

Логистические технологии, используемые при возведении атомных электростанций

Иван Евгеньевич ВОРОНКОВ, кандидат технических наук, доцент, e-mail: VoronkovIE@mgsu.ru

Тимур Андреевич УСМАНОВ, магистрант, e-mail: tim.ycm17@gmail.com

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. Актуальность темы обуславливается значимостью логистики в решении различных технологических и организационно-управленческих задач при возведении атомных электростанций. Обоснована целесообразность цифровизации логистических систем строительства таких станций, поскольку эффективность организации материально-технического обеспечения оказывает непосредственное влияние как на скорость и качество выполняемых строительно-монтажных работ, так и на общую рентабельность проекта. При проведении исследования были использованы методы анализа существующих подходов в управлении системами материально-технического обеспечения атомных электростанций. С использованием метода индукции выполнена декомпозиция составляющих логистической системы и отдельно рассмотрены транспортная, складская логистики, зарубежный опыт применения современных цифровых технологий. В исследовании описаны проблемы транспортно-складской логистики возведения высокотехнологичных объектов, показана важность логистических процессов, рассмотрен зарубежный опыт применения современных цифровых технологий, дана оценка перспективности внедрения данных технологий. Отсутствие синхронизации в функционировании транспортной и складской логистических подсистем на практике приводит к задержкам поступления необходимых материалов, росту запасов материальных ресурсов, простоям транспорта, увеличению затрат и нарушению сроков строительства. Наиболее перспективный инструмент для решения данных проблем и повышения результативности систем материально-технического обеспечения – применение лучших мировых практик в области логистики сооружения объектов атомной энергетики с использованием современных цифровых логистических трендов. Внедрение современных цифровых технологий, таких как искусственный интеллект/нейронные сети, Big Data, дроны и другие инструменты, позволяет оптимизировать технологические процессы работы с грузовыми потоками, значительно сократить логистические издержки систем материально-технического обеспечения, выполнять все «точно в срок».

Ключевые слова: логистика, транспорт, склад, атомная электростанция, цифровая трансформация, искусственный интеллект, большие данные.

LOGISTICS TECHNOLOGIES USED IN THE CONSTRUCTION OF NUCLEAR POWER PLANTS

Ivan E. VORONKOV, e-mail: VoronkovIE@mgsu.ru

Timur A. USMANOV, e-mail: tim.ycm17@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. The relevance of the topic is determined by the importance of logistics in solving various technological and organizational and managerial tasks during the construction of nuclear power plants. The feasibility of digitalization of logistics systems for nuclear power plants construction is substantiated, since the efficiency of the organization of logistics has a direct impact on both the speed and quality of the performed installation work performed, and the overall profitability of the project. Methods of analysis of existing approaches in the management of material and technical support of nuclear power plants were used in the study. Using the induction method, the components of the logistics system are decomposed and transport, warehouse logistics, and foreign experience in using modern digital technologies are considered separately. The study describes the problems of transport and warehouse logistics for the construction of high-tech facilities, shows the importance of logistics processes, considers foreign experience in using modern digital technologies, and assesses the prospects for implementing these technologies. The lack of synchronization in the functioning of transport and logistics subsystems in practice leads to delays in the receipt of necessary materials, an increase in inventory of material resources, transport downtimes, increased costs and violation of the terms of construction of nuclear power plants. The most promising tool for solving these problems and improving the effectiveness of logistics systems is the application of the world's best practices in the field of logistics for the construction of nuclear power facilities using modern digital logistics trends. Introduction of modern digital technologies such as artificial intelligence/neural networks, Big Data, drones, etc. makes it possible to optimize the technological processes of working with cargo flows, significantly reduce the logistics costs of logistics systems, and perform everything "just in time".

Key words: logistics, transport, warehouse, nuclear power plant, digital transformation, artificial intelligence, Big Data.

Введение

Атомную энергетику по праву можно считать одной из наиболее

высокотехнологичных отраслей экономики. Проекты сооружения атомных электрических

станций (АЭС) – уникальные инвестиционно-строительные проекты (ИСП). Они требуют от ор-

ганизаторов строительства существенных затрат ресурсов, внедрения уникальных технологий, а также высокого уровня организации и управления строительством. Логистические процессы в данном случае служат связующим звеном технологии, организации, управления и снабжения реализуемых проектов всем необходимым.

