

В. И. УСПАЛЕНКО, Н. С. ЛЕСКОВСКАЯ (Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры)

## СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРИВЛЕЧЕНИЮ ТЕХНИКИ ИНВЕСТИЦИОННО- СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

Рассмотрено использование системы поддержки принятия решений по привлечению техники инвестиционно-строительного проекта. Данные исследования базируются на поиске оптимального плана использования техники путем минимизации стоимости и времени выполнения работ.

*Ключевые слова:* инвестиционно-строительный проект, система поддержки принятия решения, оптимизация

### Постановка проблемы

Информационная система управления инвестиционно-строительными проектами в современном мире рассматривается как основной инструмент достижения эффективных результатов в процессе привлечения техники для осуществления проектно-ориентированной деятельности. Высокая стоимость привлечения такого вида ресурса при реализации строительных проектов [1] позволяет разрабатывать исходное техническое задание на настройку системы управления техникой и осуществлять автоматизированное управление рассматриваемых процессов при помощи построения соответствующих математических моделей. Математическое моделирование процессов привлечения техники позволяет обеспечивать требуемое качество ресурсов, в необходимом количестве и в заданное время, а также снизить производственные издержки, обеспечив при этом эффективность реализации проекта. Компьютерная программа реализует моделирование процессов привлечения строительной техники и представляет собой аппаратно-программный комплекс [2], предназначенный для накопления, обработки, визуализации процессов протекающих в рамках проекта. Такая система должна обеспечивать поддержку принятия решений [3] и обеспечивать минимизацию издержек по использованию техники. С этой целью необходимо использовать систему поддержки принятия решения для управления такими процессами.

### Анализ последних исследований и публикаций

Исследованиями в области систем оптимального управления процессами использования ресурсов путем построения математиче-

ских моделей и автоматизированных систем проекта занимались как отечественные, так и зарубежные ученые [1, 2, 4], среди которых С. Д. Бушуев, Ю. Н. Тесля, Р. Б. Тянь, В. И. Воропаев, М. Л. Разу, В. Н. Бурков и др.

Последние исследования по построению системы поддержки принятия решения для управления процессом управления ресурсами инвестиционно-строительных проектов показывают, что большее внимание уделяется построению и использованию корпоративных программных средств [4]. Современный рынок таких систем представлен достаточно широким кругом профессиональных продуктов [5], которые обладают качественными характеристиками для реализации функций планирования и контроля за использованием ресурсов, среди которых Microsoft Project, Primavera Project Planner, Open Plan, Spider Project и многие другие. Однако, несмотря на обширное количество программных продуктов, важнейшим их недостатком является отсутствие оптимизационных алгоритмов распределения ресурсов при одновременном снижении стоимости и времени выполнения работ.

Необходимость решения данных задач приводит к созданию качественно новой, учитывающей все недостатки существующих систем, более функциональной и удобной в использовании автоматизированной системы управления ресурсами.

### Формулировка целей статьи

На основании выше изложенного сформулируем основную цель статьи, которая заключается в постановке задачи оптимизации плана привлечения техники, построении оптимизационной математической модели, разработке алгоритма и создании системы поддержки принятия решений (СППР) «М-Plan» для управления

процессом привлечения техники инвестиционно-строительного проекта.

### Основной материал исследования

Стоимость использования техники, задействован при реализации строительных проектов, составляет значительную часть затрат в общей стоимости использования всех видов ресурсов и не всегда процесс её привлечения является рациональным и эффективным в рамках проекта [6]. Созданная СППР по управлению ресурсами призвана управлять процессом привлечения техники для осуществления проекта.

Рассмотрим постановку задачи оптимизации плана привлечения техники. Пусть инвестиционно-строительный проект  $\Theta$  состоит из множества  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_I\}$  работ, где  $I$  – мощность множества  $W$ . Для выполнения работ проекта необходимо задействовать ресурсы техники и рабочей силы. Пусть  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_K\}$  – множество видов ресурсов техники и рабочей силы, мощностью  $K$ , а  $\bar{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K)$  – вектор, определяющий количество доступных единиц техники / рабочей силы каждого вида. Пусть  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_G\}$  – множество типов подзадач из которых состоят работы, а  $G$  – мощность множества  $C$ . Максимальная производительность каждого вида техники при выполнении различных подзадач множества  $C$  определена матрицей

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1K} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{G1} & u_{G2} & \dots & u_{GK} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Пусть  $v_{ig} \geq 0$ , где  $v_{ig}$  – объем работ подзадачи  $s_{ig}$  типа  $c_g$ ,  $g = 1, 2, \dots, G$  работы  $w_i, i = 1, 2, \dots, I$ .

