

О. В. ДЕМИДЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

INCREASING THE RELIABILITY OF ORGANIZING LOGISTICS FOR CONSTRUCTION

Для повышения надежности организации материально-технического снабжения и сокращения совокупных затрат строительства разработан алгоритм перебора поставок с использованием логики динамического программирования, позволяющий сократить объем вычислительных операций. Представленная методика организации распределения поставок во времени позволяет решить задачу оптимизации графика поставки материальных ресурсов, повысить равномерность обеспечения строительных потоков материальными ресурсами, снизить размеры оборотных средств в строительстве. Материалы статьи позволяют планировать организацию поставок материальных ресурсов в строительстве и являются основой для дальнейших исследований.

Ключевые слова: материально-техническое обеспечение строительства, строительный поток, объем поставок, организация поставок, график поставки материальных ресурсов, производственные запасы

To increase the reliability of the organization of material and technical supply and reduce the total costs of construction, an algorithm for enumerating supplies using dynamic programming logic has been developed, allowing to reduce the volume of computational operations. The presented methodology for organizing the distribution of supplies over time allows us to solve the problem of optimizing the delivery schedule of material resources, increasing the uniformity of supplying construction flows with material resources, and reducing the size of working capital in construction. The materials of the article make it possible to plan the organization of supplies of material resources in construction and are the basis for further research.

Keywords: material and technical support for construction, construction flow, volume of supplies, organization of supplies, delivery schedule of material resources, inventories

Введение

Конкурентоспособность строительных организаций определяется уровнем материально-технического обеспечения объектов возведения и достигается координацией взаимодействия всех участников поставок ресурсов.

Организационно-технологические решения, связанные с вопросами материально-технического обеспечения, должны быть направлены на доставку ресурсов в четко установленный срок в соответствии с требованиями производственного процесса. Несвоевременность доставки ресурсов влечет за собой дополнительные затраты, которые сокращают прибыль строительной организации и рентабельность. Оптимизация материально-технического обеспечения в соответствии с календарным планом выполнения строительно-монтажных работ позволяет сократить сроки строительства. Важность надежного функционирования системы материально-технического обеспечения строительства материальными ресурсами рассматривается многими учеными.

В работе [1] сформулирована и решена задача управления поставками, заключающаяся

в соблюдении плана поставок и плана хранения материальных ресурсов на строительной площадке при условии минимума складских затрат.

В [2] авторами разработана интеллектуальная система управления строительным производством в составе которой реализована методика планирования движения материальных потоков, обеспечивающая синхронизацию процессов производства строительно-монтажных работ и комплектной поставки в условиях стационарного спроса.

В работе [3] показана необходимость автоматизации разработки графиков календарного строительства и поставки материальных ресурсов. Рассмотрен перечень организационно-технологических задач для комплексного проектирования строительства, в том числе материально-технического обеспечения.

В исследовании [4] рассмотрены пути совершенствования строительного производства на основе управления производственными, технологическими и страховыми запасами материальных ресурсов в системе с фиксированным объемом поставок и фиксированным временным интервалом между смежными поставками

ми, выявлены преимущества их использования при организации и планировании материально-технического обеспечения строительства.

Формирование производственных запасов позволяет уменьшить отрицательное воздействие стохастических факторов на строительное производство.

Если размер производственных запасов недостаточен, то для строительной организации при перебоях в снабжении может наступить ряд неблагоприятных последствий. Отсутствие необходимых материальных ресурсов вызывает простой или неполную загрузку рабочих и механизмов, приводит к нарушению ритмичности производства строительно-монтажных работ, а при замене отсутствующих материалов другими, более дорогими – к удорожанию строительства.

Создание чрезмерных запасов влечет за собой значительные экономические потери. Наличие излишних запасов приводит к замедлению оборачиваемости оборотных средств и вызывает финансовые трудности. Хранение производственных запасов на складах строительных организаций вынуждает строить дополнительные складские помещения и влечет за собой рост заготовительно-складских расходов.

