

АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 65.012.26

АЛГОРИТМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕКУЩЕГО КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Коды JEL: F15, O15, R11

Азарнова Т. В., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математических методов исследования операций, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия
E-mail: ivdas92@mail.ru; SPIN-код: 8161-9418

Подвальный Е. С., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой естественно-научных и социальных дисциплин, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (филиал РАНХиГС), г. Воронеж, Россия
E-mail: direktor@vrn.ranepa.ru; SPIN-код: 3550-3844

Аснина Н. Г., кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой систем управления и информационных технологий в строительстве, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
E-mail: andrey050569@yandex.ru; SPIN-код: 3057-7076

Колосов А. И., кандидат технических наук, доцент, проректор по учебной работе, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
E-mail: akolosov@cchgeu.ru; SPIN-код: 7656-3091

Иванова Е. В., аспирант кафедры математических методов исследования операций, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия
E-mail: ekaterina.v.ivanova@inbox.ru; SPIN-код: отсутствует

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6588-3682>

Поступила в редакцию 22.02.2024. Принята к публикации 29.02.2024

Аннотация

Актуальность темы. В динамично изменяющейся экономике проектная деятельность является важным направлением развития для любого стремящегося повысить свою конкурентоспособность предприятия. Современные проекты, как правило, имеют сложную и разветвленную структуру, представляющую собой совокупность последовательно или параллельно выполняемых работ (задач, подпроектов). Управление такими проектами в условиях нестабильной и изменчивой рыночной ситуации является достаточно сложной задачей.

Цель. Разработка генетического алгоритма перераспределения трудовых ресурсов между отдельными работами и привлечения субподрядных ресурсов для оптимизации текущего календарного плана выполнения проекта

Методология. Исследование выполнено на основе методов математического моделирования

Результаты и выводы. Разработанное на основе генетического алгоритма перераспределения трудовых ресурсов между отдельными работами и привлечения субподрядных ресурсов программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс перераспределения собственных и субподрядных ресурсов для минимизации дополнительных затрат на реализацию проекта.

Область применения. Сфера развития проектной деятельности предприятия.

Ключевые слова: проект, сетевой граф, контрольные точки, критический путь, директивный срок проекта, управление отклонениями, генетические алгоритмы.

ALGORITHM FOR REDISTRIBUTING RESOURCES TO OPTIMIZE THE CURRENT WORK SCHEDULE

JEL Codes: F15, O15, R11

Azarnova T. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematical Methods of Operations Research, Voronezh State University, Voronezh, Russia
E-mail: ivdas92@mail.ru; SPIN code: 8161-9418

Podvalny E. S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Natural Sciences and Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA branch), Voronezh, Russia
E-mail: direktor@vrn.ranepa.ru; SPIN code: 3550-3844

Asnina N. G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Management Systems and Information Technologies in Construction, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
E-mail: andrey050569@yandex.ru; SPIN code: 3057-7076

Kolosov A. I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
E-mail: akolosov@cchgeu.ru; SPIN code: 7656-3091

Ivanova E. V., Postgraduate student of the Department of Mathematical Methods of Operations Research, Voronezh State University, Voronezh, Russia
E-mail: ekaterina.v.ivanova@inbox.ru; SPIN-code: missing

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6588-3682>

Abstract

Relevance of the topic. In a dynamically changing economy project activities are an important area of development for any enterprise seeking to increase its competitiveness. Modern projects, as a rule, have a complex and branched structure, which is a set of work (tasks, subprojects) performed sequentially or in parallel. Managing such projects in an unstable and changing market situation is quite a difficult task.

Target. Development of a genetic algorithm for redistributing labor resources between individual works and attracting subcontracting resources to optimize the current project schedule

Methodology. The study was carried out based on mathematical modeling methods

Results and conclusions. Software developed on the basis of a genetic algorithm for redistributing labor resources between individual works and attracting subcontracted resources allows you to automate the process of redistributing your own and subcontracted resources to minimize additional costs for project implementation.

Application area. The scope of development of the enterprise's project activities.

Key words: project, network graph, control points, critical path, project deadline, deviation management, genetic algorithms.

DOI: 10.22394/1997-4469-2024-64-1-211-220

Введение

Типичный проект, как правило, представляет собой упорядоченную совокупность связанных между собой, последовательно или параллельно реализуемых задач, направленных на достижение цели проекта, и выполняемых в условиях ограниченности ресурсов. Планированием проекта занимаются специальные команды, результатом процесса планирования

является календарный план выполнения проекта. Календарный план отражает: последовательность выполнения взаимосвязанных задач, интервалы по срокам реализации каждой задачи и распределение используемых в проекте ресурсов во времени. План может характеризоваться той или иной степенью детальности, быть жестким или гибким. Жесткий в высокой степени план подразумевает четкое указание

всех основных параметров графика выполнения работ, жесткий в средней степени план предполагает задание параметров в нечетком или интервальном виде, гибкий план, как правило, содержит планирование только на первый этап выполнения проекта, дальнейший план настраивается по текущей ситуации. Во всех вариантах календарного плана должны учитывать риски невыполнения запланированных результатов и степень их допустимости и критичности для проекта. Управление рисками осуществляется на основе специальных технологий контроля, смягчения, перераспределения и передачи рисков.