Пусть  $\tau_{ig}, i \in \{1, 2, \dots, I\}, g \in \{1, 2, \dots, G\}$  – количество времени необходимое для выполнения подзадачи  $s_{ig}$  с применением  $a_{ig}^k$  единиц ресурсов техники  $m_k, k = 1, 2, \dots, K$ . Следовательно  $\tau_{ig}$  определяется по формуле

$$\tau_{ig} = \frac{v_{ig}}{\sum_{k=1}^K (u_{gk} \cdot a_{ig}^k)}. \quad (2)$$

Тогда  $\tau_i$  – длительность выполнения работы  $w_i$  определяется следующим образом

$$\tau_i = \max_{g=1,2,\dots,G} \tau_{ig}. \quad (3)$$

Пусть  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{2I}\}$  – множество моментов времени, в которое начинаются и заканчиваются работы множества  $W$ , где для  $\forall t_l, t_{l+1} \in T, t_l < t_{l+1}$ . В рамках данной модели перераспределение ресурсов на выполнение подзадачи  $s_{ig}, i = 1, 2, \dots, I; g = 1, 2, \dots, G$ , происходит в моменты времени  $l = 1, 2, \dots, 2I$ .

Пусть  $a_{ig}^{kl}$  – количество ресурсов типа  $m_k$ , которое выделяется в момент времени  $t_l$  для решения подзадачи  $s_{ig}, i = 1, 2, \dots, I; g = 1, 2, \dots, G$ ,  $a_{ig}^{kl} \in \mathbb{N}$ . Обозначим через  $\bar{a}_{ig}^{kl}$  вектор, который определяет распределение техники типа  $m_k \in M$  в момент времени  $t_l \in T$ , тогда  $\bar{a}_{ig}^{kl} = (a_{11}^{kl}, a_{12}^{kl}, \dots, a_{1G}^{kl}, \dots, a_{2G}^{kl}, \dots, a_{IG}^{kl})$ . Следовательно,  $e_l$  – финансовые затраты на использование ресурсов множества  $M$  на протяжении интервала времени  $[t_l, t_{l+1})$ ,  $l \in \{1, 2, \dots, 2I - 1\}$  определяется по формуле

$$e_l = (t_{l+1} - t_l) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \cdot \rho^k, \quad k = 1, 2, \dots, K, l = 1, 2, \dots, 2I - 1, \quad (4)$$

где  $\rho^k$  – стоимость одного часа использования единицы ресурса  $m_k$ . Обозначим через  $\bar{q} = (\bar{a}^{1,1}, \bar{a}^{2,1}, \dots, \bar{a}^{K,1}, \dots, \bar{a}^{1,2}, \bar{a}^{2,2}, \dots, \bar{a}^{K,2}, \dots, \bar{a}^{K,2I})$  вектор, который определяет распределение техники и рабочей силы  $m_k, k = 1, 2, \dots, K$  в моменты времени  $t_l, l = 1, 2, \dots, 2I$  среди подзадач  $s_{ig}, i = 1, 2, \dots, I; g = 1, 2, \dots, G$ .

Пусть  $Q = \{\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_J\}$  множество всех вариантов распределения техники и рабочей силы среди подзадач  $s_{ig}$  строительного проекта  $\Theta$ .  $J$  – мощность множества  $Q$ , вычисляется по следующей формуле

$$J = \left( \prod_{k=1}^K (\mu_k + 1) \right)^{2I-1}. \quad (5)$$

Тогда оптимизационную математическую модель можно представить следующим образом

$$\bar{q}^* = \arg \underset{\bar{q} \in \Psi \subseteq Q}{extr} F(\bar{q}), \quad (6)$$

где  $F(\bar{q})$  – векторный целевой функционал задачи,  $\Psi$  – множество допустимых решений, которые определяются системой ограничений:

$$\Psi : \begin{cases} \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \leq \mu_k, k=1, 2, \dots, K, \\ l=1, 2, \dots, 2I, \\ (t_{l+1} - t_l) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \cdot \rho^k \leq D^{\max}, \\ k=1, 2, \dots, K, l=1, 2, \dots, 2I-1, \\ \sum_{l=1}^{2I-1} (t_{l+1} - t_l) \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G a_{ig}^{kl} \cdot \rho^k \leq R, \\ k=1, 2, \dots, K, l=1, 2, \dots, 2I-1, \\ t_{2I} < T^{\max}, \end{cases} \quad (7) \quad (8) \quad (9) \quad (10)$$

где (7) – ограничение по количеству допустимых ресурсов в момент времени  $t$ ; (8) – по затратам в определенный период времени  $t \in T$ ; (9) – по общей стоимости выполнения работ; (10) – по времени окончания строительных работ.

