

УДК 69.05:338.262

Людмила Геннадьевна СРЫВКИНА,
старший преподаватель кафедры
"Экономика и организация
строительства"
Брестского государственного
технического университета

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

INFORMATION TECHNOLOGY FOR SOLVING OPERATIVE PLANNING PROBLEM IN CONSTRUCTION

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности строительного производства во многом зависит от качества решений, принимаемых на стадии оперативного управления.

Совершенствование оперативного управления возможно различными путями. Один из них связан с улучшением нормативной базы — разработкой научно обоснованных планово-производственных норм затрат труда, заработной платы и материально-технических ресурсов.

Другой путь заключается в совершенствовании методов оперативного управления, в том числе методов оперативного планирования как одной из функций управления. Реализация этого направления связана с использованием потенциала современных информационных технологий для обработки большого объема информации и выработки качественных решений в сжатые сроки.

Проблемы оперативного управления рассматривались в трудах советских ученых Куликова Ю.А. [1, 2], Цая Т.Н. [3], Гусакова А.А. и Ильина Н.И. [4], Брехмана А.И. [5] и др. ВНИПИ труда в строительстве было издано методическое руководство по оперативно-производственному планированию в строительных организациях [6]. В настоящее время ведутся исследования по применению теоретико-игровых и оптимизационных моделей и методов в области оперативного управления проектами [7–9].

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.)

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.

Использование стохастического программирования и принципов теории эффективности представляет возможность гибкой настройки модели на практику строительства (особенности финансового характера целей, стоящих перед строительной организацией на определенном этапе ее развития). На этой основе разработано программное обеспечение формирования маршрута движения бригад по заданиям производственной программы.

Предложенный алгоритм и программное обеспечение позволяют сократить разрыв между оперативным планированием и реальными условиями строительного производства и тем самым повысить эффективность производственной деятельности.

This article presents approach to operative construction planning problem solving which allows taking into consideration multi-purpose character of construction firm's activities and instability of their internal and external environment conditions.

The use of stochastic programming and cost-efficiency theory helps to set the model to construction actual practice (financing features, social and economic project priorities, etc.) and to take into account the complexity and conflict of objectives facing the construction company at a certain development stage. On this base new software is worked out for getting route of construction crews' shift on production program tasks.

The offered algorithm and software enable to shorten the gap between the operative planning and real construction conditions and thus to increase the productive activities efficiency.

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 оптимальности 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.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АЛГОРИТМ ЕЕ РЕШЕНИЯ

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, необходимые для выполнения запланированного объема работ;

— количество 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 заказчиком 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 соот-

ветствии 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 — по трудовым ресурсам;

m_2 — по материалам, деталям, конструкциям;

m_3 — по машинам и средствам малой механизации;

m_4 — 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 α_i . В данной постановке предлагается рассматривать в качестве случайной величины только коэффициент $k_{\text{исп}_i}$. Закон распределения $k_{\text{исп}_i}$ можно получить по данным наблюдений за использованием i -го ресурса в течение длительного периода времени. Умножив левую и правую части неравенства под знаком вероятности в выражении (2) на дробь $k_{\text{исп}_i}/b_i$, получим

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

Таким образом, после преобразований в левой части неравенства (2) находится детерминированная матрица

$A' = \| \| a_{ij}^{\text{норм}} / b_i \| \|$, а в правой — случайный вектор

$K_{\text{исп}_i} = \| k_{\text{исп}_i} \|$, 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

$$\sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}^{\text{норм}}}{b_i} x_j \leq \bar{k}_{\text{исп}_i}, \quad i = \overline{1, m_k}, \quad (8)$$

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

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

где $\bar{k}_{\text{исп}_i}$ — корень уравнения $F(\bar{k}_{\text{исп}_i}) = 1 - \alpha_i$ или $\bar{k}_{\text{исп}_i} = F^{-1}(1 - \alpha_i)$;

$F(k_{\text{исп}_i})$ — функция распределения случайной величины $k_{\text{исп}_i}$.