Ритмичное обеспечение строительства высокотехнологичных объектов материальными и техническими ресурсами требует особого внимания и должно осуществляться в соответствии с самыми современными методиками и практиками подобной деятельности. В контексте выполнения международных проектов транспортно-складская логистика существенно усложняется.

Опыт строительства АЭС

Реализация проектов «АЭС-2006» на площадках Нововоронежской АЭС-2 и Ленинградской АЭС-2 наглядно продемонстрировала недостатки организации и управления логистическими потоками в рамках названных проектов. Ключевой проблемой в данном случае стали не проблемы несвоевременной поставки оборудования и материалов, а затоваривание складских площадей, вызванное превышением сроков строительства.

Признавая данный опыт первым после длительного периода стагнации атомного энергетического строительства, можно предположить, что последующие проекты будут осуществляться с учетом всего накопленного опыта и без повторения ошибок. К сожалению, опыт сооружения Курской АЭС-2 это не подтверждает.

Курская АЭС-2 возводится по перспективному проекту «ВВЭР-ТОИ», представленному широкой общественности государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» (ГК «Роса-

том») почти 10 лет назад. Данный проект существенно отличается от «АЭС-2006» в первую очередь в части технологии возведения зданий ядерного острова с использованием несъемной фибробетонной опалубки [1]. Данная технология предполагает необходимость значительного совершенствования имеющегося опыта организации логистических процессов, но к настоящему времени на практике это не решено в полной мере, что принципиальным образом повлияло на увеличение сроков реализации проекта еще на самом раннем этапе строительства.

Несколько лучше обстоят дела на АЭС «Руппур» в Республике Бангладеш, которую возводят по относительно более простому и отработанному проекту «АЭС-2006». Однако существенная удаленность площадки строительства от основных российских поставщиков материально-технических ресурсов становится серьезным испытанием для всей организационной структуры проекта [2].

На основании вышесказанного можно с уверенностью утверждать, что совершенствование логистических процессов в атомном энергетическом строительстве — важная теоретическая и практическая задача. Фактическое отсутствие к настоящему моменту у России опыта реализации масштабных ИСП на значительном удалении от собственной территории может стать серьезной преградой на пути исполнения ГК «Росатом» своих контрактных обязательств перед зарубежными заказчиками. По заявлению руководства госкорпорации оцениваемый портфель зарубежных заказов на ближайшие 10 лет превысил 135 млрд долларов США [3].

В рамках данной работы авторы статьи выполняют анализ составных частей логистики соору-

жения объектов атомной энергетики с целью поиска возможностей, способов и инструментов внедрения современных цифровых трендов для повышения качества логистических систем в атомном энергетическом строительстве.

Методика исследования

К особенностям реализации проектов атомной энергетики прежде всего можно отнести:

- обширный ассортимент материально-технических ресурсов;
- высокие требования к срокам поставок (логистический принцип «точно в срок»);
- длительные и технологически сложные процессы приемки и входного контроля технологического оборудования;
- наличие в комплекте поставляемого оборудования уникальных элементов, производимых единственным поставщиком;
- использование уникальных схем механизации строительства [4], во многом определяющих комплектность и очередность поставки ресурсов;
- многоуровневые системы мониторинга транспортировки ресурсов;
- необходимость сотрудничества с национальными правительствами и международными организациями (при реализации международных проектов).

Указанные особенности определяют основные требования к модернизации систем материально-технического обеспечения на различных этапах жизненного цикла строительства атомных электростанций. Успешная реализация международных проектов сооружения АЭС, характеризующихся высокой сложностью организации логистических процессов, в перспективе может стать одним из локомотивов роста всей отечественной экономики и источником организационно-технологического опыта для

