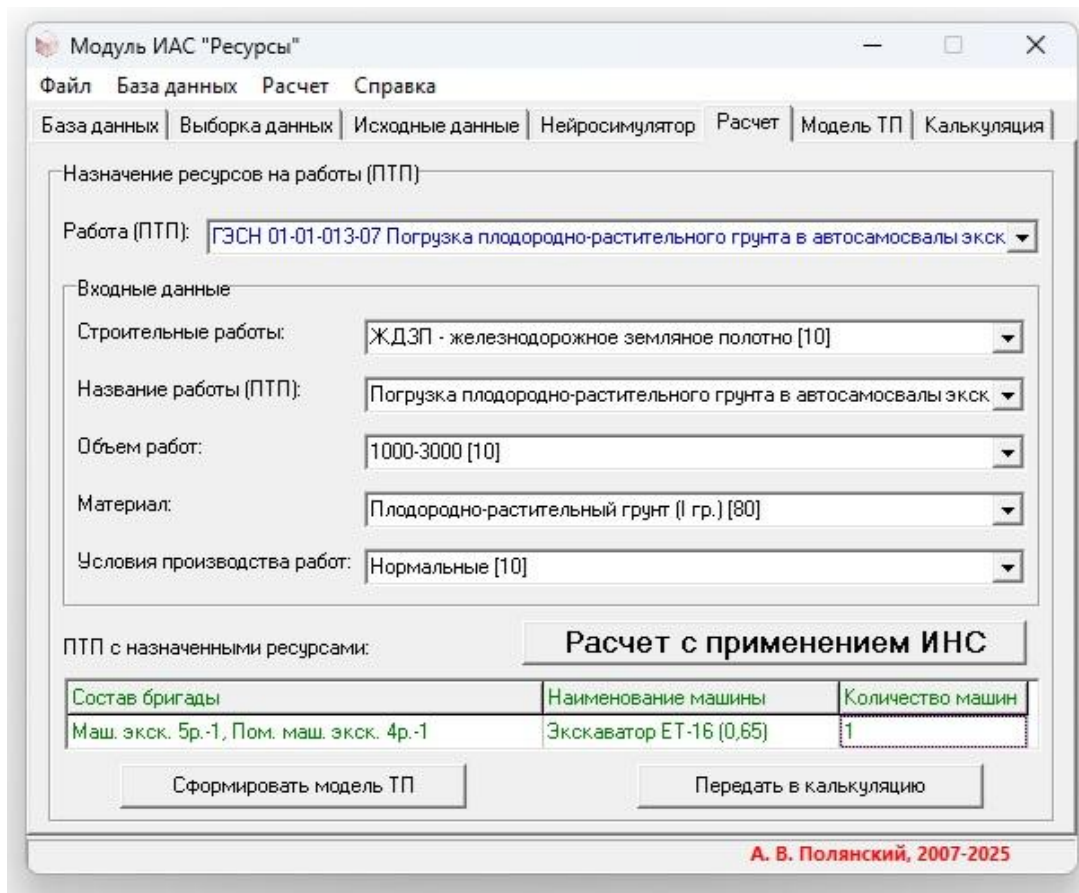


*Рисунок 11. Фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы», вкладка «Нейросимулятор-Обучение ИНС» (разработано автором)*

*Figure 11. Fragment of the operation of the experimental software module «Resources», tab «Neurosimulator — artificial neural networks training» (developed by the author)*

Следует отметить, что обучение ИНС достаточно провести один раз (при условии достижения качественных показателей обучения) и затем только пользоваться полученными значениями синаптических весов нейронных связей. Однако появление у СПО новых ресурсных возможностей или их сокращение скорее всего потребует внесения изменений в выборку данных [4; 8; 15]. В этом случае потребуется переобучить ИНС. Это необходимая мера, так как будет обеспечена адекватность в планировании ресурсов ТП.

На рисунке 12 представлен фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы» вкладка «Расчет». На данном этапе работы модуля осуществляется применение результатов обучения ИНС. Для этого последовательно обрабатываются работы, полученные с помощью программного ЭПМ «Техструктура», путем заполнения (выбора из списка) полей в группе «Входные данные». После нажатия на кнопку «Расчет с применением ИНС» предлагается вариант ресурсного обеспечения строительных работ.



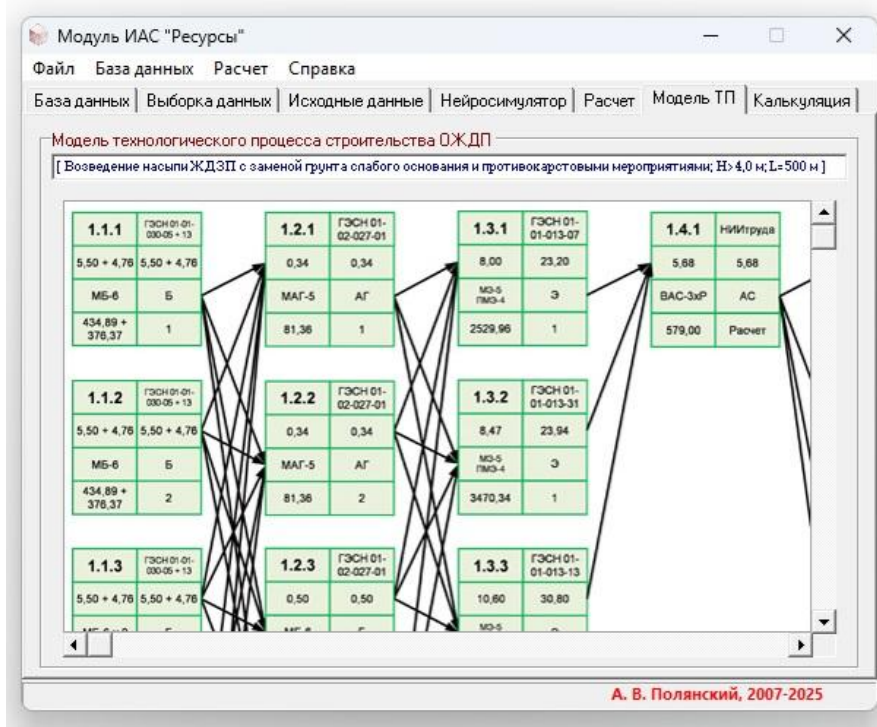
**Рисунок 12.** Фрагмент работы ЭПМ  
«Ресурсы», вкладка «Расчет» (разработано автором)

**Figure 12.** Fragment of the operation of the experimental  
software module «Resources», tab «Calculation» (developed by the author)

После завершения обработки всех работ предусмотрена возможность формирования графовой модели организационной структуры технологического процесса и передача результатов в калькуляцию затрат труда и расчета стоимости работ на строительство ОЖДП [4; 8].

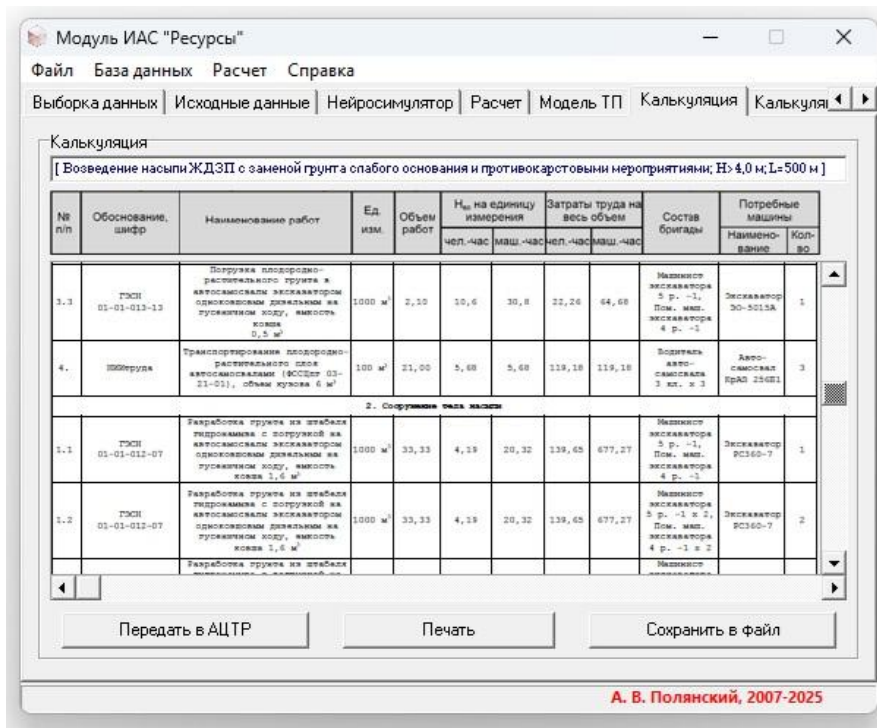
На рисунке 13 представлен фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы» вкладка «Модель ТП». Вкладка содержит графовую модель организационной структуры технологического процесса возведения насыпи на слабом основании. Данная модель представлена в виде технологически связанных между собой вершин — строительных работ с назначенными ресурсами.

На рисунке 14 представлен фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы» вкладка «Калькуляция». Данная вкладка предназначена для формирования в автоматизированном режиме калькуляции затрат труда и расчета стоимости работ на строительство ОЖДП с результатами планирования ресурсов. В рамках проводимого исследования калькуляция сформирована на сооружение насыпи на слабом основании [4].



**Рисунок 13.** Фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы», вкладка «Модель ТП» (разработано автором)

**Figure 13.** Fragment of the operation of the experimental software module «Resources», tab «Technological process model» (developed by the author)



**Рисунок 14.** Фрагмент работы ЭПМ «Ресурсы», вкладка «Калькуляция» (разработано автором)

**Figure 14.** Fragment of the operation of the experimental software module «Resources», tab «Calculation Sheet» (developed by the author)

Разработанная нейросетевая модель может быть адаптирована к различным типам строительных работ, учитывая специфику каждой производственной программы СПО. Это достигается путем дообучения ИНС на новых данных, что позволяет постоянно совершенствовать точность и эффективность планирования.

Полученная модель технологического процесса возведения насыпи предполагает различные варианты реализации с точки зрения ресурсного обеспечения каждой из работ. Здесь возникает потребность в поиске оптимальной структуры технологического процесса. Для решения этой задачи разработан ЭПМ «Оптимизация», в основе которого лежит эволюционное моделирование и многокритериальная оптимизация [4].

