УДК 69.05

Шеина Светлана Георгиевна
ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»[1]
Россия, Ростов-на-Дону
Проректор по научной работе и инновационной деятельности, д.т.н.
E-Mail: Rgsu-gsh@mail.ru

Чередниченко Надежда Дмитриевна
ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»
Россия, Ростов-на-Дону
Ассистент кафедры «Городское строительство и хозяйство»
E-Mail: Nadin-Che@yandex.ru

Моделирование процесса разработки календарных планов

Аннотация: Подготовка к строительству объекта предполагает определение номенклатуры возводимых объектов, сроков их возведения и последовательности, распределения капитальных вложений и объемов строительно-монтажных работ, потребности в материально–технических и трудовых ресурсах.

Традиционно считается, что основной задачей при подготовке строительства объекта является построение календарного плана производства работ на объекте. Данному вопросу посвящена обширная библиография, в которой рассмотрены общие постановки задач календарного планирования и построение календарных планов с учетом стохастического характера строительного производства. Проблема календарного планирования тесно связана с задачей распределения ресурсов, так как на стадии формирования календарных планов происходит и распределение ресурсов. Это связано с тем, что процесс календарного планирования может быть представлен как процесс распределения ресурсов строительной организации во времени и пространстве. При этом все многообразие ресурсов подразделяется на две группы: складируемые или материальные ресурсы и нескладируемые или ресурсы типа мощности, например трудовые.

Возникает задача построения календарного плана выполнения работ с учетом ограниченных ресурсов типа мощности. Принимается, что основным ограниченным ресурсом является численность специализированных бригад. Дана постановка задачи разработки календарного плана и алгоритмы ее решения.

Ключевые слова: Ресурсы типа мощности; ранний момент начала работы; поздний момент начала работы; договорной срок; штрафные санкции; двудольный граф; пропускные способности дуг; поток в сети; приоритет работы; нижняя оценка; эвристический алгоритм.

Идентификационный номер статьи в журнале 74TVN114

[1] 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

Svetlana Sheina
Rostov State University of Civil Engineering
Russia, Rostov-on-Don
E-Mail: Rgsu-gsh@mail.ru

Nadezda Cherednichenko
Rostov State University of Civil Engineering
Russia, Rostov-on-Don
E-Mail: Nadin-Che@yandex.ru

Modeling of process of development of planned schedules

Abstract: Preparation for building of object assumes definition of the nomenclature of constructed facilities, terms of their construction and sequence, distribution of capital investments and volumes of construction works, requirements in material and a manpower.

Traditionally it is considered that the main objective by preparation of building of object is creation of the planned schedule of works on object. The extensive bibliography in which the general statements of problems of scheduling and creation of planned schedules taking into account stochastic nature of construction production are considered is devoted to the matter. The problem of scheduling is closely connected with a problem of distribution of resources as at a stage of formation of planned schedules there is also a distribution of resources. It is connected with that process of scheduling can be presented as process of distribution of resources of the construction organization in time and space. Thus all variety of resources is subdivided into two groups: stored or material resources and not stored or capacity resources, for example the labor.

There is a problem of creation of the planned schedule of performance of work taking into account limited capacity resources. Is accepted that the main limited resource is the number of specialized crews. The problem definition of development of the planned schedule and algorithms of its decision is given.

Keywords: Capacity resources; the early moment of the beginning of work; the late moment of the beginning of work; contractual the term; penalties; the two-submultiple count; capacities of arches; a stream in a network; a work priority; the bottom assessment; heuristic algorithm.

Identification number of article 74TVN114

Реализация производственной программы строительной организации может выполняться различными способами с учетом имеющихся ограничений ресурсного типа. Как правило, на стадии предварительного планирования ресурсного обеспечения портфеля строительных проектов решающим ограничением является ограничение на ресурсы типа мощности. В данном случае примем, в качестве ограничения ресурсного типа используется ограничение на численный состав бригад, привлекаемых для реализации портфеля проектов. Рассмотрим возможные постановки задач ресурсного планирования в этом случае.