При расчете оптимальной нормы запаса необходимо учитывать внутренние и внешние условия строительного производства. Внутренние факторы определяют интенсивностью использования материальных ресурсов строительными потоками, возможностью хранения и затратами на содержание материальных ресурсов в течение планового промежутка времени. Внешние факторы связаны с производственными возможностями поставщиков, оперативностью выполнения заказов, затратами на транспортирование и др. При формировании оптимального уровня запаса необходимо учитывать изменение затрат на создание, транспортирование и содержание запасов во времени.

Управление запасами материальных ресурсов связано с обеспечением равномерности строительного производства. Если поставки материальных ресурсов, необходимых строительному производству, осуществляются своевременно и в полном объеме, то это создает предпосылки для ритмичного выполнения графика строительно-монтажных работ и положительно сказывается на экономических показателях производственной деятельности строительных потоков.

Неравномерность периодов (интервалов) между последовательными поставками увеличивает размер запасов в днях, особенно в том случае, когда размер потребности строитель-

ных потоков в данном материальном ресурсе незначителен [5, 6].

Практика планирования материально-технического снабжения строительных организаций не обеспечивает необходимой полной взаимосвязи планирования материального обеспечения с планированием производственной программы строительной организации. Она требует строгого согласования процессов производства материалов, транспортировки их и производственного потребления.

Несмотря на имеющиеся результаты исследования материально-технического обеспечения строительных потоков [7–11], необходимо продолжить разработки в данной области. Целью исследования является разработка методики организации распределения поставок во времени для обеспечения функционирования строительных потоков.

Методика исследования

Система материально-технического обеспечения строительного производства призвана организовать рациональную циркуляцию продукции производственно-технического назначения между ее изготовителями и потребителями, обеспечить непрерывность производственного процесса путем своевременного удовлетворения потребностей на сырье, материалы, комплектующие изделия, конструкции. Создание запасов материальных ресурсов в звеньях системы материально-технического обеспечения позволяет сгладить или полностью устранить несогласованность ритма производства и потребления, дискретность процесса поставок, действие случайных факторов на спрос строительных потоков и протяженность интервалов между поставками. Практика организации материально-технического обеспечения объектов строительства материальными ресурсами требует согласования процессов их поставки и потребления.

Примем, что интенсивность (скорость) затрат исходных материальных ресурсов задана графиком производства строительно-монтажных работ и описывается функцией $q(t)$, чем предопределен закон изменения во времени спроса, предъявляемого строительными потоками на поставляемые материальные ресурсы. В этом случае решением является принятие графика поставок материальных ресурсов, полностью совпадающим с графиком производственного процесса:

$$q(t) = \alpha(t), t \in [0, T]. \quad (1)$$

Поставки материальных ресурсов малых объемов небольшими партиями невыгодны

изготовителям строительной продукции, так как затраты на их транспортировку непропорциональны объемам перевозок. На практике это приводит к внутрисменным простоям из-за несвоевременного и некомплектного материально-технического обеспечения.

Рассмотрим простейшую ситуацию, когда интенсивность спроса строительных потоков на материальные ресурсы задана функцией

$$\alpha(t) = \alpha = \text{const}, t \in [0, T]. \quad (2)$$

Пусть возможный объем единичной поставки неограничен, плата за заказ K и стоимость доставляемых на строительную площадку материальных ресурсов c^q в течение планового периода постоянна. При этом затраты на хранение единицы продукта i в течение единицы времени постоянны и равны h_i , а площади складов неограниченны.

В случае невозможности комплектных поставок материальных ресурсов, проблему организации поставок каждого продукта можно рассматривать независимо.

Возможные варианты организации материально-технического обеспечения ограничены требованием периодичности, поэтому проблема заключается в поиске оптимального периода времени между смежными поставками τ_0 .

Если начальный запас отсутствует, а простои рабочих строительных бригад со стороны строительной организации нежелательны, то объем q^0 поставок в начале каждого периода должен заведомо покрывать потребность строительных потоков за время между смежными поставками, т. е. $q^0 \geq \alpha\tau_0$.

