Технология и организация строительства

УДК 658.512.6:658.527:69

© С. В. Бовтеев, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: SergeiBovteev@gmail.com

© А. В. Мишакова, ассистент
(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: Nastya.Misha14@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-115-121

© S. V. Bovteev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: SergeiBovteev@gmail.com

© A. V. Mishakova, assistant lecturer
(Peter the Great Saint Petersburg
Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: Nastya.Misha14@gmail.com

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ПРОГРАММ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

THE POSSIBILITY OF APPLYING THE PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE FOR CONSTRUCTION PROJECT SCHEDULE MANAGEMENT

Метод оценки и анализа программ (PERT) был разработан и впервые использован более шестидесяти лет назад и к настоящему времени хорошо известен. Данный метод позволяет учитывать вероятностный характер продолжительностей работ, поэтому его используют для планирования сроков проектов, у которых продолжительности всех или некоторых работ невозможно однозначно определить из-за высокой степени неопределенности внешней среды, в которой осуществляются такие проекты. Однако проблема контроля сроков работ и контрольных точек проекта на основе метода оценки и анализа программ изучена недостаточно хорошо. Исследуются возможности применения метода оценки и анализа программ для отслеживания и контроля сроков строительных проектов. Представлен алгоритм использования данного метода для прогнозирования вероятности своевременного наступления контрольных точек и завершения всего проекта.

Ключевые слова: календарное планирование, метод оценки и анализа программ (PERT), управление сроками, контроль сроков, сетевое моделирование.

The program evaluation and review technique (PERT) was developed and first used more than sixty years ago and is now well known. This technique allows taking into account the probabilistic nature of the work duration, so it is used for scheduling projects, where the duration of all or some of the works can not be clearly determined due to the high degree of uncertainty of the external environment in which such projects are carried out. However, the problem of controlling the terms of project activities and key events of the project based on the program evaluation and review technique has not been studied well enough. This article investigates the possibilities of applying the program evaluation and review technique to track and control the construction project schedule. An algorithm for using this method to predict the probability of timely occurrence of control points and completion of the entire project is presented.

Keywords: project scheduling, program evaluation and review technique (PERT), project time management, schedule control, network modeling.

Планирование строительного производства требует обязательного учета влияния факторов неопределенности, именно поэтому вероятностные методы планирования строительных проектов находят свое широкое применение на практике. Метод оценки и анализа программ,

более известный как PERT (Program Evaluation and Review Technique), является примером относительно простого, но реализующего вероятностный подход к расчету сроков выполнения отдельных работ и продолжительности строительства в целом, инструмента планирования.

Он впервые был разработан еще в 1957–1958 годах и успешно применен в США для планирования проекта создания ракетной системы «Полярис»¹ [1–2]. Несмотря на то что PERT был изначально предназначен для управления масштабными и сложными проектами, носящими инновационный характер, метод нашел свое применение и для планирования строительства, прежде всего крупных, уникальных зданий, сооружений и их комплексов, масштабных промышленных и энергетических объектов.

В отличие от детерминированных методов расчета сроков работ, также основывающихся на сетевой модели проекта, наиболее известным из которых является метод критического пути, или CPM (Critical Path Method), разработанный практически в то же самое время [3], метод PERT предполагает вероятностный подход к определению продолжительностей всех или некоторых работ проекта в виде β -распределения, ограниченного тремя оценками продолжительности работ:

- t_{ia} — оптимистической — минимально возможная продолжительность i -й работы;
- t_{ib} — пессимистической — максимально возможная продолжительность i -й работы;
- t_{im} — наиболее вероятной — соответствующей значению моды функции распределения вероятностей.

Таким образом, продолжительность i -й работы рассматривается в качестве случайной величины, изменяющейся в интервале (A, B) , где $A > 0$ и $B > A$. Только в частных случаях $A = B$ и величина t_i становится постоянной.

Можно утверждать, что PERT позволяет управлять сроками проекта с большими за-

пасами, если $B - M > M - A$, где M — мода β -распределения. В таком случае оценка продолжительностей становится более пессимистической и повышает тем самым степень надежности полученного расписания.