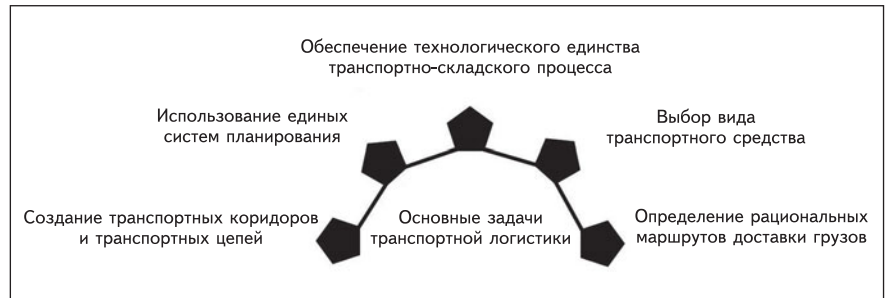
большого количества смежных отраслей.

Анализ актуальной отечественной и иностранной научно-технической литературы в области строительной логистики, эффективно-го обеспечения материально-техническими ресурсами, цифровизации транспортно-складской логистики, в частности трудов профессоров М. А. Макарова, О. В. Демиденко, Yaxing Wang и других специалистов применительно к современному состоянию атомного энергетического строительства, позволяет признать, что существующие методы управления цепями поставок в атомной энергетике не учитывают в полной мере целесообразность формирования гибких организационных структур систем материально-технического обеспечения на различных этапах сооружения высокотехнологичных объектов.

При возведении объектов атомной энергетики за рубежом на примере АЭС «Руппур» необходимо обеспечивать своевременную поставку материально-технических ресурсов, однако на практике имеются случаи задержек поступления материалов и оборудования. В данных условиях организацию и исполнение закупочных процедур важно осуществлять на более ранних сроках, а также повысить требования к подготовке документации поставок материалов, что позволит своевременно обеспечить строительное производство всем необходимым.

Транспортная логистика

Материальные и технические ресурсы с помощью транспортных средств перемещаются на строительные площадки АЭС. Транспорт отлично вписывается в производственно-строительные процессы, поэтому транспортная составляющая участвует во множестве задач логистики промышленного строительства. Основ-



Задачи транспортной логистики

ные задачи транспортной логистики представлены на *рисунке*.

С точки зрения логистики каждый вид транспорта имеет свои преимущества и недостатки. Задача выбора вида транспорта решается во взаимной связи с другими задачами логистики, такими как создание и поддержание оптимального уровня запасов на приобъектном складе строящихся атомных электростанций. Кроме того, необходимо учитывать несколько основных факторов одновременно (время и стоимость доставки, возможность перевозить различные виды грузов, надежность соблюдения графика доставки материалов, возможность поставки в любую точку территории и т. д.) [5–7].

Специфическая черта строительного производства высокотехнологичных объектов — пространственно-временная разобщенность объектов строительства. Операции транспортировки, складирования, хранения и грузопереработки обязательно присутствуют на всех этапах сооружения АЭС. Благодаря комплексному подходу в управлении данными операциями можно сократить повторные складские перемещения грузов в 1,5–2 раза и уменьшить расходы на передвижение (например, затраты на металлоконструкции при железнодорожных перевозках меньше на 5–12 %) [8].

Транспортные коммуникации в строительстве высокотехнологичных объектов характеризуются

грузовыми потоками. В практике строительства грузовые потоки рассчитываются по каждому проекту, тем самым исключая встречные и нерациональные перевозки материальных ресурсов. Формирование оптимальных грузовых потоков становится достаточно сложной задачей, решение которой уже невозможно без компьютерной техники [9]. Ситуация существенно усложняется в условиях реализации портфеля проектов [10], когда на ограниченные ресурсы уникальных поставщиков накладывается необходимость многоуровневой увязки цепочек поставок между несколькими проектами.

Приоритетное направление транспортной логистики — сопряжение транспортных средств и технологий работы железнодорожного [11], автомобильного и водного транспорта, так как именно эти виды транспорта преимущественно используются при сооружении АЭС. Для перемещения материальных ресурсов необходимо тщательно планировать всю транспортно-складскую деятельность, поскольку даже при небольших отклонениях возможны значительные производственные простои всех звеньев производственной цепи.