Имеются n строительных проектов, подлежащих реализации. Обозначим W_i – объём работ по i-у проекту, d_i – наиболее ранний момент возможного начала работ по i-у проекту, D_i – поздний срок возможного окончания работ по i-у проекту, a_i – максимальная численность бригады, допустимая при выполнении работ по i-у проекту, N – общая численность бригад, привлекаемых для реализации портфеля строительных проектов.

Возникает задача построения календарных планов, оптимальных по следующим критериям:

1. Минимизация возможных нарушений договорных сроков

$$F_1 = \max_i (T_1 - D_1)\,, \tag{1}$$

где T_i – момент завершения работ по i-у проекту.

2. Минимизация штрафных санкций за нарушение договорных сроков выполнения работ, считая, что величина санкций будет пропорциональна объему невыполненных работ. Тогда

$$F_2 = \sum_i c_i \delta_i \tag{2}$$

Где δ_i – объем невыполненных работ по i-ому проекту, c_i–норматив штрафа.

3. Минимизация штрафных санкций за нарушение договорных сроков

$$F_3 = \sum_i c_i (T_i - D_i) \tag{3}$$

где c_i – норматив штрафных санкций (примем если $T_i < D_i$)

4. В том случае, когда при досрочном завершении работ выплачивается стимулирующая премия, то критерий (3.1.3) может быть записан в виде

$$F_4 = \begin{cases} b_i (D_i - T_i), & \text{если} \quad T_i \le D_i \\ c_i (T_i - D_i), & \text{если} \quad T_i \ge D_i \end{cases} \tag{4}$$

Как правило $b_0 \le b_1 \le c_i$, $i = \overline{1,n}$.

Для решения задачи построим двудольный граф, отражающий анализируемую ситуацию. С этой целью определим первый слой вершин графа состоящим из n величин (по числу проектов, принятых к реализации), а второй – из m величин, соответствующих m интервалам времени, в которые может быть начаты работы. Для этого упорядочим по возрастанию все моменты d_i и D_i.

Примем в данном случае в качестве характеристик дуг, выходящих их начальной вершины 0, их пропускные способности, равные объемам работ по соответствующим проектам, то есть $C_{oi} = W_i$. В качестве характеристик дуг, входящих в конечную вершину z, принимаем пропускные способности этих дуг (s,z), равные объёмам работ, выполняемых N

единицами ресурса за время Δ_s то есть $C_{sz} = N\Delta_s$. В качестве характеристик дуг, соединяющих вершины двух слоев принимаются их пропускные способности, равные максимальным объемам работ, которые могут быть выполнены a_i единицами ресурсов в промежуток времени равный S, то есть $C_{is}=a_i\Delta_s$ для всех дуг (i,s), $i=\overline{1,n}$, $s=\overline{1,m}$.

Пусть x_{is} – объем работ по i-ому проекту, выполненный в s-ом интервале

$$x_{oi} = \sum_{s\in R_i} x_{is}$$

где R_i – множество промежутков времени, в которых могут выполняться работы по i-у проекту;

объем работ по i-у проекту,

$$x_{sz} = \sum_{s\in P_i} x_{is}$$

объем работ, выполняемый в s-ом интервале.

Очевидны ограничения

$$\begin{aligned} &0 \le x_{oi} \le c_{oi}, \quad i=\overline{1,n} \\ &0 \le x_{is} \le c_{is}, \quad \mathrm{i} \in \mathrm{P_s},\ i=\overline{1,m} \\ &0 \le x_{sz} \le c_{zs}, \quad s=\overline{1,m} \end{aligned} \tag{5}$$

Набор чисел $\{x_{is}\}$ образует поток в сети, величина которого определяется выражением вида

$$X = \sum_i x_{oi} = \sum_s x_{sz}$$

Заметим, что если $X = \sum_i w_i = W$, то это содержательно означает, что все проекты могут быть выполнены во время.

Величина разности $W_i - x_{0i} = \delta_i$, будет характеризовать объем невыполненных работ по i-у проекту. Рассмотрим возможные алгоритмы решения задач оптимальных по критериям (1)-(4).

Анализ критерия минимизации штрафов за нарушение договорных сроков (F_3), показывает, что он будет равносилен следующему критерию

$$\widetilde{F_3} = \sum_i C_i T_i \tag{6}$$

отличающегося наличием слагаемого - $\sum_i C_i D_i$.

