

УДК 519.157

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.47.4.009](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.009)

Метод решения задачи планирования работ в IT-проекте и назначения им специалистов

А.В. Дятчина, С.А. Олейникова✉

*Воронежский государственный технический университет, Воронеж,
Российская Федерация*

Резюме. Данная статья посвящена разработке итеративного подхода, обеспечивающего одновременное решение задачи планирования отдельных работ IT-проекта с допущением их возможной коррекции и назначения специалистов этим работам. В настоящее время достаточно глубоко исследован класс задач управления проектами и получены разнообразные методы формирования план-графиков, с точки зрения разных критериев (скорейшего завершения, стоимостного и т. д.). Однако IT-проекты отличаются от стандартных проектов периодической доработкой задач (исправление ошибок, уточнение результата с заказчиком и т. д.), что требует внесения изменений в математический аппарат задачи. Кроме того, время выполнения той или иной работы будет зависеть от ее исполнителя. Данная особенность учитывается крайне редко, что позволяет лицу, принимающему решения, отдельно решать задачу планирования и задачу о назначениях. Однако анализ предметной области показывает, что от специалиста будет зависеть не только длительность конкретной работы, но и вероятность ее безошибочного исполнения с первого раза. Следовательно, такие особенности целесообразно учесть, решая одновременно задачу планирования и задачу о назначениях. В связи с этим, требуется разработка метода, позволяющего учесть эти нюансы исследуемой задачи и обеспечить наилучшее с точки зрения целевых функций решение задачи как планирования, так и назначения. В качестве основы метода используется сочетание базовых подходов к решению задачи о назначении с методом критического пути и PERT. В результате получен итеративный алгоритм решения задачи формирования план-графика проекта и назначения всем работам исполнителей, учитывающий стохастический характер времени выполнения отдельных работ, а также их возможную коррекцию.

Ключевые слова: управление проектами, задача о назначениях, случайная длительность обслуживания, PERT, коррекция работ.

Для цитирования: Дятчина А.В., Олейникова С.А. Метод решения задачи планирования работ в IT-проекте и назначения им специалистов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(4). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=1698> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.009

Method for solving the problem of planning jobs in an IT project and assigning specialists to it

A.V. Dyatchina, S.A. Oleinikova✉

Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation

Abstract: This article is devoted to the development of an iterative approach that provides a simultaneous solution to the problem of planning individual works of an IT project with the assumption of their possible correction and assignment of specialists to these works. At present, the class of project management problems has been studied in sufficient depth, and various methods for forming schedules from the point of view of various criteria (fastest completion, cost, etc.) have been obtained. However, IT projects differ from standard projects in the periodic revision of tasks (error correction, clarification of the result with the customer, etc.), which requires changes in the mathematical apparatus of the

problem. In addition, the time of execution of a particular work will depend on its performer. This feature is taken into account extremely rarely, which allows the decision maker to solve the planning problem and the assignment problem separately. However, the analysis of the subject area shows that not only the duration of a specific work will depend on the specialist, but also the probability of its error-free execution the first time. Therefore, it is advisable to take such features into account when simultaneously solving the planning problem and the assignment problem. In this regard, it is necessary to develop a method that allows taking into account these nuances of the problem under study and ensures the best solution to both the planning and assignment problem from the point of view of the objective functions. The method is based on a combination of basic approaches to solving the assignment problem with the critical path method and PERT. As a result, an iterative algorithm for solving the problem of forming a project schedule and assigning performers to all work was obtained, taking into account the stochastic nature of the time of execution of individual works, as well as their possible correction.

Keywords: project management, assignment problem, random service time, PERT, correction of jobs.

For citation: Dyatchina A.V., Oleinikova S.A. Method for solving the problem of planning jobs in an IT project and assigning specialists to it. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1698> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.009 (In Russ.).