Складское хозяйство

Значительную функцию в строительном производстве объектов атомной энергетики играют склады, которые являются одним из важнейших элементов логистиче-

ских систем. На всех этапах жизненного цикла АЭС имеется потребность в специально обустроенных местах для содержания оптимального уровня материальных ресурсов. Этим объясняется наличие большого количества разнообразных видов складов [12].

Современный склад состоит из многочисленных и взаимосвязанных элементов, имеет определенную структуру и выполняет ряд функций по преобразованию материальных потоков. Движение через склад связано с затратами труда людей, вложениями в средства доставки материалов, что, в свою очередь, увеличивает стоимость. В связи с этим проблемы функционирования складов оказывают существенное влияние на реализацию движения материальных потоков в логистической цепи [13].

Логистические функции склада реализуются в процессе осуществления отдельных логистических операций. В целом логистический процесс складского хозяйства достаточно сложен, так как требует полной согласованности функций снабжения, переработки и распределения грузов [14].

Логистические процессы склада включают в себя:

- снабжение материалами (задача — наличие на складе ресурсов);
- контроль за поставками (обеспечить ритмичность, увеличить оборот склада и сократить сроки хранения);
- разгрузка и приемка грузов (правильный выбор погрузо-разгрузочного оборудования и мест выгрузки позволяет сократить простои транспортных средств и, следовательно, снизить затраты) [15];
- внутрискладские перемещения (транспортировка должна осуществляться при минимальных протяженностях в пространстве и во времени);

- складирование и хранение (эффективное использование объема склада);
- комплектация материалов и отгрузка (отбор материалов и укладка грузов в товароносители);
- контроль за выполнением транспортировки (оптимизация маршрутов передвижения и сокращение транспортных расходов);
- информационное обслуживание склада (обработка документации, проверка наличия материалов на складе, обмен информацией и др.).

Функционирование всех составляющих логистического процесса должно рассматриваться во взаимосвязи. Рациональное осуществление логистического процесса на складе — залог его рентабельности [16]. Технологический процесс на складе должен отвечать оптимальным параметрам по скорости, обеспечивать сохранность материалов и экономичность затрат [17]. Нормативная оборачиваемость (скорость) материалов зависит от задач и выполняемых функций склада, условий поставки грузов и ряда других факторов. Увеличение оборачиваемости в значительной мере обусловлено уровнем производительности труда работников склада [18].

Оптимизировать экономичность технологического процесса можно лишь при оптимизации всей системы материалодвижения. Нескоординированность потоков способствует росту запасов материалов на складе, в свою очередь запас как объект логистики нуждается в управлении. Оптимальным признается такое количество складов и их местоположение, при котором затраты на хранение минимизируются.

Применительно к строительству АЭС затоваривание складских площадей влечет не только сни-

жение общей эффективности складской инфраструктуры, но и существенное увеличение накладных расходов на содержание хранящихся конструкций и оборудования в требуемых условиях. Значительная стоимость и уникальность отдельных конструктивных элементов, промышленного оборудования, их сложные геометрические формы и существенные габариты значительно усложняют и удорожают процессы приемки и временного хранения. Эти затраты зачастую не учитываются при определении стоимости строительства и ложатся на плечи генеральной подрядной организации или субподрядных организаций, оказывая негативное влияние на надежность каждого элемента организационной структуры проекта [19]. Сокращение продолжительности временного хранения очень актуально и может быть решено только в комплексе прочих организационно-логистических задач.

Материально-техническое обеспечение

В настоящее время атомная энергетика относится к числу технологически развитых отраслей. В то же время вопросам логистических систем материально-технического обеспечения высокотехнологичных объектов уделяется недостаточно внимания. Нерациональное управление цепями поставок может привести к серьезным экономическим потерям. В свою очередь в условиях рыночной экономики возникает множество задач, решение которых требует оптимизации материально-технического обеспечения АЭС. Конкуренция на рынке предъявляет дополнительные требования к поставщикам с учетом специфических особенностей возведения объектов атомной энергетической.

На эффективность системы материально-технического обес-

печения атомных электростанций в России влияет следующее:

- значительное количество поставщиков и широкая география их размещения;
- неудовлетворительная ритмичность закупочной деятельности;
- неполноценное использование методов логистики и управления цепями поставок;
- недостаточный контроль за процессами транспортировки материалов.