На рисунке 1 представлена укрупненная блок-схема алгоритма решения задачи оперативного планирования. Алгоритм включает 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 включения в план новых заданий.

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

2 АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ БРИГАД (ЗВЕНЬЕВ) ПО ОБЪЕКТАМ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНА

Завершающим этапом разработки оперативного плана является формирование маршрута движения бригад (звеньев) по заданиям. Блок-схема алгоритма решения этой задачи представлена на рисунке 2. На основании предложенного алгоритма разработана программа в системе MATLAB 7.0. Диалоговое окно программы для ввода и обработки исходных данных содержится на рисунке 3. Исходные данные включают:

1. Общие параметры:

T — продолжительность оперативного планового периода, дн.;

N — количество работ (заданий) в оперативном плане;

M — общее количество рабочих, чел.;

B — количество 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 заданий (минимальных количеств 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;

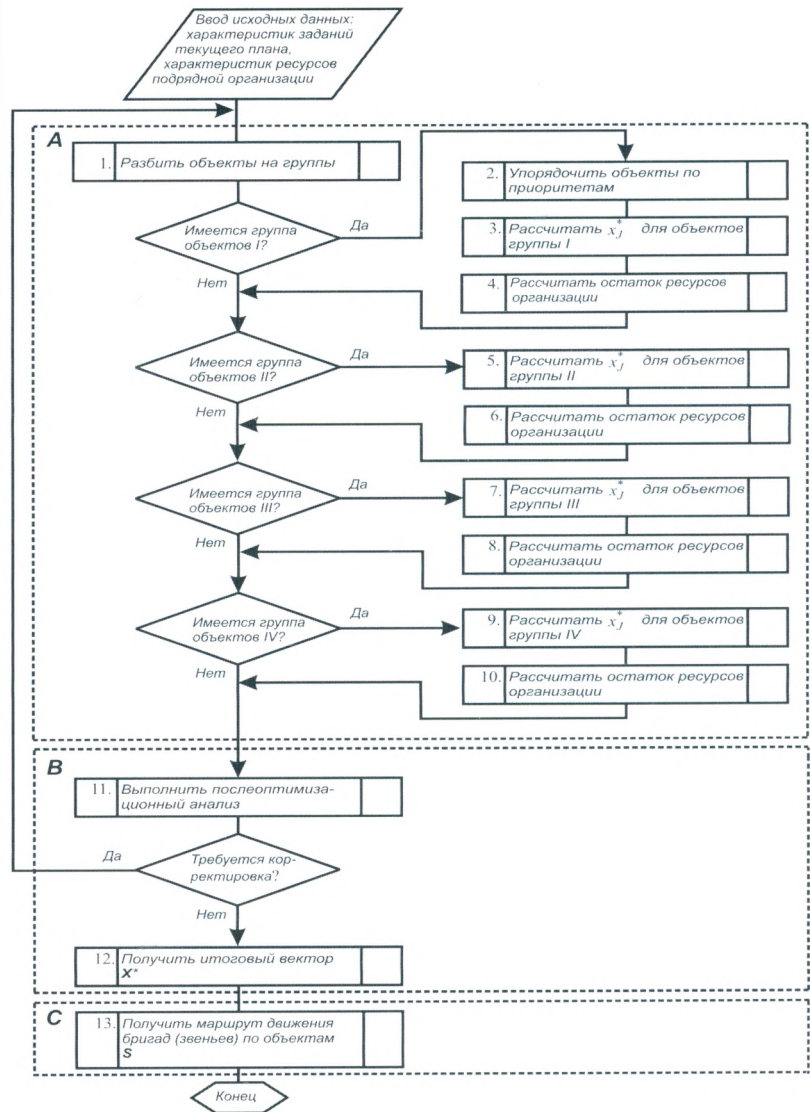


Рисунок 1. Блок-схема решения задачи оперативного планирования в строительстве

$$T^{min} = (t_1^{min}, t_2^{min}, \dots, t_N^{min})$$

$$T^{max} = (t_1^{max}, t_2^{max}, \dots, t_N^{max})$$

$$N^{br} = (n_1^{br}, n_2^{br}, \dots, n_N^{br})$$

— вектор ранних начал N заданий, дн.;