Рассмотрим сначала случай $a_i \ge N$.

Процесс решения задачи начинаем с нахождения теоретически возможных для данного производственного случая минимального времени выполнения работ по i-у проекту. Эта величина будет определяться следующим выражением

$$\tau_i = \frac{W_i}{N} \tag{7}$$

В том случае, когда для всех значений d_i выполняется соотношение вида

$$d_i = d, i = \overline{1, n},$$

то есть все работы могут начинаться одновременно, получен известный из литературы случай [8]. Алгоритм решения такой задачи известен и заключается в том, что определяются приоритеты работы

$$P_i = \frac{c_i}{\tau_i}, \tag{8}$$

и порядок их выполнения осуществляется по мере убывания приоритетов.

Теперь рассмотрим возможные алгоритмы решения поставленной задачи в наиболее общей постановке, учитывая два возможных варианта:

1. В том случае, когда в произвольный момент времени появляется работа, имеющая более высокий приоритет, чем выполняемая, то разрешается прерывание выполнения уже начатой работы с тем, чтобы начать выполнение работы с более высоким приоритетом. Но в данном случае следует отметить, что в момент принятия такого решения в связи с тем, что начатая работа уже какое-то время выполнялась и ее оставшийся объем уменьшился, поэтому необходимо пересчитать приоритет частично выполненной работы и сравнивать уже новое значение приоритета.

2. Ситуации, описанные в пункте первом, запрещены, то есть однажды начатая работы должна продолжаться до полного своего завершения.

Для решения задачи в том случае, когда перерывы в выполнении работ запрещены, применяется известный метод ветвей и границ [5, 6]. В этом случае моменты ветвления выполняются при возникновении конфликтных ситуаций, то есть когда имеется несколько работ, которые могут быть начаты. Для выявления таких ситуаций необходимо определить имеется ли на всем протяжении выполнения i-й работы, то есть в интервале $(t_i^{\text{н}}, t_i^{\text{н}} + \tau_i)$ (где $t_i^{\text{н}}$ – момент начала i-й работы) работа j с большим приоритетом. Если такая работа имеется, то необходимо разбить множество возможных решений на два подмножества. Дальнейшие действия заключаются в следующим:

1. Фиксируется произвольная работа i и рассматриваются все работы k, для которых выполняется условие $\tau_{\text{к}} < \tau_i$, а значит и все подмножества моментов времени возможного начала работы k.

2. Процесс выполнения всех работ прекращается до момента времени $t_i^{\text{н}} + \tau_i$, и начинается работа j.

В данном случае нижнюю оценку будет давать решение, получаемое при условии возможности перерывов в процессе выполнения работ.

Рассмотрим общий случай, когда выполняется соотношение

$$a_i \leq \text{N}, \text{i}=\overline{1, n}.$$

В этом случае сформулированная задача оказывается более сложной, и для ее решения целесообразно применение эвристических алгоритмов, основанные на приоритетах работ. Определение приоритетов работ возможно с помощью различных подходов. Проанализируем некоторые из них.

Выше уже было предложено определять приоритеты работ на основании сопоставлении параметров штрафных санкций и времени выполнения, то есть приоритет определяется выражением

$$P_i = \frac{c_i}{\tau_i}.$$

Другой возможный вариант заключается в том, чтобы при вычислении приоритета учесть объемы работ W_i, и по-прежнему параметры штрафных санкций то есть приоритеты вычислять на основании следующего выражения

$$q_i = \frac{C_i}{W_i} = \frac{C_i}{\tau_i \cdot a_i}$$

Логика применения подобного способа вычисления приоритетов заключается в том, что чем меньшее значение имеет a_i, тем выше приоритет, то есть чем меньше ресурсов необходимо для выполнения работы, тем лучше, так как будет больше оставаться на другие работы.