Практика проектной деятельности убедительно показывает, что любой реальный проект, сопровождается неизбежными отклонениями от первоначального плана, что может в дальнейшем привести к нарушению директивных сроков и потребовать привлечения дополнительных ресурсов. Отклонениям могут способствовать различные внешние и внутренние причины, связанные с человеческим фактором, поведением контрагентов, обеспечением проекта ресурсами (Lu and Liu, 2014, Ballestín and Leus 2009) [6,1]. Проектная деятельность требует непрерывного мониторинга и контроля, позволяющего менеджеру проекта вовремя реагировать на отклонения и разрабатывать корректирующие мероприятия. Процесс мониторинга и контроля в основном состоит из периодического (возможно непрерывного) сравнения фактических и запланированных результатов и оценки в случае отклонений возможности вернуть проект в директивные границы (Martens & Vanhoucke, 2019) [7]. Сбой активности — одно из наиболее распространенных корректирующих действий, направленных на ускорение графика проекта. Это сокращает продолжительность проекта и увеличивает вероятность его своевременного завершения за счет добавления дополнительных инвестиций к оставшимся незавершенным работам. Однако сбой в деятельности всегда влияет на ее стоимость, тем самым порождая так называемую проблему компромисса между временем и стоимостью проекта (Mahmoudi & Javed, 2020) [8]. Именно проблема компромисса между стоимостью и эффективностью корректирующих мероприятий лежит в основе многих игровых и оптимизационных моделей, используемых в теории управления проектами. В работе (Berthaut et al., 2014) [2] рассматривается модель минимизации времени, затраченного на выполнение проекта, за счет перекрытия последовательных действий и затрат, вызванных параллельным выполнением работ на участках. При этом опоздание на каждом этапе влечет за собой штрафные расходы. Модель направлена на

поиск компромисса между временем выполнения и ресурсами. В работе (Choi and Park, 2015) [3] рассматривается подобная модель, в которой снижение задержек на каждом участке проекта достигается за счет привлечения дополнительных субподрядных ресурсов. В работе (Liu and Zheng, 2008) [5] исследуются группы проектов, реализуемых аутсорсинговыми компаниями, и приводится оптимизационная модель составления расписаний, минимизирующая время и общие затраты на реализацию совокупности проектов. Анализируемая модель представляет собой модель целочисленного программирования, поиск возможного решения осуществляется на основе специальной схемы параллельного расписания с использованием двух правил приоритета, определяемых факторами стоимости.

В большинстве исследований проблемы компромисса времени и затрат решаются с использованием двух тесно связанных информационных систем поддержки принятия решений по управлению проектами PERT (метод оценки и анализа программ) и CPM (метод критического пути). CPM является детерминированным, тогда как PERT контролирует графики проектов в стохастической среде (Trietsch & Baker, 2012) [9]. Эти методы в значительной степени используют сети для планирования и отображения координации всех действий (Hillier & Lieberman, 2015) [4].

В рамках данной работы делается попытка совместить классический метод сетевого планирования с генетическим алгоритмом перераспределения ресурсов при управлении работами в календарном плане в случае увеличения сроков реализации проекта. При этом предлагается пересчитывать продолжительность выполнения работ на участках проекта в пределах имеющегося свободного резерва времени, при этом особое внимание уделяется работам, находящимся на критическом пути.

1. Постановка задачи

Предположим, что имеется некоторый календарный план реализации проекта, с помощью метода критического пути определены ранние и поздние сроки свершения событий, свободный и полный резервы времени работ и событий. В некоторый момент, определенный на основе алгоритма, описанного в статье [10], производится контроль, если по результатам контроля выполнение проекта возможно без корректировок в рамках резервов времени, то принимается решение не вносить изменения до следующей точки контроля, если же обнаружены существенные отклонения, принимается решение о пересчете основных параметров выполнения проекта за счет увеличения

скорости выполнения незавершенных работ проекта (считается, что у каждой работы есть верхняя граница скорости V_{max}). В результате изменения скорости выполнения работ, проект будет реализован с наименьшими, возможными в рамках допустимого изменения скорости, задержками, однако завершение работ по проекту в директивный сроки может быть не достигнуто за счет внесенных изменений. Тогда завершение работ по проекту в намеченные директивные сроки возможно только за счет привлечения дополнительных субподрядных ресурсов. При этом затраты на такое привлечение должны быть минимальными. Для решения описанной задачи в рамках данной работы предложен генетический алгоритм перераспределения трудовых ресурсов для оптимизации текущего календарного плана выполнения работ. Генетический алгоритм позволит найти лаговые смещения (от раннего срока начала) для каждой работы проекта, при которых оптимально перераспределяются собственные трудовые ресурсы между работами проекта, и, за счет этого проект выполняется в директивные сроки с минимальным привлечением дополнительных средств на субподрядные ресурсы.