— вектор поздних окончаний N заданий, дн.;

— вектор возможных количеств одновременно работающих на одном задании бригад для N заданий. Минимальное значение n_i^{br} составляет единицу, максимальное 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;

$P^i = (p_{11}^i, p_{21}^i, \dots, p_{M1}^i)$ — вектор продолжительностей работ в предыдущем плановом периоде на последнем задании этого периода для M рабочих. Величина $p_{ij}^i = 0$ соответствует ситуации $p_{ij} = 0$ ($i=1, M$) 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 -тое 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:

а) соблюдение заданных сроков окончания выполнения заданий T^{max} ;

б) 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;

в) выполнение отдельного задания, по возможности, силами одной бригады (звена), т.е. не смешивание нескольких бригад на одном задании;

г) выполнение запланированных объемов заданий Q полностью;

д) 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 λ_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.

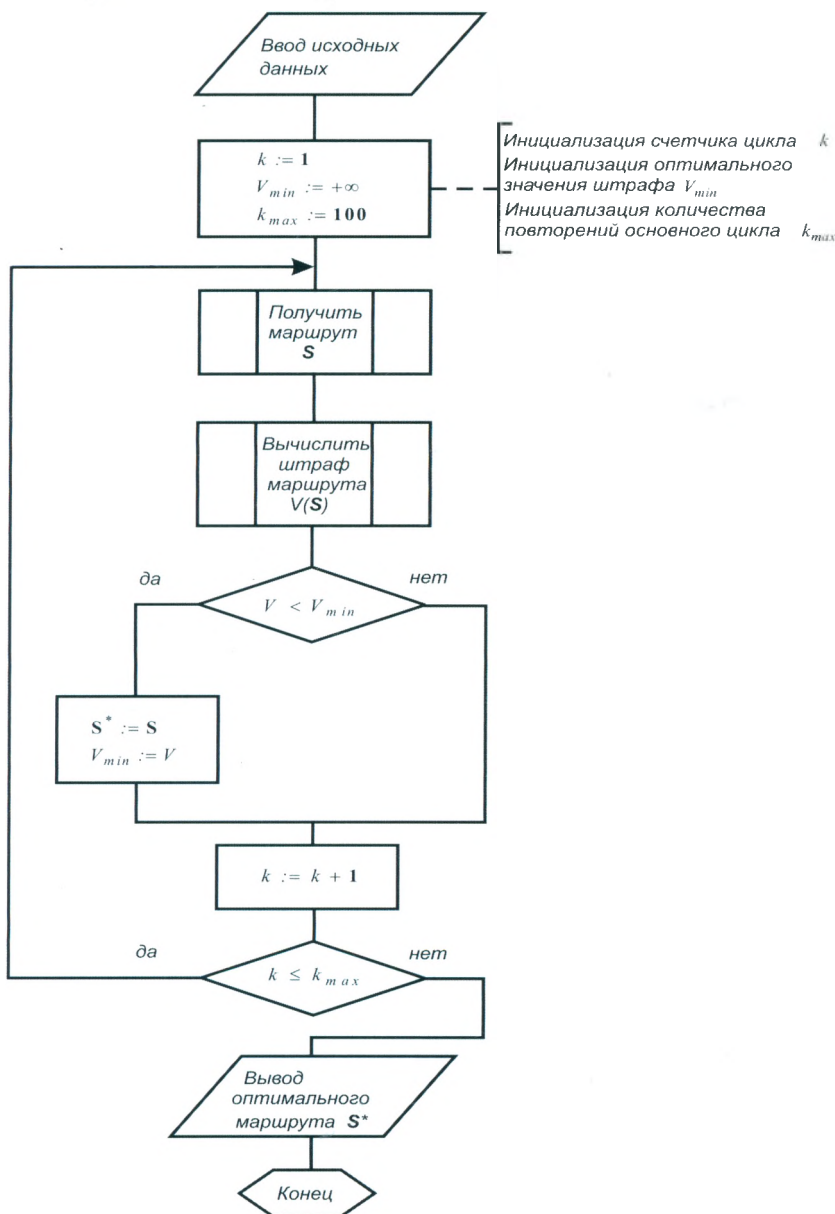


Рисунок 2. Блок-схема основного алгоритма формирования маршрута S

Величины λ_i представляют собой нормированные "приоритеты" штрафов v_i за нарушения соответствующих характеристик оптимальности маршрута, и для них должны соблюдаться условия:

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

Чем большей важностью с точки зрения принимающего решение обладает соблюдение i -той характеристики оптимальности маршрута, тем большее значение должен принимать "приоритет" λ_i . Значения λ_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

$$v_i = \frac{\bar{v}_i}{v_i^{max}}, \quad (13)$$