Применение PERT позволяет получить следующие результаты:

- оптимистическую, пессимистическую и ожидаемую (с обеспеченностью 50 %) продолжительности всего проекта (рис. 1);
- функцию нормального распределения вероятностей общей продолжительности проекта (рис. 2);
- возможность определения вероятности завершения проекта (равно как и отдельного контрольного события) к установленному сроку;
- продолжительность проекта, обеспеченную с заданной вероятностью.

Если метод критического пути CPM дает возможность рассчитать величину общей продолжительности проекта без учета влияния факторов неопределенности, то PERT позволяет определить вероятность завершения проекта к директивному сроку, что дает инвестору возможность принять взвешенное решение о старте проекта (если вероятность его завершения будет соответствовать его риск-аппетитам).

Однако если применение метода PERT для планирования строительных проектов изучено достаточно глубоко, то возможности использования данного инструмента для отслеживания и контроля сроков проекта требуют дальнейшего анализа.

Анализ фактического выполнения большинства строительных проектов позволяет утверждать, что проект не завершается в срок в связи с наступлением одной или нескольких причин,

Рис. 1. Оптимистическая, наиболее вероятная и пессимистическая продолжительности строительного проекта в среде MS Project

Рис. 2. Распределение вероятностей общей продолжительности проекта, полученное в результате расчета проекта методом PERT

которые можно разделить на следующие категории:

1. Медленное выполнение одной или нескольких работ проекта, прежде всего критических работ или некритической работы, увеличение продолжительности которой вышло за пределы ее резерва времени.

2. Остановка на значительное время выполнения работы в результате наступления одного или нескольких рисков событий (при этом $t_{\text{факт}} > t_p$, где $t_{\text{факт}}$ — фактическая продолжительность выполнения работы).

3. Срыв срока начала работы — последующая работа не может начаться сразу же после окончания предшествующей ей работы по определенным причинам (нет рабочих или рабочие не оснащены требуемыми инструментами или инвентарем, неисправна машина, не поставлены строительные материалы, конструкции или оборудование, не выдана или не утверждена техническим заказчиком рабочая документация).

Метод PERT позволяет адекватно моделировать ситуации, вызванные причинами первой категории, однако по определению не может полноценно справиться с причинами второй и третьей категорий, так как не предназначен для учета разрывов в выполнении работ и растяжений связей между работами (так как возможные растяжения связи непрерывного следования, вызванные влиянием негативных факторов, не задаются с помощью β -распределения). К еще одному существенному недостатку метода PERT можно отнести отсутствие учета влияния фак-

тических результатов выполнения работ на продолжительности предстоящих работ проекта. В тех случаях, когда проект отстает от утвержденных сроков, на него, как правило, оказываются большие управленческие воздействия, принимаются меры по ускорению выполнения оставшихся работ, и, наоборот, если проект реализуется с опережением, снижаются и управленческие воздействия, ход проекта может быть замедлен.

Можно выделить ряд исследований метода PERT, направленных на его адаптацию к реальным условиям осуществления проектов.

Предложение использовать генератор случайных продолжительностей в качестве исходных данных для расчета сроков работ методом PERT дано в работе [4], при этом в качестве минимальной (оптимистической) продолжительности работы принимается ее плановая продолжительность, а в качестве максимальной (пессимистической) — та же плановая продолжительность, но умноженная на индекс несвоевременного ввода объекта в эксплуатацию, то есть на соотношение даты завершения проекта, при которой заказчик имеет нулевую рентабельность, к плановой дате. Возможности применения метода PERT в реальной практике строительного производства также представлены в работах [5, 6].

В исследовании [7] доказано четыре теоремы о недопустимости игнорирования корреляции при расчетах методом PERT.

На базе PERT предлагается модель управления рисками проекта [8], основанная на разделении рисков, которые можно принять, и рисков, которые могут быть предотвращены за определенную цену. Данная модель помогает руководителю проекта решить, какие риски должны быть устранены таким образом, чтобы требования своевременного завершения проекта были бы удовлетворены при минимуме затрат.