Остановимся на основных аспектах генетического алгоритма.

Хромосомы

Каждая особь представляет собой битовую хромосому длиной $6 \cdot N$ бит. Ген представляет собой подстроку длиной 6 бит и кодирует смещение в днях даты начала выполнения операций на участке в пределах полного резерва времени, имеющегося для данной операции. Из 6 бит 1 бит предназначен для кодирования смещения $a_{i,j}$ работы на участке (i,j) , а оставшиеся 5 бит кодируют величину смещения $\delta_{i,j}$ работы на участке (i,j) . Таким образом, хромосома представляет собой возможные смещения дат начала выполнения операций проекта от раннего срока начала проектных работ. Полученный таким образом календарный план показывает планируемые временные интервалы выполнения каждой из работ проекта. В основе кодирования и декодирования особи лежат следующие соотношения, представленные формулой:

$$t_{ф.н.}(i,j) = \begin{cases} t_{р.н.}(i,j) + \delta_{i,j}, & \text{если } a_{i,j} = 1 \\ t_{р.н.}(i,j), & \text{если } a_{i,j} = 0, \end{cases}$$

где $t_{ф.н.}(i,j)$ — фактическое начало выполнения работ на участке (i,j) , найденное с применением генетического алгоритма. Допустимость полученных значений, проверяется неравенством:

$$t_{р.н.}(i,j) \leq t_{ф.н.}(i,j) \leq t_{п.н.}(i,j).$$

Формирование начальной популяции

Для начальной популяции величина смещения $\delta_{i,j}$ выбирается случайным образом из диапазона значений

$$\delta_{i,j} \in [0; R_{п.н.}(i,j)].$$

Работы, для которых будет выполнено смещение дат от первоначального раннего срока — также выбираются случайным образом.

Вычисление функций приспособленности для особей популяции

Для вычисления значения функции приспособленности необходимо представить календарный план для каждой особи в виде двоичной матрицы работ $A_{N \times D_{count}} = \{a_{i,j}\}$, где N — количество работ в проекте, D_{count} — количество проектных дней, тогда элементы матрицы могут быть определены следующим образом:

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если в } i \text{ день выполняется } j \text{ работа,} \\ 0, & \text{если в } i \text{ день не выполняется } j \text{ работа.} \end{cases}$$

Затем вычисляется общее количество сотрудников по всем работам в каждый день выполнения проекта:

$$S_j = \sum_{i=1}^N a_{i,j} \cdot Q_i,$$

где S_j — общее количество работников, требуемое в j день выполнения проекта, Q_i — количество сотрудников требуемое для выполнения i операции проекта, с учетом завершения работ проекта в первоначально рассчитанные сроки. Объем ресурсов, необходимый для выполнения работ в срок определяется ЛПР.

Зная количество собственных ресурсов в каждый день выполнения проекта (будем считать, что собственный объем ресурсов в каждый день выполнения проекта постоянен) можно рассчитать требуемое количество субподряда (функцию приспособленности) для всего проекта придерживаясь выбранного календарного плана выполнения работ в проекте:

$$S_{суб} = \sum_{j=1}^{D_{count}} (S_j - S_{соб}),$$

где $S_{соб} = \text{const}$ — объем собственных нескладываемых ресурсов.

После того, как было определено количество субподрядных ресурсов необходимо вычислить объем затрат на субподряд при использовании календарного плана:

$$C = P \cdot S_{суб},$$

где P — цена за привлечение одной единицы субподряда.

Выбор индивидов из текущей популяции

Вероятность выбора - особи поколения определяется по следующей формуле:

$$P_i = \frac{S_{\text{суб}}^i}{\sum_{k=0}^{N_{\text{count}}} S_{\text{суб}}^k},$$

где $S_{\text{суб}}^i$ — объем субподряда для реализации календарного плана

Выбор индивидов из популяции осуществляется на основе применения метода рулетки.

Скращивание

Потомок следующего поколения формируется за счет скрещивания двух особей текущего поколения. Будем применять 5-точечный оператор скрещивания, поскольку хромосома имеет большую длину. Случайным образом выберем точки разбиения для 2 особей потомков, при этом разбиение особи должно производиться по хромосомам. После скрещивания двух особей, такое разбиение обеспечивает допустимость значений особи потомка.

Последовательность выбора частей ген-особи родителей имеет случайный характер выбора.