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

v_i^{max} — максимальное значение ненормированного штрафа, соответствующего i -му частному критерию оптимальности, $i = 1, 5$.

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 присутствует элемент случайности: при определении очередного задания s_{ij} выбор осуществляется в соответствии с описанной выше матрицей предпочтений при закреплении бригад за заданиями P^{pr} и распределением рабочих по бригадам (звеньям), задаваемым вектором $A = (a_1, a_2, \dots, a_M)$. Величина $a_i = I$ означает, что i -й рабочий является членом I -й бригады (звена) $i = 1, M, I = 1, B$. Элементы матрицы P^{pr} принимают значения $p_{jk}^{pr} \in [0; 1]$ в зависимости от степени предпочтительности назначения I -й бригады (звена) на k -е задание ($k = 1, N$), что задает вероятность назначения рабочих этой бригады на соответствующее задание.

Разработанная программа позволяет получить маршрут как в виде текстового файла, так и в графическом виде. На рисунке 4 представлены результаты применения разработанной методики для формирования маршрута движения рабочих по объектам для УП РСУ-2 Ремстройтреста г. Бреста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 В статье представлен алгоритм решения задачи формирования набора заданий на оперативный плановый период, основанный на решении задачи стохастического программирования, где в качестве случайной величины выступает коэффициент эффективности использования i -го ресурса $k_{исп.}$. Особенностью алгоритма является разбиение объектов на группы в зависимости от их приоритетности и специфических условий финансирования, что позволяет обеспечить

