

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ  
СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
НА ПРЕДПРИЯТИИ  
НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF PLANNING  
OF DIFFICULT PRODUCTIONS AT THE ENTERPRISE  
ON THE BASIS OF METHODS OF NETWORK PLANNING**

*Д.И. ЕМЕЛЬЯНОВ, Н.А. ПОНЯВИНА, Е.А. ЧЕШОКОВА  
D.I. EMELYANOV, N.A. PONYAVINA, E.A. CHESNOKOVA*

**(Воронежский государственный технический университет)  
(Voronezh State Technical University)  
E-mail: osecun@yandex.ru**

*В статье рассматривается совершенствование методики сетевого моделирования для решения задач планирования сложных производственных процессов. Приведен подход к оптимизации распределения ресурсов по производственным процессам. В предлагаемой авторами методике моделирования применена усовершенствованная матрично-сетевая модель, позволяющая учитывать возможность изменения количества используемых ресурсов, а также оптимизацию распределения ресурсов. Рассмотрены предложения по формированию целевой функции плана производства работ и сформулирован математический подход к решению проблемы оптимизации распределения ресурсов, использующий алгоритмы поиска экстремума функции многих переменных. Приводятся начальные результаты исследований, показывающие принципиальную перспективность выбранного направления.*

*In article improvement of a technique of network modeling, for the solution of problems of planning of difficult productions is considered. Approach to optimization of distribution of resources on productions is given. In the technique of modeling offered by authors the advanced matrix and network model allowing to consider a possibility of change of quantity of the used resources and also optimization of distribution of resources is applied. Offers on formation of criterion function of the plan of works are considered and the mathematical approach to a solution of the problem of optimization of distribution of resources using algorithms of search of an extremum of function of many variables is formulated. The initial results of researches showing basic prospects of the chosen direction are given.*

**Ключевые слова:** календарное планирование, оптимизация, моделирование, алгоритм, распределение ресурсов.

**Keywords:** scheduling, optimization, modeling, algorithm, distribution of resources.

Сложность задачи планирования производственного процесса заключается в оперировании большим количеством параметров, имеющих разную природу.

Задача совмещения во времени разных технологических процессов является одной из самых сложных на современном производстве [1...6].

В реальной практике производственная программа предприятия включает в себя большое количество разнообразных технологических циклов, работы на которых ведутся с различной интенсивностью. Попыткой автоматизировать процесс планирования с помощью формализации процедуры совмещения во времени технологических процессов было предложение метода, который оперирует коэффициентами совмещения работ. Известно два вида таких коэффициентов: 1) коэффициент совмещения по началу и 2) коэффициент совмещения по окончанию. Первый определяет, какая часть предыдущей работы должна быть выполнена к моменту начала последующей, второй определяет, какая часть последующей работы должна оставаться невыполненной к моменту окончания предыдущей. Математически это можно записать так:

$$K_H = a_1 / (a_1 + a_2),$$

$$K_O = b_2 / (b_1 + b_2).$$

Значения коэффициентов совмещения могут изменяться от 0 до 1.

Алгоритм построения плана работ, основанный на матрице коэффициентов совмещения (элементами матрицы коэффициентов совмещения являются номера работ и названия видов работ), описан в [1], [5]. Он создан для ведения работ специализированными бригадами и использует сетевой метод расчета параметров с автоматическим построением топологии сети (рис. 1 – определение значений и построение матрицы коэффициентов совмещения работ).



Матрица коэффициентов совмещения работ

Наименование работ	Коэффициенты совмещения	Продолжительность
Предыдущая работа	$K_H$	$t_i$
Последующая работа	$K_O$	$t_{i+1}$

Рис. 1

При анализе данной методики были выявлены следующие недостатки:

- невозможность вводить ограничения по ресурсам;
- невозможность выхода за пределы сетевой модели при оптимизации;
- сложность подготовки исходных данных (необходим предварительный расчет продолжительности работ).

Для устранения этих недостатков в модель внесены изменения. Работы разбиваются на участки не по времени, а по объемам, что более точно отражает зависимости между смежными работами и не требует предварительных расчетов продолжительности. Это делает модель чувствительной к ограничениям по ресурсам и позволяет в некоторых случаях уйти от жесткой сетевой модели. Коэффициенты совмещения рассматриваются как переменные величины, изменяющиеся под воздействием ограничений по ресурсам, то есть если фрагмент работы, оговоренный коэффициентами совмещения, не удастся выполнить за интервал времени, ограниченный связанными с ним другими участками, вследствие ограничений по ресурсам, то значения коэффициентов изменяются. В исходных данных задается не продолжительность работ, а трудозатраты в человеко-сменах.