Теперь рассмотрим возможные подходы к решению задачи построения оптимальных календарных планов по минимизации штрафных выплат, в том случае, когда за досрочное выполнение работ назначается премия

Рассмотрим сначала случай $c_i > b_i$, $i = 1,n$. Обозначив $\varepsilon_i = c_i - b_i$, представим критерий F_4 в виде

$$F_4 = \sum_i b_i(t_i - D_i) + \sum_{i:t_i > D_i} \varepsilon_i(t_i - D_i) = F_3 + F_5 \tag{9}$$

Анализируя выражение (9),приходим к заключению, что первое слагаемое выражения (9) представляет собой значение для критерия, обозначенного через F_3, а второе – это критерий из задачи минимизации штрафных выплат за нарушение договорных сроков.

Задача, представляемая первым слагаемым выражения (3.3.4), известна своей сложностью. Для ее решения положим

$$d_i = 0,\ a_i \geq N_i, \tau_i = W_i/N, i = \overline{1,n}.$$

В этом случае решение задачи будет представлять собой убывающую последовательность приоритетов выполняемых работ, то есть

$$q_i = b_i/\tau_i, i = \overline{1,n}.$$

Рассмотрим возможный алгоритм построения календарного плана, оптимального по критерию, представленному вторым слагаемым выражения (9), то есть критерию F_5.

Рассмотрим случай, когда все моменты времени D_i одинакова, то есть выполняется соотношение

$$D_i = D, i = \overline{1,n}.$$

В этом случае работы, начинающиеся в моменты времени $t_i^{\text{н}} \geq D$ необходимо выполнять по убыванию значений их приоритетов, то есть величин q_i. Объясняется это тем, что работы будут завершаться с нарушением договорных сроков и в этом случае для таких работ будет справедлив критерий F_3. Следовательно, для решения задачи необходимо найти все возможные последовательности выполнения работ по убыванию приоритетов, с моментами начала $t_i^{\text{н}} \geq D$.

Приведем описание алгоритма.

Рассматриваем процесс выполнения работ в обратном времени, то есть начинаем с конца. Тогда работы естественно упорядочивают по возрастанию q_i. Пусть работы пронумерованы по возрастанию q_i, то есть $q_1 \leq q_2 \leq \cdots \leq q_n$. Возьмем систему координат, в которой ось абсцисс соответствует номерам работ, а ось ординат суммарной продолжительности работ (в обратном времени).

Мы рассмотрели случай $c_i > b_i, i = \overline{1,n}$.

Рассмотрим другой случай $c_i < b_i, i = \overline{1,n}$ то есть норматив штрафов меньше чем норматив премии.

Обозначим $\varepsilon_i = b_i - c_i$ и представим F_4 также в виде двух критериев

$$F_4 = F_3 – F_6$$

Где $F_6 = \sum_i \varepsilon_i max[0; D - t_i]$

С целью получения нижних оценок необходимо решить задачу минимизации критерия F_3 и задачу максимизации F_6. Содержательно задача максимизации F_6 будет соответствовать максимизации премий за досрочное завершение работ, алгоритм решения которой во многом аналогичен алгоритму решения задачи по критерию F_5. Единственным исключением в таком алгоритме будет являться то, что определяется путь максимальной длины, а не минимальной, как в случае критерия F_5. В связи с идентичностью алгоритмов проиллюстрируем его работу на примере.

Исследуем наиболее характерные частные случаи, возникающие при решении задачи по критерию F_5

I. Пусть все $c_i = c$, $i =1,n$.

Утверждение 1. Оптимальное решение для случая обратного времени будет соответствовать выполнению работы по убыванию значения τ_i.

Доказательство. Пусть найдутся две соседних работы i и j, такие, что $\tau_i<\tau_j$ (в обратном времени) переставим эти работы местами. В этом случае штраф за работу j будет равен штрафу за работу i в начальном порядке, а штраф за работу i будет меньше штрафа за работу j в начальном порядке. Суммарный штраф при этом уменьшится. Утверждение доказано.

II. Пусть $\tau_i=\tau$, $i = \overline{1,n}$

Представим число (T - D) в виде

$$T - D = \left[\frac{T-D}{\tau}\right] + \eta = r + \eta ,$$

где $r = \left[\frac{T-D}{\tau}\right]$.

Утверждение 2. Если η = 0, то оптимальном решении будет соответствовать последовательности из r работ с минимальными значениями c_i. Если η >0, то первыми выполняются (r + 1) работа, причем последней (в обратном времени) выполняется работа с минимальной величиной c_i из числа первых (r + 1) работ.

