АС'05

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО – 2005
ARCHITEKTUR UND BAUWESEN – 2005
I Международный научно-практический семинар
I Internationales wissenschaftlich-praktisches Seminar

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ БРИГАД И ЗВЕНЬЕВ ПО ОБЪЕКТАМ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНА

Срывкина Л. Г., Чумерин Н. Ю.

Целью данной работы является разработка метода, позволяющего автоматизировать процесс получения маршрута движения бригад (звеньев) по объектам строительства в ходе оперативного планирования.

Исходные данные.

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):

$\mathbf{Q} = [q_1, q_2, ..., q_N]$ - вектор трудоемкостей N работ, чел.-дн.;

$\mathbf{R}^{min} = [r_1^{min}, r_2^{min}, ..., r_N^{min}]$ - вектор минимальных количеств ресурсов для N заданий (минимальных количеств рабочих (чел.) в рассматриваемой постановке задачи);

$\mathbf{R}^{max} = [r_1^{max}, r_2^{max}, ..., r_N^{max}]$ - вектор минимальных количеств ресурсов для N заданий;

$\mathbf{T}^{min} = [t_1^{min}, t_2^{min}, ..., t_N^{min}]$ - вектор ранних начал N заданий, дн.;

$\mathbf{T}^{max} = [t_1^{max}, t_2^{max}, ..., t_N^{max}]$ - вектор поздних окончаний N заданий, дн.;

$\mathbf{N}^{br} = [n_1^{br}, n_2^{br}, ..., n_N^{br}]$ - вектор возможных количеств одновременно работающих на одном задании бригад для N заданий. Минимальное значение n_i^{br} составляет единицу, максимально возможное - B.

Значения N, **Q**, $\mathbf{T}^{min}$, $\mathbf{T}^{max}$, представляющие собой параметры заданий, входящих в оперативный план на рассматриваемый период T, определяются на основе сопоставления данных текущего плана (плана более высокого порядка по отношению к оперативному плану) с фактическим состоянием работ на объектах. В результате анализа этой информации и решения задачи стохастического программирования находится, какая часть заданий текущего плана может войти в оперативный план с учетом обеспеченности всеми необходимыми финансовым и трудовыми ресурсами, материалами, деталями и конструкциями, а также строительными машинами и механизмами. Подробно способ решения этой задачи представлен в [1].

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

$\mathbf{P} = [p_1, p_2, ..., p_M]$ - 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;

$\mathbf{P^t} = [p_1^t, p_2^t, ..., p_M^t]$ - 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 $\mathbf{P}$), 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):

$\mathbf{A} = [a_1, a_2, ..., a_M]$ - вектор распределения рабочих по бригадам. Величина $a_i = k$ означает, что i-й рабочий является членом k-й бригады (звена), $i = \overline{1,M}$, $k = \overline{1,B}$.

5. Предпочтения при закреплении бригад (звеньев) за заданиями:

$$\mathbf{P^{pr}} = \begin{pmatrix} p_{11}^{pr} & ... & p_{1j}^{pr} & ... & p_{1N}^{pr} \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ p_{i1}^{pr} & ... & p_{ij}^{pr} & ... & p_{iN}^{pr} \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ p_{B1}^{pr} & ... & p_{Bj}^{pr} & ... & p_{BN}^{pr} \end{pmatrix}$$ - матрица приоритетов при закреплении B бригад (звеньев)

за N заданиями. Элементы матрицы $\mathbf{P^{pr}}$ 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:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} d_{11} & ... & d_{1j} & ... & d_{1T} \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ d_{i1} & ... & d_{ij} & ... & d_{iT} \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ d_{M1} & ... & d_{Mj} & ... & d_{MT} \end{pmatrix}$$ - матрица планируемых потерь рабочего времени для M рабочих в течение T дней. Элементы матрицы $\mathbf{D}$ могут принимать только два значения – ноль или единицу: $d_{ij} = 1$ - планируется невыход i-го рабочего в j-й день на работу; $d_{ij} = 0$ - никаких отклонений в использовании рабочего времени i-м рабочим в j-й день не планируется ($i = \overline{1,M}$, $j = \overline{1,T}$). Планируемые на рассматриваемый период отклонения в фонде рабочего времени рабочих могут быть связаны с отпусками без сохранения заработной платы по семейно-бытовым и другим уважительным причинам, предоставляемые по договоренности между работником и нанимателем, и отпусками, предоставляемыми по инициативе нанимателя.

7. Весовые коэффициенты штрафов в целевой функции:

$\mathbf{\Lambda} = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4]$ - вектор весовых коэффициентов штрафов в целевой функции (порядок определения целевой функции приведен ниже);

λ_1 - весовой коэффициент штрафа за превышение сроков выполнения заданий $\mathbf{T^{max}}$;

λ_2 - весовой коэффициент штрафа за частые смены заданий (неоднородность загрузки рабочих);

λ_3 - весовой коэффициент штрафа за смешивание нескольких бригад (звеньев) на одном задании;

λ_4 - весовой коэффициент штрафа за невыполнение планируемых объемов работ $\mathbf{Q}$.

Требуется: сформировать маршрут движения M рабочих по N объектам, входящим в оперативный план, или, другими словами, расстановку M рабочих по N объектам оперативного плана для каждого дня на отрезке [1; T].

Метод решения задачи.

При решении задачи предлагаются следующие характеристики оптимальности полученного 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. не смешивание нескольких бригад на одном задании;
4) выполнения запланированных объемов заданий $\mathbf{Q}$ полностью.

Соответственно выдвигаются четыре **частных критерия 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 $\mathbf{Q}$.

Частные критерии v_i в данном случае являются негативными критериями, так как лицо, принимающее решение (ЛПР), стремится к их уменьшению.

Целевая функция - обобщенный критерий эффективности - строится как взвешенная сумма четырех частных критериев [3, с.162; 4, с. 70]:

$$V = \sum_{i=1}^{4} \lambda_i v_i \to \min, \quad (1)$$

где λ_i - вес частного критерия v_i;

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

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

$$\sum_{i=1}^{4} \lambda_i = 1 \quad \lambda_i \geq 0 \quad (2)$$

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 ЛПР 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:

$$v_i = \frac{\overline{v_i}}{v_i^{max}}, \quad (3)$$

где $\overline{v_i}$ - среднее значение ненормированного штрафа, соответствующего i-му частному критерию оптимальности, $i = \overline{1,4}$;

v_i^{max} - максимальное значение ненормированного штрафа, соответствующего i-му частному критерию оптимальности, $i = \overline{1,4}$.

Порядок определения средних и максимальных ненормированных значений штрафов v_1.

1. Штраф за превышение сроков выполнения заданий.

Среднее значение $\overline{v_1}$ определяется по формуле:

$$\overline{v_1} = \frac{\sum_{k=1}^{N} v'_{1,k}}{N}, \tag{4}$$

где $v'_{1,k}$ - ненормированный штраф за нарушение установленного текущим планом срока t_k^{max} ($k = \overline{1, N}$), определяемый по формуле:

$$v'_{1,k} = q_k - q'_k, \tag{5}$$

где q_k - общие трудозатраты на выполнение k-го задания, задаваемые в исходных данных, чел.-дн.;

q'_k - трудозатраты, планируемые к выполнению до наступления срока t_k^{max} согласно сформированному оперативному плану, чел.-дн., соответствующие продолжительности $t_{1,k}$ на рис. 1.

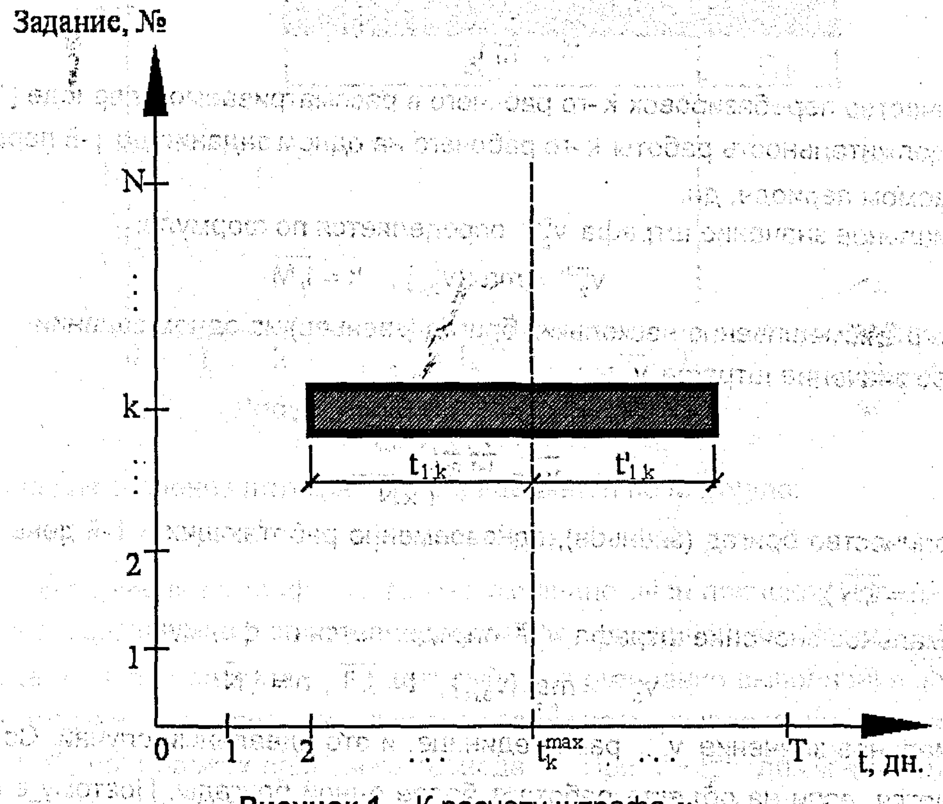

Рисунок 1 – К расчету штрафа v_1

При оценке соблюдения сроков выполнения заданий предлагается отступить от традиционной трактовки и рассматривать не сами по себе временные параметры заданий, а соотношение трудозатрат q'_k, планируемых к выполнению до наступления установленного срока t_k^{max}, и общих трудозатрат q_k. Такой подход представляется более объективным, поскольку позволяет учесть весомость объема работ, выполненного не в срок, а также масштаб отвлечения трудовых ресурсов на ликвидацию отклонения. Например, на двух объектах планируется превысить установленные текущим планом сроки на два дня, при этом на первом объекте работают два человека, а на втором - двадцать. Очевидно, что вторая ситуация как с точки зрения выполнения работ на отдельном объекте, так и с позиций работы подрядной организации в целом является более настораживающей: отклонение в первом случае возможно ликвидировать в оперативном режиме, например, за счет повышения производительности труда, во втором случае это крайне затруднительно. Если рассматривать только временные характеристики, то штраф за нарушение сроков должен был бы быть одинаковым. При учете трудозатрат оказывается, что на первом объекте штраф составляет $v'_{1,1} = 2 \times 2 = 4$ чел.-дн., а на втором $v'_{1,2} = 2 \times 10 = 20$ чел.-дн., т. е. штрафы отличаются в пять раз.

Максимальное значение штрафа v_1^{max} определяется по формуле:

$$v_1^{max} = \max_k \{v'_{1,k}\}, \quad k = \overline{1,N} \tag{6}$$

2. Штраф за неоднородность загрузки рабочих (за частые смены работ).

Среднее значение штрафа $\overline{v_2}$:

$$\overline{v_2} = \frac{\sum_{k=1}^{M} v'_{2,k}}{M}, \tag{7}$$

где $v'_{2,k}$ - ненормированный штраф за неоднородность загрузки k-го рабочего ($k = \overline{1,M}$), определяемый аналогично показателю неоднородности загрузки рабочего (методика и примеры расчета приведены в [2]):

$$v'_{2,k} = \sum_{j=1}^{n_k} \frac{1}{t_{k_j}}, \quad k = \overline{1,M}, \tag{8}$$

где n_k - количество перебазировок k-го рабочего в рассматриваемом периоде $[1; T]$;

t_{kj} - продолжительность работы k-го рабочего на одном задании до j-й перебазировки в рассматриваемом периоде, дн.

Максимальное значение штрафа v_2^{max} определяется по формуле:

$$v_2^{max} = \max_k \{v'_{2,k}\}, \quad k = \overline{1,M} \tag{9}$$

3. Штраф за смешивание нескольких бригад (звеньев) на одном задании.

Среднее значение штрафа $\overline{v_3}$:

$$\overline{v_3} = \frac{\sum_{t=1}^{T}\sum_{n=1}^{N} (v'_{3,nt} - 1)}{T \times N}, \tag{10}$$

где $v'_{3,nt}$ - количество бригад (звеньев), одновременно работающих в t-й день на n-м задании ($t = \overline{1,T}$, $n = \overline{1,N}$).

Максимальное значение штрафа v_3^{max} определяется по формуле:

$$v_3^{max} = \max_{n,t} \{v'_{3,nt}\}, \quad t = \overline{1,T}, \; n = \overline{1,N} \tag{10}$$

Минимальное значение $v'_{3,nt}$ равно единице, и это идеальный случай. Средний штраф $\overline{v_3}$ начисляется, если на объекте работает более одной бригады. Поэтому в формуле (10) под знаком суммы стоит выражение $(v'_{3,nt} - 1)$. Максимальный штраф выбирается из всех значений матрицы $\mathbf{V}'_{3,nt}$, что позволяет избежать деления на ноль в формуле (11).

4. Штраф за невыполнение объемов работ $\mathbf{Q}$.

Среднее значение $\overline{v_4}$ определяется по формуле:

$$\overline{v_4} = \frac{\sum_{k=1}^{N} v'_{4,k}}{N}, \tag{12}$$

где $v'_{4,k}$ - ненормированный штраф за невыполнение объема работ q_k к окончанию планового периода T, определяемый по формуле:

$$v'_{4,k} = q_k - q''_k, \tag{13}$$

где q_k - общие трудозатраты на выполнение k-го задания, задаваемые в исходных данных, чел.-дн.;

$q_k^{//}$ - трудозатраты, планируемые к выполнению до окончания планового периода T согласно сформированному оперативному плану, чел.-дн., соответствующие продолжительности $t_{4,k}$ на рис. 2.

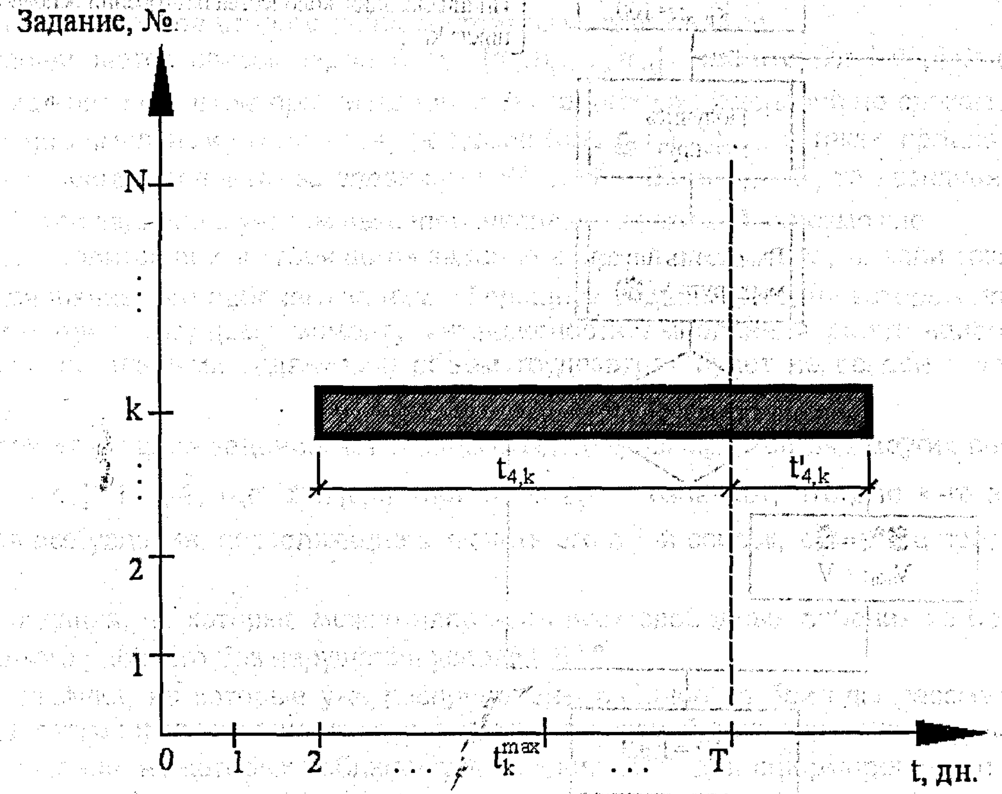

Рисунок 2 – К расчету штрафа v_4

Максимальное значение штрафа v_4^{max} определяется по формуле:

$$v_4^{max} = \max_k \{v'_{4,k}\}, \quad k = \overline{1,N} \tag{14}$$

Принцип определения штрафа v_4 во многом аналогичен принципу определения штрафа v_1, с той разницей, что в при расчете значения v_4 ограничением служит окончание планового периода T, а при расчете v_1 - заданный срок окончания выполнения заданий T^{max}. Штраф v_4, в отличие от v_1, предусматривает возможность выполнения заданий с нарушением сроков T^{max}, но в рамках планового периода T. При $T = t_k^{max}$ для k-го задания первый и четвертый штрафы полностью совпадают. По желанию ЛПР можно исключить один из них путем введения соответствующего весового коэффициента $\lambda_i = 0$.

Основной алгоритм решения задачи.

Блок схема основного алгоритма решения задачи приведена на рис. 3.

Алгоритм формирования маршрута S.

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 $\mathbf{W}(s_{ij}) = [w_1, w_2, ..., w_N]$, где w_k - вероятность того, что i-й рабочий в j-й день будет работать на k-м задании ($i = \overline{1,M}$, $j = \overline{1,T}$, $k = \overline{1,N}$) с учетом принятых в задаче ограничений.

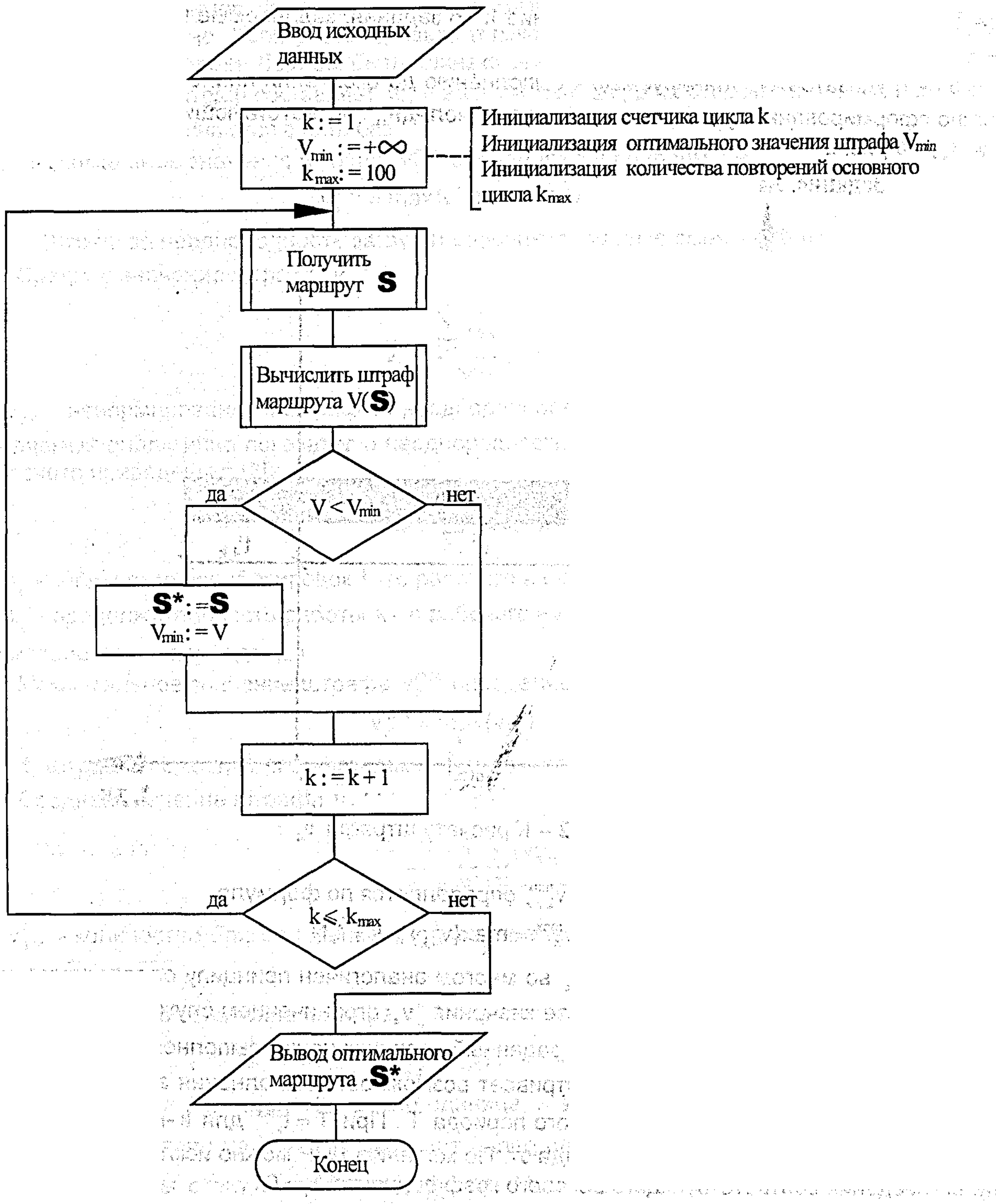

Рисунок 3 – Блок-схема основного алгоритма

Процесс разработки маршрута **S** реализуется путем последовательного просмотра всех дней на отрезке $[1; T]$, и для каждого j-го дня он состоит из двух этапов.

Этап 1. Определяется возможность назначения i-го рабочего на то задание, где он был задействован в предыдущий день. Такое назначение может быть невозможно в двух случаях:

1) если работа на этом задании полностью завершена;
2) если планируется невыход на работу i-го рабочего в j-й день.

Эта процедура повторяется последовательно для всех M рабочих в данный день. Если назначение возможно, то величина s_{ij} получает значение, равное номеру соответствующего задания. Затем осуществляется переход ко второму этапу, на котором распределяются остальные рабочие.

Этап 2. Дальнейшее формирование маршрута **S** производится путем последовательного закрепления за заданиями рабочих, не распределенных на первом этапе. Для каждого i-го рабочего процедура второго этапа состоит из четырех шагов.

1. Определяется список заданий $\mathbf{N}_i = [n_{i,1}, n_{i,2}, ..., n_{i,N}]$, на которых i-й рабочий может быть задействован с учетом организационно-технологических условий по срокам начала работ $\mathbf{T}^{min}$ и максимальному количеству ресурсов (рабочих) $\mathbf{R}^{max}$, а также предпочтений при закреплении бригад (звеньев) за заданиями $\mathbf{P}^{pr}$ и $\mathbf{N}^{br}$. Если $n_{i,k} = 0$, то назначение i-го рабочего на k-тое задание с учетом вышеперечисленных условий невозможно.

2. Производится поиск «горящего» задания в списке заданий $\mathbf{N}_i$, и, если такое задание есть, - закрепление i-го рабочего за ним. «Горящее» задание – то, на котором при сохранении достигнутой к текущему моменту интенсивности выполнения работ наибольший (по сравнению с остальными заданиями) объем трудозатрат будет не освоен к наступлению срока t_k^{max}.

3. Если «горящих» заданий нет в списке $\mathbf{N}_i$, то формируется ряд других списков вида $\mathbf{C}^l = [c_1^l, c_2^l, ..., c_N^l]$, $l = \overline{1,4}$, где $c_k^l \in \{0;1\}$ (при этом $c_k^l = 1$ означает, что для k-го задания соблюдаются все условия, позволяющие включить его в l-й список; $c_k^l = 0$ - в противном случае):

$\mathbf{C}^1$ - задания, на которые можно направить всех свободных рабочих из бригады рассматриваемого рабочего без нарушения условия $\mathbf{R}^{min}$;

$\mathbf{C}^2$ - задания, на которые уже распределены рабочие из бригады рассматриваемого рабочего, а также ни за кем еще не закрепленные в текущий день задания;

$\mathbf{C}^3$ - задания, на которых соблюдается условие $\mathbf{R}^{max}$ для сформированной части маршрута текущего дня;

$\mathbf{C}^4$ - задания, за которыми закреплены только рабочие из бригады рассматриваемого рабочего в сформированной части маршрута.

4. Находится пересечение списков $\mathbf{N}_i$, $\mathbf{C}^1$, $\mathbf{C}^2$, $\mathbf{C}^3$, $\mathbf{C}^4$ - список заданий $\mathbf{C}$:

$$\mathbf{C} = \mathbf{N}_i * \mathbf{C}^1 * \mathbf{C}^2 * \mathbf{C}^3 * \mathbf{C}^4, \qquad (15)$$

где * - символ покоординатного произведения векторов.

Такой список **C** - самый «жесткий» вариант, удовлетворяющий всем организационно-технологическим условиям и условиям предпочтения при закреплении бригад (звеньев) за заданиями. Он может оказаться пустым. Если список **C**, определенный по формуле (15), пустой, то последовательно составляем ряд других списков **C**, «смягчая» условия их формирования, пока не получим среди них непустой список:

1) составляем список заданий, на которые можно направить свободных рабочих бригады рассматриваемого рабочего, при этом таких на заданиях может работать только данная бригада. Для этого отбрасываем условия формирования списков $\mathbf{C}^3$ и $\mathbf{C}^4$ и получаем:

$$\mathbf{C} = \mathbf{N}_i * \mathbf{C}^1 * \mathbf{C}^2 \qquad (16)$$

2) если список, полученный по формуле (16), пустой, то формируем список заданий, на которые можно направить свободных рабочих данной бригады (отбрасываем $\mathbf{C}^2$):

$$\mathbf{C} = \mathbf{N}_i * \mathbf{C}^1 \qquad (17)$$

3) если снова получен пустой список, то формируем список **C** заданий, на которых могут работать все свободные рабочие из всех бригад с учетом условий предпочтения $\mathbf{P}^{pr}$;

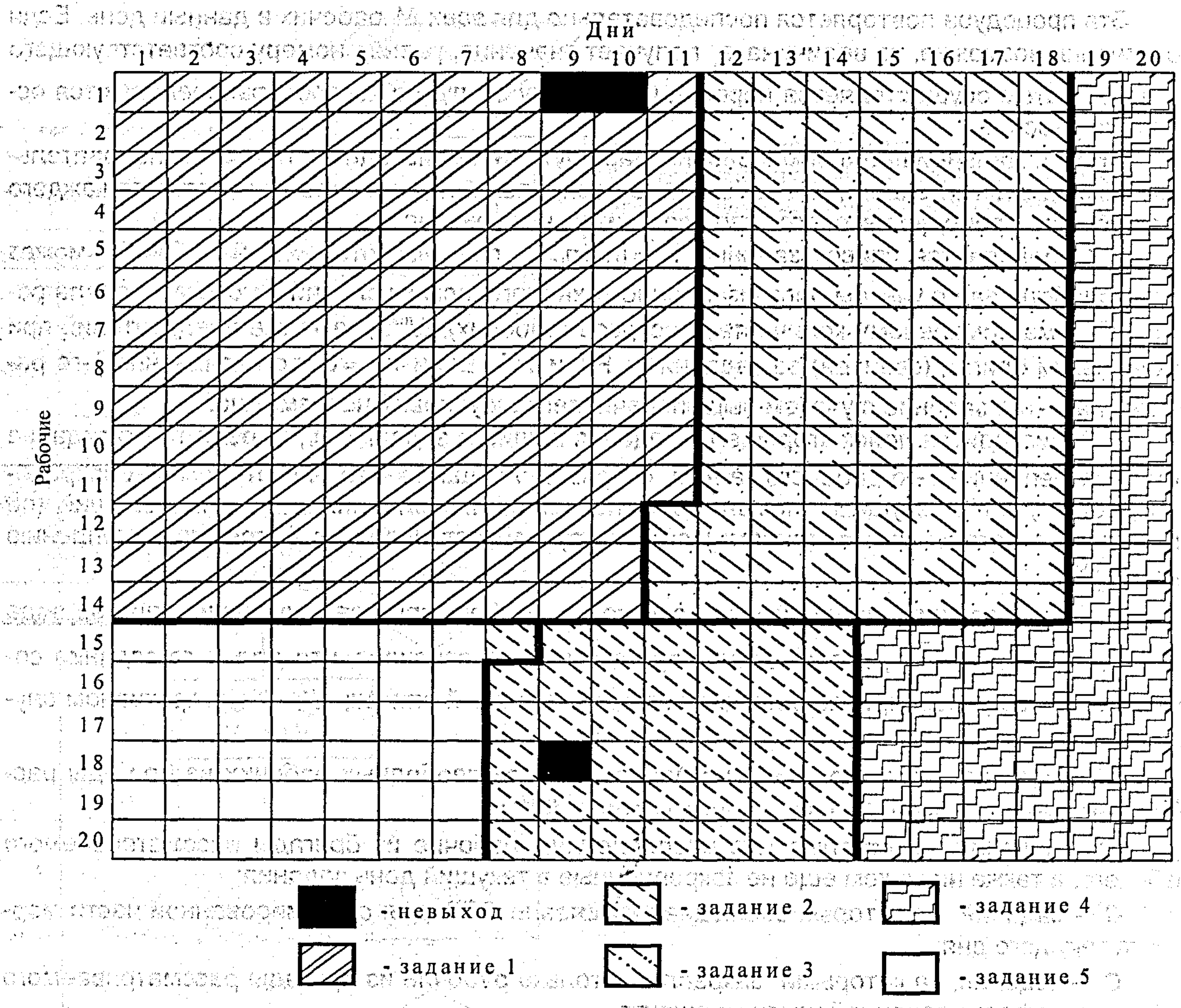

Рисунок 4 – Пример маршрута движения рабочих по заданиям в плановом периоде

4) если снова получен пустой список, то включаем в очередной список **C** все задания, которые доступны в данный момент и на которых уже работает в текущий день бригада рассматриваемого рабочего.

Если последний список **C** получен пустым, то рассматриваемый i-й рабочий в текущий j-й день назначается на «нулевое» задание. Если на каком-то участке полученного маршрута имеется достаточно большое число «нулевых» заданий, ЛПР имеет смысл проанализировать ситуацию и включить в оперативный план новое задание, задействовав на нем свободных рабочих. Если случаи «нулевых» заданий являются единичными, то их можно использовать в оперативном режиме как резерв для устранения отклонений, которые могут возникнуть в ходе работ.

Если на каком-то из последовательных шагов получен непустой вариант списка **C**, то он рассматривается как вектор вероятностей назначения i-го рабочего на k-тое задание, и в соответствии с ним производится закрепление рабочего за некоторым заданием, после чего осуществляется переход к следующему нераспределенному рабочему. Например, для i-го рабочего получен вектор $\mathbf{C} = [0; 1; 0; 0,5; 0]$. Согласно этому вектору, задание № 2 будет выбрано с вероятностью, в два раза большей, чем задание № 4, т. е. вероятность выбора задания № 2 составляет 2/3, задания № 4 – 1/3, вероятность выбора остальных заданий равна нулю.

Ниже представлен пример реализации алгоритма.

Пример.

Исходные данные.

Общие параметры:

$T = 20$ дн.; $N = 5$ заданий; $M = 20$ чел.; $B = 2$ бригады.

Характеристики работ (заданий):

$\mathbf{Q} = [150; 40; 100; 65; 45]$; $\mathbf{R}^{min} = [2; 2; 2; 2; 2]$; $\mathbf{R}^{max} = [16; 10; 20; 20; 20]$;

$\mathbf{T}^{min} = [1; 1; 3; 14; 1]$; $\mathbf{T}^{max} = [20; 20; 20; 20; 20]$; $\mathbf{N}^{br} = [2; 1; 2; 2; 1]$.

Состояния, достигнутые рабочими к окончанию предыдущего планового периода:

$\mathbf{P} = [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 0; 0; 0; 0; 0; 0]$; $\mathbf{P}^{t} = [5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 0; 0; 0; 0; 0; 0]$.

Распределение рабочих по бригадам (звеньям):

$\mathbf{A} = [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 2; 2; 2; 2; 2; 2]$.

Предпочтения при закреплении бригад (звеньев) за заданиями:

$$\mathbf{P}^{pr} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0{,}1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Планируемые потери рабочего времени:

для первого рабочего планируется невыход в 9 и 10 дни; для восемнадцатого – в 18 день; других отклонений не планируется.

Коэффициенты для вычисления штрафов в целевой функции:

$\alpha = [0{,}058; 0{,}588; 0{,}294; 0{,}06]$

Количество повторений основного цикла (прогонов) – $k_{max} = 100$.

Маршрут, сформированный в соответствии с этими исходными данными, представлен на рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлючук Ю. Н., Срывкина Л. Г. Экономико-математическое моделирование процесса оперативного планирования в строительстве // Развитие инвестиционно-строительного комплекса России: Сб. научных трудов / Под общ. ред. С. М. Яровенко.- Москва: МИКХиС, 2004. – С. 182-187.
2. Павлючук Ю. Н., Срывкина Л. Г. Оптимизация маршрутов движения бригад рабочих по объектам строительства // Проблемы повышения эффективности инвестиционно-строительного и жилищно-коммунального комплексов России: Сб. научных трудов / Под общ. ред. С. М. Яровенко.- Москва: ИПЦ МИКХиС, 2005.
3. Дубров А. М. Компонентный анализ и эффективность в экономике. – Москва: Финансы и статистика, 2002. – 352 с.
4. Розен В. В. Математические модели принятия решений в экономике. – Москва: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2002. – 288 с.