Мутация

К полученной после скрещивания особи потомка применяется оператор мутации. В качестве оператора мутации применяется оператор инверсии и односточный оператор мутации. Выбор генов мутации определяется случайным образом. После применения оператора мутации необходимо проверить допустимость полученных значений особи потомка.

Если для всех хромосом особи потомка условие допустимости, то переход к следующему этапу алгоритма, иначе необходимо к особи, полученной после оператора скрещивания последовательно применить операторы мутации.

Формирование нового поколения

Для формирования нового поколения особей применяется метод элитарного отбора. Из популяции предков выбирается N_{best} особей (количество особей, задается в программе), имеющих минимальное значение функции приспособленности, а оставшиеся $N - N_{\text{best}}$ особей выбираются из текущего поколения, которые также обладают наилучшим значением функции приспособленности.

2. АЛГОРИТМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕКУЩЕГО КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Сформулируем общий алгоритм:

1. Для каждой работы сетевого графика задать (используя рекомендации специалистов) требуемое количество трудовых ресурсов в день. Скорректировать продолжительность выполне-

ния работ, достигнутую за счет увеличения количества ресурсов.

2. Вычислить критический путь выполнения работ.

3. Если вычисленная продолжительность выполнения работ проекта укладывается в директивные сроки, то перейти к шагу 4, иначе перейти к шагу 1.

4. Задать параметры генетического алгоритма: количество популяций N_{pop} , количество особей в популяции N_{count} , количество собственных ресурсов $S_{\text{соб}}$, доступных в проекте, стоимость единицы субподряда P .

5. Установить номер текущего популяции $k = 0$. Сформировать первоначальную популяцию случайным образом за счет смещений сроков выполнения работ в пределах раннего и позднего начала работ на участке $[t_{\text{рн}}; t_{\text{пн}}]$.

6. Вычислить функцию приспособленности для популяции

$$S_{\text{суб}} = \sum_{j=1}^{D_{\text{count}}} \left(\frac{S_{\text{суб}}^j}{\sum_{k=0}^{N_{\text{count}}} S_{\text{суб}}^k} \right),$$

где $S_{\text{суб}}^i$ — количество субподрядных ресурсов, привлекаемых в j -й день проекта,

D_{count} — общая продолжительность проекта.

7. Для всех особей k -й популяции вычислить вероятность выбора особи в соответствии с формулой:

$$P_i = \frac{S_{\text{суб}}^i}{\sum_{k=0}^{N_{\text{count}}} S_{\text{суб}}^k}$$

8. Увеличить номер популяции $k = k + 1$.

9. Проверить $k < N_{\text{pop}}$, перейти к шагу 9, иначе перейти к шагу 16.

10. Выбрать $N_{\text{best}} = 0,1 \cdot N_{\text{count}}$ особей от общего количества особей в поколении с минимальным значением функции приспособленности, добавить в массив новой популяции. Положить номер следующего потомка $\text{count} = N_{\text{best}} + 1$.

11. Используя метод «рулетки» выбрать родителей для формирования новых особей.

12. Для каждой пары родителей, выбранных на шаге 10 применить 5-точечный оператор кроссинговера.

13. К особи, полученной на шаге 11 применить оператор мутации.

14. Для особи проверить, что полученные значения лежат в интервале $[t_{\text{рн}}; t_{\text{пн}}]$. Если условие выполнено, то перейти к шагу 14. Иначе повторить шаги с 11 по 13 для текущей пары родителей.

15. Добавить полученную особь в популяцию, увеличить количество особей в новой популяции $\text{count} = \text{count} + 1$.

16. Пока $\text{count} < N_{\text{count}}$, для каждой пары родителей повторить шаги с 11 по 14. Иначе переход к шагу 16.

17. Выбрать из всех особей поколения особь, имеющую наименьшее значение функции приспособленности, произвести раскодирование особи

$$t_{ф.н.}(i,j) = \begin{cases} t_{р.н.}(i,j) + \delta_{i,j}, & \text{если } \alpha_{i,j} = 1 \\ t_{р.н.}(i,j), & \text{если } \alpha_{i,j} = 0, \end{cases}$$

где $t_{ф.н.}(i,j)$ — фактическое начало выполнения работы на дуге (i,j) , $\alpha_{i,j}$ — бит смещения, $\delta_{i,j}$ — величина смещения. Перейти к шагу 18.

18. Завершить работу алгоритма.

3. Результаты и выводы

Вычислительный эксперимент.

На основе предложенного алгоритма и разработанного программного обеспечения был проведен вычислительный эксперимент. Остановимся на основных результатах данного эксперимента.

Рассмотрим проект, сетевой граф которого приведен на рисунке 1.

Основные данные по планируемым работам представлены в табл. 1.