Доказательство. При η = 0 доказательство очевидно. Если η >0, то последняя работа (в обратном времени) должна быть работой с минимальной величиной штрафов из числа (r + 1) работ. Утверждение доказано.

Пусть $q_i = q$, то есть $c_i=q\cdot\tau_i$, $i=1,\dots,n$.

В данном случае ситуация является более сложной: если c_i близки между собой, то получаем случай I, то есть в первую очередь выполнять работы с максимальными τ_i, а значит и c_i (в обратном времени); если же τ_i близки между собой, то получаем случай II и в первую очередь необходимо выполнять работы с минимальными c_i (а значит и τ_i).

Рассмотрим доказательство одного свойства оптимального решения. Пусть работа продолжительностью τ выполняется с моментом начала $t_{\text{н}} \geq D$ и существует некоторое множество работ Q, такое что $\sum_{i\in Q}\tau_i = \tau$. Тогда осуществим замену работы длительности τ на множеств Q работ суммарной длительности τ и сравним величины штрафов.

Для первого случае величина штрафных санкций составит

$$q(t_{\text{н}}+\tau) = qt_{\text{н}}\sum_{i\in Q}\tau_i + \left(\sum_{i\in Q}\tau_i\right)^2\cdot q\,,$$

а для второго

$$q[(t_{\text{н}}+\tau_1)\tau_1 + (t_{\text{н}}+\tau_1+\tau_2)\tau_2 + \cdots + (t_{\text{н}}+\tau_1+\cdots+\tau_m)\tau_m] = q\left[t_{\text{н}}\sum_i\tau_i + \left(\sum_i\tau_i\right)^2 + \frac{1}{2}\sum_{j\neq i}\tau_i\cdot\tau_j\right]$$

Заметим, что

$$\left(\sum\tau_i\right)^2 = \sum_i\tau_i^2 + \sum_{i\neq j}\tau_i\cdot\tau_j > \sum_i\tau_i^2 + \frac{1}{2}\sum_{i\neq j}\tau_i\cdot\tau_j$$

Следовательно, замена одной работы продолжительностью τ на несколько работ, суммарная продолжительность которых составляет также величину τ уменьшает величину штрафных выплат. Из этого заключения можно сформулировать следующее эвристическое правило: в первую очередь выполняются работы с минимальными временами (в обратном времени). Проведение вычислительного эксперимента на большом числе примеров показано справедливость этого правила, но строгого доказательства этого факта получить не удалось.

Рассмотрим теперь общий случай, когда выполняется условие вида

$$a_i \leq N, i = \overline{1,n}.$$

Такая задача может быть решена с применением эвристических правил, основанные на приоритетах работ, которые в данном случае могут вычисляться по одной из следующих формул

$$q_i = \frac{c_i}{\tau_i};\;\; p_i = \frac{b_i}{\tau_i};\;\; r_i = \frac{c_i}{w_i};\;\; s_i = \frac{b_i}{w_i}.$$

Для определения приоритета работ возможно использование и линейных комбинаций приоритетов. Таких, например, как

$$\pi_i = \alpha q_i + (1-\alpha)p_i, i = \overline{1,n}$$

Осуществив решение задачи для всего выбранного многообразия возможных способов определения приоритета работ, для получения конечного решения выбирается лучшее из множества полученных решений.

Пример. Имеются 6 работ, данные о которых приведены в табл. 1.

Таблица 1.

i	1	2	3	4	5
w_i	6	8	15	16	10
a_i	1	2	3	4	5
τ_i	6	4	5	4	2
c_i	12	32	15	48	20
b_i	24	8	5	16	4
q_i	2	8	3	12	10
p_i	4	2	1	4	2
$q_i + p_i$	6	10	4	16	12

Примем N = 5

Рассмотрим три варианта. В первом в качестве приоритетов выбираем q_i, во втором p_i, а в третьем сумма $p_i + q_i$, $i = \overline{1,n}$.

1 вариант.

1 шаг. $t_0 = 0$. Начинаем работу 4 ($u_4 = 4$)и работу 5 ($u_5 = 1$).