Существующие методы оптимизации часто сталкиваются с ограничениями в размерности задач и, что особенно критично, с трудностями учета многочисленных, часто противоречивых, критериев оптимизации. Поэтому для решения задач оптимизации технологических процессов строительства ОЖДП был выбран генетический алгоритм — инструмент направленного поиска в пространстве решений, способный эффективно справляться с высокоразмерными задачами и множеством критериев [4; 16].

Разработанная расчетно-логическая модель оптимизации технологического процесса позволяет определить оптимальную последовательность выполнения строительных работ, учитывая целый комплекс ограничений.

Это не только ресурсные ограничения (наличие техники, исполнителей), но и технологические (зависимости между отдельными этапами работ, требования к безопасности и качеству), организационные (графики работы персонала, логистика доставки материалов) и информационные (доступность данных, точность прогнозов).

Модель учитывает динамический характер распределения ресурсов: количество доступных машин, рабочих может меняться во времени, что существенно влияет на продолжительность строительства и общую стоимость выполнения производственной программы.

Для оценки эффективности эволюционной модели используется целевая функция (функция приспособленности), которая агрегирует различные критерии оптимизации в единый показатель. Выбор конкретной формы целевой функции зависит от приоритетов производственной программы [4; 17].

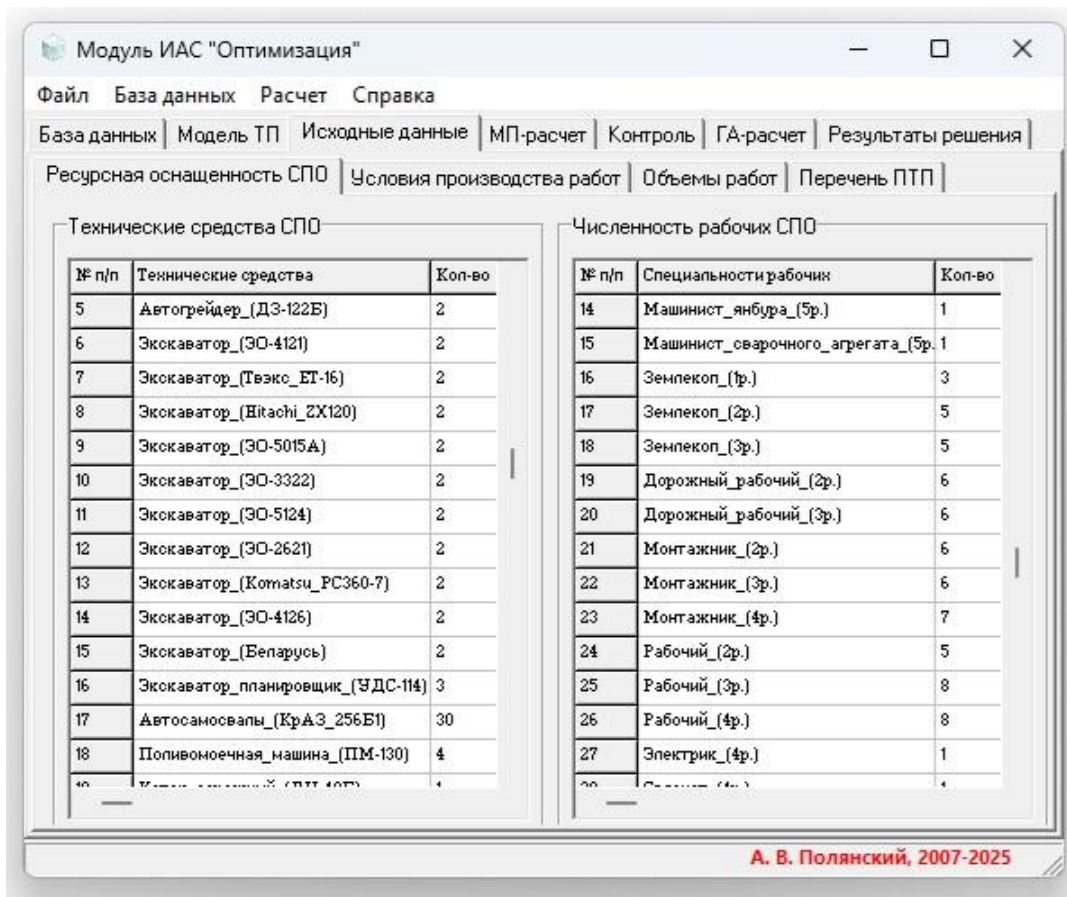
Например, в одном случае приоритетом может быть минимизация стоимости, в другом — количество рабочих, а в третьем — трудоемкости работ. В разработанной модели реализована возможность задания весовых

коэффициентов для разных критериев, что позволяет гибко настраивать оптимизацию под конкретные условия.

Реализация генетического алгоритма позволила оперативно найти оптимальную последовательность работ, минимизирующую стоимость, количество рабочих и трудоемкость строительства при соблюдении всех необходимых ограничений.

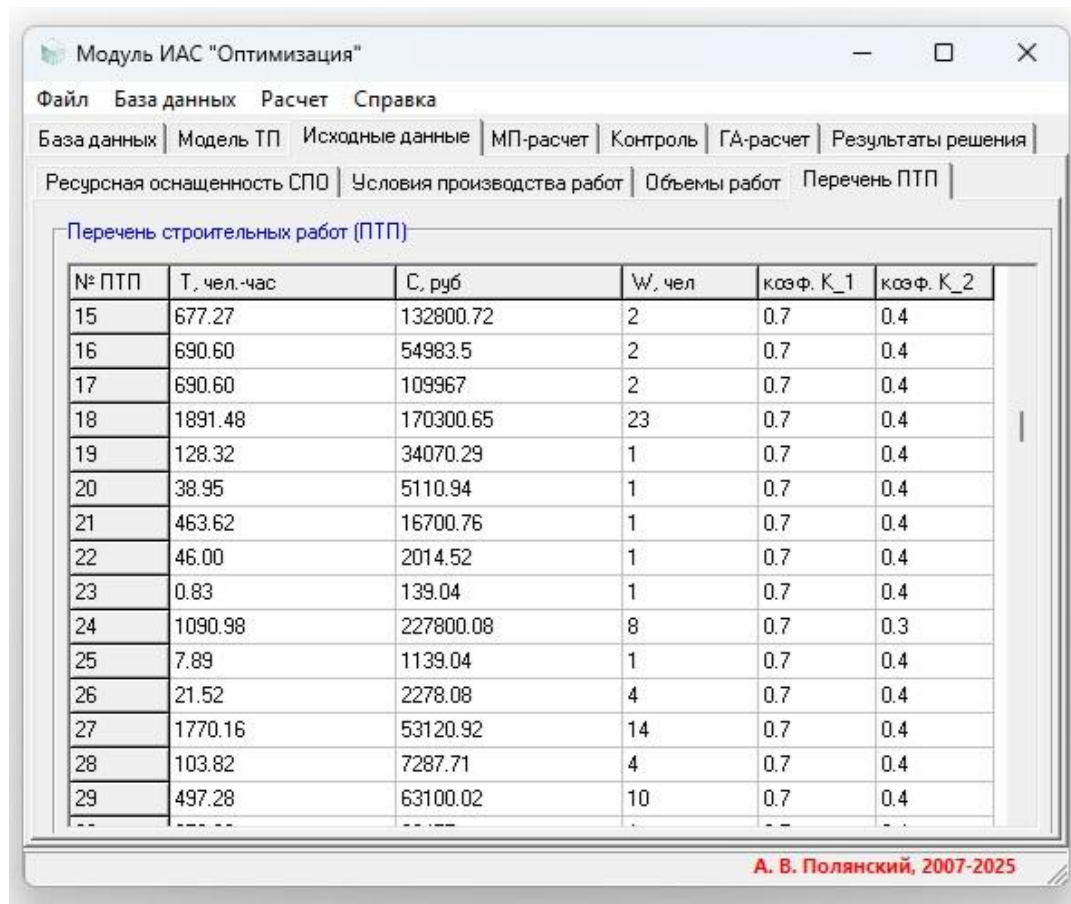
На рисунках 15–17 показаны фрагменты работы разработанного ЭПМ «Оптимизация», которые содержат исходные данные (ресурсную оснащенность СПО, объемы и условия производства работ), параметры генетического алгоритма и начальную популяцию решений задачи возведения насыпи.

Для решения задачи в соответствии с установленными критериями определены следующие ограничения: трудоемкость — 9 570 чел.-час, стоимость строительства — 1 691 тыс. руб., количество рабочих — 82 чел. [4].



*Рисунок 15. Фрагмент работы ЭПМ «Оптимизация», вкладка «Исходные данные-Ресурсная оснащенность СПО» (разработано автором)*

*Figure 15. Fragment of the operation of the experimental software module «Optimization», tab «Initial Data — Resource provision of the contracting organization» (developed by the author)*



Модуль ИАС "Оптимизация"

Файл База данных Расчет Справка

База данных | Модель ТП | Исходные данные | МП-расчет | Контроль | ГА-расчет | Результаты решения

Ресурсная оснащенность СПО | Условия производства работ | Объемы работ | Перечень ПТП

Перечень строительных работ (ПТП)

№ ПТП	T, чел.-час	C, руб	W, чел	коэф. K_1	коэф. K_2
15	677.27	132800.72	2	0.7	0.4
16	690.60	54983.5	2	0.7	0.4
17	690.60	109967	2	0.7	0.4
18	1891.48	170300.65	23	0.7	0.4
19	128.32	34070.29	1	0.7	0.4
20	38.95	5110.94	1	0.7	0.4
21	463.62	16700.76	1	0.7	0.4
22	46.00	2014.52	1	0.7	0.4
23	0.83	139.04	1	0.7	0.4
24	1090.98	227800.08	8	0.7	0.3
25	7.89	1139.04	1	0.7	0.4
26	21.52	2278.08	4	0.7	0.4
27	1770.16	53120.92	14	0.7	0.4
28	103.82	7287.71	4	0.7	0.4
29	497.28	63100.02	10	0.7	0.4
--	---	---	-	--	-