Рассмотрим особенности математической модели (6-10) задачи определения оптимального плана привлечения строительной техники:

1. Задача (6-10) является многомерной, многокритериальной оптимизационной задачей.

2. Частичные критерии качества задачи являются в общем случае нелинейными.

3. Множество  $Q$  содержит точки, которые в общем случае представляют точки запрета.

4. Область допустимых решений  $\Psi \subseteq Q$  задачи (6-10) является дискретным множеством и определяется системой из  $6K - 2K + 1$  линейных и нелинейных неравенств.

Таким образом, на основании особенностей 1-4, можно сделать следующие выводы:

1. Задача (6-10) является многокритериальной и NP-трудной задачей.

2. В общем случае многокритериальная форма функционала качества (6) определяет необходимость применения методов сведения многокритериальных задач к одной / набору однокритериальных задач.

3. Дискретный характер области допустимых решений определяет необходимость применения методов дискретной оптимизации для определения глобального экстремума задачи.

4. Поскольку количество локальных экстремумов для задач практической размерности достаточно большое, то может быть найдено только приближение к глобальному экстремуму.

На основании разработанной математической модели и методов дискретной оптимизации программный продукт, с использованием современных web-технологий, обладает всеми необходимыми возможностями для контроля, анализа и оптимизации данных по использованию техники. Программа имеет удобный интерфейс, предназначенный для специалистов. Выполнение функций системы осуществляется диалоговыми процедурами, с целью обработки и последовательного выполнения системных задач и предоставления дополнительной информации. Web-интерфейс предоставляет доступ к серверу системы, на котором содержится база данных рассматриваемых проектов и непосредственно СППР «M-Plan», в которой программно реализованы модель и методы оптимизации средствами языка Python с применением фреймворка Django, что обеспечивает работу программы в соответствии с моделью MVC (рис. 1).

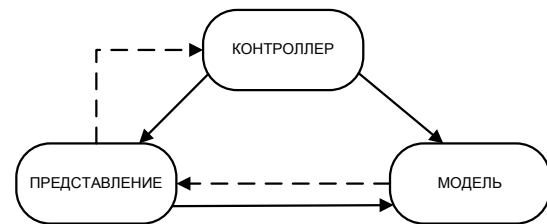


Рис. 1. Модель MVC

Модель MVC позволяет разделить данные, представление и обработку действий пользователя на три отдельных компонента:

- модель (Model) – предоставляет данные (обычно для View), а также реагирует на запросы (обычно от контроллера), изменяя своё состояние;

- представление (View) – отвечает за отображение информации (пользовательский интерфейс);

- контроллер (Controller) – интерпретирует данные, введённые пользователем, и информирует модель и представление о необходимости соответствующей реакции.

При этом, как представление, так и контроллер зависят от модели. Однако модель не зависит ни от представления, ни от контроллера. Это одно из ключевых достоинств подобного разделения. Оно позволяет строить модель независимо от визуального представления.

Система позволяет осуществлять оптимизацию плана привлечения техники инвестиционно-строительного проекта автоматически и работает по следующему алгоритму (рис. 2):