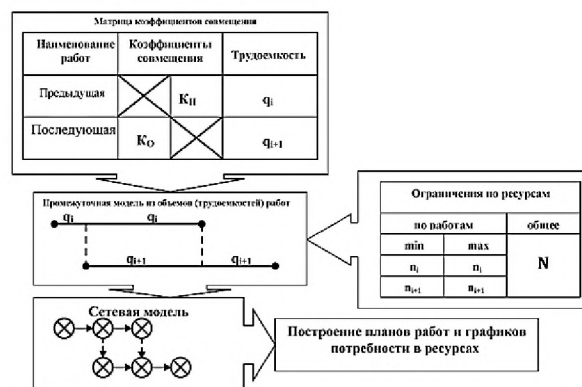


Рис. 2

Численность исполнителей (при расчете из условия ограничения по трудовым ресурсам) задается переменной с ограничениями по минимуму и максимуму. Это позволяет проводить оптимизацию из условия

ограничения по ресурсам. Следует отметить, что такой подход позволяет проводить расчеты не только для специализированных бригад, но и для комплексных, что делает его более универсальным (рис. 2 – схема формирования модели производственного процесса и построение плана работ).

Коэффициенты совмещения могут определяться экспертным путем или моделироваться по методике, описанной [1], [5].

Задачи календарного планирования являются оптимизационными в связи с тем что, всегда присутствуют ограничения по ресурсам или по времени. Сетевая модель, описывающая производственный процесс, имеет две группы характеристик. Первая группа определяет топологию сетевой модели. Это матрица коэффициентов совмещения работ [1] и производные от нее параметры. Вторая группа характеристик определяет распределение ресурсов в течение времени выполнения работ. Это функции распределения ресурсов на работах в зависимости от времени. В общем виде задачу оптимизации планов работ можно сформулировать как нахождение таких функций распределения ресурсов, которые обеспечивали бы требуемое качество получаемого плана работ. Для формализации функции плана работ рассмотрим график движения трудовых ресурсов, построенный при некоторых начальных условиях (рис. 3). Проведем на нем горизонтальную линию, соответствующую численности бригады ( $n_B$ ), силами которой предполагается данный процесс осуществить. На графике имеются участки, когда линия занятого числа ресурсов проходит ниже линии численности бригады (ab и cd), а также участки, на которых линия занятого числа ресурсов проходит выше (bc и de).

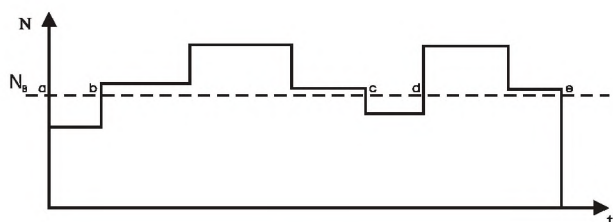


Рис. 3

На таких участках области, ограниченные линией графика ресурсов и линией численности бригады, показывают в первом случае объем работы, который мог бы быть выполнен бригадой, но не выполняется по причине плохого качества плана работ, во втором – объем работы, который должен быть выполнен сверх имеющихся возможностей бригады. Назовем эти объемы *объемами мнимых работ*. В этом случае мы можем утверждать, что для данной численности бригады план работ будет идеального качества, если объемы мнимых работ будут равны 0. Чем больше сумма объемов мнимых работ, тем хуже качество плана работ.

Суммарный объем мнимых работ может быть определен по формуле:

$$\Lambda = \int_0^{t_{\max}} |n_B - n(t)| dt, \quad (1)$$

где  $\Lambda$  – объем мнимых работ;  $t_{\max}$  – общее время выполнения строительного процесса;  $n_B$  – численность бригады;  $n(t)$  – функция числа ресурсов в момент времени  $t$  (графиком этой функции является линия ресурсного графика).

Распределение ресурсов во времени полностью определяется некоторым набором скалярных величин. Этот набор скалярных величин назовем *обобщенным вектором распределения ресурсов* и обозначим его буквой  $D$ . Распределение ресурсов во время производственного процесса может быть полностью описано с помощью двух векторов:

$$D = \{N, R\}, \quad (2)$$

где  $N$  –  $q$ -мерный вектор, каждый компонент которого равен числу ресурсов на соответствующем интервале соответствующей работы;  $q$  – суммарное число всех интервалов всех работ;  $R$  –  $p$ -мерный вектор, каждый компонент которого определяет величину сдвига соответствующего фрагмента соответствующей работы по времени в рамках резервов времени, определенных сетевой моделью;  $p$  – суммарное число всех фрагментов всех работ ( $p \leq q$ ).

## ВЫВОДЫ

В дальнейшем мы будем использовать различные представления вектора  $D$ , однако любое распределение ресурсов во времени может быть описано с помощью совокупности векторов  $N$  и  $R$ . Следствием этого является следующее заключение. Любое изменение распределения ресурсов во времени в конечном итоге сводится к суперпозиции двух видов изменений: *численных* – когда изменяются компоненты вектора  $N$ , и *временных* – когда изменяются компоненты вектора  $R$  и временные границы интервалов работ.