2 шаг. $t_1 = 4$. Работа 4 закончена. Продолжаем работу 5 ($u_5 = 2$), начинаем работу 3 ($u_3 = 1$).

3 шаг. $t_2 = 7$. Работа 5 закончена. Продолжаем работу 2 ($u_2 = 2$), и работу 3 ($u_3 = 3$).

4 шаг. $t_3 = 8$. Работа 2 закончена. Продолжаем работу 3 ($u_3 = 3$) и начинаем работу 1 ($u_1 = 1$).

5 шаг. $t_4 = 11$. Работа 3 закончена. Продолжаем работу 1 до её завершения в момент T = 13.

2 вариант.

1 шаг. $t_0 = 0$. Начинаем работу 4 ($u_4 = 4$)и работу 1 ($u_1 = 1$).

2 шаг. $t_1 = 4$. Работа 4 закончена. Продолжаем работу 1 ($u_1 = 1$), начинаем работу 5 ($u_5 = 4$).

3 шаг. $t_2 = 6$. Работа 1 закончена. Продолжаем работу 5 ($u_5 = 5$).

4 шаг. t_3 = 6,4. Работа 5 закончена. Начинаем работу 2 (u_2= 2) и 3 (u_3= 3). Все работы завершаются в момент T = 11,4.

3 вариант.

1 шаг. t_0 = 0. Начинаем работу 4 (u_4 = 4)и работу 5 (u_5= 1).

2 шаг. t_1 = 4. Работа 4 закончена. Продолжаем работу 5 (u_5= 5).

3 шаг. t_2 = 5,2. Работа 5 закончена. Начинаем работу 2 (u_2= 2), работу 1 (u_1= 1) и работу 3 (u_3= 2).

4 шаг. t_3 = 9,2. Работа 2 закончена. Продолжаем работу 1 (u_1= 1) и работу 3 (u_3= 3). Все работы завершаются в момент T = $11\frac{8}{15}$.

В данном случае лучшее решение получено в случае приоритетов p_i. При регулярном решении задач формирования календарных планов можно сформировать базу данных о том, какая система приоритетов обеспечила лучшее решение в тех или иных ситуациях и использовать эту информацию при принятии решений.

Таким образом, построена модель формирования календарного плана оптимального по критерию минимизация штрафных санкций за нарушение договорных сроков, отличающаяся тем, что сводится к задаче максимизации взвешенного объема выполненных работ, позволяющая минимизировать объем невыполненных работ; предложена модель разработки календарного плана оптимального с точки зрения сокращения штрафных санкций за нарушение договорных сроков завершения работ, отличающаяся тем, что до завершения работ невозможно переместить ресурсы на другую работу (случай, когда такое перемещение разрешено был уже исследован в работах В.Н. Буркова, в этом случае работы выполняются в очередности убывания приоритетов); для решения был адаптирован метод ветвей и границ.

ЛИТЕРАТУРА

5. Алферов, В.И. Прикладные задачи управления строительными проектами / В.И. Алферов, С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, П.Н. Курочка // Воронеж: Центрально–Черноземное книжное издательство, 2008. – 765 с.
6. Алферов, В.И. Механизм агрегирования последовательных и параллельных моделей на сетевые графики // В.И. Алферов, П.Н. Курочка // Известия ТГУ. Серия: Математика, механика, информатика. 2009, № 13, с. 222.
7. Баркалов, СА. Теория и практика календарного планирования в строительстве / С.А. Баркалов // Воронеж, ВГАСА, 1999. – 216 с.
8. Баркалов, С.А. Системный анализ и принятие решений / С.А. Баркалов, П.Н. Курочка, И.С. Суровцев. - Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2010. – 652 с.
9. Баркалов, С.А. Системный анализ и его приложения / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, П.Н. Курочка, В.И. Новосельцев. – Воронеж: Научная книга, 2008. – 439 с.
10. Курочка, П.Н. Моделирование задач организационно-технологического проектирования / П.Н. Курочка. – Воронеж: ВГАСУ, 2004. - 204 с.
11. Курочка, П.Н. Критичность в сетях с нечеткими продолжительностями операций. // П.Н. Курочка, А.М. Потапенко, И.В. Фёдорова // Системы управления и информационные технологии. 2005. № 4 (21). С. 43-45.
12. Курочка, П.Н. Алгоритм получения робастных расписаний частного порядка. / П.Н. Курочка, А.А. Новиков, О.Н. Толстикова // Вестник ВГТУ, Том 3, № 7, 2007 г. – с. 18 – 23.
13. Курочка, П.Н. Разработка механизмов комплексной оценки надежности обеспечения ресурсами в строительстве. // П.Н. Курочка, А.Ю. Пинигин, В.Н. Шипилов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 4. С. 168-171.
14. Курочка, П.Н. Выбор вариантов выполнения работ по содержанию объектов недвижимости. / П.Н. Курочка, Г.Г. Сеферов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 4. С. 203-208.
15. Чередниченко, Н.Д. Модели распределения ресурсов в строительном проекте / П.Н. Курочка, А.Н. Симоненко, Н.Д. Чередниченко // Технология и организация строительного производства. – Москва: АНО "Международный центр по развитию и внедрению механизмов саморегулирования", 2013. №4(5). – 46 – 48 с.