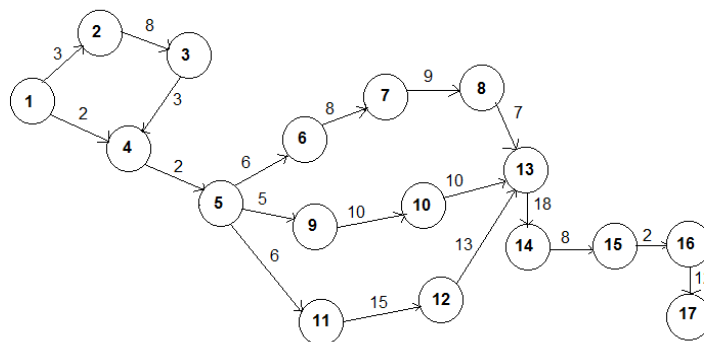


Рис. 1. Сетевой граф демонстрационного проекта

Таблица 1

Основная информация о работах в сетевом графике

№ работы	Начальное событие	Конечное событие	Продолжительность	Плановый объем работ на участке	Максимальная скорость выполнения работы на участке	Средняя скорость выполнения работы на участке
1	1	2	3	90	32	30
2	1	4	2	150	76	75
3	2	3	8	160	22	20
4	3	4	3	60	22	20
5	4	5	2	120	62	60
6	5	6	6	180	32	30
7	5	9	5	100	22	20
8	5	11	6	600	102	100
9	6	7	8	640	81	80
10	7	8	9	180	22	20
11	8	13	7	210	32	30
12	9	10	10	180	20	18
13	10	13	10	350	37	35
14	11	12	15	450	32	30
15	12	13	13	182	16	14
16	13	14	18	360	121	120
17	14	15	8	640	81	80
18	15	16	2	400	202	200
19	16	17	12	720	63	60

Методом критического пути, были определены ранние и поздние сроки свершения события, рассчитаны полные и свободные резервы времени. На основе алгоритма авторов, описанного в статье [10] были рассчитаны точки первого контроля.

На рисунке 2 представлены Диаграммы Ганта для ранних и поздних сроков выполнения работ проекта.

Предположим, что с момента начала работ прошло 17 временных единиц. В соответствии с алгоритмом [10] в этот момент производит-

ся контроль и для всех работ, которые выполняются или должны быть выполнены вводится плановый объем работ и фактический объем работ, выполненный к данному моменту. В соответствии с алгоритмом и с учетом оставшегося объема работ вычисляется новая продолжительность выполнения работ, рассчитываются новые сроки реализации проекта, полный и свободный резервы времени, определяется продолжительность критического пути.

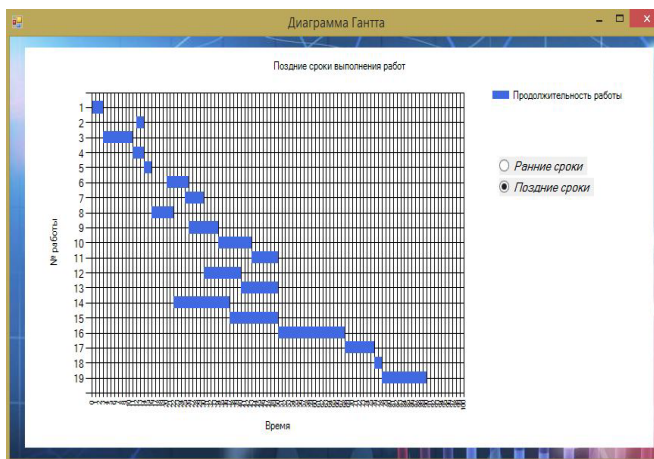
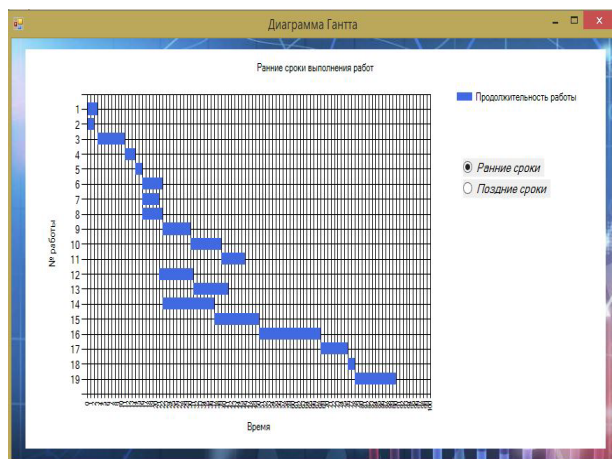


Рис. 2. Диаграмма Ганта для ранних и поздних сроков выполнения работ проекта

Пересчет новой продолжительности с учетом проведенного контроля, приводит к увели-

чению сроков реализации календарного плана (Рис. 3).

