



ВСМ: интеллектуальный подход



Алексей ПОЛЯНСКИЙ

Aleksey V. POLYANSKIY

Представлены теоретические основы применения методов искусственного интеллекта (экспертных систем, искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов) к разработке организационно-технологических решений в строительстве высокоскоростных магистралей (ВСМ). Описан вариант эффективной реализации подобной методики с использованием информационной модели и системы подготовки управленческих решений по результатам мониторинга строительного процесса.

Ключевые слова: железнодорожное строительство, высокоскоростная магистраль, строительный процесс, методы искусственного интеллекта, экспертная система, искусственная нейронная сеть, генетический алгоритм, управление проектами.

Полянский Алексей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация, технология и управление строительством» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Потребности в развитии железных дорог России определяют новые позиции для отрасли транспортного строительства в части выбора и разработки конструктивных, технологических и организационных решений. Наиболее актуальной при этом является сфера скоростного и высокоскоростного движения. Реализация столь многообещающего направления сопряжена с разработкой проектной документации, в которой необходимо учесть мировой и отечественный опыт создания высокоскоростных железнодорожных линий. В результате актуализируется и процедура оперативных организационно-технологических решений (ОТР) при возведении верхнего строения пути, земляного полотна, контактной сети, искусственных сооружений и т. д.

I.

Очевидно, что оперативность в проектировании достигается благодаря автоматизации. К сожалению, в настоящее время выбор и подготовка ОТР в области железнодорожного строительства осуществляется с минимальным привлечением вычислительной техники.

Проводимое комплексное исследование, направленное на формирование методологии разработки и реализации ОТР в железнодорожном строительстве, показало, что на всех этапах подготовительной работы обнаруживаются задачи, которые не решаются в автоматизированном режиме, и это существенно увеличивает срок формирования строительной документации. Данная ситуация объясняется недостаточной разработанностью процедур принятия решений и их формализации.

К трудноформализуемым, например, относится задача синтеза структуры ОТР [1,2]. Объясняется это тем, что разработка рациональных ОТР, в основе которых эффективные строительные процессы (СП), основаны на опыте, знаниях и интуиции технолога-строителя. Математически такую задачу можно свести к поиску вариантов структур в счётных множествах с весьма значительным, хоть и ограниченным числом элементов. Известно, что поиск решения является одной из самых сложных и трудоёмких операций. К трудноформализуемым этапам формирования ОТР относятся [2]: формирование СП, ресурсное обеспечение, определение последовательности переходов и оптимизация ОТР по различным критериям.

Существующие системы автоматизированной подготовки строительства основываются на концепции активного взаимодействия с инженером в режиме диалога. Практически СП создаёт технолог, опираясь на выбранное конструктивно-технологическое решение (КТР), система лишь помогает ему справочными данными, оперативной информацией о производстве, позволяет работать с базой данных (БД) строительной (подрядной) организации (СПО).

Такие системы хоть и облегчают труд технолога и позволяют повысить его эффективность, но не отвечают своему названию, фактически это просто электронное рабочее место. По сути, как и раньше, СП создает технолог, основываясь на своих знаниях и опыте, что во многих случаях не позволяет получить рациональные ОТР и занимает значительное время на их подготовку и реализацию.

Бурное развитие информационных технологий повлекло за собой и новый

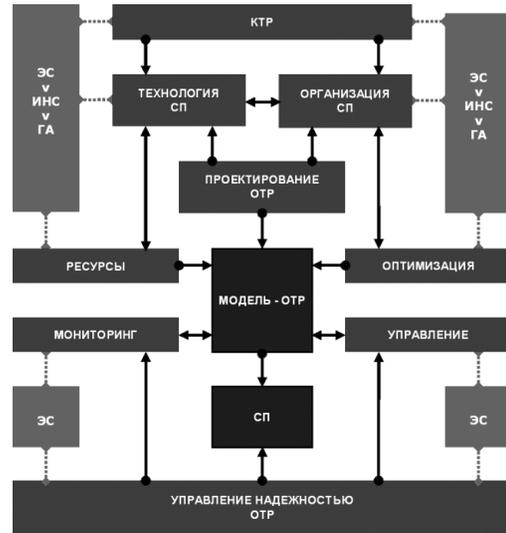


Рис. 1. Структура разработки и реализации ОТР в строительстве с использованием методов искусственного интеллекта.

Fig. 1. Structure of design and implementation of OTS in construction using artificial intelligence methods.

виток в развитии методов и средств, призванных содействовать планированию организации и технологии строительства с помощью компьютера. И наибольший интерес здесь представляют теоретические и практические достижения в области искусственного интеллекта (ИИ).

II.

Встраивание интеллектуальных программ, модулей или агентов в разработанные системы автоматизированного проектирования ОТР дают возможность заменить технолога при выполнении многих задач, а также обеспечить поиск инновационных технологических решений [5]. Это достигается путем интеллектуализации ряда этапов разработки и реализации ОТР (рис. 1), сложность формализации которых связана с особенностями мыслительной деятельности человека (ассоциативное мышление, умение мыслить по аналогии, интуитивный выбор и т. д.). Появились новые инструменты: искусственные нейронные сети (ИНС), генетические алгоритмы (ГА), экспертные системы (ЭС) [1].

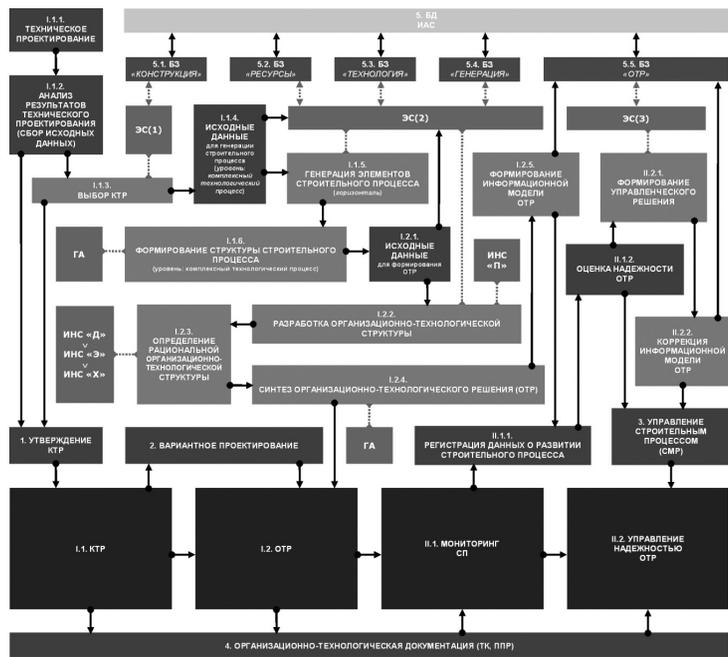
Интеллектуализация этапов разработки ОТР предполагает конечной целью создание информационной модели (модель ОТР). Такая модель станет основой осуществления непрерывного контроля (мо-





Рис. 2. Функциональная схема разработки и реализации ОТР в строительстве ВСМ.

Pic. 2. Functional diagram of the development and implementation of OTS in the construction of high-speed rail.



нитинга) СП и управления надежностью ОТР (рис. 1).

На рис. 2 представлена функциональная схема разработки и реализации ОТР. На ней четыре этапа (блоки I.1, I.2, II.1, II.2): выбор КТР, проектирование ОТР, формирование системы мониторинга СП с использованием информационной модели и реализация ОТР по результатам мониторинга. Блоки I.1.1, I.1.2, I.1.4, I.2.1, II.1.1, II.1.2, 1–4 показывают современное состояние исследуемой проблемы; блоки I.1.3, I.1.5, I.1.6, I.2.2, I.2.3, I.2.4, I.2.5, II.2.1, II.2.2 отражают перспективный подход к решению ряда задач, в рамках интеллектуализации организационно-технологической подготовки строительства; в блоках 5, 5.1–5.5 демонстрируется структура БД, в которой накапливаются, сохраняются и соотносятся между собой знания и опыт в области проектирования, управления, организации и технологии транспортного (в т. ч. железнодорожного) строительства в виде тематических баз знаний [3].

Благодаря использованию методов ИИ стала возможной разработка ОТР в комплексе, начиная с генерации СП и заканчивая его многокритериальной оптимизацией с использованием накопленных знаний и опыта в транспортном строительстве. Математическое моделирование на основе методов ИИ в значительной степени устраняет разрывы между объек-

тивной потребностью в рациональных ОТР, глубины и повышения оперативности их разработки, вычислительными возможностями специалистов и средствами инженерного труда, имевшимися ранее в их распоряжении. Также появляется возможность оперативной корректировки ОТР в процессе выполнения работ, т. е. совершения своеобразного «технологического маневра» с целью максимального обеспечения требований проекта ВСМ и рентабельности СПО.

Для обеспечения такой возможности целесообразно взять на вооружение некоторые положения системотехники в строительстве. Использование системотехнического подхода как главной методической основы для создания математических моделей позволило выделить этапы разработки ОТР, предполагающие не только вычислительные процедуры, но и логические, близкие человеческому мышлению [1,3]. Таким образом, были определены этапы, для которых естественно применение интеллектуальных технологий: разработка СП, решение задачи ресурсного обеспечения СП, формирование структуры ОТР, оптимизация СП, синтез ОТР.

Процедура разработки ОТР предшествует этапу выбора конструктивно-технологического решения ТО для участка производства работ с определенной долей вероятности (рис. 2). Вероятность приспособ-

бленности выбранного КТР к участку определяет вероятность его полноценного использования или существенной доработки. В ином случае потребуются создание нового КТР. В дальнейшем вероятность приспособленности КТР определит структуру СП и будет способствовать выбору методов ИИ для оптимизации организационно-технологических решений.

Этап разработки СП основан на применении ЭС производственного типа. Здесь производственные модели, основанные на правилах и позволяющие представлять знания в виде условий, являются образцом для поиска в БЗ и действий, выполняемых при успешном исходе поиска [3,5]. Отличительной особенностью предлагаемой интеллектуальной модели БЗ для проектирования СП возведения ТО выступает то, что правила вывода, используемые в продукциях, основаны на закономерностях трех видов: технологических, системных и организационных зависимостях. Исходя из принципа декомпозиции процедуры формирования ОТР, особенностей КТР и в соответствии с логикой формирования СП производственные модели представлены на уровнях комплексного (КТП) и просто-го процессов (ПП).

Решение задачи ресурсного обеспечения СП (рис. 2) предполагает использование ИНС, обучаемой по алгоритму обратного распространения ошибки (*back propagation*). Здесь осуществляется выбор наиболее эффективного вида ресурсов (исполнителей, машин и механизмов) для каждого элемента процесса на уровне КТП или ПП.

На этапе формирования структуры ОТР и оптимизации СП применяются различные методы ИИ (рис. 2): вероятностно-рекуррентные и гибридные рекуррентные ИНС с элементами нечеткой логики [3]. Выбор метода осуществляется в соответствии с принятым КТР, рассчитанным объемом работ и схемой (многовариантным сетевым графом) СП. Применение такого подхода обеспечивает получение оптимального (рационального) варианта СП на уровне ПП.

Этап синтеза ОТР основан на использовании механизмов эволюционной оптимизации, в частности генетического метода комбинирования эвристик (ГМКЭ) [4],

в основе которого лежит ГА (рис.2). В результате формируется календарный график с учетом оптимального распараллеливания работ и распределения ресурсов на уровне ПП.

III.

В итоге появляется ОТР, которое, в свою очередь, служит информационной моделью для управления СП. Реализация этой задачи требует оперативных управленческих решений в ходе осуществления СП. В целях обеспечения своевременного ввода ВСМ в эксплуатацию в соответствии с проектными параметрами качества и безопасности, а также эффективной работы СПО необходимо учитывать ряд особенностей развития СП.

Объясняется это тем, что СП служит вероятностной системой, подверженной влиянию целого ряда факторов: внешних (природно-климатических, инженерно-геологических, гидрологических и пр. условий строительства) и внутренних (внутрипроизводственные условия функционирования СПО). Их влияние в подавляющем большинстве случаев отрицательно сказывается на продолжительности и качестве строительства и, как следствие, влечет за собой ряд негативных последствий (прежде всего – экономических) для СПО.

В целях эффективной реализации строительных работ предлагаются подходы для оперативной выработки управленческих решений на основе результатов мониторинга СП (рис. 3).

