

**ОПТИМИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Павлючук Юрий Николаевич,  
доктор технических наук, профессор  
Брестский государственный технический университет, Беларусь**

**Срывкина Людмила Геннадьевна,  
доцент,**

**E-mail: alexander.kalgin@mail.ru**

**Научная специальность:**

**38.06.01 – Экономика**

**08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством**

В статье представлен подход к решению задачи оперативного планирования в строительстве, позволяющий принять во внимание многоцелевой характер деятельности строительной организации и нестабильность условий ее внешней и внутренней среды.

**Ключевые слова:** строительное производство, эффективность, планирование.

Повышение эффективности строительного производства в значительной степени определяется качеством решений, принимаемых на стадии оперативного управления. Совершенствование оперативного управления возможно на основе использования потенциала современных информационных технологий для обработки большого объема информации и выработки качественных решений в сжатые сроки.

К недостаткам большинства существующих методов оперативного управления и планирования относятся настройка на фиксированные условия работы строительной организации, применение, как правило, одного критерия оптимальности (приведенных затрат, простоев ресурсов, равномерности использования ресурсов и др.) при том, что для практики оперативного планирования характерно наличие комплекса задач, каждая из которых характеризуется своими критериями оптимальности.

Особенностью функционирования строительных организаций является многоцелевой характер их деятельности и нестабильность внешней и внутренней среды. Это обуславливает нежелательность жестких постановок задач в области управления и накладывает особые требования на гибкость используемых для их решения программных средств: возможность настройки моделей на различные условия практики строительства, учет при формировании критериев оптималь-

ности спектра целей и возможность варьирования приоритетами этих целей в зависимости от конкретных условий работы подрядной организации.

Поиск решения перечисленных выше проблем в области оперативного управления строительством и составляет цель данного исследования.

### **Постановка задачи**

Основной задачей оперативного планирования в строительстве является определение из числа предусмотренных текущим планом такого набора работ, который мог бы быть выполнен в течение ближайшего (оперативного) планового периода при условии обеспеченности всеми необходимыми ресурсами: материалами, строительными машинами, рабочими кадрами.

При решении этой задачи по каждому из объектов, предусмотренных текущим планом, должны быть известны следующие показатели:

- объем строительно-монтажных работ, который следует выполнить до конца планируемого периода;
- нормативное количество каждого вида материальных ресурсов, необходимое для достижения этой цели;
- типы и количество строительных машин и механизмов для выполнения запланированного объема работ;
- численность рабочих необходимой квалификации;
- достигнутый в строительной организации уровень эффективности использования (уровень производительности) ресурсов;
- наличие и возможность получения ресурсов.

Требуется сопоставить потребность в ресурсах с возможностью их получения и при наличии дефицита найти такое их распределение, при котором достигается оптимальное значение некоторой целевой функции.

При решении задачи следует учитывать приоритет объектов, а также наличие и размеры предоставленных заказчиками авансов на приобретение ресурсов. В связи с этим предлагается разбить объекты на четыре группы:

- 1) объекты, которые обладают высоким экономическим или социальным приоритетом;
- 2) объекты, где основные ресурсы приобретаются полностью за счет предоставленных авансов заказчика;
- 3) объекты, где часть ресурсов приобретается за счет авансов заказчика, а часть – за счет прибыли, имеющейся в распоряжении подрядной организации;
- 4) объекты, где авансы не предоставляются и ресурсы приобретаются полностью за счет прибыли, имеющейся в распоряжении подрядной организации.