Расчет критического пути

Директивная продолжительность работ составляет: 30

Фактическая продолжительность работ составляет: 33

День от начала проекта: 17

№ работы	Начальное событие	Конечное событие	Продолжительность работ	Ранний срок начала	Ранний срок окончания	Поздний срок начала	Поздний срок окончания	Полный резерв времени	Свободный резерв времени
1	1	2	3	17	20	17	20	0	0
2	1	4	0	17	17	17	17	0	0
3	2	3	8	20	28	20	28	0	0
4	3	4	3	28	31	28	31	0	0
5	4	5	2	31	33	31	33	0	0
6	5	6	6	33	39	37	43	4	0
7	5	9	6	33	39	42	47	9	0
8	5	11	6	33	39	33	39	0	0
9	6	7	8	39	47	43	51	4	0
10	7	8	9	47	56	51	60	4	0
11	8	13	7	56	63	60	67	4	4
12	9	10	10	38	48	47	57	9	0
13	10	13	10	48	58	57	67	9	9
14	11	12	15	39	54	39	54	0	0
15	12	13	13	54	67	54	67	0	0
16	13	14	3	67	70	67	70	0	0
17	14	15	8	70	78	70	78	0	0
18	15	16	2	78	80	78	80	0	0
19	16	17	12	80	92	80	92	0	0

Перераспределение ресурсов | Построить диаграмму Ганта | Сохранить результат

Расчет критического пути

Директивная продолжительность работ составляет: 30

Фактическая продолжительность работ составляет: 33

День от начала проекта: 17

№ работы	Начальное событие	Конечное событие	Продолжительность работ	Ранний срок начала	Ранний срок окончания	Поздний срок начала	Поздний срок окончания	Полный резерв времени	Свободный резерв времени
7	5	9	6	33	39	42	47	9	0
8	5	11	6	33	39	33	39	0	0
9	6	7	8	39	47	43	51	4	0
10	7	8	9	47	56	51	60	4	0
11	8	13	7	56	63	60	67	4	4
12	9	10	10	38	48	47	57	9	0
13	10	13	10	48	58	57	67	9	9
14	11	12	15	39	54	39	54	0	0
15	12	13	13	54	67	54	67	0	0
16	13	14	3	67	70	67	70	0	0
17	14	15	8	70	78	70	78	0	0
18	15	16	2	78	80	78	80	0	0
19	16	17	12	80	92	80	92	0	0

Перераспределение ресурсов | Построить диаграмму Ганта | Сохранить результат

Рис. 3. Расчет критического пути после контроля

Фактическая продолжительность работ увеличилась по сравнению с директивным сроком.

Для того, чтобы выполнить работы в первоначально намеченные сроки нужно сократить длительность выполнения работ, находящихся на критическом пути. Для этого необходимо увеличить количество ресурсов на

критических работах, что позволит уменьшить продолжительность выполнения данных работ.

На рисунке 4 представлен ввод информации о количестве человек в единицу времени, требуемых для выполнения работ на участках.

№ работы	Начальное событие работы	Конечное событие работы	Продолжительность работы	Ранний срок начала	Поздний срок окончания	Максимальная скорость выполнения работ на участке	Количество человек для выполнения работ (в день)
1	1	2	0	16	16	42	0
2	1	3	0	16	16	31	0
3	2	3	1	16	18	22	20
4	2	6	2	16	31	41	15
5	3	4	2	18	26	30	20
6	3	5	2	18	23	31	15
7	4	7	7	21	33	22	10
8	5	7	4	23	33	21	35
9	6	7	2	20	33	40	15
10	7	8	4	33	42	31	30

Рис. 4. Ввод информации о требуемом объеме ресурсов

После того, как было определено количество ресурсов, требуемое для выполнения каждой работы, эксперту необходимо указать количество собственных доступных ресурсов (в единицу времени) и стоимость привлечения единицы субподряда. В рамках данной задачи количество доступных работников составляет 30 единиц в день, а стоимость привлечения единицы субподряда составляет 700 денежных условных единиц. Для демонстрации метода будем предполагается, что привлекаются специалисты с одинаковыми компетенциями, определенной категории.

По результатам выполнения алгоритма оптимальный суммарный объем привлечения субподряда составил 75 человек, а стоимость привлечения такого субподряда составляет 52 500 денежных условных единиц.

На Рисунке 6 представлены результаты работы алгоритма в виде Диаграммы распределения ресурсов и Диаграммы Ганта оптимальных сроков выполнения календарного плана, которые жестко привязаны ко дню выполнения.