Рецензент: Курочка Павел Николаевич, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра «Управление строительством», профессор, доктор технических наук.

REFERENCES

1. Alferov, V.I. Prikladnye zadachi upravlenija stroitel'nymi proektami / V.I. Alferov, S.A. Barkalov, V.N. Burkov, P.N. Kurochka // Voronezh: Central'no–Chernozemnoe knizhnoe izdatel'stvo, 2008. – 765 s.
2. Alferov, V.I. Mehanizm agregirovanija posledovatel'nyh i parallel'nyh modelej na setevye grafiki // V.I. Alferov, P.N. Kurochka // Izvestija TGU. Serija: Matematika, mehanika, informatika. 2009, № 13, s. 222.
3. Barkalov, SA. Teorija i praktika kalendarnogo planirovanija v stroitel'stve / S.A. Barkalov // Voronezh, VGASA, 1999. – 216 s.
4. Barkalov, S.A. Sistemnyj analiz i prinjatie reshenij / S.A. Barkalov, P.N. Kurochka, I.S. Surovcev. - Voronezh: IPC VGU, 2010. – 652 s.
5. Barkalov, S.A. Sistemnyj analiz i ego prilozhenija / S.A. Barkalov, V.N. Burkov, P.N. Kurochka, V.I. Novosel'cev. – Voronezh: Nauchnaja kniga, 2008. – 439 s.
6. Kurochka, P.N. Modelirovanie zadach organizacionno-tehnologicheskogo proektirovanija / P.N. Kurochka. – Voronezh: VGASU, 2004. - 204 s.
7. Kurochka, P.N. Kritichnost' v setjah s nechetkimi prodolzhitel'nostjami operacij. // P.N. Kurochka, A.M. Potapenko, I.V. Fjodorova // Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii. 2005. № 4 (21). S. 43-45.
8. Kurochka, P.N. Algoritm poluchenija robastnyh raspisanij chastnogo porjadka. / P.N. Kurochka, A.A. Novikov, O.N. Tolstikova // Vestnik VGTU, Tom 3, № 7, 2007 g. – s. 18 – 23.
9. Kurochka, P.N. Razrabotka mehanizmov kompleksnoj ocenki nadezhnosti obespechenija resursami v stroitel'stve. // P.N. Kurochka, A.Ju. Pinigin, V.N. Shipilov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2009. T. 5. № 4. S. 168-171.
10. Kurochka, P.N. Vybor variantov vypolnenija rabot po soderzhaniju ob#ektov nedvizhimosti. / P.N. Kurochka, G.G. Seferov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2011. T. 7. № 4. S. 203-208.
11. Cherednichenko, N.D. Modeli raspredelenija resursov v stroitel'nom proekte / P.N. Kurochka, A.N. Simonenko, N.D. Cherednichenko // Tehnologija i organizacija stroitel'nogo proizvodstva. – Moskva: ANO "Mezhdunarodnyj centr po razvitiju i vnedreniju mehanizmov samoregulirovanija", 2013. №4(5). – 46 – 48 s.