Введение

Рассматривается задача формирования план-графика IT-проекта, реализация которого требует выполнения множества взаимно-зависимых работ, а также назначение им специалистов [1]. Предполагается, что длительность выполнения отдельных работ проекта является случайной величиной. Важной особенностью IT-проекта является специфика исполнения задач, допускающая их доработку или коррекцию, возникающую, например, из-за обнаружения ошибок. В этом случае длительность выполнения отдельной работы уже не будет одномодальной величиной, подчиняющейся распределению бета. В связи с этим невозможно будет использовать существующие методы планирования (в частности, метод PERT), основывающиеся на предположении о бета-распределении соответствующей случайной величины.

Другой особенностью IT-проекта является разный профессиональный уровень исполнителей. Эта особенность возникает из-за высоких требований к заработной плате IT-специалистов. В силу того, что целый ряд работ не требует специалистов крайне высокой квалификации (так называемых сеньоров), большинство IT-компаний стараются формировать команду с разным уровнем, что позволяет минимизировать расходы на заработную плату.

Все это требует корректировок существующих подходов к планированию и разработки собственных методов. Анализ существующих подходов к планированию ограничим исследованием метода PERT (Program Evaluation and Review Technic) как наиболее распространенного в настоящее время [2, 3, 4]. Необходимо разработать подход, который с учетом индивидуального времени выполнения специалистами назначенных работ, их возможной коррекции, а также уточнения времени выполнения работ позволяет одновременно решать задачи формирования план-графика и назначения заданий специалистам.

Материалы и методы

Исследуемую задачу можно разбить на две взаимосвязанные задачи: формирование план-графика работ и назначения им специалистов. Существующие подходы пренебрегают влиянием специалистов на длительность работы и, как следствие,

сводят поставленную задачу к двум параллельным. Проанализируем существующие методы решения каждой из них.

Планирование времени начала взаимно-зависимых работ проекта без ресурсных ограничений, но с учетом случайного характера длительностей выполняется, как правило, с использованием метода PERT. Для этого временные характеристики работ оцениваются по наименьшему, наибольшему и наиболее вероятному (моде) значению следующим образом [5, 6]:

$$dlit_i^* = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6}, \quad (1)$$

где a_i – наименьшее возможное время начала работы i ; b_i – наибольшее возможное время ее начала; m_i – наиболее вероятное время (мода).

Исследования показали, что данное выражение достаточно точно оценивает математическое ожидание случайной величины, распределенной по закону бета в интервале (a, b) с модой m [5, 6]. Далее для каждой работы оценивается ориентировочное время начала. В силу взаимной зависимости работ, эти моменты будут зависеть от непосредственно предшествующих им работ. Наиболее возможные ранние сроки выполнения будут определяться по формулам [7]:

$$t_i^{\text{ран}} = \max_{j \in \text{Pred}(i)} (t_j^{\text{ран}} + dlit_j^*), \quad (2)$$

где $\text{Pred}(i)$ – множество работ, которые непосредственно предшествуют работе i . Формула (2) показывает, что, чтобы начать работу i , необходимо завершить все предшествующие работы.

Время завершения самой последней работы называется критическим путем проекта и определяется по формуле [8]:

$$T_{\text{крит}} = \max_j (t_j^{\text{ран}} + dlit_j^*). \quad (3)$$

Данный момент дает возможность рассчитать максимально позднее время, в которое можно будет начать каждую работу, не сдвигая на временной оси общее время выполнения проекта $T_{\text{крит}}$. Эти моменты определяются формулой:

$$t_i^{\text{позд}} = \min_{i \in \text{Pred}(j)} (t_j^{\text{позд}} - dlit_i^*). \quad (4)$$

Разница между поздним и ранним временем начала называется временным резервом. Она позволяет принимать решение о времени начала работ в случае критерия скорейшего завершения. Предположим, в данный момент времени t можно выполнить N_t работ с точки зрения формулы (2), т. е. все предшествующие работы завершены. Тогда на каждом шаге планирования целесообразно из множества N_t выбрать работу с наименьшим временным резервом. В случае невозможности выполнения в момент t всех работ из множества N_t , незапланированную их часть переносят на более поздний период. При этом пересчитывают их сроки по формуле (2), и, если критическое время изменилось, то и поздние временные характеристики всех работ, определяемые формулой (4).