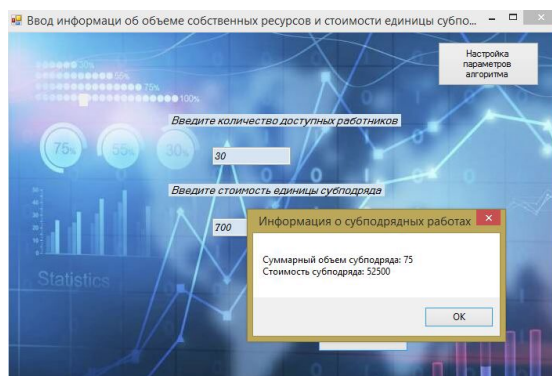


Рис. 5. Ввод информации об объеме собственных ресурсов и стоимости единицы субподряда

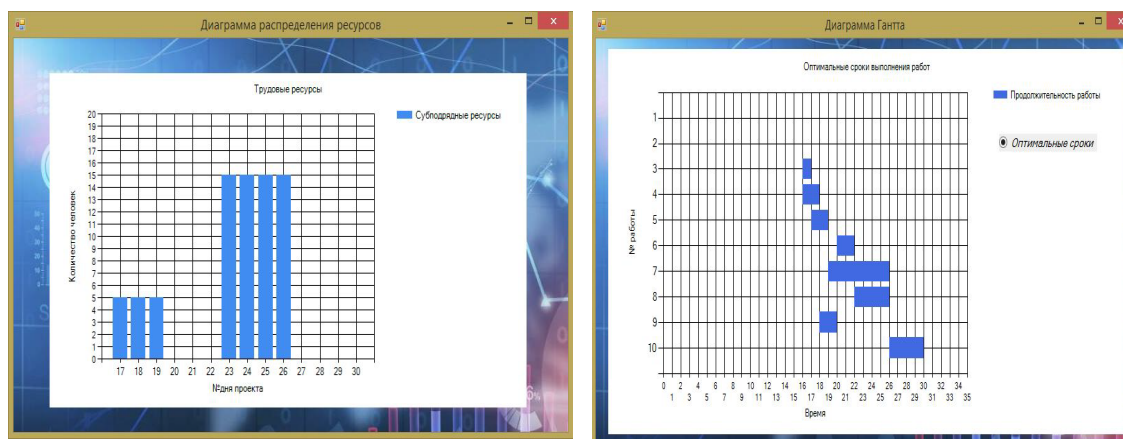


Рис. 6. Результаты работы алгоритма

Проанализировав диаграмму распределения ресурсов, можно сделать вывод:

- максимальный объем субподряда требовался с 23 по 26 дни реализации, и он составил 15 трудовых единиц.
- минимальный объем субподряда 5 единиц требовался с 17 по 19 дни.
- с 20 по 22 день и с 27 по 30 привлечение субподрядных ресурсов не требовалось.

Следуя представленному оптимальному плану выполнения работ и распределяя ресурсы в соответствии с диаграммой, проект будет строго выполнен в заданные сроки.

Заключение

Предложенное в статье алгоритмическое и программное обеспечение может быть использовано в качестве инструмента поддержки принятия решений при управлении ограниченными ресурсами проекта. Алгоритм позволяет определить минимальный объем привлечения субподрядных ресурсов для выполнения работ в рамках проекта и осуществить его реализацию в директивные сроки. Предложенное алгоритмическое обеспечение доведено до программной реализации, автоматизирующей все расчеты и сопутствующий анализ ситуации в проекте, и подготовлено к практическому внедрению в качестве аналитического приложения к стандартным информационным системам проектного менеджмента.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ballestín F. R. Leus (2009) Resource-constrained project scheduling for timely project completion with stochastic activity durations / F. R. Ballestín // *Production and Operations Management*. — Vol. 18. — Pp. 459—474.
2. Berthaut F. Time-cost trade-offs in resource-constrained project scheduling problems with overlapping modes / F. Berthaut, R. Pellerin, N. Perrier, & A. Hajji // *International Journal of Project Organisation and Management*. — 2014. — 6 (3). — 215—236.
3. Choi B. C. A continuous time-cost tradeoff problem with multiple milestones and completely ordered jobs / B. C. Choi, & M. J. Park // *European Journal of Operational Research*. — 2015. — 244 (3). — 748—752.

4. Hillier F. Introduction to Operations Research / F. Hillier, & G. J. Lieberman // *Penn Plaza*. — New York, NY, 2015. — 10121.

5. Liu Z. Resource-constrained multiple projects scheduling with the objective of minimizing activities cost / Z. Liu, & Y. Zheng // *In 2008 Chinese Control and Decision Conference*. — 2008. — July. — Pp. 1027—1032.

6. Lu W. Research into the moderating effects of progress and quality performance in project dispute negotiation / W. Lu, J. Liu // *International Journal of Project Management*. — 2014. — 32 (4). — Pp. 654—662.

7. Martens A. The impact of applying effort to reduce activity variability on the project time and cost performance / A. Martens, M. Vanhoucke // *European Journal of Operational Research*. — 2019. — Vol. 277. — Pp. 442—453.