Оптимальное формирование и развитие логистических систем материально-технического обеспечения в энергетике может быть реализовано с помощью цифровой трансформации. С целью обоснования данного утверждения рассмотрим пример использования современных цифровых технологий датской компании «Maersk».

Применение современных систем способствовало более быстрой, качественной и дешевой транспортировке грузов морским транспортом. Благодаря переходу на цифровую документацию, внедрению мобильных технологий для мониторинга транспортировок, развитию промышленной аналитики, мгновенному реагированию и цифровым рабочим местам компания стала одним из мировых лидеров в области морских перевозок.

Цифровая система управления цепями поставок позволяет все делать «точно в срок», что повышает эффективность и производительность компании. А приложения на базе портативных средств связи помогают улучшать сотрудничество между поставщиками, производственными предприятиями и коммерсантами. С помощью портативных устройств отслеживаются условия хранения, этапы транспортировки и осуществляются процедуры оптимизации логистических процессов при необходимости [20].

Для российского рынка харак-

терен консерватизм логистических систем. Это способствует тому, что продолжительность простоя транспортных средств может достигать 70 %. Отсутствие единой транспортной системы управления приводит к неритмичному подвозу материальных ресурсов к портам и пунктам перевалки, что в свою очередь ведет к потере позиций на мировом рынке [21].

В сфере транспортной логистики отечественные транспортно-логистические компании в настоящее время отличаются несколько большими затратами времени на транспортировку грузов, чем другие участники рынка. Это — следствие отсутствия необходимого опыта и недостаточной технологической и цифровой оснащенности процессов. Россия уступает во внедрении процедур электронного документооборота, во введении специальных пломб, которые привязаны к системе ГЛОНАСС и таможенным пропускам на автодорогах. Зарубежные логистические системы применяют электронную документацию, мобильные технологии, мониторинг движения грузов в реальном времени, что позволяет снизить логистические издержки систем материально-технического обеспечения высокотехнологичных объектов.

Таким образом, используемая в России система управления материально-техническими ресурсами не учитывает в полной мере специфические особенности объектов атомной энергетики. Сооружение высокотехнологичных объектов требует большого количества и разнообразной номенклатуры грузов, различающихся по своим характеристикам и специфике транспортировок. В дополнение к этому строительству данных объектов подразумевает использование готовых заводских изделий, которые изготавливают для установки «по мес-

ту». Большинство таких изделий представляют собой крупногабаритные и тяжеловесные грузы. Ситуация может существенно усугубиться при переходе к реализации международных контрактов на строительство АЭС по проекту «ВВЭР-ТОИ». По своей сути он переходный к проектам, возводимым гибридно-блочным методом.

Перемещение негабаритных грузов — сложная задача из-за ограниченной инфраструктуры (дороги с весовыми ограничениями, мосты, скоростной режим, тоннели и т. д.). В отдельных случаях транспортная сеть не пригодна для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов, поэтому предусматриваются альтернативные варианты транспортировки, вплоть до строительства отдельного участка дороги к месту сооружения объектов атомной энергетики, что, естественно, ведет к удорожанию строительства.

Анализ результатов

Выполненная оценка ключевых особенностей организации логистических процессов при сооружении АЭС демонстрирует востребованность и значимость для отечественных компаний совершенствования существующих механизмов и способов организации логистического обеспечения строительства, основой которого могут стать:

- интеграция передового зарубежного опыта и лучших практик организации логистических процессов;
- привлечение к сооружению АЭС мировых лидеров в области логистики;
- совершенствование национального законодательства в части упрощения закупочных процедур и достижения их большей прозрачности;
- внедрение передовых информационных технологий в процесс

разработки, проектирования и организации логистической подсистемы строительства.

Существенное увеличение вычислительной мощности электроники, накопление достаточного объема доступных для цифровизации данных о выполнении отдельных этапов реализации проектов АЭС предыдущих поколений (Нововоронежская АЭС-2, Ленинградская АЭС-2, БН-800 Белоярской АЭС) создают все предпосылки к широкомасштабному применению современных информационных технологий, представленных в *таблице*.