Очевидно, что поставки «впрок» при принятых предположениях неразумны, так как могут увеличить издержки на хранение, поэтому следует принимать $q^0 = \alpha\tau_0$.

Запас в течение периода, начинающегося с прихода поставки объемом q^0 , линейно убывает во времени:

$$s(t) = q^0 - \alpha t = \alpha(\tau_0 - t), 0 \leq t < \tau_0 \quad (3)$$

(здесь t отсчитывается от начала цикла).

Издержки на хранение материальных ресурсов за цикл равны

$$h \int_0^{\tau_0} s(t) dt = h\alpha \int_0^{\tau_0} (\tau_0 - t) dt = \frac{h\alpha\tau_0^2}{2}. \quad (4)$$

Суммарные издержки за период, включающие транспортные затраты и на хранение:

$$K + c^q \alpha \tau_0 + \frac{1}{2} h \alpha \tau_0^2.$$

Продолжительность цикла, минимизирующая издержки в единицу времени, равные

$$\frac{1}{\tau_0} \left[K + c^q \alpha \tau_0 + \frac{1}{2} h \alpha \tau_0^2 \right],$$

определяется как:

$$\tau_0 = \sqrt{\frac{2K}{h\alpha}}, \quad (5)$$

что соответствует формуле для оптимального объема единичной поставки

$$q^0 = \sqrt{\frac{2K\alpha}{h}}. \quad (6)$$

Полученное выражение соответствует классической формуле Уилсона, которая характерна для стационарного спроса.

Необходимо отметить, что цена поставляемых материальных ресурсов c^q , если она постоянна, не имеет значения: при необходимости удовлетворять спрос затраты на оплату всего спроса (без платы за заказ) фиксированы.

Принятый выше критерий – минимум средних издержек в единицу времени – не вполне экономически оправдан. Вероятностный характер материально-технического обеспечения строительного производства затрудняет разработку методики распределения поставок материальных ресурсов во времени, основанной на использовании средних величин. Рациональнее минимизировать суммарные издержки за весь период планирования.

Система строительного производства имеет вероятностную природу, поэтому интенсивность спроса на материальные ресурсы предполагается нестационарной. Для каждого момента времени в течение планового интервала существует множество значений величины спроса, причем каждому значению из этого множества соответствует некоторая вероятность его осуществления.

Рассмотрим организацию распределения поставок материальных ресурсов во времени в случае нестационарного спроса с помощью алгоритма Вагнера-Уайтина. Зафиксируем последовательность возможных моментов t_n , $n = 1, \dots, N$ получения поставок материальных ресурсов в течение планового периода.

Величины $\Delta_n = t_{n+1} - t_n$, $n = 1, \dots, N$; $t_{N+1} = T$ будем именовать длительностями n -го этапа.

Спрос рабочих строительных бригад на материальные ресурсы за этап n равен

$$a(n) \triangleq \int_{t_n}^{t_{n+1}} \alpha(t) dt. \quad (7)$$

Если обозначить объем наличного запаса в момент, непосредственно предшествующий t_n , через $s(n)$, то издержки хранения $I_h(n)$ за этап n легко выражаются через объем запаса $s(n+1)$ в конце этапа n .

$$I_h(n) = h(n)\Delta_n s(n+1) + h(n) \int_{t_n}^{t_{n+1}} dt \int_{t_n}^t [\alpha(t) - \alpha(\tau)] d\tau. \quad (8)$$

Очевидно, что второе слагаемое в (8) полностью определяется графиком спроса и не зависит от политики организации поставок.

Суммарные затраты на плановый период T равны

$$\sum_{n=1}^N \{I_h(n) + K(n)\bar{1}[q(n)]\}, \quad (9)$$

$$\text{где } \bar{1}[q] \triangleq \begin{cases} 1 & \text{при } q > 0, \\ 0 & \text{при } q = 0, \end{cases}$$

за вычетом постоянных слагаемых целевая функция, которая минимизируется выбором объемов поставок

$$I_T \triangleq \sum_{n=1}^N \{h'(n)s(n+1) + K(n)\bar{1}[q(n)]\}, \quad (10)$$

где $h'(n) \triangleq h(n)\Delta_n$.

Целевая функция отражает связь между значениями переменной части совокупных издержек на хранение и на поставки партий материальных ресурсов и количеством поставок, размером поставок, моментами поставок.

Оптимальное решение достигается равенством объемов поставки с размером спроса за ряд последовательных периодов

$$q(i) = \sum_{n=i}^{j-1} a(n). \quad (11)$$

Для решения можно использовать метод динамического программирования.

Минимальное значение переменных издержек за j начальных этапов, вычисленное при условии, что к концу этапа j запас полностью исчерпан ($s(j+1) = 0$), обозначим через ψ_j . Очевидно, что справедливы рекуррентные соотношения

$$\psi_j = \min_{1 \leq i \leq j} \{I_{i,j+1} + \psi_{i-1}\}, j = 1, \dots, N; \psi_0 \triangleq 0 \quad (12)$$

(перебор ведется по различным вариантам длительности последнего «беспоставочного» отрезка, примыкающего к моменту $j+1$, в предположении, что до него политика была оптимальной), если

$$i_j \triangleq \text{Arg min}_i [I_{i,j+1} + \psi_{i-1}], \quad (13)$$

то

$$\psi_{j+1} = \min_{i_j \leq i \leq j+1} [I_{i,j+2} + \psi_{i-1}]. \quad (14)$$

С вычислительной точки зрения переход от (12) к (14) дает возможность существенно сократить объем расчетных итераций для нахождения минимальных затрат ψ_{N+1} за плановый период и соответствующего ему оптимального графика поставок.

В рассмотренном варианте организации распределения поставок во времени необходимо определение моментов и размеров поставок, при которых достигается минимум совокупных затрат, связанных с хранением и восполнением запасов, и вместе с тем спрос строительных потоков удовлетворяется полностью в соответствии с заданным графиком производственного процесса. Разработанная автором методика организации поставок во времени позволит отыскать наиболее рациональное решение, которое можно реализовать на практике.

Обсуждение результатов

Описанную формальную постановку можно интерпретировать и по-иному, как проблему оптимизации графика выполнения объемов производства $b(t)$ при условии, что график объема реализации строительной продукции $r(t)$ задан извне требованием обязательного удовлетворения потребительского спроса. При этом наблюдается полное совпадение с (1):

$$b(t) = r(t), t \in [0, T], \quad (15)$$

также зачастую оказывается невыгодным с позиций предприятия-производителя и поставщика, а иногда и невозможным ввиду ограниченности производственных ресурсов. Невыгодность связана с непропорциональностью затрат объемам выпуска.

Все предшествующее изложение строилось на основе простейшей гипотезы о линейности (или выпуклости) зависимостей затраты-выпуск, в действительности эта гипотеза не всегда приемлема ввиду наличия эффекта концентрации производства. С ростом объема выпуска затраты на единицу выпускаемой продукции обычно падают (рис. 1, а), так что зависимость совокупных затрат от объема часто имеет вид, представленный на рис. 1, б. Приемлемой аппроксимацией этой зависимости является функция

$$F(b) = K\bar{1}(b) + cb. \quad (16)$$

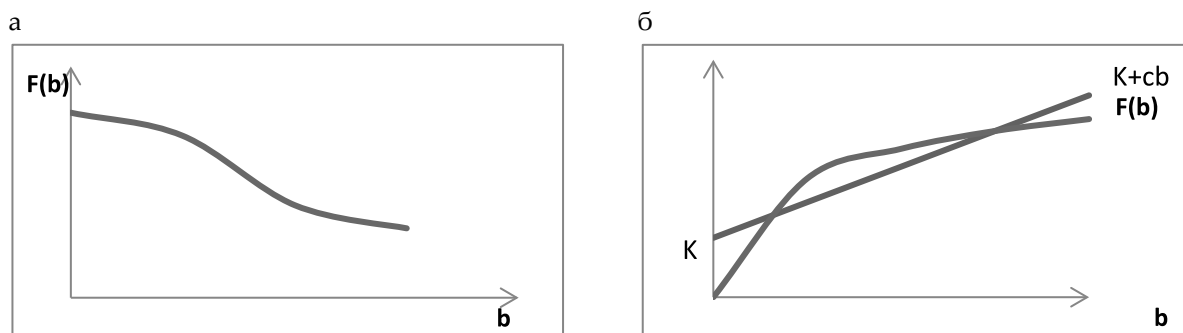


Рис. 1. Зависимость совокупных затрат от объема производства
Fig. 1. Dependence of total costs on production volume

Естественно, что такая аппроксимация может быть разумной лишь в некотором диапазоне изменения объемов выпуска, в частности не пригодна для учета ограничений по ресурсам мощностей производства. Зачастую введение зависимостей типа (16) интерпретируется без связи с особенностями чисто «производственных процессов», для которых сохраняется линейная модель. Константа K рассматривается как оценка административных расходов, связанных с обработкой документации о заказе на выпуск в очередном плановом периоде [11].

Вне зависимости от интерпретации формальная схема решения проблемы оптимального выбора объемов партий выпуска после принятия (16), очевидно, совпадает с описанными схемами выбора объемов партий внешних поставок, хотя при этом:

а) изучается динамика запасов выходных продуктов и учитывается стоимость их хранения;

б) вместо $a(t)$ заданным считается график реализации $r(t)$;

в) разыскиваются объемы производства $b(t)$, а не поставок $q(t)$;

После соответствующих переименований можно применять и формулы Уилсона в стационарном случае, и вычислительную процедуру Вагнера-Уайта в нестационарном случае.

Вывод. Зависимость типа (16) лишь весьма приближенно и обобщенно характеризует производственные затраты, а главное – внутренние особенности производства, приводящие к взаимосвязанности затрат при выпуске различных продуктов. Конечно, можно было бы записать обобщенную модель с учетом нелинейности функций, описывающих каждую операцию. Однако рассмотрение такой модели не позволило бы сделать никаких общих выводов, а проблема оптимизации встретилась бы со сложно преодолимыми вычислительными трудностями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воловник Н.С., Демиденко О.В., Казаков В.А., Гашков П.В. Научно-техническое сопровождение при строительстве и эксплуатации культурно-спортивного сооружения // Вестник гражданских инженеров. 2020. №2 (79). С. 100–109. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-100-108.
2. 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.
3. Зеленцов Л.Б., Майлян Л.Д., Пирко Д.В. Моделирование логистических процессов с использованием информационных технологий // Строительное производство. 2022. №1. С. 10–15. DOI: 10.54950/26585340_2022_1_10.
4. Kuznetsov S., O. Demidenko, Volovnik N., Kazakov V. Organizing Construction Logistical Support // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. I. 403 P. 358–366. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_40.
5. Руденко А.А. Обеспечение строительства ресурсами как элемент его организационно-технологической надежности // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2023. №1 (51). С. 130–139. DOI: 10.51965/2076-7019_2023_2_1_130.
6. Demidenko O., Alekseev N. Logistics planning approach to transportation and technological support building flows // The science of person: humanitarian researches. 2017. N. 1(27). P. 195–199. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2017.27.195.
7. Телятникова Н.А. Совершенствование метода управления проектами строительства объектов транспортной инфраструктуры // Транспортные сооружения. 2021. №1. DOI: 10.15862/09SATS121.
8. Агеева Я.Д., Иконникова А.В., Липидус А.А. Совершенствование систем материально-технического снабжения на строительной площадке // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. №4(772). С. 58–74. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-772-58-74.
9. Кузнецов С.М., Воловник Н.С., Демиденко О.В., Белова А.И. Обследование здания в рамках стро-

ительно-технической экспертизы // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. №3(58). С. 87–95. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_58_87.

10. Aytbagina E., Vitovitskiy E. Metod of two-factor analysis of cars operation in the road transport system of cargo transportation // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. I. 1116 AISC. P. 968–974. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_95.

11. Воробьев В.С., Майлян В.Д., Мызникова В.Н. Оптимизация транспортно-складских издержек при строительстве и реконструкции инженерных сооружений на обобщенной транспортной сети // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. №5 (773). С. 39–49. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-773-5-39-49.

REFERENCES

1. Volovnik N.S., Demidenko O.V., Kazakov V.A., Gashkov P.V. Scientific and technical support during construction and operation of cultural and sports facility. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2020, no. 2(79), pp. 100–109. (in Russian) DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-100-108

2. Voronkov I.E., Usmanov T.A. Logistics technologies used in the construction of nuclear power plants. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], 2021, no. 2, pp. 49–56. (in Russian) DOI: 10.33622/0869-7019.2021.02.49-56

3. Zelentsov L.B., Mailyan L.D., Pirko D.V. Modeling of logistics processes using information technology. *Stroitel'noe proizvodstvo* [Construction production], 2022, no. 1, pp. 10–15. (in Russian) DOI: 10.54950/26585340_2022_1_10

4. Kuznetsov S., Demidenko O., Volovnik N., Kazakov V. Organizing Construction Logistical Support. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. I. 403. P. 358–366. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_40

5. Rudenko A.A. Provision of construction with resources as an element of its organizational and technological reliability. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva* [Bulletin of Volga University named after V.N. Tatishchev], 2023, no. 1(51), pp. 130–139. (in Russian) DOI: 10.51965/2076-7019_2023_2_1_130

6. Demidenko O., Alekseev N. Logistics planning approach to transportation and technological support building flows. The science of person: humanitarian researches. 2017. N. 1(27). P. 195–199. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2017.27.195

7. Telyatnikova N.A. Improvement of Method of Management of Transport Infrastructure Construction Projects. *Transportnye sooruzheniya* [Transport facilities], 2021, no. 1. (in Russian) DOI: 10.15862/09SATS121

8. Ageeva Y.D., Ikonnikova A.V., Lapidus A.A. Improvement of logistics systems at the construction site. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2023, no. 4(772), pp. 58–74. (in Russian) DOI: 10.32683/0536-1052-2023-772-58-74

9. Kuznetsov S.M., Volovnik N.S., Demidenko O.V., Belova A.I. Building inspection within the framework of construction and technical expertise. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State University of Railways], 2021, no. 3(58), pp. 87–95. (in Russian) DOI: 10.52170/1815-9265_2021_58_87

10. Aytbagina E., Vitovitskiy E. Metod of two-factor analysis of cars operation in the road transport system of cargo transportation. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. I. 1116 AISC. P. 968–974. DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3_95

11. Vorobiev V.S., Mailyan V.D., Myznikova V.N. Optimization of transport and storage costs during construction and reconstruction of engineering structures on a generalized transport network. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2023, no. 5(773). pp. 39–49. (in Russian) DOI: 10.32683/0536-1052-2023-773-5-39-49

Об авторе:

ДЕМИДЕНКО Ольга Владимировна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии Омский государственный технический университет 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
E-mail: dovanddms@yandex.ru.

DEMIDENKO Olga V.

PhD of Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Oil and Gas Business, Standardization and Metrology Chair
Omsk State Technical University
644050, Russia, Omsk, Av. Mira, 11
E-mail: dovanddms@yandex.ru

Для цитирования: Демиденко О.В. Повышение надежности организации материально-технического обеспечения строительства // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 2. С. 61–66. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.09.

For citation: Demidenko O.V. Increasing the reliability of organizing logistics for construction. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 2, pp. 61–66. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.09.