Рассмотрим, какие изменения потребуется вносить в данную схему с учетом следующих нюансов:

- после выполнения работы она с некоторой вероятностью может быть отправлена на коррекцию / доработку и, как следствие, для ее завершения необходимо затратить еще какое-то время;
- длительность работы зависит от назначенного для ее выполнения специалиста.

Следует также отметить, что в случае большого количества работ в проекте назначение специалистов производится лишь на ближайшие временные периоды. Закрепление за специалистами работ, выполнение которых отодвинуто на более поздние сроки (например, на полгода), нецелесообразно из-за большого количества случайных факторов, влияющих на длительность, и возможности задействования людей в некоторых более приоритетных проектах.

Будем решать задачу планирования совместно с задачей назначения специалистов. Выделим следующие основные моменты, которые необходимо учесть в разрабатываемом алгоритме:

- изменить оценку (1) на формулу, учитывающую коррекцию работ и внесение изменений;
- учесть в алгоритме планирования разное время выполнения работ разными исполнителями;
- решать задачу планирования одновременно с задачей о назначениях, учитывая на каждом шаге занятость специалистов.

В [9] была предложена оценка случайной величины, описывающей длительность проекта с учетом особенностей исследуемой задачи. Для ее описания требуется уточнить:

- вероятность q_1 коррекции работы после первого шага;
- вероятность q_2 повторной коррекции;
- вероятность q_m коррекции после k -го шага.

Предполагается также, что величины a_i , b_i и m_i , описывающие наименьшее, наибольшее и наиболее вероятное время выполнения данной работы i , будут зависеть от времени. Исходя из этого, искомая величина может быть описана формулой:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{1i} + q_{1i}\varepsilon_{2i} + q_{1i}q_{2i}\varepsilon_{3i} + q_{1i}q_{2i}q_{3i}\varepsilon_{4i} \dots \quad (5)$$

Если принять во внимание предположение о том, что параметры, определяющие длительность, как и вероятностные характеристики, зависят от специалиста, который будет данную работу выполнять, то, принимая во внимание формулу (1), получим следующую оценку математического ожидания работы i при условии выполнения ее специалистом k [9]:

$$M^*\varepsilon_{1i} = \frac{a_{0ik}(t) + 4m_{0ik}(t) + b_{0ik}(t)}{6} + q_{0ik} \frac{a_{1ik}(t) + 4m_{1ik}(t) + b_{1ik}(t)}{6} + \dots \\ + q_{0ik} \dots q_{n-1ik} \frac{a_{nik}(t) + 4m_{nik}(t) + b_{nik}(t)}{6} + \dots \quad (6)$$

Как видно из формулы (6), оценка математического ожидания будет являться функцией от времени, поскольку со временем параметры a_{ik} , b_{ik} и m_{ik} меняются в зависимости от переоценки длительности работы или внесения поправок заказчиком.

В общем виде формула (6) представляет собой бесконечный ряд и не может быть рассчитана. Однако на практике для каждого конкретного специалиста число слагаемых в ней конечно.

Результаты и обсуждение

Разработаем подход к одновременному решению задачи планирования и назначения. Выделим следующие целевые функции:

- задача планирования должна решаться с точки зрения скорейшего завершения работ;

– задача о назначениях будет решаться с временными ограничениями и произвольными критериями [10].

Разделим данную задачу на два этапа. Первый этап включает в себя первоначальную оценку временных показателей. Он необходим для примерных ориентиров длительности (для согласования предварительных сроков с заказчиком). На данном этапе будет решаться задача оценки времени начала каждой работы без привязки их к исполнителям. Это время будет оцениваться в среднем по трем показателям также без учета исполнителя, который будет ее выполнять. Предварительный этап будет выглядеть следующим образом:

1. Определить оценки временных характеристик каждой работы a_i , b_i и m_i .
2. Рассчитать с учетом этих оценок длительности работ по формуле (1).
3. Рассчитать с учетом полученных длительностей раннее и позднее время начала по формулам (2) и (4) соответственно.
4. С учетом количества специалистов, задействованных в данном проекте, уточнить время начала каждой работы.

Последний пункт данной задачи используется для решения задачи планирования с ресурсными ограничениями.

После получения примерных оценок на втором и последующих этапах будем решать задачу итеративно, поскольку предполагается последовательное уточнение параметров a_i , b_i и m_i , описывающих длительность выполнения работы i . На данном этапе эти показатели, а также показатели безошибочного выполнения работы будут уже зависеть от конкретного ее исполнителя. Кроме того, будем назначать исполнителей лишь на те работы, которые будут планироваться на данный период.

Опишем общую схему работы алгоритма этого этапа.

1. Определить множество работ W_t , которые можно начать в момент времени t .
2. Определить множество исполнителей E_t , которые можно задействовать для выполнения работ W_t .
3. Оценить длительность выполнения каждой работы i каждым исполнителем k по формуле (6) с актуальными к данному моменту t оценками $a_i(t)$, $b_i(t)$ и $m_i(t)$.
4. Определить текущее раннее и позднее время начала работ из W_t для каждого из исполнителей, а также их временной резерв.
5. Определить множество критериев для задачи о назначении и свести их к единому интегральному критерию.
6. Определить, какие работы из множества W_t будут начинаться в момент времени t , и назначить им специалистов из множества E_t .
7. Определить следующее ближайшее время планирования и перенести оставшиеся работы на тот момент.

В приведенном выше алгоритме не акцентируется внимание на типизации работ и специализации исполнителей, которые имеют место в IT-проектах. Это обусловлено тем, что задачи разных типов имеют пересечение лишь в рамках взаимной зависимости, что позволяет декомпозировать исходную задачу для каждой такой подгруппы. Детализируем более подробно п. 6 данного алгоритма. Его можно сформулировать следующим образом. Имеется множество работ и множество специалистов. Необходимо распределить исполнителей по тем работам, которые будут отобраны для выполнения в данный момент времени. Для этого надо рассчитать следующие матрицы:

– матрица длительностей d (по строкам которой отложены специалисты; по столбцам – работы; ячейки содержат время выполнения данным специалистом данной работы);

– матрица раннего начала работ tr (по строкам которой отложены специалисты; по столбцам – работы; ячейки содержат раннее время начала данной работы данным специалистом);

– матрица позднего времени начала работ tp (по строкам которой отложены специалисты; по столбцам – работы; ячейки содержат позднее время начала данной работы данным специалистом).

Отметим, что значения матрицы tr будут зависеть от расписания специалистов и от времени завершения ими работ, начатых ранее, а tp – от длительности всех не начатых работ. С учетом того, что пока более поздним работам не назначены специалисты, для них остаются полученные ранее временные оценки длительности.

Отбор работ для выполнения в данный интервал времени будет производиться исходя из значений временных резервов работ (работа с наименьшим резервом должна быть выполнена скорее). Данные резервы будут определяться для каждого из специалистов.

Продемонстрируем фрагмент работы данного алгоритма. Пусть имеется проект, состоящий из работ, заданных в таблице. На предварительном этапе также рассчитаны характеристики (длительности, раннее и позднее время начала и резерв), представленные в Таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики работ проекта
Table 1 – Characteristics of the project jobs

№ п/п	работа	a_i	m_i	b_i	$d_{lit}_i^*$	$t_i^{ран}$	$t_i^{позд}$	r_i (рез.)
1	1–2	1	2	3	2	0	2	2
2	1–3	2	5	6	4,667	0	0	0
3	2–4	2	4	7	4,167	2	7,166	5,166
4	2–5	1	3	5	3	2	7,333	5,333
5	2–6	5	6	9	6,333	2	4	2
6	3–4	4	7	8	6,667	4,667	4,667	0
7	3–5	2	5	6	4,667	4,667	5,666	0,999
8	3–6	1	2	4	2,167	4,667	8,166	3,499
9	4–7	4	5	6	5	11,333	11,333	0
10	5–7	5	6	7	6	9,333	10,333	1
11	6–7	4	6	8	6	8,333	10,333	2

Пусть в команде имеется четыре специалиста. На первом этапе будет использоваться информация лишь для работ 1–2 и 1–3, поскольку другие работы в момент времени 0 начать невозможно. Данная информация представлена в Таблице 2.

Таблица 2 – Длительности выполнения работ специалистами d
Table 2 – Duration of work performed by specialists d

№ п/п	Рез	a_{11}	m_{11}	b_{11}	d_1	P_{11}	a_{12}	m_{12}	b_{12}	d_{12}	P_{12}	a_{11}	m_{11}	b_{11}	d_{13}
с.1. p.1	4,4	1	2	3	2	0,75	1	2	2,5	1,9	0,95	0,5	1	1,5	1
с.2.p.1	4,6	1	3	4	2,83	0,85	1	2,5	3,5	2,4	1	–	–	–	–
с.3.p.1	4,1	2	3	4	3	0,9	1	1,5	2	1,5	1	–	–	–	–
с.4.p.1	3,5	1	2	3	2	0,8	1	2	3	2	1	–	–	–	–
с.1. p.2	7	2	4	5	3,83	0,8	2	3	4	3	0,95	0,5	1	1,5	1
с.2.p.2	6,9	2	4	6	4	0,85	2	4	5	3,8	1	–	–	–	–
с.3.p.2	6,3	1	5	8	4,8	0,95	1	2	3	2	1	–	–	–	–
с.4.p.2	6,6	2	3	6	3,33	0,85	1	3	5	3	0,95	0,5	1	1,5	1

В первом столбце приняты следующие сокращения: «с.» – специалист; «р.» – работа. Например, «с.1.р.1» – это показатели первого специалиста по первой работе (т. е. по работе 1–2). Во втором столбце данной таблицы рассчитаны интересующие ожидаемые длительности с использованием формулы (6). Поскольку это первый этап планирования, и количество специалистов в данный момент превышает число работ, нет необходимости на этом этапе оперировать с матрицами tr (все элементы ее в данный момент нулевые) и tp для отбора работ, которые будут выполнены в это время. С учетом показателей из Таблицы 2 пришли к выводу, что первую работу (работу 1–2) будет делать специалист с идентификатором 4, а вторую (1–3) – специалист 3.

Перейдем к этапу 2. Пусть в момент времени 3,4 завершилась работа 1–2 (и освободелся специалист 4). Далее строится таблица, аналогичная Таблице 1 для работ 2–4, 2–5 и 2–6. Поскольку специалист 3 ориентировочно $6,3 - 3,4 = 2,9$ ед. времени будет занят выполнением своей работы, данную длительность прибавляем к его временным показателям. Пусть в результате расчетов по аналогии с Таблицей 2 были получены следующие показатели длительности для работы 2–4: специалист 1 – 4,9 ед., специалист 2 – 5,4 ед., специалист 3 – 5,5 ед., специалист 4 – 5,9 ед. Так, фрагмент матриц tr и tp раннего и позднего времени начала для работы 2–4 будет выглядеть следующим образом (Таблица 3).

Таблица 3 – Раннее и позднее время и резерв для работы 2–4
Table 3 – Early and late time and reserve for job 2–4

№ п/п	с.1	с.2	с.3	с.4
$t^{\text{ран}}$	3,4	3,4	6,3	3,4
$t^{\text{позд}}$	11,3–4,9	11,3–5,4	11,3–5,5	11,3–5,9
r	6,4–3,4	5,9–3,4	5,8–6,3	5,4–3,4

Таким образом, резервы позволят на каждом шаге отбирать наиболее приоритетные работы, а длительности – осуществлять процесс планирования и назначения работам специалистов для минимизации продолжительности проекта.

Заключение

В данной статье предложен подход, обеспечивающий решение задачи планирования IT-проекта, особенностью которого является возможность коррекции отдельных работ, а также зависимость их длительности от специалистов. Решены следующие задачи:

- произведено описание случайной величины, описывающей длительность отдельной работы в IT-проекте;
- описана оценка числовых характеристик данной величины;
- разработан метод, позволяющий выполнять планирование времени начала каждой из работ проекта, а также назначать им исполнителей.

Предполагается, что применение данного подхода существенно снизит погрешности при планировании работ в IT-проектах. Подход может быть рекомендован в управлении работы любых многостадийных систем с взаимной зависимостью работ, отличающихся стохастическими характеристиками и допускающими доработку.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Арчибальд Р.Д. *Управление высокотехнологичными программами и проектами*. Москва: Компания АйТи; ДМК Пресс; 2004. 472 с.
Archibald R.D. *Managing High–Technology Programs and Projects*. Moscow: Kompaniya AiTi; DMK Press; 2004. 472 p. (In Russ.).
2. Бурков В.Н., Новиков Д.А. *Как управлять проектами*. Москва: СИНТЕГ – ГЕО; 1997. 188 с.
3. Голенко–Гинзбург Д. *Стохастические сетевые модели в инновационном проектировании*. Воронеж: «Научная книга»; 2011. 356 с. (На англ.).
Golenko–Ginzburg D. *Stochastic network models in innovative projecting*. Voronezh: Science Book Publishing House; 2011. 356 p.
4. Кофман А., Дебазей Г. *Сетевые методы планирования: Применение системы ПЕРТ и ее разновидностей при управлении производственными и научно–исследовательскими проектами*. Москва: Издательство «Прогресс»; 1968. 181 с.
5. Martinelli R.J., Milosevic D.Z. *Project Management ToolBox: Tools and Techniques for the Practicing Project Manager*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2016. 480 p.
6. Ларсон Э.У., Грей К.Ф. *Управление проектами*. Москва: Издательство «Дело и Сервис»; 2013. 783 с.
Larson E.W., Gray C.F. *Project Management: The Managerial Process*. Moscow: Publishers Business and Service; 2013. 783 p. (In Russ.).
7. Азарнова Т.В., Иванова Е.В. Алгоритм управления временными параметрами выполнения проекта на основе системы контрольных точек. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2022;(4):39–51. <https://doi.org/10.17308/sait/1995–5499/2022/4/39–51>
Azarnova T.V., Ivanova E.V. Algorithm for managing the time parameters of project implementation based on the system of checkpoints. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*. 2022;(4):39–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sait/1995–5499/2022/4/39–51>
8. Perry C., Greig I.D. Estimating the Mean and Variance of Subjective Distributions in Pert and Decision Analysis. *Management Science*. 1975;21(12):1477–1480.
9. Дятчина А.В., Олейникова С.А. Оценка стохастических характеристик отдельных работ в IT–проектах. В сборнике: *Научная опора Воронежской области: Сборник трудов победителей конкурса научно–исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий, 15–19 апреля 2024 года, Воронеж, Россия*. Воронеж: Воронежский государственный технический университет; 2024. С. 188–191.
10. Кочетов Ю.А. Вероятностные методы локального поиска для задач дискретной оптимизации. В сборнике: *Дискретная математика и ее приложения: Сборник лекций молодежных и научных школ по дискретной математике и ее приложениям*. Москва: Издательство центра прикладных исследований при механико–математическом факультете МГУ; 2001. С. 84–117.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дятчина Анастасия Владимировна, Anastasiya V. Dyatchina, graduate student of аспирант Воронежского государственного Voronezh State Technical University, Voronezh, технического университета, Воронеж, the Russian Federation. Российская Федерация.

e-mail: thenochnaya@mail.ru

Олейникова Светлана Александровна, Svetlana A. Oleinikova, professor of Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.
профессор Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: s.a.oleinikova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 27.09.2024; одобрена после рецензирования 14.10.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 27.09.2023; approved after reviewing 14.10.2024; accepted for publication 21.10.2024.