Данная цифровая трансформация логистических систем направлена на повышение эффективности работы, производительности труда и принимаемых управленческих решений. Следовательно, внедрение цифровой трансформации — необходимая мера, поскольку будет способствовать развитию и оптимизации процессов транспортно-складской логистики объектов атомной энергетики на российском рынке [22–25].

На практике использование цифровой трансформации в отечественной сфере логистики позволит применительно к атомному энергетическому строительству:

- повысить общую эффективность реализации проектов сооружения АЭС, обеспечив российским проектам явные конкурентные преимущества на мировом рынке;
- минимизировать вероятность наступления рисков ситуаций по причине недопоставки материалов, изделий и оборудования;

Применение информационных технологий в логистике

Инструмент	Задача
Искусственный интеллект/нейронные сети	Анализ входящей информации, оптимизация всей цепочки поставок ресурсов, прогнозное обслуживание, постоянное выполнение логистических операций
Большие данные	Обработка огромного объема данных, аналитика по объектам, построение хранилищ данных, контроль соблюдения норм
Летающие дроны	Уменьшение сроков инвентаризации склада, доставка малогабаритных грузов, мониторинг строительных процессов

- способствовать надежности всех участников ИСП и проекта в целом, в том числе за счет сокращения накладных расходов на длительное хранение временно невостребованных ресурсов;
- достичь оптимального уровня запаса материалов на складских площадках строительства с учетом осуществления межпроектных ресурсных коммуникаций;
- существенно повысить производительность труда и выработку на одного рабочего в отрасли.

Выводы

1. Цифровая трансформация, происходящая в настоящий момент во всех отраслях экономики, создает предпосылки для внедрения в процессы проектирования и строительства АЭС принципиально новых инструментов, ранее недоступных ввиду отсутствия необходимых технических средств и программного обеспечения. При этом на данном этапе наибольший потенциал развития в рамках сооружения объектов использования атомной энергии цифровая трансформация имеет в области логистического обеспечения строительства.

2. Искусственный интеллект, нейронные сети, Big Data, беспилотные летательные аппараты могут и должны быть использованы в обеспечении и организации строительства уникальных, технически сложных объектов, таких как АЭС, наряду с традиционными механизмами интеграции передового мирового опыта, привлечения иностранных специалистов, совершенствования законодательства в сфере закупочной деятельности. Отказ от внедрения указанных инструментов неизбежно влечет еще большее отставание отечественного логистического опыта от мирового и снижение конкурентных преимуществ российских компаний, реализующих проекты за пределами нашей страны.

3. Своевременное и комплексное внедрение передовых цифровых технологий в сферу атомного энергетического строительства может стать точкой пересечения интересов высокотехнологичных IT-компаний и предприятий различных отраслей экономики, обеспечив существенный синергетический эффект от совместной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красновский Р. О., Денисов А. В., Рогачев К. В., Капустин Д. Е. Подбор состава матрицы из цементно-песчаного раствора для производства несъемной опалубки АЭС нового поколения // Энергетик. 2015. № 7. С. 35–38.
2. Морозенко А. А., Воронков И. Е. Аналитический расчет надежности участников инвестиционно-строительных проектов как элементов организационной структуры // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 8. С. 27–29.