8. Mahmoudi A. Project scheduling by incorporating potential quality loss cost in time-cost tradeoff problems: The revised KKH model / A. Mahmoudi and S. A. Javed // *Journal of Modelling in Management*. — 2020. — Vol. 15, No. 3. — Pp. 1187—1204.

9. Trietsch D. PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century // D. Trietsch, K. R. Baker // *International Journal of Project Management*. — 2012. — Vol. 30, Issue 4. — Pp. 490—502.

10. Азарнова Т. В. Алгоритм управления временными параметрами выполнения проекта на основе системы контрольных точек / Т. В. Азарнова, Е. В. Иванова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. — 2022. — № 4. — С. 39—51.

LITERATURE

1. Ballestín F. R. Leus (2009) Resource-constrained project scheduling for timely project completion with stochastic activity durations / F. R. Ballestín // *Production and Operations Management*. — Vol. 18. — Pp. 459—474.
2. Berthaut F. Time-cost trade-offs in resource-constrained project scheduling problems with overlapping modes / F. Berthaut, R. Pellerin, N. Perrier, & A. Hajji // *International Journal of Project Organisation and Management*. — 2014. — 6 (3). — 215—236.
3. Choi B. C. A continuous time-cost tradeoff problem with multiple milestones and completely ordered jobs / B. C. Choi, & M. J. Park // *European Journal of Operational Research*. — 2015. — 244 (3). — 748—752.
4. Hillier F. Introduction to Operations Research / F. Hillier, & G. J. Lieberman // *Penn Plaza*. — New York, NY, 2015. — 10121.
5. Liu Z. Resource-constrained multiple projects scheduling with the objective of minimizing

activities cost / Z. Liu, & Y. Zheng // In 2008 Chinese Control and Decision Conference. — 2008. — July. — Pp. 1027—1032.

6. Lu W. Research into the moderating effects of progress and quality performance in project dispute negotiation / W. Lu, J. Liu // International Journal of Project Management. — 2014. — 32 (4). — Pp. 654—662.

7. Martens A. The impact of applying effort to reduce activity variability on the project time and cost performance / A. Martens, M. Vanhoucke // European Journal of Operational Research. — 2019. — Vol. 277. — Pp. 442—453.

8. Mahmoudi A. Project scheduling by incorporating potential quality loss cost in time-

cost tradeoff problems: The revised KKH model / A. Mahmoudi and S. A. Javed // Journal of Modelling in Management. — 2020. — Vol. 15, No. 3. — Pp. 1187—1204.

9. Trietsch D. PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century / D. Trietsch, K. R. Baker // International Journal of Project Management. — 2012. — Vol. 30, Issue 4. — Pp. 490—502.

10. Azarnova T. V. Algorithm for controlling the time parameters of the project based on a system of control points / T. V. Azarnova, E. V. Ivanova // Bulletin of the Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies. — 2022. — No. 4. — Pp. 39—51.

УДК 332

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В АГРАРНОЙ СФЕРЕ

Коды JEL: Q01, Q13

Недиков К. Д., ассистент кафедры землеустройства и ландшафтного проектирования, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж, Россия

E-mail: nedikovkd@yandex.ru; SPIN-код: 2829-9432

Запорожцева Л. А., доктор экономических наук, зав. кафедрой экономического анализа, статистики и прикладной математики, проректор по научной работе, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж, Россия

E-mail: ludan23@yandex.ru; SPIN-код: 3219-6185

Поступила в редакцию 28.02.2024. Принята к публикации 04.03.2024

Аннотация

Актуальность темы. Учитывая, что потенциал холдинговой модели агропромышленной интеграции практически исчерпан, становится актуальным поиск новой модели организации интеграционных взаимодействий с целью перевода агропродовольственного комплекса на качественно новый уровень развития.

Цель. Исследование моделей развития агропродовольственного комплекса и определение перспективной формы агропромышленной интеграции.

Методология. Системный подход к изучаемой предметной области, диалектический, абстрактно-логический и монографический методы экономических исследований.

Результаты и выводы. Обоснованы положения, отражающие условия перехода к кластерной модели организации системы интеграционных взаимодействий в агропродовольственном комплексе, основными из которых являются: наличие устойчивой совокупности взаимодействующих субъектов и сохранение их экономической самостоятельности; выделение одного основного продуктового направления и дополнительных отраслей; обеспечение явной локализации экономического пространства кластера; создание механизма консолидации интересов субъектов, конкурирующих друг с другом; достижение определенного уровня развития государственно-частного партнерства; наличие механизмов, обеспечивающих гибкость системы межсубъектных взаимодействий; обеспечение баланса экономических интересов субъектов, вовлеченных в систему интеграционных взаимодействий; формирование экономических кластеров осуществляется в ходе естественной эволюции системы интеграционных взаимодействий.

Область применения. Практика интеграционных взаимодействий в аграрной сфере.

Ключевые слова: интеграция, кластеризация, аграрная сфера.