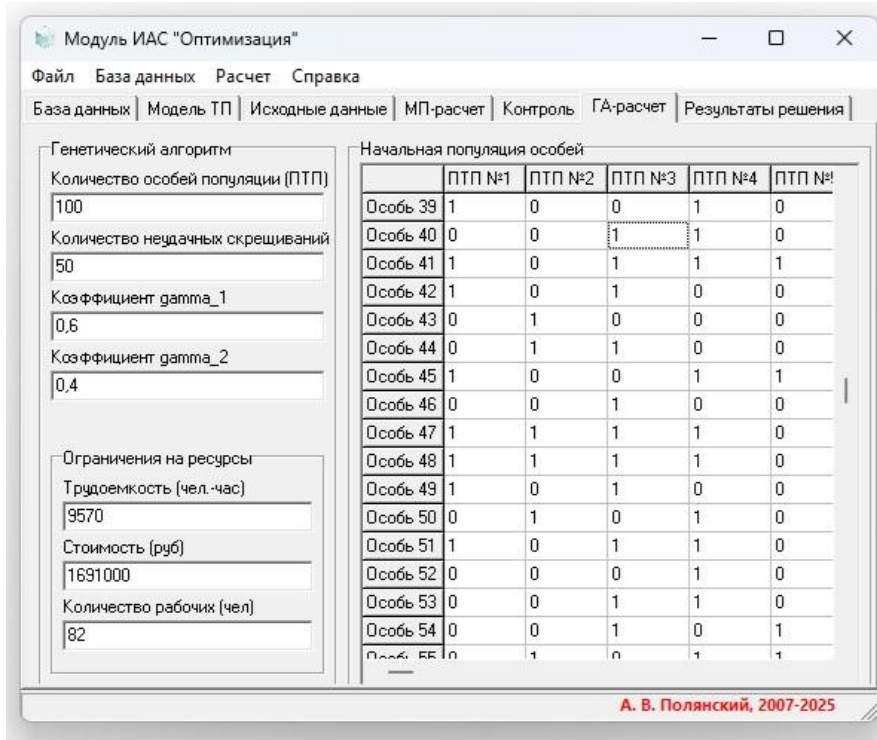
А. В. Полянский, 2007-2025

*Рисунок 16. Фрагмент работы ЭПМ «Оптимизация», вкладка «Исходные данные-Перечень ПТП» (разработано автором)*

*Figure 16. Fragment of the operation of the experimental software module «Optimization», tab «Initial data — List of simple technological processes» (developed by the author)*

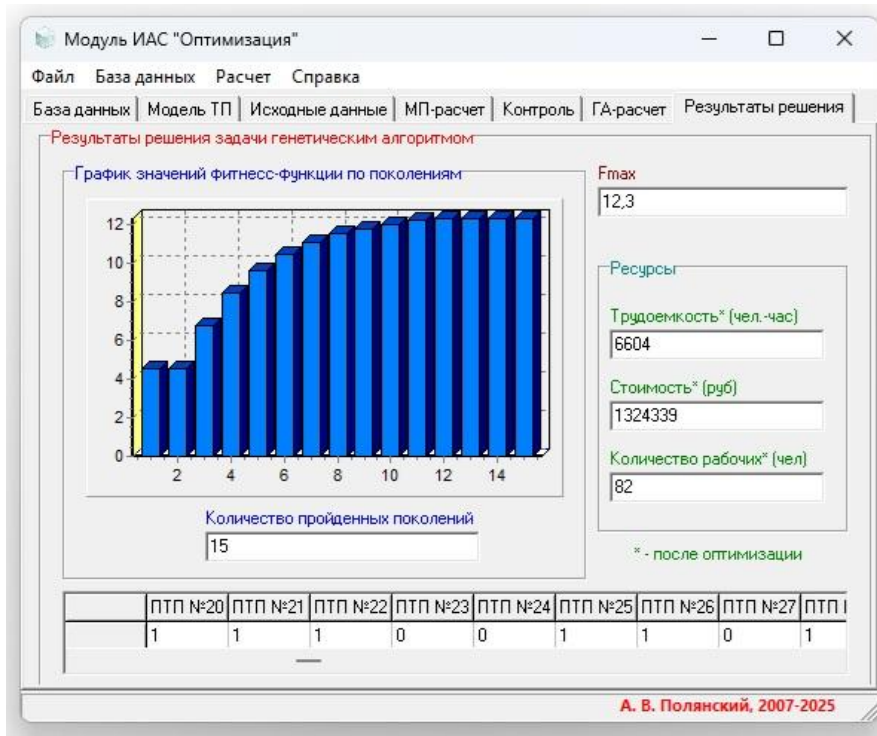
Оценка целевой функции решения задачи формирования оптимального технологического процесса возведения насыпи по формуле была осуществлена с учетом динамического распределения ресурсов СПО по строительным работам. Для генетического алгоритма в ходе оптимизации были заданы следующие параметры:

1. Размер популяции — 100 особей.
2. Размер особи — 175 генов (5 генов на кодирование каждого из 35 рассматриваемых работ).
3. Применяемые генетические операторы — репродукция на основе рулетки, пятиточечный кроссовер, пятиточечная мутация с вероятностью 10 %, инверсия с вероятностью 5 %.
4. Критерий останова алгоритма — смена 10 поколений.
5. Генерация случайной начальной популяции [4].



**Рисунок 17.** Фрагмент работы ЭПМ «Оптимизация», вкладка «ГА-расчет» (разработано автором)

**Figure 17.** Fragment of the operation of the experimental software module «Optimization», tab «Genetic algorithm calculation» (developed by the author)



**Рисунок 18.** Фрагмент работы ЭПМ «Оптимизация», вкладка «Результаты решения» (разработано автором)

**Figure 18.** Fragment of the operation of the experimental software module «Optimization», tab «Solution results» (developed by the author)

Таблица 1 / Table 1

Фрагмент калькуляции затрат труда и расчета стоимости работ на сооружение насыпи на слабом основании с результатами оптимизации

Fragment of the labor cost calculation and work cost estimation for embankment construction on weak subgrade with optimization results

№ п/п No.	Обоснование, шифр Justification, Code	Наименование работ Name of Work	Затраты труда на весь объем Total Labor Costs		Состав бригады Crew composition	Потребные машины Required Machines		Стоимость работ, руб. Work cost, RUB
			чел.-час Man-hours	маш.-час machine-hours		наименование name	кол-во quantity	
<b>1. Подготовка естественного основания под насыпь (Preparation of the natural subgrade for embankment)</b>								
1.1	ГЭСН 01-01-030-05+13	Срезка плодородно-растительного слоя бульдозером 108 кВт (79 л.с.) + добавлять на каждые последующие 10 м <i>Stripping of the fertile-vegetative layer with bulldozer 108 kW (79 hp) + add for each subsequent 10 m =</i>	28,02	28,02	Машинист бульдозера 6 р. — 1 <i>Bulldozer operator 6th grade — 1</i>	Бульдозер ДЗ-8 <i>Bulldozer DZ-8</i>	1	2 334,00
1.2	ГЭСН 01-01-030-05+13	Срезка плодородно-растительного слоя бульдозером 108 кВт (79 л.с.) + добавлять на каждые последующие 10 м <i>Stripping of the fertile-vegetative layer with bulldozer 108 kW (79 hp) + add for each subsequent 10 m</i>	28,02	28,02	Машинист бульдозера 6 р. — 1×2 <i>Bulldozer operator 6th grade — 1×2</i>	Бульдозер ДЗ-8 <i>Bulldozer DZ-8</i>	2	4 667,99
1.3	ГЭСН 01-01-030-05+13	Срезка плодородно-растительного слоя бульдозером 108 кВт (79 л.с.) + добавлять на каждые последующие 10 м <i>Stripping of the fertile-vegetative layer with bulldozer 108 kW (79 hp) + add for each subsequent 10 m =</i>	28,02	28,02	Машинист бульдозера 6 р. — 1×3 <i>Bulldozer operator 6th grade — 1×3</i>	Бульдозер ДЗ-8 <i>Bulldozer DZ-8</i>	3	7 001,99
1.4	ГЭСН 01-01-031-05+13	Срезка плодородно-растительного слоя бульдозером 121 кВт (165 л.с.) + добавлять на каждые последующие 10 м <i>Stripping of the fertile-vegetative layer with bulldozer 121 kW (165 hp) + add for each subsequent 10 m =</i>	17,75	17,75	Машинист бульдозера 6 р. — 1 <i>Bulldozer operator 6th grade — 1</i>	Бульдозер Б-100 <i>Bulldozer B-100</i>	1	2 288,94
1.5	ГЭСН 01-01-031-05+13	Срезка плодородно-растительного слоя бульдозером 121 кВт (165 л.с.) + добавлять на каждые последующие 10 м <i>Stripping of the fertile-vegetative layer with bulldozer 121 kW (165 hp) + add for each subsequent 10 m =</i>	17,75	17,75	Машинист бульдозера 6 р. — 1×2 <i>Bulldozer operator 6th grade — 1×2</i>	Бульдозер Б-100 <i>Bulldozer B-100</i>	2	4 577,88
2.1	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания автогрейдером 99 кВт (135 л.с.) <i>Grading of the natural subgrade with motor grader 99 kW (135 hp)</i>	6,19	6,19	Машинист автогрейдера 5 р. — 1 <i>Motor grader operator 5th grade — 1</i>	Автогрейдер ДЗ-122Б <i>Motor grader DZ-122B</i>	1	1 560,48