Таким образом, можно сформулировать функцию плана работ:

$$\Omega^1(D) = \int_0^{t_{\max}} |n_B - n(t)| dt. \quad (3)$$

И оптимальному расписанию работ будет соответствовать минимум этой функции. Однако определенная таким образом функция плана работ не является дифференцируемой (в частности,  $\Omega^1(N,R)$  имеет разрывные частные производные по компонентам этих векторов).

Вместо нее введем функцию:

$$\Omega(D) = \int_0^{t_{\max}} (n_B - n(t))^2 dt, \quad (4)$$

которая является непрерывно дифференцируемой по всем своим аргументам при наложении определенного условия на распределение ресурсов по интервалам работ. Отметим, что функция  $\Omega$  имеет экстремумы того же вида и в тех же точках, что и функция  $\Omega^1$ , поэтому с точки зрения задачи оптимизации планов работ такая замена абсолютно равноценна. В дальнейшем, при исследовании функции  $\Omega$  на экстремумы, там, где это более удобно, будем использовать исследование на экстремумы функции  $\Omega^1$ , однако при поиске экстремума с помощью операций дифференциального исчисления всегда будет использоваться функция  $\Omega$ .

Предлагаемый подход к моделированию и формализации задачи календарного планирования позволяет снизить трудоемкость построения модели производственного процесса и применять для решения оптимизационных задач распределения ресурсов любой из известных алгоритмов поиска экстремума функции многих переменных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко В.Я. Моделирование и автоматизация организационно-технологического проектирования строительного производства. – Воронеж: ВГАСА, 1997.

2. Мищенко В.Я., Драпалюк Д.А., Попявина Н.А. Планирование проведения ремонтно-строительных работ с целью достижения максимального срока эксплуатации строительных объектов // Промышленное и гражданское строительство. – 2010, № 9. С.28...31.

3. Мищенко В.Я., Драпалюк Д.А. Система информационных матриц при организации конкурентоспособного управления в жилищно-коммунальном комплексе // Первая междунар. научн.-практ. конф.: Оценка риска и безопасность строительных конструкций. – Воронеж, 2006. С. 68...75.

4. Мищенко В.Я., Емельянов Д.И., Тихоненко А.А. Разработка методики оптимизации распределения ресурсов в календарном планировании строительства на основе генетических алгоритмов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013, № 11. С. 76...78.

5. Мищенко В.Я., Емельянов Д.И. Методы решения задач календарного планирования на основе композиционных матрично-сетевых моделей // Изв. вузов. Строительство. – 2002, № 5. С. 58...63.

6. Попявина Н.А., Емельянов Д.И., Чеснокова Е.А. Методика рационального распределения исполнителей при выполнении комплекса работ по воспроизводству объектов недвижимости с учетом изменения уровня трудовых потенциалов бригад // Изв. Юго-Западн. гос. ун-та. – 2017, № 3 (72). С.59...67.

## REFERENCES

1. Mishhenko V.Ja. Modelirovanie i avtomatizacija organizacionno-tehnologicheskogo proektirovanija stroitel'nogo proizvodstva. – Voronezh: VGASA, 1997.

2. Mishhenko V.Ja., Drapaljuk D.A., Ponjavina N.A. Planirovanie provedenija remontno-stroitel'nyh rabot s cel'ju dostizhenija maksimal'nogo sroka jekspluatacii stroitel'nyh ob"ektov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2010, № 9. S.28...31.

3. Mishhenko V.Ja., Drapaljuk D.A. Sistema informacionnyh matric pri organizacii konkurentosposobnogo upravlenija v zhilishhno-kommunal'nom komplekse // Pervaja mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Ocenka riska i bezopasnost' stroitel'nyh konstrukcij. – Voronezh, 2006. S. 68...75.

4. Mishhenko V.Ja., Emel'janov D.I., Tihonenko A.A. Razrabotka metodiki optimizacii raspredelenija resursov v kalendarnom planirovanii stroitel'stva na osnove geneticheskikh algoritmov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013, № 11. S. 76...78.

5. Mishhenko V.Ja., Emel'janov D.I. Metody reshenija zadach kalendarnogo planirovanija na osnove

kompozicionnyh matrichno-setevyh modelej // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2002, № 5. S. 58...63.

6. Ponjavina N.A., Emel'janov D.I., Chesnokova E.A. Metodika racional'nogo raspredelenija ispolnitelej pri vypolnenii kompleksa rabot po vosproizvodstvu ob"ektov nedvizhimosti s uchetom izmenenija urovnja trudovyh potencialov brigad // Izv. Jugo-Zapadn. gos. un-ta. – 2017, № 3 (72). S.59...67.

Рекомендована кафедрой технологий, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью. Поступила 05.09.17.

---