

УДК 69:658.7

ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАФИКА СНАБЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ СТЕСНЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Я. Д. АГЕЕВА¹, А. А. ЛАПИДУС²

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
Новосибирск, Россия

² Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет
Москва, Россия

Одним из важнейших компонентов бесперебойного ведения строительномонтажных работ (СМР) является эффективное планирование поставок материально-технических ресурсов, однако ввиду влияния множества факторов, обусловленных спецификой строительного производства, необходимо учитывать сроки выполнения работ и доставки материалов, их качество, стоимость, а также возможные изменения в проекте, влияющие на потребление ресурсов. Кроме того, необходимо учитывать локальные условия и доступность ресурсов в конкретном регионе, а также потенциальные риски, связанные с транспортировкой и хранением материалов.

Планирование поставок в строительстве усложняется ввиду влияния факторов, вызванных строительством в условиях плотной городской застройки, что повышает риск задержки и некомплектной поставки материалов.

Проблемой осуществления строительномонтажных работ в условиях плотной городской застройки является отсутствие конкретной методики, позволяющей определить оптимальный план снабжения ввиду различной степени влияния условий стесненности. Это вынуждает учитывать все особенности выполнения работ на каждом отдельном строительном объекте, что, в свою очередь, ведет к увеличению издержек производства [1].

Оптимальное поведение системы характеризуется тем, что независимо от начального состояния и принятого решения в начальный момент, последующие решения должны быть оптимальными относительно состояния, возникающего после первого решения [2]. Ввиду отсутствия строгой математической формулировки в основе методологии динамического программирования данный подход позволяет разработать оптимизационную модель, подходящую для решения конкретной пользовательской задачи [3]. Общим параметром оптимальности в данной задаче является минимизация затрат на погрузочно-разгрузочные операции и содержание технологических запасов (страховых и производственных):

$$F(Q_{st}, q_{sup}) = \sum_{i=1}^n (C_{st} Q_{st_i} + C_{sup} q_{sup_i}) \rightarrow \min, \quad i = 1, \dots, n,$$

где q_{st} – оптимальный объем хранения в i -й момент времени; Q_{sup} – оптимальный объем поставки в i -й момент времени; C_{st} , C_{sup} – стоимость хранения и стоимость потребления соответственно.

Для оптимизации снабжения необходимо разделить производственный процесс на этапы, которые ведутся параллельно и последовательно в соответствии с календарным графиком СМР. Оптимальный уровень запаса на протяжении всего времени выполнения работ определяется как сумма интегралов функции пополнения и потребления на каждом этапе, обеспечивая минимальный, но достаточный объем хранения ресурсов:

$$\overline{Q}_{st} = \sum_{i=1}^n \left(\int_{T_{ni}}^{T_{ext_i}} I_r dt + \int_{T_{ext_i}}^{T_{ki}} I_c dt \right),$$

где T_n – момент времени начала i -го этапа; T_k – момент времени конца i -го этапа; T_{ext} – момент пересечения возрастающей функции пополнения и убывающей функции потребления i -го этапа; I_r – интенсивность пополнения в момент времени t ; I_c – интенсивность потребления в момент времени t .

Диапазон изменения значения оптимального объема поставки q_{sup} находится в пределах, границы которого соответствуют значениям, равным суточному потреблению ресурса и максимальному объему загрузки транспортного средства с учетом коэффициента грузоподъемности:

$$q_{сум} \leq q_{sup_i} \leq q_{TC} \gamma.$$

Для нахождения решений целевой функции на каждом n -м шаге требуется решить n рекуррентных соотношений. Согласно принципу оптимизации Р. Беллмана, каждое следующее решение на шаге $n + 1$ будет оптимальным (минимальным) вне зависимости от решения, полученного на предыдущем шаге n . Количество шагов равно количеству этапов строительно-монтажных работ, на которые был разделен процесс возведения здания:

$$F_{n+1}(Q_{st}) = \min F \left[C_{st}(Q_{st(n+1)} + Q_{st_n}) + C_{sup}(q_{sup(n+1)} + q_{sup_n}) \right].$$

Оптимальные значения поставок ресурсов, полученные на каждом шаге n , могут быть применены в процессе планирования графика снабжения строительного производства. Получаемые значения объемов хранения на каждом шаге n позволяют определить возможность складирования на приобъектной территории или потребность в организации дополнительных складских помещений вне строительной площадки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Максимов, Р. И.** Проблемы строительства зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки / Р. И. Максимов // Интерактивная наука. – 2021. – № 7 (62). – С. 24–26.
2. **Mizutania, E.** Tutorial on the art of dynamic programming for some issues concerning bellman's principle of optimality / E. Mizutania, S. A. Dreyfus // ICT Express. – 2023. – Vol. 9. – P. 1144–1161.
3. **Sun, J.** Presenting a mathematical model for reduction of delays in construction projects considering quality management criteria in uncertainty condition / J. Sun, A. Apornak, G. Ma // Journal of engineering research. – 2023.