3. Пантелей Д. С. Перспективы экспорта российского атома // Энергетическая политика. 2020. № 6(148). С. 42–49.
4. Воронков И. Е., Овинкин Н. В. Мировой опыт и перспективы разработки схем механизации строительства атомных электростанций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 11. С. 1584–1596. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1584-1596.
5. Макаров М. А., Мартынюк А. В., Зарецкий А. В. Транспортная логистика // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 12. С. 194–198.
6. Адамова А. А. Транспорт как базовый элемент в современных транспортно-логистических системах // Евразийский Союз ученых. 2015. № 4-1(13). С. 8–10.
7. Демиденко О. В. Оптимизация размера резерва материалов при возведении объектов строительства // Омский научный вестник. 2012. № 4. С. 100–103.
8. Гукова Е. А. Формирование механизма управления цепями поставок в строительной отрасли // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 11. С. 189–194.
9. Силка Д. Н. Экономико-информационная система мониторинга производственных ресурсов нового поколения // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 93–106.
10. Voronkov I., Muñoz C. Integrated project program management in the nuclear-power engineering as a driver for the interindustrial development of export-based contractors of the Russian Federation [Комплексное проектно-программное управление в атомной энергетике как драйвер межотраслевого развития экспортно-ориентированных подрядчиков Российской Федерации] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. No. 6. P. 062026. DOI: 10.1088/1757-899X/869/6/062026.
11. Sychev V. P., Sychev P. V., Voronkov I. E. A probabilistic verification application of random value distribution of defects in rail tracks of industrial facilities [Вероятностная верификация применения случайного распределения величин дефектов рельсовых путей промышленных объектов] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. No. 2. P. 022002. DOI: 10.1088/1757-899X/919/2/022002.
12. Приклад И. С. Оптимизация складской логистики // Научный журнал. 2018. № 5. С. 84–86.
13. Круцких Т. К. Проблемы планирования ресурсов и формирования схемы поставок при проведении строительно-монтажных работ // Достижения науки и образования. 2016. № 7. С. 26–29.
14. Демиденко О. В. Планирование комплектации строительных потоков // Омский научный вестник. 2011. № 1. С. 43–44.
15. Бондаренко В. А., Кундрюков С. С. Инновации в сфере продаж как фактор привлечения потребителей // Концепт. 2015. № 4. С. 166–170.
16. Демиденко О. В. Основы управления строительным потоком // Омский научный вестник. 2013. № 1. С. 68–70.
17. Гарибов Р. Б., Пахомова А. В., Баширзаде Р. Р. Логистика строительных проектов // Вестник РГЭУ РИНХ. 2016. № 2. С. 22–29.
18. Сборщиков С. Б., Асатрян И. С. Долгосрочные программы материально-технического обеспечения строительства // Вестник МГСУ. 2007. № 4. С. 65–68.
19. Воронков И. Е. Вектор глобальных приоритетов метода анализа иерархий как относительный показатель уровня надежности потенциальных участников инвестиционно-строительных проектов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 11. С. 137–145.
20. *Connecting and simplifying supply chains* [Соединение и упрощение цепочек поставок] // Annual Magazine Maersk. 2018/2019. 25 p.
21. Елисеев С. Управление грузоперевозками в транспортных узлах с применением логистических центров // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 2. С. 32–34.
22. Дмитриев А. В. Цифровизация транспортно-логистических услуг на основе применения технологии дополненной реальности // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2018. № 2. С. 169–178.
23. Ларин О. Н., Буш Ю. Д. Основные приоритеты цифровизации в транспортной логистике // Россия: тенденции и перспективы развития. 2019. № 14-1. С. 525–527.
24. Yaxing W., Lijie F., Heyu C., Min W. Research on the impact of Big Data on logistics [Исследование влияния больших данных на логистику] // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 100.02015. Pp. 1–5.
25. Яковлева Е. А., Зеликов В. А., Титова Е. В. [и др.] Цифровизация транспортно-логистической отрасли в условиях глобализации мировой экономики // Вестник ВГУИТ. 2019. № 4(82). С. 243–250.

REFERENCES

1. Krasnovskiy R. O., Denisov A. V., Rogachev K. V., Kapustin D. E. Selection of the composition of the matrix of cement-sand mortar for the production of permanent formwork of a new generation of nuclear power plants. *Energetik*, 2015, no. 7, pp. 35–38. (In Russian).
2. Morozenko A. A., Voronkov I. E. Analytical calculation of reliability of participants in investment and construction projects as elements of the organizational structure. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzhya*, 2018, no. 8, pp. 27–29. (In Russian).
3. Panteley D. S. Prospects of export of the Russian atom. *Energeticheskaya politika*, 2020, no. 6(148), pp. 42–49. (In Russian).
4. Voronkov I. E., Ovinkin N. V. World experience and prospects of development of schemes of mechanization of construction of nuclear power plants. *Vestnik MGSU*, 2020, vol. 15, iss. 11, pp. 1584–1596. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1584-1596. (In Russian).