Обозначим через  $x_j$  долю выполнения  $j$ -го задания по отношению к объему, предусмотренному текущим планом ( $0 \leq x_j \leq 1$ ). С учетом того что функционирование строительной организации протекает в условиях действия ряда

случайных факторов, часть ограничений может носить вероятностный характер. Математическая постановка задачи оперативного планирования предусматривает максимизацию математического ожидания ( $M$ ) целевой функции

$$M \left( \sum_{j=1}^n c_j x_j \right) \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях:

$$P \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}^{\text{норм}}}{k_{\text{исп}i}} x_j \leq b_i \right\} \geq \alpha_i, \quad i = \overline{1, m_k}; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = \overline{m_k + 1, m}; \quad (3)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где  $n$  — количество заданий на рассматриваемый период в текущем плане;

$m$  — количество наименований основных ресурсов, требуемых для выполнения работ текущего плана;

$c_j$  — предусмотренный текущим планом на рассматриваемый интервал времени показатель по  $j$ -му заданию, требующий оптимизации и соответствующий полному объему выполнения задания в соответствии с текущим планом, т. е.  $x_j = 1$  (например, объем строительно-монтажных работ, руб., по  $j$ -му заданию,  $j = \overline{1, n}$ );

$a_{ij}^{\text{норм}}$  — нормативные затраты  $i$ -го ресурса на выполнение  $j$ -го задания, определенные в соответствии с действующей нормативной базой (например, ресурсно-сметными нормами), нат. изм.,  $i = \overline{1, m_k}$ ;

$k_{\text{исп}i}$  — достигнутый коэффициент эффективности использования  $i$ -го ресурса в данной подрядной организации,  $i = \overline{1, m_k}$ ;

$a_{ij}$  — количество  $i$ -го ресурса, необходимое для выполнения работ на  $j$ -м задании в полном объеме, заданном текущим планом,  $i = \overline{m_k + 1, m}$ ;

$b_i$  — имеющееся в распоряжении подрядной организации в планируемом периоде количество  $i$ -го ресурса,  $i = \overline{m_k + 1, m}$ .

В общем случае  $m$  ограничений по ресурсам можно разделить на четыре группы:  $m_1$  ограничений по трудовым ресурсам;  $m_2$  ограничений по материа-

лам, деталям, конструкциям;  $m_3$  ограничений по машинам и средствам малой механизации;  $m_4$  ограничений по объемам работ. Ограничения последнего типа имеют вид

$$x_j \leq 1, \quad j = \overline{m_1 + m_2 + m_3 + 1, m}. \quad (5)$$

Неравенство (2) подразумевает, что вероятность соблюдения соответствующего ограничения должна быть не менее заданной величины  $\alpha_i$ . В данной постановке предлагается рассматривать в качестве случайной величины только коэффициент  $k_{исп_i}$ . Закон распределения  $k_{исп_i}$  можно получить по данным наблюдений за использованием  $i$ -го ресурса за длительный период времени. Умножив левую и правую части неравенства под знаком вероятности в выражении (2) на дробь  $k_{исп_i}/b_i$ , получим

$$\sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}^{норм}}{b_i} x_j \leq k_{исп_i}, \quad i = \overline{1, m_k}. \quad (6)$$

Таким образом, после преобразований в левой части неравенства (2) находится детерминированная матрица  $A' = \|a_{ij}^{норм}/b_i\|$ , а в правой – случайный вектор  $K_{исп} = |k_{исп_i}|$ , все остальные параметры задачи являются детерминированными. Решение такого типа задачи является известным в исследовании операций [10]. Она сводится к эквивалентной детерминированной задаче линейного программирования следующим образом

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max. \quad (7)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}^{норм}}{b_i} x_j \leq \tilde{k}_{исп_i}, \quad i = \overline{1, m_k}; \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = \overline{m_k + 1, m}; \quad (9)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (10)$$

где  $\tilde{k}_{исп_i}$  – корень уравнения  $F(\tilde{k}_{исп_i}) = 1 - \alpha_i$  или  $\tilde{k}_{исп_i} = F^{-1}(1 - \alpha_i)$ ;  
 $F(k_{исп_i})$  – функция распределения случайной величины  $k_{исп_i}$ .

### Алгоритм решения задачи

Алгоритм решения задачи оперативного планирования включает в себя три блока. Блок А предусматривает:

- разбивку объектов текущего плана на группы в зависимости от их приоритетности и обеспеченности авансами заказчиков;
- решение задачи (7) – (10) поочередно для каждой группы объектов с уменьшением при переходе к последующей группе количества ресурсов подрядной организации на величину, соответствующую объему ресурсов, распределенных на данном этапе.

Блок В включает проведение послеоптимизационного анализа, принятие решения о необходимости внесения корректировок в исходные данные и окончательное формирование оптимального плана – набора заданий на оперативный плановый период. Послеоптимизационный анализ включает анализ параметров модели на чувствительность, позволяющий сформулировать требования к точности исходных данных и выявить влияние изменения параметров на целевую функцию и на структуру оптимального плана. Он также дает возможность оценить целесообразность привлечения дополнительного количества ресурсов и целесообразность включения в план новых заданий.

Блок С предусматривает формирование оптимального маршрута движения рабочих по заданиям оперативного плана.

Завершающим этапом разработки оперативного плана является формирование маршрута движения бригад (звеньев) по заданиям. Исходные данные для решения этой задачи включают в себя:

1. Общие параметры:

$T$  – продолжительность оперативного планового периода, дн.;

$N$  – численность работ (заданий) в оперативном плане;

$M$  – общая численность рабочих, чел.;

$B$  – численность бригад (звеньев).

2. Характеристики работ (заданий):

$Q = (q_1, q_2, \dots, q_N)$  – вектор трудоемкостей  $N$  работ, чел.-дн.;

$R^{\min} = (r_1^{\min}, r_2^{\min}, \dots, r_N^{\min})$  – вектор минимальных количеств ресурсов для  $N$  заданий (минимальной численности рабочих (чел.) в рассматриваемой постановке задачи);

$R^{\max} = (r_1^{\max}, r_2^{\max}, \dots, r_N^{\max})$  – вектор максимальных количеств ресурсов для  $N$  заданий;

$T^{\min} = (t_1^{\min}, t_2^{\min}, \dots, t_N^{\min})$  – вектор ранних начал  $N$  заданий, дн.;

$T^{\max} = (t_1^{\max}, t_2^{\max}, \dots, t_N^{\max})$  – вектор поздних окончаний  $N$  заданий, дн.;

$N^{br} = (n_1^{br}, n_2^{br}, \dots, n_N^{br})$  – вектор возможного числа одновременно работающих на одном задании бригад для  $N$  заданий. Минимальное значение  $n_i^{br}$  составляет единицу, максимально возможное –  $B$ .

3. Состояния, достигнутые каждым рабочим к окончанию предыдущего планового периода:

$P = (p_1, p_2, \dots, p_M)$  – вектор номеров заданий  $j$  ( $j = \overline{1, N}$ ), на которых данный рабочий был задействован в последний день предыдущего планового периода для  $M$  рабочих. Величина  $p_i = 0$  означает, что  $i$ -й рабочий ( $i = \overline{1, M}$ ) в последний день предшествующего планового периода работал на задании, не вошедшем в список заданий  $N$  рассматриваемого (нового) планового периода;

$P^t = (p_1^t, p_2^t, \dots, p_M^t)$  – вектор продолжительностей работы в предыдущем плановом периоде на последнем задании этого периода для  $M$  рабочих. Величина  $p_i^t = 0$  соответствует ситуации  $p_i = 0$  ( $i = \overline{1, M}$ ) и означает (как и в векторе  $P$ ), что  $i$ -й рабочий в последний день предшествующего планового периода работал на задании, не вошедшем в список заданий  $N$  рассматриваемого (нового) планового периода.

4. Распределение рабочих по бригадам (звеньям).

5. Предпочтения при закреплении бригад (звеньев) за заданиями

$$P^{pr} = \begin{pmatrix} p_{11}^{pr} & \dots & p_{1j}^{pr} & \dots & p_{1N}^{pr} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{i1}^{pr} & \dots & p_{ij}^{pr} & \dots & p_{iN}^{pr} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{B1}^{pr} & \dots & p_{Bj}^{pr} & \dots & p_{BN}^{pr} \end{pmatrix} \text{ – матрица приоритетов при закреплении}$$

$B$  бригад (звеньев) за  $N$  заданиями. Элементы матрицы  $P^{pr}$  принимают значения  $p_{ij}^{pr} \in [0; 1]$ ; при этом  $p_{ij}^{pr} = 0$  означает, что назначение  $i$ -й бригады (звена) на  $j$ -е задание невозможно, а  $p_{ij}^{pr} = 1$  – назначение наиболее предпочтительно ( $i = \overline{1, B}$ ,  $j = \overline{1, N}$ ).

6. Планируемые потери рабочего времени.

7. Весовые коэффициенты штрафов в целевой функции.

Остановимся подробнее на построении целевой функции. При решении задачи предлагаются следующие характеристики оптимальности маршрута движения рабочих:

- 1) соблюдение заданных сроков окончания выполнения заданий  $T^{\max}$ ;
- 2) однородность загрузки рабочих. Она выражается для каждого рабочего:
  - в минимальном количестве перебазировок с объекта на объект;
  - в максимальной продолжительности работы на одном объекте между двумя смежными перебазировками;
- 3) выполнение отдельного задания, по возможности, силами одной бригады (звена), т.е. несмешивание нескольких бригад на одном задании;
- 4) выполнение запланированных объемов заданий  $Q$  полностью;
- 5) соблюдение для каждого из  $N$  заданий ограничений по количеству задействованных ресурсов  $R^{\min}$ .

Соответственно, выдвигаются пять частных критериев эффективности решения в виде минимума штрафов за нарушение характеристик оптимальности маршрута:

- 1)  $v_1$  – штраф за превышение сроков выполнения заданий  $T^{\max}$ ;
- 2)  $v_2$  – штраф за частые смены заданий (неоднородность загрузки рабочих);
- 3)  $v_3$  – штраф за смешивание нескольких бригад (звеньев) на одном задании;
- 4)  $v_4$  – штраф за невыполнение планируемых объемов  $Q$ ;
- 5)  $v_5$  – штраф за нарушение условий  $R^{\min}$ .

Целевая функция – обобщенный критерий эффективности – строится как взвешенная сумма пяти частных критериев

$$V = \sum_{i=1}^5 \lambda_i v_i \rightarrow \min, \quad (11)$$

где  $\lambda_i$  – вес частного критерия  $v_i$ ;

$v_i$  – значение  $i$ -го частного критерия (штрафа).

При построении обобщенного критерия эффективности из возможных способов свертывания частных критериев выбран именно способ суммирования, поскольку он позволяет учитывать одновременное достижение спектра частных целей при соблюдении приоритетов этих целей, в которых конкретная подрядная организация заинтересована на данном этапе своего функционирования.

Величины  $\lambda_i$  представляют собой нормированные «приоритеты» штрафов  $v_i$  за нарушения соответствующих характеристик оптимальности маршрута, и для них должны соблюдаться условия

$$\sum_{i=1}^5 \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \geq 0. \quad (12)$$

Чем большей важностью с точки зрения принимающего решение обладает соблюдение  $i$ -й характеристики оптимальности маршрута, тем большее значение должен принимать «приоритет»  $\lambda_i$ . Значения  $\lambda_i$  задаются лицом, принимающим решение, в исходных данных и могут быть предварительно определены с применением экспертных оценок.

Штрафы  $v_i$  определяются в разных единицах измерения. Поэтому для приведения к сопоставимым величинам они нормируются и рассчитываются по общей формуле вида

$$v_i = \frac{\overline{v_i}}{v_i^{\max}}, \quad (13)$$

где  $\bar{v}_i$  — среднее значение ненормированного штрафа, соответствующего  $i$ -му частному критерию оптимальности,  $i = \overline{1, 5}$  ;  
 $v_i^{\max}$  — максимальное значение ненормированного штрафа, соответствующего  $i$ -му частному критерию оптимальности,  $i = \overline{1, 5}$  .

В рамках проведенного исследования разработана методика расчета значений всех пяти штрафов  $v_i$  [11].

Маршрут  $S$  представляет собой матрицу формата  $M \times T$ . Элемент этой матрицы  $s_{ij}$  — номер задания для  $i$ -го рабочего на  $j$ -й день.

При формировании маршрута  $S$  присутствует элемент случайности: при определении очередного задания  $s_{ij}$  выбор осуществляется в соответствии с вектором вероятностей  $W(s_{ij}) = (w_1, w_2, \dots, w_N)$ , где  $w_k$  — вероятность того, что  $i$ -й рабочий в  $j$ -й день будет работать на  $k$ -м задании ( $i = \overline{1, M}$ ,  $j = \overline{1, T}$ ,  $k = \overline{1, N}$ ), определяемая с учетом принятых в задаче ограничений и предпочтений при закреплении бригад (звеньев) за заданиями.

Разработанная программа позволяет получить маршрут как в виде текстового файла, так и в графическом виде.

### **Заключение**

Предложенный метод позволяет сформировать маршрут движения бригад рабочих по объектам в оперативном плановом периоде (месяце, неделе), оптимальный по нескольким частным критериям с учетом предпочтений лица, принимающего решение, дает возможность настройки модели на различные условия практики строительства. Это повышает реалистичность плановых заданий, дает возможность рационально использовать ресурсы, что содействует повышению эффективности строительного производства.

### **Литература**

1. Куликов Ю.А. Имитационные модели и их применение в управлении строительством / Ю.А. Куликов. — Ленинград: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1983. — 224 с.
2. Куликов Ю.А. Оценка качества решений в управлении строительством / Ю.А. Куликов. — М.: Стройиздат, 1990. — 144 с.
3. Организация, экономика и управление строительством /Т.Н. Цай [и др.]; под ред. Т.Н. Цая. — М.: Стройиздат, 1984. — 367 с.
4. Гусаков А.А. Методы совершенствования организационно-технологической подготовки строительного производства / А.А. Гусаков, Н.И. Ильин. — М.: Стройиздат, 1985. — 156 с.

5. Брехман А.И. Системотехнические основы организации труда строительных бригад / А.И. Брехман // Системотехника / А.А. Гусаков [и др.]; под ред. А.А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – С. 335 – 352.

6. Методическое руководство по оперативно-производственному планированию в строительных организациях с применением ЭВМ / ВНИПИ труда в строительстве. – М.: Стройиздат, 1981. – 183 с.

7. Бурков В.Н. Модели и методы мультипроектного управления / В.Н. Бурков, О.Ф. Квон, Л.А. Цитович. – М., 1997. – 62 с. – (Препринт / РАН, Институт проблем управления).

8. Бурков В.Н. Как управлять проектами / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтез, 1997. – 188 с.

9. Коновальчук Е.В. Модели и методы оперативного управления проектами / Е.В. Коновальчук, Д.А. Новиков. – М., 2004. – 63 с. – (Препринт / РАН, Институт проблем управления).

10. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования / Д.Б. Юдин. – М.: Советское радио, 1979. – 392 с.

11. Срывкина Л.Г., Чумерин Н.Ю. Метод автоматизации формирования маршрутов движения бригад и звеньев по объектам оперативного плана // Архитектура и строительство-2005: материалы I международного научно-практического семинара, Брест, 22 – 23 сент. 2005 г. / Брестский госуд. технич. ун-т; редкол.: П.С. Пойта [и др.]. – Брест, 2005. – С. 108 – 117.