№ п/п No.	Обоснование, шифр Justification, Code	Наименование работ Name of Work	Затраты труда на весь объем Total Labor Costs		Состав бригады Crew composition	Потребные машины Required Machines		Стоимость работ, руб. Work cost, RUB
			чел.-час Man-hours	маш.-час machine-hours		наименование name	кол-во quantity	
2.2	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания автогрейдером 99 кВт (135 л.с.) <i>Grading of the natural subgrade with motor grader 99 kW (135 hp)</i>	6,19	6,19	Машинист автогрейдера 5 р. — 1×2 <i>Motor grader operator 5th grade — 1×2</i>	Автогрейдер ДЗ-122Б <i>Motor grader DZ-122B</i>	2	3 120,97
2.3	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания бульдозером 108 кВт (79 л.с.) <i>Grading of the natural subgrade with bulldozer 108 kW (79 hp)</i>	9,10	9,10	Машинист бульдозера 6 р. — 1 <i>Bulldozer operator 6th grade — 1</i>	Бульдозер ДЗ-8 <i>Bulldozer DZ-8</i>	1	1 560,48
2.4	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания бульдозером 108 кВт (79 л.с.) <i>Grading of the natural subgrade with bulldozer 108 kW (79 hp)</i>	9,10	9,10	Машинист бульдозера 6 р. — 1×2 <i>Bulldozer operator 6th grade — 1×2</i>	Бульдозер ДЗ-8 <i>Bulldozer DZ-8</i>	2	3 120,97
3.1	ГЭСН 01-01-013-07	Погрузка плодородно-растительного грунта в автосамосвалы экскаватором одноковшовым дизельным на гусеничном ходу, емкость ковша 0,65 м <sup>3</sup> <i>Loading of fertile-vegetative soil into dump trucks by single-bucket diesel excavator on crawler, bucket capacity 0,65 m<sup>3</sup></i>	21,84	63,34	Машинист экскаватора 5 р. — 1 Пом. маш. экскаватора 4 р. — 1 <i>Excavator operator 5th grade — 1 Assistant excavator operator 4th grade — 1</i>	Экскаватор ЕТ-16 <i>Excavator ET-16</i>	1	7 278,70
3.2	ГЭСН 01-01-013-31	Погрузка плодородно-растительного грунта в автосамосвалы экскаватором импортного производства одноковшовым дизельным на гусеничном ходу, емкость ковша 0,5 м <sup>3</sup> <i>Loading of fertile-vegetative soil into dump trucks by imported single-bucket diesel excavator on crawler, bucket capacity 0,5 m<sup>3</sup></i>	23,13	65,35	Машинист экскаватора 5 р. — 1 Пом. маш. экскаватора 4 р. — 1 <i>Excavator operator 5th grade — 1 Assistant excavator operator 4th grade — 1</i>	Экскаватор ZX120 <i>Excavator ZX120</i>	1	9 984,16
3.3	ГЭСН 01-01-013-13	Погрузка плодородно-растительного грунта в автосамосвалы экскаватором одноковшовым дизельным на гусеничном ходу, емкость ковша 0,5 м <sup>3</sup> <i>Loading of fertile-vegetative soil into dump trucks by single-bucket diesel excavator on crawler, bucket capacity 0,5 m<sup>3</sup></i>	28,94	84,08	Машинист экскаватора 5 р. — 1, Пом. маш. экскаватора 4 р. — 1 <i>Excavator operator 5th grade — 1 Assistant excavator operator 4th grade — 1</i>	Экскаватор ЭО-5015А <i>Excavator EO-5015A</i>	1	8 644,73
4.	НИИтруда	Транспортирование плодородно-растительного слоя автосамосвалами (ФССЦпг 03-21-01), объем кузова 6 м <sup>3</sup> <i>Transportation of fertile-vegetative layer by dump trucks (FSSCPG 03-21-01), body volume 6 m<sup>3</sup></i>	154,93	154,93	Водитель автосамосвала 3 кл. × 3 <i>Dump truck driver 3rd class × 3</i>	Автосамосвал КрАЗ 256Б1 <i>Dump truck KrAZ 256B1</i>	3	49 973,49

№ п/п No.	Обоснование, шифр Justification, Code	Наименование работ Name of Work	Затраты труда на весь объем Total Labor Costs		Состав бригады Crew composition	Потребные машины Required Machines		Стоимость работ, руб. Work cost, RUB
			чел.-час Man-hours	маш.-час machine-hours		наименование name	кол-во quantity	
<b>2. Укладка геосинтетических материалов (Laying geosynthetic materials)</b>								
1.1	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания автогрейдером 99 кВт (135 л.с.) Grading of the natural subgrade with motor grader 99 kW (135 hp)	6,57	6,57	Машинист автогрейдера 5 п. — 1 Motor grader operator 5th grade — 1	Автогрейдер ДЗ-122Б Motor grader DZ-122B	1	1 628,82
1.2	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания автогрейдером 99 кВт (135 л.с.) Grading of the natural subgrade with motor grader 99 kW (135 hp)	6,57	6,57	Машинист автогрейдера 5 п. — 1×2 Motor grader operator 5th grade — 1×2	Автогрейдер ДЗ-122Б Motor grader DZ-122B	2	3 257,65
1.3	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания бульдозером 108 кВт (79 л.с.) Grading of the natural subgrade with bulldozer 108 kW (79 hp)	9,66	9,66	Машинист бульдозера 6 п. — 1 Bulldozer operator 6th grade — 1	Бульдозер ДЗ-8 Bulldozer DZ-8	1	1 628,82
1.4	ГЭСН 01-02-027-01	Планировка естественного основания бульдозером 108 кВт (79 л.с.) Grading of the natural subgrade with bulldozer 108 kW (79 hp)	9,66	9,66	Машинист бульдозера 6 п. — 1×2 Bulldozer operator 6th grade — 1×2	Бульдозер ДЗ-8 Bulldozer DZ-8	2	3 257,65
...								

Составлено автором / Compiled by the author

На рисунке 18 представлены результаты расчета с применением генетического алгоритма — оптимальный вариант технологического процесса возведения насыпи, параметры решения задачи и график изменения целевой функции. Технологический процесс представлен в виде перечня строительных работ в бинарной форме [4].

В таблице 1 показан фрагмент калькуляции затрат труда и расчета стоимости работ на сооружение насыпи на слабом основании с результатами оптимизации (выбранные работы выделены цветом).

На основе перечня строительных работ можно сформировать организационно-технологическую схему (ОТС) возведения насыпи ЖДЗП. Учитывая сложность, многофакторность, множество параметров и ограничений, для решения этой задачи используется ИНС.

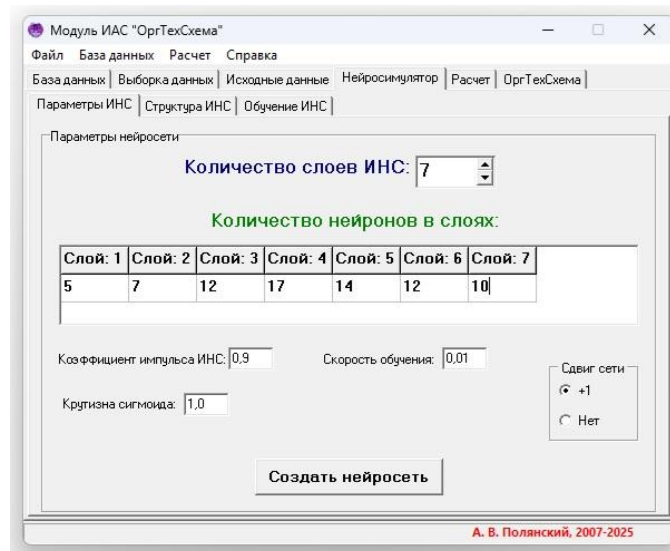
Разработанная нейросетевая модель решает эту проблему, предлагая автоматизированный подход к созданию ОТС. Модель обучается на массиве данных, включающем в себя информацию о различных вариантах формирования ОТС для строительства насыпей ЖДЗП.

Эта обучающая выборка охватывает различные типы сооружений, инженерно-геологические условия, климатические факторы, характеристики СПО (производительность, наличие техники, опыт работы) и, что особенно важно, показатели эффективности ранее реализованных ОТС (сроки, затраты, качество). В качестве входных данных для нейронной сети выступают категории характеризующие ОТС [4; 18]:

- X1 — область применения ОТС;
- X2 — природно-климатические условия;
- X3 — инженерно-геологические условия;
- X4 — конструкция ОЖДП;
- X5 — условия производства работ.

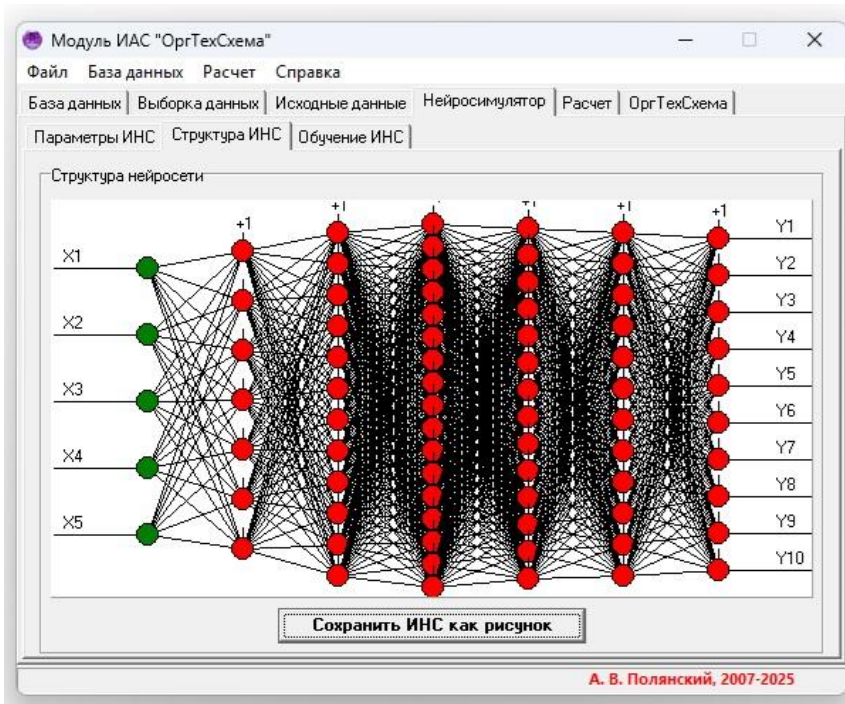
Обученная ИНС способна предложить ОТС, включающую в себя: последовательность выполнения работ, разбитую на захваты (участки с определенным набором работ), вид и количество техники. Применение ИНС позволяет моделировать различные сценарии и выбирать наиболее эффективный вариант, учитывая ограничения по ресурсам и времени [4; 18].

Разработанный ЭПМ «Оргтехсхема», в основе которого лежит ИНС, позволяет визуализировать созданную ОТС и вносить корректировки при изменении условий (рис. 19–23). Это существенно повышает гибкость планирования и позволяет оперативно реагировать на изменение условий производства работ.