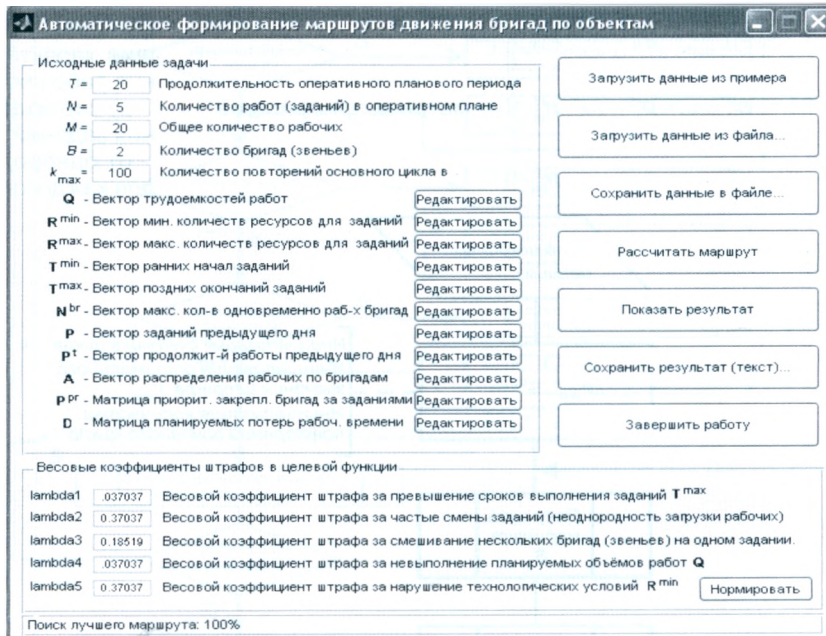


Рисунок 3. Диалоговое окно программы для ввода и обработки исходных данных

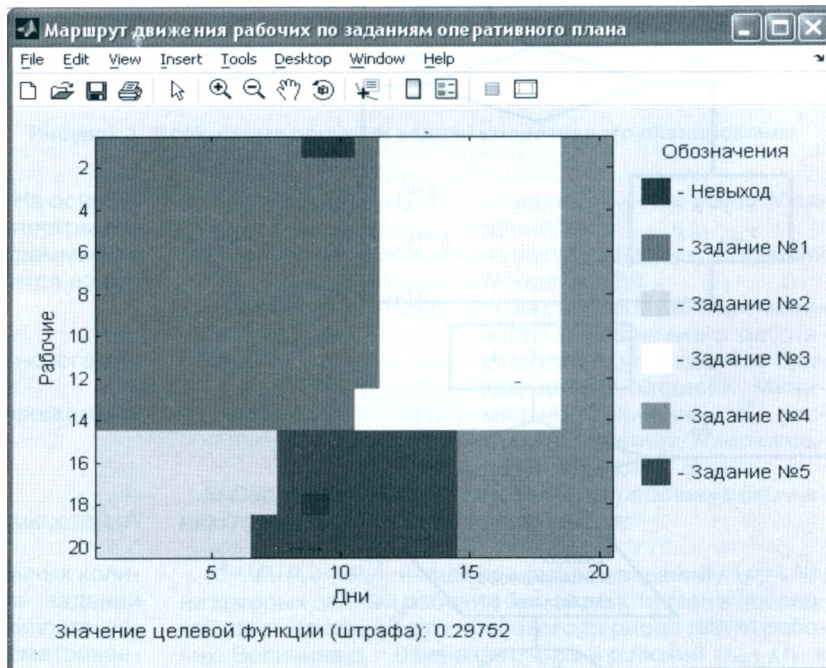


Рисунок 4. Окно с графической интерпретацией маршрута движения рабочих

настройку модели на различные условия практики строительства.

2 Предложены метод и алгоритм формирования маршрута движения бригад (звеньев) по заданиям, вошедшим в оперативный план. На их основе разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее получить маршрут, удовлетворяющий

обобщенному условию эффективности, представленный как в графическом виде, так и в виде текстового файла. При этом пользователю предоставляется возможность учитывать спектр локальных критериев оптимальности формируемого маршрута и варьировать приоритетами этих критериев в соответствии с конкретными условиями работы подрядной организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Ю.А. Имитационные модели и их применение в управлении строительством. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. — 224 с.
2. Куликов Ю.А. Оценка качества решений в управлении строительством. — 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. — М.: Стройиздат, 1985. — 156 с.
5. Брехман А.И. Системотехнические основы организации труда строительных бригад. // Системотехника / А.А. Гусаков [и др.]; под ред. А.А. Гусакова. — М.: Фонд "Новое тысячелетие". — 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. — М., 1997. — 62 с. — (Препринт / РАН, Институт проблем управления).
8. Бурков В.Н. Как управлять проектами. — М.: Синтег, 1997. — 188 с.
9. Коновальчук Е.В. Модели и методы оперативного управления проектами. — М., 2004. — 63 с. — (Препринт / РАН, Институт проблем управления).
10. Юдин Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования. — М.: Советское радио, 1979. — 392 с.
11. Срывкина Л.Г. 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.

Статья поступила в редакцию 12.07.06.