5. Makarov M. A., Martynyuk A. V., Zaretskiy A. V. Transport logistics. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2012, no. 12, pp. 194–198. (In Russian).
6. Adamova A. A. Transport as a basic element in modern transport and logistics systems. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh*, 2015, no. 4-1(13), pp. 8–10. (In Russian).
7. Demidenko O. V. Optimization of the size of the reserve of materials in the construction of construction objects. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2012, no. 4, pp. 100–103. (In Russian).
8. Gukova E. A. Formation of a mechanism for managing supply chains in the construction industry. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2016, no. 11, pp. 189–194. (In Russian).
9. Silka D. N. Economic and information system for monitoring new generation production resources. *Vestnik MGSU*, 2016, no. 5, pp. 93–106. (In Russian).
10. Voronkov I., Muñoz C. Integrated project program management in the nuclear-power engineering as a driver for the interindustrial development of export-based contractors of the Russian Federation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 869, no. 6, p. 062026. DOI: 10.1088/1757-899X/869/6/062026.
11. Sychev V. P., Sychev P. V., Voronkov I. E. A probabilistic verification application of random value distribution of defects in rail tracks of industrial facilities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 919, no. 2, p. 022002. DOI: 10.1088/1757-899X/919/2/022002.
12. Priplad I. S. Optimization of warehouse logistics. *Nauchnyy zhurnal*, 2018, no. 5, pp. 84–86. (In Russian).
13. Krutskikh T. K. Problems of resource planning and supply chain formation during construction and installation works. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya*, 2016, no. 7, pp. 26–29. (In Russian).
12. Demidenko O. V. Planning complete the construction of threads. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2011, no. 1, pp. 43–44. (In Russian).
15. Bondarenko V. A., Kundryukov S. S. Innovations in the field of sales as a factor to attract customers. *Kontsept*, 2015, no. 4, pp. 166–170. (In Russian).
16. Demidenko O. V. Fundamentals of construction flow management. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2013, no. 1, pp. 68–70. (In Russian).
17. Garibov R. B., Pakhomova A. V., Bashirzade R. R. Logistics of construction projects. *Vestnik RGEU RINKh*, 2016, no. 2, pp. 22–29. (In Russian).
18. Sborshchikov S. B., Asatryan I. S. Long-term programs of material and technical support of construction. *Vestnik MGSU*, 2007, no. 4, pp. 65–68. (In Russian).
19. Voronkov I. E. Vector of global priorities of the hierarchy analysis method as a relative indicator of the level of reliability of potential participants in investment and construction projects. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2018, no. 11, pp. 137–145. (In Russian).
20. Connecting and simplifying supply chains. *Annual Magazine Maersk*, 2018/2019, 25 p.
21. Eliseev S. Cargo transportation management in transport hubs using logistics centers. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2006, no. 2, pp. 32–34. (In Russian).
22. Dmitriev A. V. Digitalization of transport and logistics services based on the use of augmented reality technology. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Ekonomika i menedzhment*, 2018, no. 2, pp. 169–178. (In Russian).
23. Larin O. N., Bush Yu. D. Main priorities of digitalization in transport logistics. *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya*, 2019, no. 14-1, pp. 525–527. (In Russian).
24. Yaxing W., Lijie F., Heyu C., Min W. Research on the impact of Big Data on logistics. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 100.02015, pp. 1–5.
25. Yakovleva E. A., Zelikov V. A., Titova E. V. et al. Digitalization of the transport and logistics industry in the globalized world economy. *Vestnik VGUIT*, 2019, no. 4(82), pp. 243–250. (In Russian).

Для цитирования: Воронков И. Е., Усманов Т. А. Логистические технологии, используемые при возведении атомных электростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 2. С. 49–56. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56.

For citation: Voronkov I. E., Usmanov T. A. Logistics Technologies Used in the Construction of Nuclear Power Plants. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 2, pp. 49–56. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56. ■

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ

«ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

МОЖНО НАЧИНАЯ С ЛЮБОГО МЕСЯЦА В ЛЮБОМ ОТДЕЛЕНИИ
СВЯЗИ ИЛИ В РЕДАКЦИИ. В РЕДАКЦИИ ТАКЖЕ МОЖНО ПОДПИСАТЬСЯ
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА.