

СТАТЬИ

УДК 658.7.01

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СНАБЖЕНИЕМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Айгумов Т.Г., Дайзиев З.М., Мелехин В.Б.

*ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Махачкала,
e-mail: 915533@mail.ru*

Рассмотрены основные проблемы, связанные с организацией эффективного управления материально-техническим снабжением и использованием материальных ресурсов в строительном производстве. Предложена оригинальная методика интегральной оценки эффективности различных альтернативных поставщиков, позволяющая осуществлять их отбор на основе критериев минимально необходимого количества, максимальной надежности и минимальных накладных расходов на поставку материально-технических ресурсов в требуемом объеме. Сформулирована двухкритериальная задача оптимального управления распределением материальных ресурсов между возводимыми объектами инвестиционного строительного проекта при отсутствии требуемого их объема, решение которой позволяет обеспечить подрядной строительной организации получение максимально возможной прибыли и минимизировать суммарные сроки сдачи заказчику строящихся объектов. Разработанные инструментальные средства оптимального управления поставками и распределением материальных ресурсов позволяют повысить эффективность строительного производства в целом в современных нестабильных условиях инвестиционной строительной среды. Кроме того, они обеспечивают строительным организациям возможность выбора надежных каналов движения материально-технических ресурсов с минимальными издержками поставки, а также сокращение на этой основе до минимума простоев строительного производства. В целом предложенные методы оптимального управления снабжением и использованием материально-технических ресурсов базируются на инструментальных средствах организации рейтингового голосования по балльной системе на основе квалификационных анкет альтернативных поставщиков и многокритериальной оптимизации. Дальнейшее развитие проведенного исследования связано с разработкой инструментальных средств управления сроками оборачиваемости материально-технических ресурсов в производственном процессе, что также позволяет повысить эффективность строительного производства.

Ключевые слова: строительная организация, строительное производство, материальные ресурсы, материально-техническое снабжение, оптимальное управление

**OPTIMUM MANAGEMENT OF SUPPLY AND USE OF MATERIAL
AND TECHNICAL RESOURCES IN CONSTRUCTION**

Aygumov T.G., Dayziev Z.M., Melekhin V.B.

Dagestan State Technical University, Makhachkala, e-mail: 915533@mail.ru

His main problems associated with the organization of effective management of material and technical supply and the use of material resources in construction production are considered. An original method for the integrated assessment of the effectiveness of various alternative suppliers is proposed, which allows them to be selected based on the criteria of the minimum required quantity, maximum reliability and minimum overhead costs for the supply of material and technical resources in the required volume. A two-criterion problem of optimal control of the distribution of material resources between the erected objects of an investment construction project in the absence of the required volume is formulated, the solution of which allows the contractor to obtain the maximum possible profit and minimize the total time of delivery of the objects under construction to the customer. The developed tools for optimal management of supplies and distribution of material resources make it possible to increase the efficiency of construction production as a whole in the current unstable conditions of the investment construction environment. In addition, they provide construction organizations with the opportunity to choose reliable channels for the movement of material and technical resources with minimal delivery costs, as well as reducing on this basis to a minimum downtime in construction production. In general, the proposed methods of optimal management of the supply and use of material and technical resources are based on the tools for organizing rating voting on a point system based on qualification questionnaires of alternative suppliers and multicriteria optimization. Further development of the study is associated with the development of tools for managing the timing of the turnover of material and technical resources in the production process, which also makes it possible to increase the efficiency of construction production.

Keywords: construction organization, construction production, material resources, material and technical supply, optimal management

Строительство является основным источником создания пассивной части основных производственных фондов различных сфер экономики, что определяет его непреходящую роль в социально-экономическом развитии страны в целом. В этой связи воз-

никает объективная необходимость в обеспечении эффективного функционирования и развития его первичных звеньев и в первую очередь подрядных строительных организаций (СО). Одним из основных факторов повышения эффективности строительного

производства в процессе реализации крупных инвестиционных строительных проектов является оптимальное управление материально-техническим снабжением и использованием материальных ресурсов в течение всего периода возведения зданий и сооружений. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, материально-технические ресурсы вступают в строительное производство распределенно во времени и в случае срыва их поставок подрядные строительные организации несут достаточно большие потери, связанные с простоями. Существенный вред такие простои наносят и эффективности реализации самого инвестиционного строительного проекта в целом.

С другой стороны, характерной особенностью строительного производства является большая номенклатура различного вида материально-технических ресурсов, требующихся для производства строительной продукции, что сопряжено с достаточно высокой вероятностью возникновения срыва их поставок из различных внешних источников покрытия [1–3]. Данные обстоятельства приводят к возникновению сложных проблем, связанных с организацией эффективного управления материально-техническим снабжением строительного производства в нестабильной инвестиционной строительной среде, требующих решения на оптимальной основе. Одному из подходов к решению указанных выше проблем и посвящается настоящая работа.

Цель работы заключается в разработке методических основ организации оптимального управления материально-техническим снабжением и использованием материальных ресурсов в строительстве.

Материалы и методы исследования базируются на инструментальных средствах организации рейтингового голосования по балльной системе на основе квалификационных анкет альтернативных поставщиков в процессе решения задачи выбора и многокритериальной оптимизации.

Управление надежностью и эффективностью каналов поставки материальных ресурсов

В общем случае подрядная строительная организация может выбрать и использовать следующие основные каналы движения материальных ресурсов [4, 5]:

- 1) производители → потребитель;
- 2) производители → оптовые поставщики → потребитель;
- 3) производители → оптовые поставщики → розничная торговля → потребитель;
- 4) производители → логистическая компания → потребитель.

Каждый из данных каналов имеет определенные преимущества и недостатки как с точки зрения затрат на материально-техническое снабжение строительного производства, так и с позиции обозначенных выше его особенностей.

Центральным звеном в рассмотренных выше каналах движения материально-технических ресурсов являются поставщики. В этой связи для выбора наиболее эффективного канала движения материально-технических ресурсов возникает необходимость в оценке и выборе выгодных для подрядной СО поставщиков с учетом различных показателей эффективности их функционирования.

Выбор потенциально надежных и наиболее выгодных поставщиков материально-технических ресурсов в строительной сфере обычно осуществляется на основе изучения их квалификационных анкет. Для формирования таких анкет на практике используются определенные оценочные показатели их отбора путем рейтингового голосования по балльной системе. Окончательный же выбор поставщиков можно осуществить либо по результатам торгов, либо по сформулированным критериям оптимального их отбора. Рассмотрим случай оптимального управления отбором поставщиков по заданным критериям оптимальности поставок материальных ресурсов. К основным таким критериям можно отнести [6]:

- минимальное количество поставщиков, обеспечивающих СО всеми необходимыми ресурсами согласно графикам их поставок на протяжении всего строительства;
- максимальная надежность выбираемых поставщиков или минимальные риски, связанные со срывом поставок;
- минимальные накладные расходы, связанные с поставкой материальных ресурсов.

В качестве основных оценочных показателей для определения баллов в процессе выбора поставщиков, предлагается использовать следующие оценки их эффективности:

1. Надежность i поставщика, которая определяется частотой (вероятностью) P_i^1 своевременно выполненных им поставок:

$$P_i^1 = 1 - \frac{Q_i^* n_{i_2}}{Q_i m_{i_2}}, \quad (1)$$

где Q_i^* , Q_i – соответственно суммарные объемы сорванных и выполненных поставок в денежном выражении в течение отчетного периода времени; n_{i_2} , m_{i_2} – соответственно количество сорванных и своевременно выполненных поставок в течение отчетного периода.

2. Коэффициент P_i^2 покрытия i поставщиком потребностей СО в материально-технических ресурсах различного вида:

$$N_i^2 = \frac{N_i^1}{N_i^2}, \quad (2)$$

где N_i^1, N_i^2 – соответственно количество различных видов материальных ресурсов, которое может продать i поставщик, и общее количество различных видов материальных ресурсов, требующихся СО в производственном процессе.

3. Кредитоспособность поставщика, определяемая возможностью закупки у него материально-технических ресурсов без предоплаты или иных гарантий платёжеспособности потребителя. Коэффициент P_i^3 кредитоспособности каждого i альтернативного поставщика можно определить следующим образом:

$$P_i^3 = \min \left(\frac{T_i}{T_j^*}, j = 1, 2, \dots, m_j^i \right), \quad (3)$$

где T_i – время отсрочки, предоставляемое i поставщиком покупателю; T_j^* – средний срок оборачиваемости j вида материальных ресурсов в производственном процессе СО; m_j^i – количество материальных ресурсов различного вида, поставляемых i поставщиком строительной организации.

4. Продажная цена материальных ресурсов, коэффициент адекватности которой P_i^4 сложившимся на рынке условиям для каждого i потенциального поставщика вычисляется следующим образом:

$$P_i^4 = \frac{\sum_{j=1}^{m_j^i} c_j^i}{m_j^i c_j^*}, \quad (4)$$

где c_j^i, c_j^* – соответственно цена, по которой i поставщик продает j вид материальных ресурсов, и средняя цена, сложившаяся на рынке на j вид материальных ресурсов.

5. Значимость сервисных услуг, которые предоставляет поставщик потребителям. Сервис таких услуг может быть достаточно широким и включать, например, доставку материально-технических ресурсов к строительным площадкам силами поставщика, комплектацию закупаемых материально-технических ресурсов в соответствии с требованиями производственного процесса и т.д. Коэффициент эффективности сервисных услуг P_i^5 в денежном выражении, оказываемых каждым i альтернативным по-

ставщиком, можно определить следующим образом:

$$P_i^5 = \frac{\sum_{z=1}^{n_i} \gamma_z S_z}{n^*}, \quad (5)$$

где n_i – количество сервисных услуг, регулярно оказываемых i поставщиком; γ_z – степень значимости сервисной услуги z вида для СО, определяемая экспертным путем; S_z – рыночная стоимость сервисной услуги z вида; n^* – общее количество сервисных услуг, оказываемых i поставщиком покупателям.

Следует отметить, что коэффициенты значимости γ_z сервисных услуг, определяемые экспертным путем, должны удовлетворять следующим общепринятым в этом случае требованиям: $0 \leq \gamma_z \leq 1$ и $\sum_{z=1}^n \gamma_z = 1$.

6. Коэффициент учета P_i^6 издержек закупки, который зависит от суммарных затрат, связанных с поставками подрядной СО материальных ресурсов i поставщиком. К основным факторам, влияющим на оценку данного коэффициента, следует отнести географическое положение поставщика (его удалённость от потребителя с учетом различных путей сообщения, влияющих на стоимость перевозок, а также возможность выбора транспорта из имеющегося множества альтернатив, обеспечивающего минимальную стоимость перевозок при заданных объемах поставок различных материально-технических ресурсов). В общем случае данный коэффициент для каждого поставщика можно определить следующим образом: $P_i^7 = \frac{1}{C_i}$, где C_i – суммарные затраты на поставку материальных ресурсов от i поставщика без учета их стоимости.

7. Оценочный коэффициент P_i^8 формы движения материально-технических ресурсов, которая у каждого i поставщика может быть либо транзитной, либо складской, либо непосредственно на строящиеся объекты. В первом случае поставка материальных ресурсов осуществляется, как правило, железнодорожным, водным или воздушным транспортом, с последующей их разгрузкой и дальнейшей самостоятельной доставкой силами самой строительной организации либо на склад, либо непосредственно на строящиеся объекты. Во втором и в третьем случае поставка, как правило, осуществляется автомобильным транспортом. При этом, если объем поставляемых материальных ресурсов превышает текущие

потребности СО, то поставка осуществляется на склад. В противном случае она выполняется непосредственно на строящиеся объекты. При этом, каждому поставщику может быть присвоено одно из следующих значений $\langle 0,3; 0,6; 0,9 \rangle$ коэффициента P_i^8 на основе следующих соображений.

1. Выполняется расчет стоимости W_k , $k = 1, 2, 3$ всех альтернативных форм движения материальных ресурсов от различных i альтернативных поставщиков с учетом запланированных объемов их поставки.

2. Проводится ранжирование полученных результатов расчета в порядке роста стоимости альтернативных форм движения материально-технических ресурсов для всех поставщиков. Например, пусть для поставщика с индексом 2 получен следующий кортеж роста стоимости различных форм движения материально-технических ресурсов $\langle W_1, W_2, W_3 \rangle$.

3. В этом случае второму поставщику предлагается использовать транзитную форму движения материально-технических ресурсов, при которой его коэффициенту P_i^8 присваивается значение, равное 0,9.

После расчета значений коэффициентов $P_i^j, j = 1, 2, \dots, 7$ для всех альтернативных поставщиков определяется интегральный коэффициент их эффективности следующим образом:

$$P_i^* = \sum_{k=1}^8 \beta_k P_i^k, \quad (6)$$

где β_k – степень значимости каждого k оценочного коэффициента эффективности поставщиков материально-технических ресурсов, определяемая экспертным путем с учетом общего принципа их выбора.

Затем все поставщики ранжируются в порядке убывания коэффициента их интегральной эффективности P_i^* , и по полученному таким образом кортежу $\langle P_1^*, P_2^*, \dots, P_i^*, \dots, P_n^* \rangle$ выбирается минимальное количество наиболее эффективных поставщиков таким образом, чтобы они покрывали все потребности СО в материально-технических ресурсах различного вида. При этом может возникнуть случай, когда у нескольких выбранных поставщиков продаваемые ими материально-технические ресурсы пересекаются. В этом случае приоритет в поставках на данные виды ресурсов отдается поставщикам, занимающим в кортеже самую левую позицию.

Следует также отметить, что если в регионе, в котором реализуется инвестиционный строительный проект, существует крупная логистическая компания, занимающаяся

поставками в строительной сфере, то она, как правило, и является наиболее эффективным поставщиком, способным обеспечить подрядные строительные организации всеми необходимыми материально-техническими ресурсами. Однако при этом возникают и высокие риски, обусловленные взаимодействием СО только с одним внешним поставщиком. Это, в свою очередь, требует проведения дополнительных исследований, связанных с оценкой ее финансовой устойчивости.

Управление оптимальным использованием материальных ресурсов на протяжении всего строительства

К основной задаче управления эффективным использованием материальных ресурсов в строительстве следует отнести оптимальное их распределение между строящимися объектами инвестиционного строительного проекта.

Следует отметить, что если материальные ресурсы поступают к основному подрядчику проекта согласно графикам их поставок, то их распределение между строящимися объектами не вызывает проблем и проводится в штатном режиме. Однако в случае, когда происходит срыв поставок определенного вида материальных ресурсов, используемых на различных строящихся объектах, возникает необходимость в оптимальном распределении между ними имеющихся запасов данного вида ресурсов, с целью дальнейшей эффективной реализации проекта. Для решения этой задачи необходимо сформулировать критерии оптимальности, позволяющие распределить имеющиеся материальные ресурсы между строящимися объектами инвестиционного строительного проекта таким образом, чтобы они принимали оптимальное значение в соответствии с их экономическим содержанием.

Примем за такие критерии максимальное значение прибыли (P), которую СО может получить в результате распределения имеющихся материальных ресурсов j вида между строящимися объектами:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i^j \rightarrow \max, \quad (7)$$

и минимальное суммарное время T готовности строящихся объектов для сдачи их заказчику:

$$T = \sum_{i=1}^n (V_j^{*i} - V_j^i) \Delta T_i = \sum_{i=1}^n \Delta V_j^i \Delta T_i \rightarrow \min, \quad (8)$$

где n – количество одновременно строящихся объектов инвестиционного строительного проекта; P_j^i – прибыль, получаемая СО

в результате выполнения строительно-монтажных работ с использованием j вида материальных ресурсов в определенном объеме на i строящемся объекте; V_j^{*i}, V_j^i – соответственно запланированные и ранее реализованные объемы подрядных работ в денежном выражении, для выполнения которых требуются материальные ресурсы j вида на i объекте; ΔT_i – промежуток времени, требуемый СО для выполнения одной условной единицы подрядных работ в денежном выражении, для которых используются материальные ресурсы j вида.

Учитывая, что для выполнения одной условной единицы подрядных работ требуется освоить один и тот же их объем ΔX_j^i как в натуральном, так и в денежном выражении материальных ресурсов j вида, критериальную оценку (8) удобно представить в следующем виде:

$$T = \sum_{i=1}^n k_i X_j^i \Delta T_i \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $k_i = \frac{\Delta V_j^i}{X_j^i}$ – безразмерный коэффициент пропорциональности.

В общем же случае, получаемую СО прибыль на каждом строящемся объекте, в зависимости от объемов используемых на нем материальных ресурсов j вида можно определить следующим образом:

$$P_i = (C_i^{*j} - C_i^j) X_j^i, \quad (10)$$

где C_i^{*j}, C_i^j – соответственно общая стоимость и себестоимость производства одной условной единицы подрядных работ на i объекте при использовании на нем одной условной единицы материальных ресурсов j вида;

X_j^i – фактически распределяемый объем на i объект материальных ресурсов j вида.

Таким образом, суммарную прибыль, которую может получить СО, при прочих равных условиях, в процессе параллельного строительства всех n объектов инвестиционного строительного проекта, при оптимальном распределении между ними имеющегося объема j вида материальных ресурсов, используя (10), можно определить следующим образом:

$$P = \sum_{i=1}^n (C_i^{*j} - C_i^j) X_j^i \rightarrow \max. \quad (11)$$

Следовательно, для оптимального распределения ограниченного объема имеющихся материальных ресурсов каждого j вида между строящимися объектами инвестиционного строительного проекта требуется решить следующую двухкритериальную задачу:

$$P = \sum_{i=1}^n (C_i^{*j} - C_i^j) X_j^i \rightarrow \max;$$

$$T = \sum_{i=1}^n X_j^i \Delta T_i \rightarrow \min \quad (12)$$

при ограничениях в виде равенства:

$\sum_{i=1}^n X_j^i = X_j^*$, где X_j^* – общий объем имеющихся у СО в наличии материальных ресурсов j вида.

Для решения двухкритериальной задачи (12) методом неопределенных коэффициентов Лагранжа, предлагается следующая ее свертка к однокритериальной задаче [7]:

$$W = \left(\gamma_1 \sum_{i=1}^n (C_i^{*j} - C_i^j) X_j^i - \gamma_2 \sum_{i=1}^n X_j^i \Delta T_i \right) \rightarrow \max, \quad (13)$$

при ограничениях вида: $\sum_{i=1}^n X_j^i = X_j^*$, где γ_1, γ_2 – коэффициенты значимости соответственно критериальных оценок (11) и (9), определяемые экспертным путем.

Заключение

1. Разработанные инструментальные средства интегральной оценки эффективности и выбора поставщиков материально-тех-

нических ресурсов позволяют строительным организациям обеспечить надежные каналы их движения с минимальными издержками поставки и сократить до минимума простой строительного производства.

2. Решение сформулированной двухкритериальной задачи оптимального распределения материальных ресурсов между строящимися объектами в условиях их дефицита позволяет строительной органи-

зации получать максимально возможную прибыль и сократить до минимума сроки сдачи их заказчику.

3. Дальнейшее развитие проведенного исследования сводится к разработке инструментальных средств управления обрачиваемостью материально-технических ресурсов в производственном процессе, что позволяет строительным организациям повысить эффективность их использования.

Список литературы

1. Соколов Г.К. Технология и организация строительства. М.: Академия, 2011. 528 с.
2. Ширшиков Б.Ф. Организация, управление и планирование в строительстве. М.: АСВ, 2012. 528 с.
3. Панталеенко В.Н. Основы организации и управления в строительстве. Ухта: УГТУ, 2012. 151 с.
4. Сергеев В.И., Эльяшевич И.П. Логистика снабжения / Под ред. В.И. Сергеева. М.: Юрайт, 2017. 383 с.
5. Смирнов П.В. Организация и планирование материально-технического снабжения. М.: Экономика, 2014. 202 с.
6. Кадыров Р.А., Мелехин В.Б. Организация эффективного взаимодействия участников технологических цепочек в строительном производстве // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Т. 8. № 1А. С. 15–23.
7. Мелехин В.Б., Хачумов В.М. Управление эффективной реализацией технологических процессов механической обработки деталей в машиностроении // Проблемы управления. 2020. № 1. С. 71–82.