Выработка управленческих решений по результатам мониторинга СП предполагает:

- регистрацию данных (РД) о выполненных объемах работ на определенные моменты времени;
- оценку надежности (ОН) ОТР;
- оперативное принятие управленческого решения (УР) для корректировки СП в случае снижения надежности ОТР.

Анализ результатов регистрации данных о развитии СП предполагает сравнение данных об объемах и сроках выполнения СП с учетом влияния внешних и внутренних факторов с использованием экспертных технологий. Это позволяет получить сведения об отклонении СП от «заданной





Рис. 3. Схема функционирования системы управления надежностью возведения транспортного объекта на основе результатов мониторинга СП. Условные обозначения: РД – регистрация данных, ОН – оценка надежности, УР – управленческое решение.

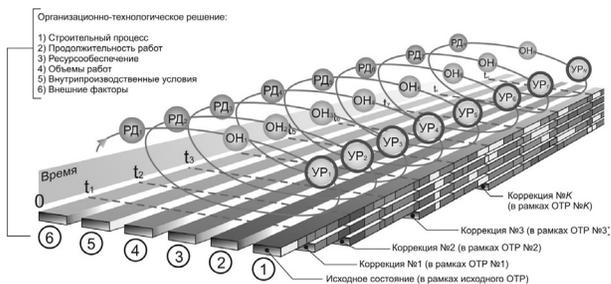
Pic. 3. Scheme of reliability control system in construction of a transport object based on the results of construction processes' monitoring. Legend: РД – registration of data, ОН – evaluation of reliability, УР – management decision.

траектории». Здесь предполагается осуществление процедуры сравнения результатов полученных в процессе наблюдения за развитием СП с данными полученными при проектировании ОТР и последующей оценки его надежности. Процедура оценки надежности ОТР базируется на математическом аппарате теории надежности (применительно к производственным процессам), методологии управления транспортным строительством и методов принятия решений с использованием ЭС. Источником знаний при формировании правил для ЭС является информационная модель ОТР (модель-ОТР), представленная правилами в тематической БЗ (рис 2).

Необходимость в оперативном принятии управленческих решений применительно к реализации СП, а также его динамичность, вследствие вышеуказанных особенностей предъявляют особые требования к мониторингу его развития. Данные требования основаны прежде всего на времени, которое необходимо затратить на процедуры анализа в рамках мониторинга СП. Очевидно, что оперативность получения данных о развитии СП будет способствовать оперативной выработке управленческих решений и, как следствие, корректировке ОТР.

Реализация некоторых функций мониторинга и выработка управленческих решений с возможностью повышения их надежности может быть достигнута с использованием методов ИИ. В результате у СПО появится возможность совершения (при необходимости) «технологических маневров», т. е. корректировки или даже существенного изменения СП с учетом ограничений.

В то же время в рамках реализации ОТР предполагается тесное взаимодействие с системами управления проектами в строительстве, в частности с областью



«управление изменениями». Таким образом, станет возможным влияние не только на продолжительность СП, но и его сущность, то есть технологию и организацию. Очевидно, что возможности интеграции будут способствовать повышению эффективности работы и рентабельности СПО.

В целях реализации рассмотренных положений исследования и повышения теоретической обоснованности предлагаемых методов используется специально разработанная интеллектуальная аналитическая система (ИАС) «Интенция» и пакеты расширения среды математического моделирования и технических вычислений *Matlab – Neural Network Toolbox* и *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox*.

Использование предложенных методов и средств разработки и реализации ОТР в строительстве ВСМ, судя по полученным данным, обеспечит СПО возможность эффективного управления производственной ситуацией с целью достижения собственной рентабельности и качества СМР, что, несомненно, положительно отразится на надежности транспортных сооружений и безопасности движения поездов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полянский А. В. Интеллектуальные подходы к разработке рациональных организационно-технологических решений в транспортном строительстве // *Транспортное строительство*. – 2013. – № 10. – С. 13–15.
2. Автоматизированное проектирование организации строительства железных дорог / Под ред. С. П. Першина. – М.: Транспорт, 1991. – 261 с.
3. Люгер Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – 4-е изд.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
4. Норенков И. П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации // *Информационные технологии*. – 1999. – № 1. – С. 2–7.
5. Каган П. Б. Пути совершенствования средств и приемов организационно-технологического проектирования // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2011. – № 9. – С. 24–25.