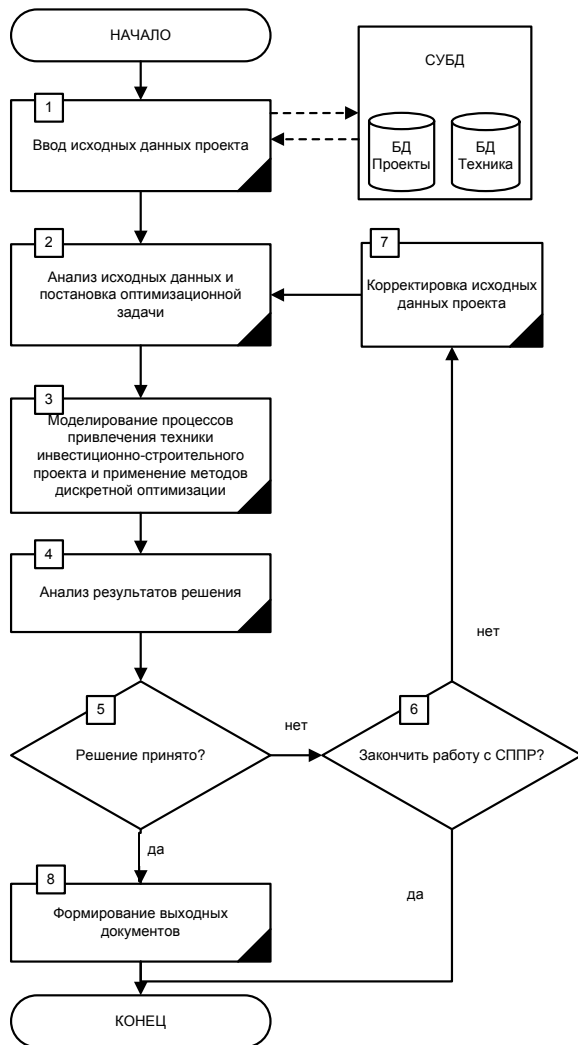


Рис. 2. Алгоритм работы системы поддержки принятия решений «M-Plan»

После ввода исходных данных проекта, запускается оценка времени и затрат на его реализацию, выполненный расчет выводит в удобном виде соответствующие результаты.

К основным особенностям данного продукта можно отнести:

- возможность составления календарного плана работ, с разбиением их на подзадачи, основываясь на производительности техники и объемах необходимых работ, с учетом соответствующих связей между ними;

- ресурсное планирование, расчет критического пути и резервов для оптимизации графика работ проекта, моделирование рисков;

- оптимизацию привлечения и использования техники путем минимизации затрат и времени выполнения работ проекта.

## Выводы

В работе рассмотрена задача оптимизации плана привлечения техники инвестиционно-строительного проекта. Разработана математическая оптимизационная модель данной задачи. Выполнен анализ особенностей математической модели, описана СППР «M-Plan», созданная на основе рассмотренной математической модели и методов дискретной оптимизации. Рассмотрены основные принципы работы системы «M-Plan», разработана система поддержки принятия решений, которая выполняет автоматизированное построение календарного плана, расчет критического пути, закрепление за работами проекта ресурсов техники, контроль уровня их загрузки и движения, возможность распределенного выполнения задач, расчет расписания, выравнивание ресурсов и генерацию отчетов по использованию ресурсов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушуев, С. Д. Управление проектами: Основы профессиональных знаний и система оценки компетентности проектных менеджеров [Текст] / С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева (National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0). – К. : ІРІДУМ, 2006. – 208 с.
2. Перевертун, І. М. Інформаційні технології комплексного організаційно-технологічного моделювання проектно-орієнтованих виробництв (на прикладі серійного будівництва) [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / І. М. Перевертун. – К., 2007. – 22 с.
3. Устенко, С. В. Інтелектуальні системи прийняття рішень в організаціях [Текст] / С. В. Устенко, О. П. Степаненко // Моделювання та інформаційні системи в економіці. – 2008. – № 78. – С. 28-35.
4. Структура организационных, методологических и технологических компонентов в современных системах управления проектами [Текст] / Ю. Н. Тесля [и др.] // Вісник ЧДТУ. – 2009. – № 2. – С. 50-54.
5. Тесля, Ю. М. Інформаційна технологія управління проектами на базі ERPP (Enterprise resources planning project) APE (Administrated projects of the enterprise) систем [Текст] / Ю. М. Тесля, А. О. Білощицький, Н. Ю. Тесля // Управління розвитком складних систем. – 2010. – № 2. – С. 16-20.
6. Товб, А. С. Управление проектами: стандарты, методы, опыт [Текст] / А. С. Товб, Г. Л. Ципес. – 2-е изд. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 240 с.

Поступила в редколлегию 07.04.2011.

Принята к печати 19.04.2011.

В. І. УСПАЛЕНКО, Н. С. ЛЕСКОВСЬКА

## **СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ЗАЛУЧЕННЯ ТЕХНІКИ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОГО ПРОЕКТУ**

Розглянуто використання системи підтримки прийняття рішень із залучення техніки інвестиційно-будівельного проекту. Дослідження базуються на пошуку оптимального плану використання техніки шляхом мінімізації вартості та часу виконання робіт.

*Ключові слова:* інвестиційно-будівельний проект, система підтримки прийняття рішення, оптимізація

V. I. USPALENKO, N. S. LESKOVSKAYA

## **DECISION SUPPORT SYSTEM TECHNOLOGY TO ATTRACT INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECT**

Examines the use of automated process control system, bringing technology to the implementation of investment and construction project. These studies are based on finding the best plan for the use of machinery by the criterion of minimizing the cost and time of execution.

*Keywords:* investment and construction project, decision support system, optimization