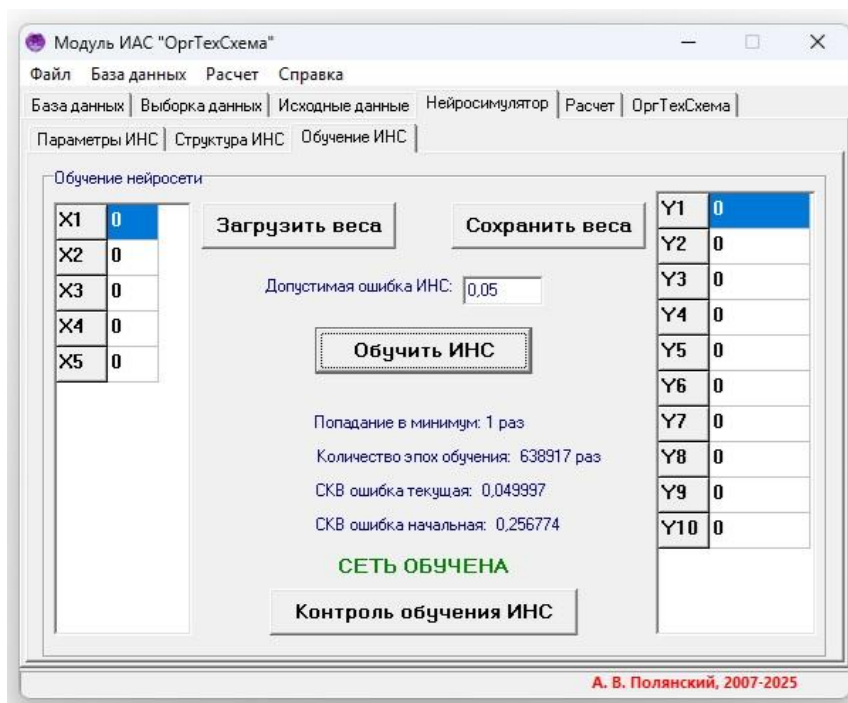
**Рисунок 19.** Фрагмент работы ЭПМ «ОргТехСхема», вкладки «Нейросимулятор-Параметры ИНС» (разработано автором)

**Figure 19.** Fragment of the operation of the experimental software module «OrgTechScheme», tab «Neurosimulator — artificial neural networks parameters» (developed by the author)



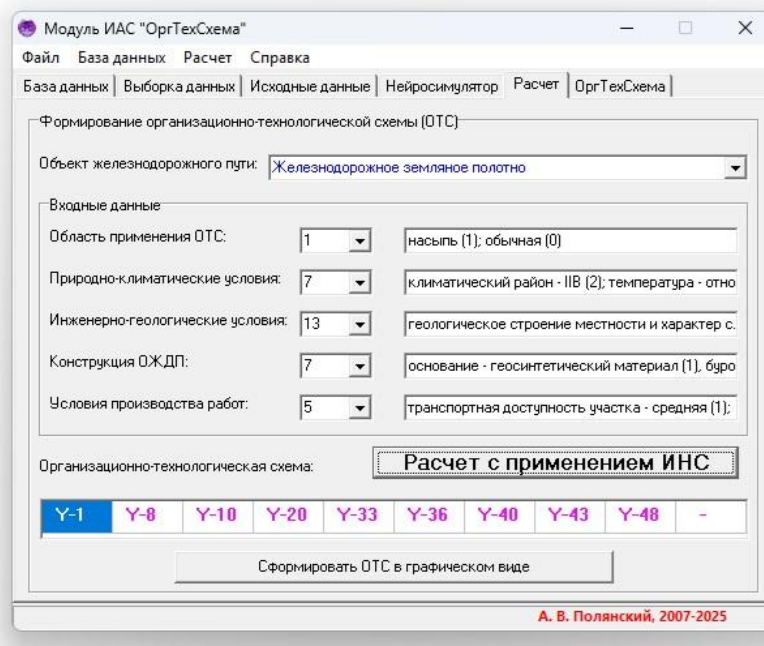
**Рисунок 20.** Фрагмент работы ЭПМ «OrgTechScheme», вкладка «Нейросимулятор-Структура ИНС» (разработано автором)

**Figure 20.** Fragment of the operation of the experimental software module «OrgTechScheme», tab «Neurosimulator — artificial neural networks structure» (developed by the author)



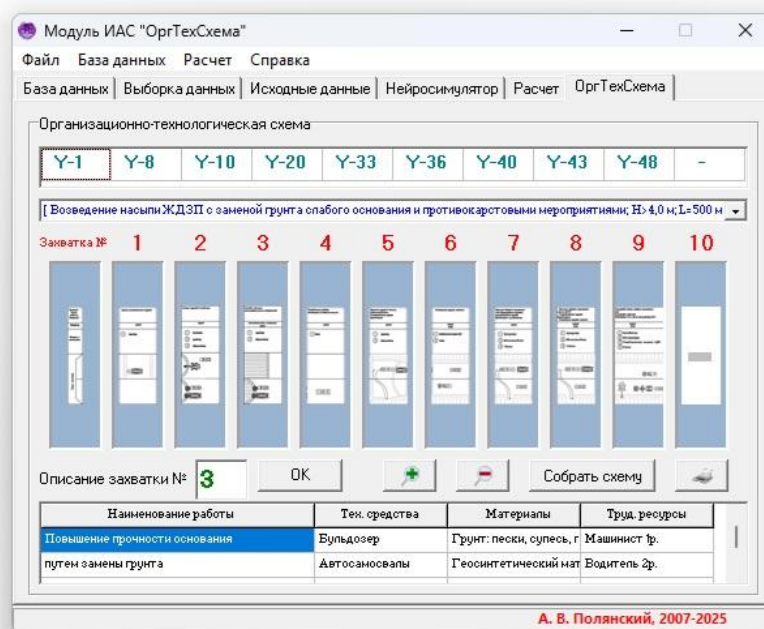
**Рисунок 21.** Фрагмент работы ЭПМ «OrgTechScheme», вкладка «Нейросимулятор-Обучение ИНС» (разработано автором)

**Figure 21.** Fragment of the operation of the experimental software module «OrgTechScheme», tab «Neurosimulator — artificial neural networks training» (developed by the author)



**Рисунок 22.** Фрагмент работы ЭПМ «ОргТехСхема», вкладка «Расчет» с элементами ОТС в кодированной форме для рассматриваемого участка насыпи на слабом основании (разработано автором)

**Figure 22.** Fragment of the operation of the experimental software module «OrgTechScheme», tab «Calculation» with elements of the organizational-technological scheme in coded form for the considered embankment section on weak subgrade (developed by the author)



**Рисунок 23.** Фрагмент работы ЭПМ «ОргТехСхема», вкладка «ОргТехСхема» с элементами (захватками и их описанием) ОТС для участка насыпи на слабом основании (разработано автором)

**Figure 23.** Fragment of the operation of the experimental software module «OrgTechScheme», tab «OrgTechScheme» with elements (work segments and their descriptions) of the organizational-technological scheme for the embankment section on weak subgrade (developed by the author)

На рисунке 22 показан фрагмент работы в режиме «Расчет», который, используя результаты обучение ИНС, позволяет сформировать ОТС. Перед этим предлагается ввести (выбрать из списков) входные данные, описывающие рассматриваемый участок ЖДЗП [4].

На рисунке 23 на вкладке «ОргТехСхема» результат расчета с применением ИНС представлен в графической форме с описанием захваток [4].

На рисунке 24 представлена ОТС возведения насыпи ЖДЗП на слабом основании для рассматриваемого участка.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наименование работ/операций	Срезка растительного грунта	Замена грунта основания	Укладка пластичных геосинтетических материалов	Разработочные работы Уплотнение оснований насыпи	Отсыпка грунта в насыпь автосамосвалами Разравнивание грунта бульдозером.	Уплотнение грунта катком	Отсыпка второго защитного слоя из ЦТП; разравнивание грунта бульдозером и уплотнение	Отсыпка первого защитного слоя из ЦТП; Разравнивание грунта бульдозером. Уплотнение грунта катком.	Планировка верха первого защитного слоя Планировка откосов. Подготовка ЗП к сдаче по условиям ВСП.
Материалы	грунт	грунт	геосинтетические материалы грунт	грунт	грунт	грунт вода	грунт	грунт вода	грунт вода
Машины и механизмы	1 Бульдозер	1 Экскаватор 2 Бульдозер 3 Автогрейдер	1 Бульдозер 2 Автогрейдер	1 Каток	1 Бульдозер 2 Автогрейдер	1 Поливомочная машина КДМ 2 Каток	1 Бульдозер 2 Автогрейдер 3 Каток	1 Бульдозер 2 Автогрейдер 3 Каток	1 Экскаватор 2 Автогрейдер 3 Поливомочная машина КДМ 4 Каток
План участка									

**Рисунок 24.** Организационно-технологическая схема сооружения насыпи с повышением прочности основания путем замены грунта (разработано автором)

**Figure 24.** Organizational-technological scheme for embankment construction with ground improvement by soil replacement (developed by the author)

Результаты, полученные на этапах разработки технологического процесса возведения насыпи, были переданы в ЭПМ «Техрегламент», в основе которого лежит АЦТР (рис. 25–32) [4].

В отличие от традиционных статических нормативных документов, АЦТР — это цифровой документ способный адаптироваться к меняющимся условиям производства работ. Его разработка в рамках формирования производственной программы СПО позволяет определять не только требования и правила, но и механизмы их гибкого применения.

Структура АЦТР включает в себя иерархическую модель технологических процессов, представленную в виде технологических сценариев. Каждый сценарий — это детальное описание последовательности работ, с указанием необходимых ресурсов (машин, материалов, персонала), временных затрат на каждый этап, а также зависимостей между отдельными операциями. Эта иерархическая структура позволяет учитывать как общую логику строительства, так и детализированные процессы при возведении насыпи ЖДЗП [4].

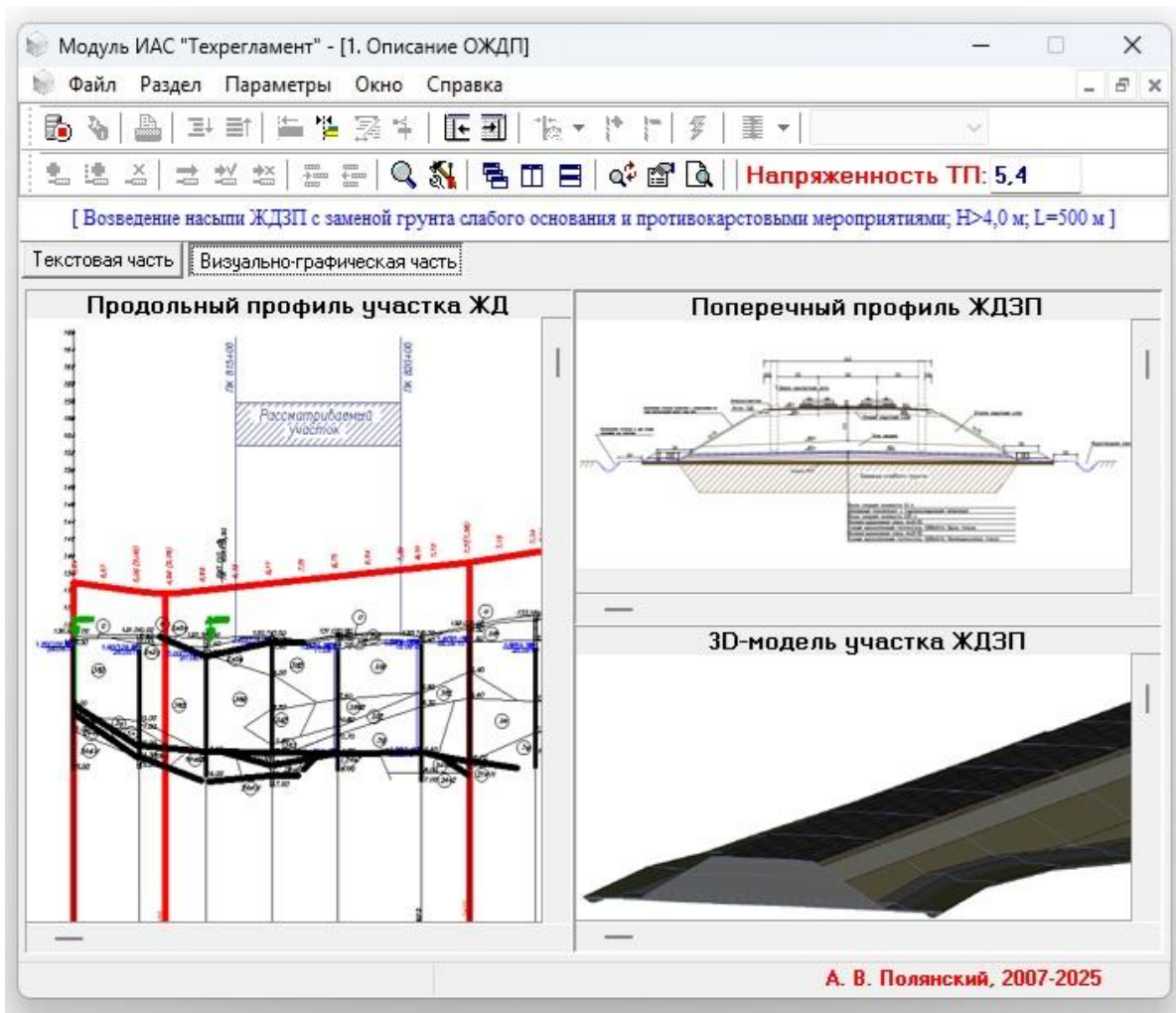
Ключевой особенностью АЦТР является его способность к автоматизированной корректировке. В ЭПМ «Техрегламент» накапливается актуальная информация о ходе производства работ: выполненные объемы работ, наличие ресурсов, погодные условия, непредвиденные задержки и т. п. На основе этих данных производится анализ отклонений от запланированного технологического сценария и в автоматизированном режиме имеется возможность внести необходимые изменения, в частности [4]:

- об используемых ресурсах;
- об изменении последовательности работ;
- о корректировке временных параметров;
- об оценке напряженности технологического процесса.

На рисунке 25 показана работа в режиме «Описание объекта железнодорожного пути». Этот режим включает две вкладки. Первая вкладка — «Текстовая часть» — содержит описание параметров конкретного участка насыпи ЖДЗП. Здесь содержатся такие характеристики как ширина, высота, тип грунта и другие параметры, которые влияют на процесс возведения насыпи.

На рисунке 26 показан фрагмент работы в режиме «Номенклатура строительных работ». В этом режиме отображается список работ, необходимых для реализации технологического процесса возведения насыпи, и он включает в себя:

- нормативы, относящиеся к единице объема работ;
- расход строительных материалов;
- затраты труда исполнителей;
- необходимые технические средства.

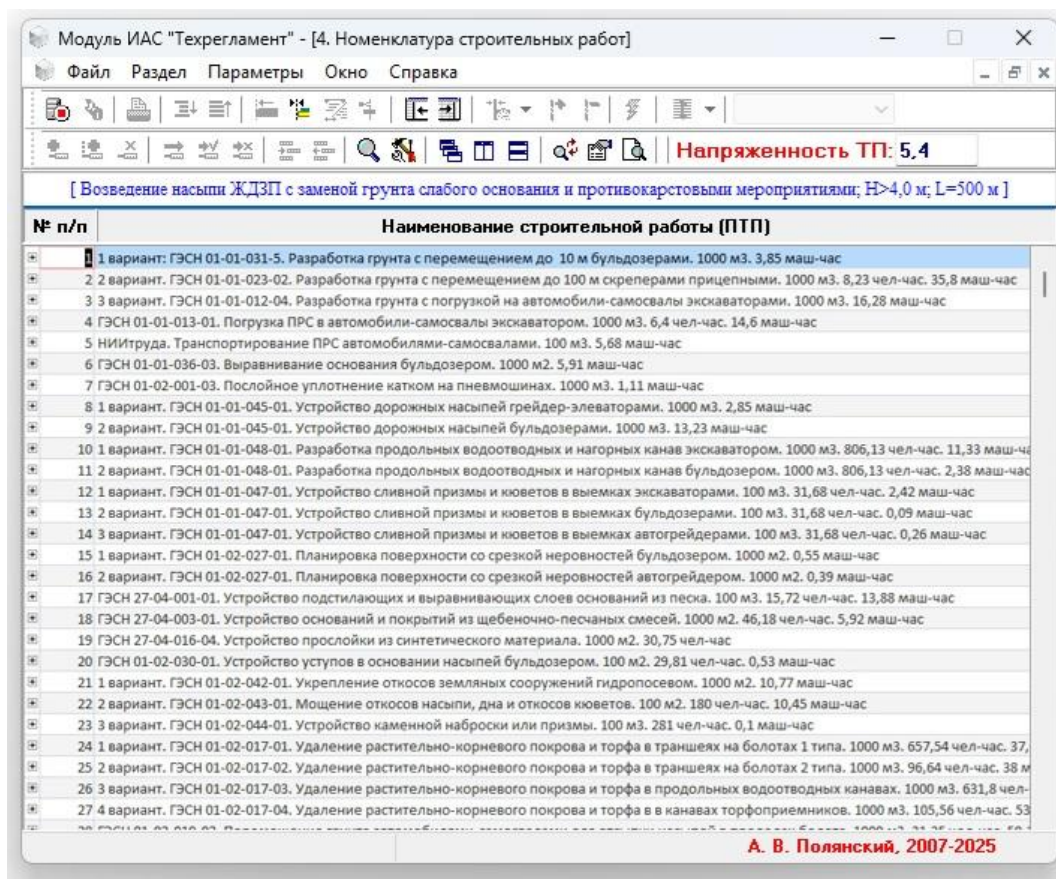


*Рисунок 25. Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», режим «Описание объекта железнодорожного пути», вкладка «Визуально-графическая часть» (разработано автором)*

*Figure 25. Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», mode «Description of the railway track facility», tab «Visual-graphic part» (developed by the author)*

Эта информация является основой для разработки и корректировки перечня работ, который формирует организационную структуру технологического процесса.

Важно отметить, что система учитывает вариативность работ, что позволяет адаптировать технологический процесс возведения насыпи под конкретные условия.



**Рисунок 26.** Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», режим «Номенклатура строительных работ» (разработано автором)

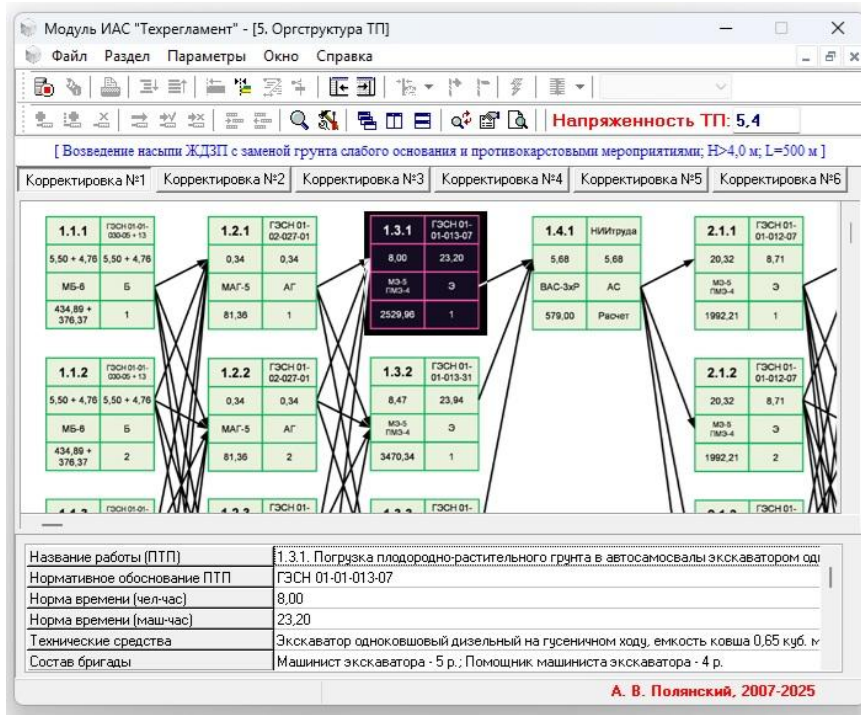
**Figure 26.** Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», mode «Nomenclature of construction works» (developed by the author)

Рисунок 27 иллюстрирует режим «Организационная структура технологического процесса», на котором представлен фрагмент организационной структуры технологического процесса возведения насыпи на слабом основании в виде сетевого графа. Такая форма позволяет показать:

- вариативность и последовательность выполнения строительных работ;
- технологическую связь между различными работами;
- расценки на выполнение работ.

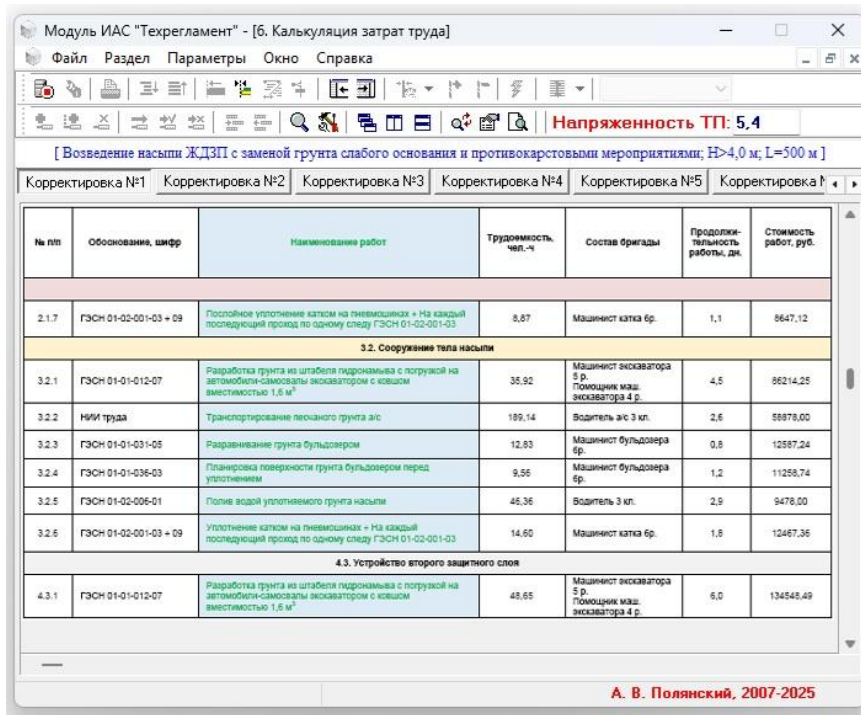
На рисунке 28 представлена калькуляция затрат труда для реализации технологического процесса возведения насыпи на слабом основании. Этот режим включает отображение:

- перечня строительных работ, разбитых на этапы;
- рассчитанных затрат труда (трудоемкость);
- состава бригады;
- продолжительности работ;
- стоимости работ.



**Рисунок 27.** Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», режим «Организационная структура технологического процесса» (разработано автором)

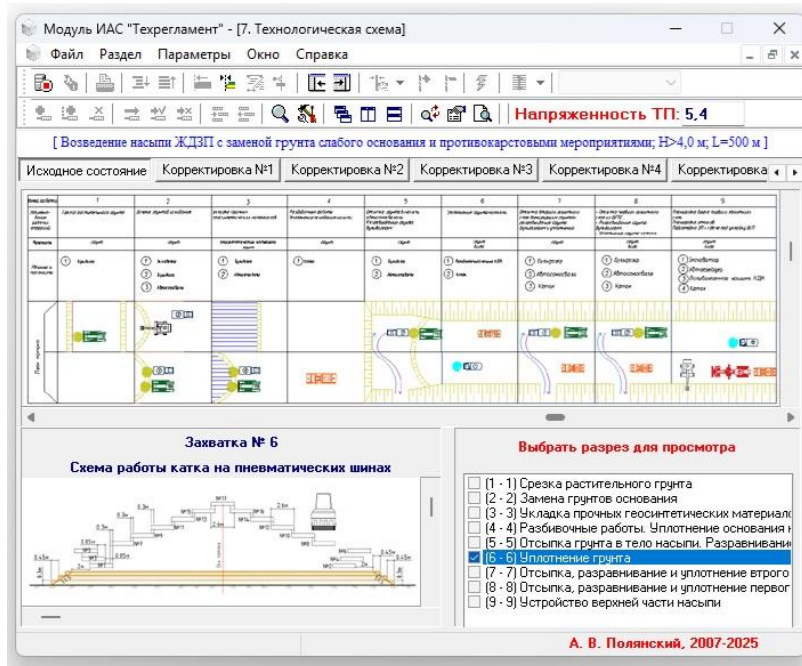
**Figure 27.** Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», mode «Organizational structure of the technological process» (developed by the author)



**Рисунок 28.** Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», режим «Калькуляция затрат труда» (разработано автором)

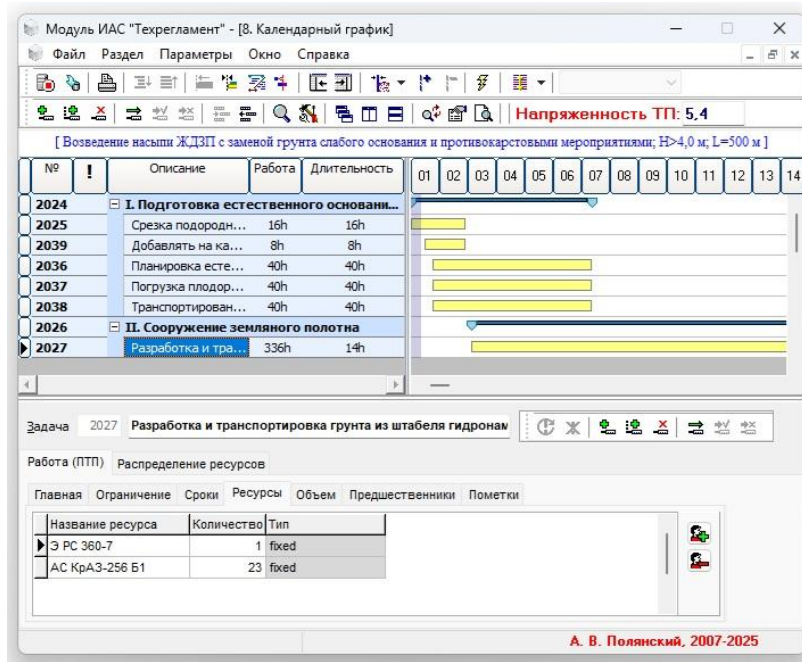
**Figure 28.** Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», mode «Labor cost calculation» (developed by the author)

На рисунках 29–32 показана визуализация технологического процесса и календарного графика производства работ по возведению насыпи на слабом основании.



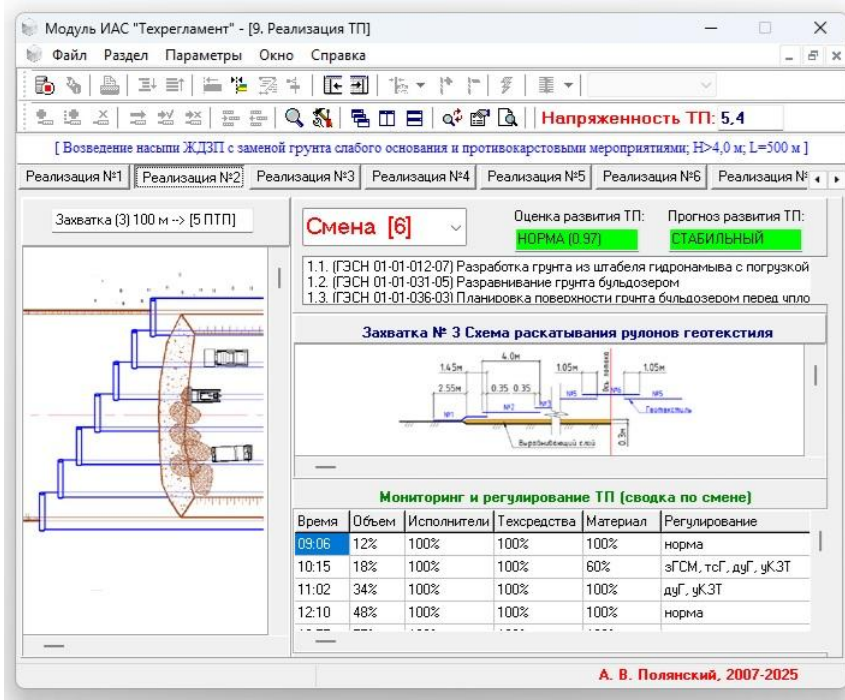
**Рисунок 29.** Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», режим «Технологическая схема» (разработано автором)

**Figure 29.** Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», mode «Technological scheme» (developed by the author)



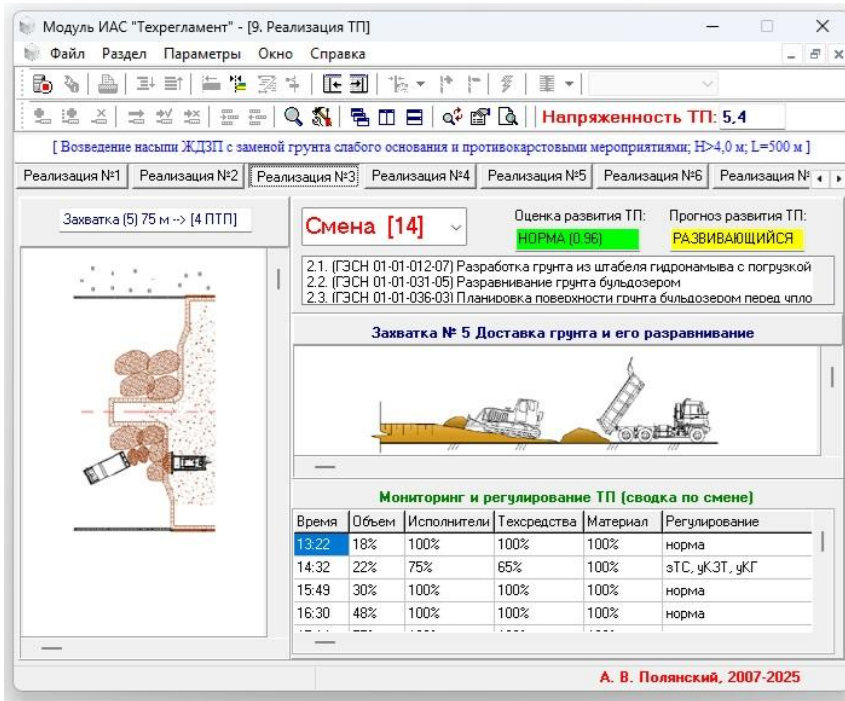
**Рисунок 30.** Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», режим «Календарный график» (разработано автором)

**Figure 30.** Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», mode «Calendar schedule» (developed by the author)



**Рисунок 31.** Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», режим «Реализация технологического процесса» для смены № 6 (разработано автором)

**Figure 31.** Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», mode «Implementation of the technological process» for shift No. 6 (developed by the author)



**Рисунок 32.** Фрагмент работы ЭПМ «Техрегламент», вкладка «Реализация технологического процесса» для смены № 14 (разработано автором)

**Figure 32.** Fragment of the operation of the experimental software module «TechRegulation», tab «Implementation of the technological process» for shift No. 14 (developed by the author)

Для оценки напряженности технологического процесса в ЭПМ «Техрегламент» используются специальные метрики, определяющие отклонения от плановых показателей. Эти показатели включают в себя: отклонение от графика, использование ресурсов, качество выполненных работ, безопасность производства работ. На основе результатов оценки показателей определяются интервалы изменения величины напряженности, что позволяет своевременно реагировать на отклонения и принимать корректирующие меры.

## Заключение

### Conclusion

Интеллектуализация формирования производственной программы СПО для ЖДС может существенно повлиять на уровень строительного производства, что имеет важное значение для повышения его эффективности, качества работ и возведения ОЖДП. Проведенное исследование в этой области послужило основой для разработки расчетно-логических моделей, в основу которых положены методы и средства искусственного интеллекта, в частности:

- экспертная система — определение номенклатуры строительных работ, составляющих технологический процесс;
- искусственная нейронная сеть — планирование ресурсов технологического процесса и формирование ОТС;
- генетический алгоритм — поиск оптимальной структуры технологического процесса.

Благодаря расчетно-логическим моделям обеспечена связь между вычислительными процедурами. Интеллектуальная поддержка формирования производственной программы позволяет учитывать влияние множества факторов, что не всегда возможно при традиционных методах. Для накопления результатов разработки производственной программы СПО, возможностью их интеграции с BIM и 4D-моделированием с возможностью последующего практического применения разработан АЦТР.

Для практической реализации моделей и АЦТР были разработаны ЭПМ, формирующие ИАС, которая является разновидностью производственно-ориентированной системы научных исследований и служит для разработки технологических процессов и расчета потребностей в основных производственных ресурсах.

Внедрение ИАС и их развитие способно обеспечить эффективную разработку оптимальных технологических процессов строительства

ОЖДП при формировании производственных программ для обеспечения рентабельной работы СПО. А дальнейшее развитие подсистемы ИИОТП системы ИТС ЖДС направлено на использование методов искусственного интеллекта нового поколения, таких как глубокое обучение и машинное видение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Завальнюк, С.И.** Интенсификация строительства нового двухпутного электрифицированного железнодорожного участка Журавка — Миллерово: Монография / С.И. Завальнюк, В.А. Рыбицкий, Д.С. Алтынов. — Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2019. — 482 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37233767>. ISBN: 978-5-907091-56-6. EDN: [XHIZSZ](#). (Дата обращения: 12.02.2025).
2. Автоматизированное проектирование организации строительства железных дорог / под редакцией С.П. Першина. — М.: Транспорт, 1991. — 261 с.
3. **Полянский, А.В.** Интеллектуализация инженерно-технического сопровождения железнодорожного строительства / А.В. Полянский // Интернет-журнал "Транспортные сооружения". — 2020. — Т. 7. — № 1. — С. 12SATS120. URL: <https://t-s.today/12SATS120.html>. DOI: [10.15862/12SATS120](https://doi.org/10.15862/12SATS120). EDN: [BQJZSR](#). (Дата обращения: 12.02.2025).
4. **Полянский, А.В.** Инженерно-интеллектуальное обеспечение технологических процессов в железнодорожном строительстве / А.В. Полянский. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Мир науки", 2023. — 245 с. URL: <https://izd-mn.com/PDF/39MNNPM23.pdf>. DOI: [10.15862/39MNNPM23](https://doi.org/10.15862/39MNNPM23). ISBN: 978-5-907731-28-8. EDN: [WYHBRQ](#). (Дата обращения: 12.02.2025).
5. **Васильев, В.М.** Автоматизация организационно-технологического планирования в строительном производстве / В.М. Васильев, Л. Б. Зеленцов. — М.: Стройиздат, 1991. — 152 с.
6. **Завадскас, Э.-К.** Системотехническая оценка технологических решений строительного производства / Э.-К. Завадскас. — Л.: СИ, 1991. — 256 с.
7. **Hassan, F.** Computer-assisted separation of design-build contract requirements to support subcontract drafting / F. Hassan, T. Le // Automation in Construction. — 2021. — Т. 122. — № 2. — С. 103479. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction/vol/122/suppl/C>. DOI: [10.1016/j.autcon.2020.103479](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103479). EDN: [BDLNKS](#). (Дата обращения: 12.02.2025).
8. **Полянский, А.В.** Планирование ресурсов технологического процесса строительства объектов железнодорожного пути с применением искусственной нейронной сети / А.В. Полянский // Транспортные сооружения. — 2021. — Т. 8. — № 3. — С. 01SATS321. URL: <https://t-s.today/01SATS321.html>. DOI: [10.15862/01SATS321](https://doi.org/10.15862/01SATS321). EDN: [BNVMFC](#). (Дата обращения: 12.02.2025).
9. **Полянский, А.В.** Интеллектуальные подходы к разработке рациональных организационно-технологических решений в транспортном строительстве / А.В. Полянский // Транспортное строительство. — 2013. — № 10. — С. 13–15. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20465979>. EDN: [RFWHEJ](#). (Дата обращения: 23.02.2025).
10. **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>. EDN: [SFRIAB](#). (Дата обращения: 12.02.2025).
11. **Джарратано, Д.** Экспертные системы. Принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. — М.: Вильямс, 2007. — 1147 с.
12. **Нейман, А.О.** Системное управление ресурсопотоками строительных процессов: Монография / А.О. Нейман. — М.: Маршрут, 2006. — 240 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19806355>. ISBN: 5-89035-325-X. EDN: [QRKZKY](#). (Дата обращения: 12.02.2025).

13. Джонс, М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М.Т. Джонс; пер. с англ. А.И. Осипов. — М.: ДМК Пресс, 2006. — 312 с.
14. Tariq, R. Make your own network / R. Tariq. — Create Space Independent Publishing Platform, 2016. — 222 с.
15. Rojek, I. Technological process planning by the use of neural networks / I. Rojek // Artificial intelligence for engineering design, analysis and manufacturing. — 2017. — Т. 31. — № 1. — С. 1–15. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/ai-edam/article/technological-process-planning-by-the-use-of-neural-networks/A3FD3A5A3E1001486C57D9DC8B9E864C>. DOI: [10.1017/S0890060416000147](https://doi.org/10.1017/S0890060416000147). (Дата обращения: 15.01.2025).
16. Buitrago, M. Designing construction processes in buildings by heuristic optimization / M. Buitrago, J.M. Adam, Y.A. Alvarado, J.J. Moragues, I. Gasch, P.A. Calderón // Engineering Structures. — 2016. — № 3. — С. 1–10. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029615007737>. DOI: [10.1016/j.engstruct.2015.12.009](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.009). (Дата обращения: 18.01.2025).
17. Faghihi, V. Construction scheduling using Genetic Algorithm based on Building Information Model / V. Faghihi, K.F. Reinschmidt, J.H. Kang // Expert Systems with Applications. — 2014. — № 11. — С. 7565–7578. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417414003340>. DOI: [10.1016/j.eswa.2014.05.047](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.047). (Дата обращения: 11.01.2025).
18. Flood, I. Modeling construction processes using artificial neural networks / I. Flood, P. Christophilos // Automation in Construction. — 1996. — № 4. — С. 307–320. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0926580595000119?via%3Dihub>. DOI: [10.1016/0926-5805\(95\)00011-9](https://doi.org/10.1016/0926-5805(95)00011-9). EDN: [ANWETL](https://www.edn.net/ANWETL). (Дата обращения: 17.01.2025).

#### 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](mailto:polal_82@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6190-0481>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=412433](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=412433)  
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFJ-6625-2022>  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57459964000>

Статья получена: 15.04.2025. Принята к публикации: 15.06.2025. Опубликовано онлайн: 05.07.2025.

## REFERENCES

1. Zaval'nyuk S.I., Rybitskiy V.A., Altynov D.S. [Intensification of the construction of a new double-track electrified railway section Zhuravka — Millerovo: monograph]. Kirov: Mezhtsentrnyy tsentr innovatsionnykh tekhnologiy v obrazovanii; 2019. 482 p. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37233767> (accessed 12th February 2025). ISBN: 978-5-907091-56-6. (In Russ.).
2. Pershin S.P. (editor). [Computer-aided design of the organization of construction of railways]. Moscow: Transport; 1991. 261 p. (In Russ.).
3. Polyanskiy A.V. Intellectualization of engineering and technical support of railway construction. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2020;7(1):12SATS120. DOI: [10.15862/12SATS120](https://doi.org/10.15862/12SATS120). (In Russ., abstract in Eng.).
4. Polyanskiy A.V. [Engineering and intellectual support of technological processes in railway construction]. Moscow: Mir nauki; 2023. 245 p. DOI: [10.15862/39MNNPM23](https://doi.org/10.15862/39MNNPM23). ISBN: 978-5-907731-28-8. (In Russ.).
5. Vasil'ev V.M., Zelentsov L.B. [Automation of organizational and technological planning in the construction industry]. Moscow: Stroyizdat; 1991. 152 p. (In Russ.).
6. Zavadskas E.-K. [System-technical evaluation of technological solutions of construction industry]. Leningrad: Stroyizdat; 1991. 256 p. (In Russ.).

7. Hassan F., Le T. Computer-assisted separation of design-build contract requirements to support subcontract drafting. *Automation in Construction*. 2021;122(2):103479. DOI: [10.1016/j.autcon.2020.103479](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103479). (In Eng.).
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. DOI: [10.15862/01SATS321](https://doi.org/10.15862/01SATS321). Available from: <https://t-s.today/01SATS321.html> (accessed 12th February 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
9. Polyanskiy A.V. [Intelligent approaches to the development of rational organizational and technological solutions in transport construction]. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2013;(10):13–15. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20465979> (accessed 23rd February 2025). (In Russ.).
10. 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 from: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/46/89> (accessed 12th February 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
11. Giarratano J.C., Riley G. [Expert systems: principles and programming]. Moscow: Williams; 2007. 1147 p. (In Russ.).
12. Neyman A.O. [System management of resource flows of construction processes: Monograph]. Moscow: Marshrut; 2006. 240 p. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19806355> ISBN: 5-89035-325-X. (accessed 12th February 2025). (In Russ.).
13. Jones M.T. AI Application Programming. Hingham: Charles River Media; 2003. (In Eng.).
14. Tariq R. Make your own network. Create Space Independent Publishing Platform; 2016. 222 p. (In Eng.).
15. Rojek I. Technological process planning by the use of neural networks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. 2017;31(1):1–15. DOI: [10.1017/S0890060416000147](https://doi.org/10.1017/S0890060416000147). (In Eng.).
16. Buitrago M., Adam J.M., Alvarado Y.A., et al. Designing construction processes in buildings by heuristic optimization. *Engineering Structures*. 2016;(3):1–10. DOI: [10.1016/j.engstruct.2015.12.009](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.009). (In Eng.).
17. Faghihi V., Reinschmidt K.F., Kang J.H. Construction scheduling using Genetic Algorithm based on Building Information Model. *Expert Systems with Applications*. 2014;(11):7565–7578. DOI: [10.1016/j.eswa.2014.05.047](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.05.047). (In Eng.).
18. Flood I., Christophilos P. Modeling construction processes using artificial neural networks. *Automation in Construction*. 1996;(4):307–320. DOI: [10.1016/0926-5805\(95\)00011-9](https://doi.org/10.1016/0926-5805(95)00011-9). (In Eng.).

---

**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](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=412433)  
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AFJ-6625-2022>  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57459964000>

---

Submitted: 15th April 2025. Revised: 15th June 2025. Published online: 05th July 2025.