В работе [9] рассмотрена модель для сбояв PERT-сетей, в которой минимизируется вероятность наступления пессимистических продолжительностей работ за счет инвестиций дополнительных средств для выполнения критических работ. Результаты применения предлагаемой модели на практике показали сокращение сроков строительства, а также уменьшение величины среднеквадратического отклонения, что приво-

дит к увеличению вероятности окончания проекта в установленные сроки.

В исследовании, проведенном в Норвежском университете науки и технологии [10], предлагается методика контроля проекта с учетом неопределенности в выполнении работ, а в работе [11] рассматривается динамический подход к планированию и контролю проекта, основанный на постоянном генерировании и обновлении данных по проекту. Данная методика представляет собой некоторое расширение PERT, но тем не менее продолжает относиться к планированию проекта, так как подразумевает пересчет PERT-сетей до получения оптимальной плановой продолжительности, который осуществляется до начала проекта.

Отметим, что значительное число исследователей отмечают, что при ходе работ по пессимистическому сценарию необходимы дополнительные затраты для повышения вероятности своевременного завершения проекта. Другими словами, необходимо найти оптимальную точку соотношения продолжительности и стоимости строительства.

Рассмотрим некоторые особенности применения метода PERT для контроля сроков работ и общей продолжительности проекта.

Предположим, что риск-аппетит инвестора позволяет принять решение о старте инвестиционно-строительного проекта, вероятность окончания которого к целевой дате, определенная на основании метода PERT, составляет N , при этом $0 < N < 1$ (для примера установим величину N равной 75 %). Одним из авторов данной статьи был предложен принцип [12, 13], в соответствии с которым во время осуществле-

ния инвестиционно-строительного проекта вероятность его завершения в срок должна равномерно увеличиваться и к моменту наступления целевой даты стремиться к единице. Определять вероятность достижения проекта к целевой дате на каждом из периодов предлагалось пересчетом сроков выполнения оставшихся после даты отчета работ методом PERT. При уменьшении степени неопределенности дисперсия оценок продолжительностей отдельных работ должна уменьшаться, вместе с тем и сами оценки продолжительностей могут быть пересмотрены при получении более точной информации (например, при уточнении прогноза погоды). Таким образом, оценки продолжительностей работ со временем могут изменяться, например, как показано в таблице.

В таблице величины ожидаемой продолжительности t_{ie} и дисперсии работ определены в соответствии со стандартными зависимостями для метода PERT:

$$t_{ie} = \frac{t_{ia} + 4t_{im} + t_{ib}}{6};$$

$$\sigma_i^2 = \left(\frac{t_{ib} - t_{ia}}{6} \right)^2.$$

Предположение о равномерности увеличения вероятности завершения инвестиционно-строительного проекта может считаться верным только в первом приближении. В ряде случаев можно заранее установить точки получения дополнительной информации, наступление которых может дать возможность существенно уточнить и пересмотреть оценки продолжительностей работ. Например, такой точкой может быть дата получения уточненного прогноза погоды. Таким образом, функция вероятности за-

Изменение оценок продолжительностей работы в процессе осуществления инвестиционно-строительного проекта (пример)

Дата отчета, % от продолжительности проекта	Оптимистическая продолжительность t_{ia} , дни	Наиболее вероятная продолжительность t_{im} , дни	Пессимистическая продолжительность t_{ib} , дни	Ожидаемая продолжительность t_{ie} , дни	Дисперсия σ_i^2
0	2	5	10	5,33	1,777
20	2,5	5,5	9	5,58	1,174
40	3	5	8	5,17	0,694
60	3	4,5	7,5	4,75	0,563
80	3,5	4,5	6,5	4,67	0,25
100	–	5,5	–	–	–

вершения проекта в срок $TP(t)$, назовем ее целевой функцией, может быть не возрастающей прямой, а ломаной или даже кривой. Этот факт не отменяет представленные в настоящей статье рассуждения, а дополняет их.

Очевидно, что в процессе выполнения проекта на его отдельных этапах текущая оценка вероятности завершения проекта в срок может незначительно отличаться от целевой функции $TP(t)$. Инвестору необходимо понимать, в каких случаях руководитель проекта оперативно устранит негативные отклонения, а в каких случаях необходимо вмешательство органов управления более высокого уровня. Для этого следует, наряду с целевой функцией, ввести две функции допустимых отклонений: $TP_1(t)$ и $TP_2(t)$. На старте проекта эти функции равны принятой на данном этапе вероятности своевременного окончания проекта N , уменьшенной на некоторую величину допустимого отклонения, например, на 5 и 10 % соответственно, что определяется выбором инвестора и зависит от степени его доверия привлеченному руководителю и команде проекта.

Функция $TP_1(t)$ показывает границу перехода из зеленой зоны в желтую, при этом переход в желтую зону обязывает руководителя проекта разработать план корректирующих мероприятий, а инвестора — принять решения по увеличению бюджета или сокращению содержания проекта.

Функция $TP_2(t)$ показывает границу перехода из желтой зоны в красную, при этом переход в красную зону сигнализирует о существенном снижении вероятности завершения проекта в установленный срок, что должно вызвать более активные действия инвестора (рис. 3).

Рис. 3. Функции вероятностей окончания проекта в установленный срок

На момент утвержденной даты завершения проекта

$$TP(t) = TP_1(t) = TP_2(t) = 1.$$

Проиллюстрируем данные рассуждения на конкретных примерах. На рис. 4 показан характер функции вероятности завершения проекта в утвержденный срок $P(t)$ в случае, когда проект выполняется успешно, на рис. 5 — когда проект своевременно не завершается.

Таким образом, получен алгоритм применения метода PERT для контроля сроков строительного проекта. На основании периодического сбора фактических параметров выполнения проекта и уточнения параметров оставшихся работ можно определять на отдельных этапах вероятность завершения проекта в установленный срок, которая с ходом проекта должна возрастать. На основании полученной величины следует определить, в какой из зон находится инвестиционно-строительный проект, в зависимости от чего принимать дальнейшие решения.

Аналогичные рассуждения можно применить и для прогнозирования своевременности

Рис. 4. Пример функции вероятности завершения проекта в срок в случае успешного осуществления проекта

Рис. 5. Пример функции вероятности завершения проекта в срок в случае неудачного осуществления проекта

го наступления отдельных контрольных точек инвестиционно-строительного проекта — в этом случае изложенный алгоритм требуется применять к соответствующим отдельным фрагментам календарного графика.

Библиографический список

1. Кофман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования. Применение системы ПЕРТ и ее разновидностей при управлении производственными и научно-исследовательскими проектами / пер. с фр. М.: Прогресс, 1968. 181 с.
2. Миллер Р. В. ПЕРТ — система управления / пер. с англ.; предисл. И. М. Сыроежина. М.: Экономика, 1965. 202 с.
3. Kelley J. E., Walker M. R. Critical-Path Planning and Scheduling // Proceeding of the Eastern Joint Computer Conference, Boston, Mass., 1–3 December 1959. Pp. 160–173.
4. Болотин С. А., Климов С. Э. Рациональная адаптация программы Microsoft Project для цели статистического моделирования несвоевременного выполнения работ // Технология и организация строительного производства: межвуз. тематич. сб. тр. СПб.: СПбГАСУ, 2005. С. 109–113.
5. Болотин С. А., Дадар А. Х., Птухина И. С. Совершенствование метода ПЕРТ в статистическом моделировании календарных планов // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 2 (31). С. 132–137.
6. Птухин И. А., Морозова Т. Ф., Ракова К. М. Формирование ответственности участников строительства за нарушение календарных сроков выполнения работ по методу ПЕРТ // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3 (18). С. 57–71.
7. Banerjee A., Paul A. On path correlation and PERT bias // European Journal of Operational Research. 2008. Vol. 189, Issue 3. Pp. 1208–1216.
8. Gładysz B., Skorupka D., Kuchta D., Duchaczek A. Project Risk Time Management — A Proposed Model and a Case Study in the Construction Industry // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 64. Pp. 24–31.
9. Abbasi G. Y., Mukattash A. M. Crashing PERT networks using mathematical programming // International Journal of Project Management. 2001. Vol. 19, Issue 3. Pp. 181–188.
10. Réveillac J.-M. Scheduling with PERT and MPM // Optimization Tools for Logistics. Elsevier Ltd, 2016. Pp. 77–141.
11. Kuklan H., Erdem E., Nasri F., Paknejad M. J. Project planning and control: an enhanced PERT network // International Journal of Project Management. 1993. Vol. 11, Issue 2. Pp. 87–92.

12. Mishakova A., Vakhrushkina A., Murgul V., Sazonova T. Project control based on a mutual application of PERT and earned value management methods // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. Pp. 1812–1817.

13. Mishakova A. V., Vakhrushkina A. V., Anishenko D. R., Tatarkina Yu. A. Program evaluation and review technique as the tool for time control // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 4 (72). С. 12–19.

References

1. Kofman A., Debazey G. *Setevye metody planirovaniya. Primenenie sistemy PERT i ee raznovidnostey pri upravlenii proizvodstvennymi i nauchno-issledovatel'skimi projektami* [Network planning methods. Application of the PERT system and its varieties in the management of production and research projects]. Transl. from French Moscow, Progress Publ., 1968, 181 p.
2. Miller R. V. *PERT — sistema upravleniya* [PERT as a system of management]. Transl. from English. Intr. by Syroezhin I. M. Moscow, Ekonomika Publ., 1965, 202 p.
3. Kelley J. E., Walker M. R. *Critical-path planning and scheduling*. Proceeding of the Eastern Joint Computer Conference, Boston, Mass., 1–3 December 1959, pp. 160–173.
4. Bolotin S. A., Klimov S. E. *Ratsional'naya adaptatsiya programmy Microsoft Project dlya tseli statisticheskogo modelirovaniya nesvoevremennogo vypolneniya rabot* [Rational adaptation of the Microsoft Project program for the purpose of statistical modeling of delayed work performance]. *Mezhvuz. tematich. sb. tr. «Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva»* [Coll. them. sci. works "Technology and organization of construction production"]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2005, pp. 109–113.
5. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Ptukhina I. S. *Sovershenstvovanie metoda PERT v statisticheskom modelirovanii kalendarnykh planov* [Improvement of the PERT method in statistical modeling of calendar plans]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov — Bulletin of Civil Engineers*, 2012, no. 2 (31), pp. 132–137.
6. Ptukhin I. A., Morozova T. F., Rakova K. M. *Formirovanie otvetstvennosti uchastnikov stroitel'stva za narushenie kalendarnykh srokov vypolneniya rabot po metodu PERT* [Formation of responsibility of construction participants for violation of calendar terms of performance of works by the PERT method]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy — Construction of unique buildings and structures*, 2014, no. 3 (18), pp. 57–71.
7. Banerjee A., Paul A. On path correlation and PERT bias. *European Journal of Operational Research*, 2008, vol. 189, iss. 3, pp. 1208–1216.
8. Gładysz B., Skorupka D., Kuchta D., Duchaczek A. Project risk time management — a proposed model

and a case study in the construction industry. *Procedia Computer Science.*, 2015, vol. 64, pp. 24–31.

9. Abbasi G. Y., Mukattash A. M. Crashing PERT networks using mathematical programming. *International Journal of Project Management*, 2001, vol. 19, iss. 3, pp. 181–188.

10. Réveillac J.-M. *Scheduling with PERT and MPM. Optimization Tools for Logistics*. Elsevier Ltd, 2016, pp. 77–141.

11. Kuklan H., Erdem E., Nasri F., Paknejad M. J. Project planning and control: an enhanced PERT network.

International Journal of Project Management, 1993, vol. 11, iss. 2, pp. 87–92

12. Mishakova A., Vakhrushkina A., Murgul V., Sazonova T. Project control based on a mutual application of PERT and earned value management methods. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 165, pp. 1812–1817.

13. Mishakova A. V., Vakhrushkina A. V., Anishenko D. R., Tatarkina Yu. A. Program evaluation and review technique as the tool for time control. *Engineering and construction magazine*, 2017, no. 4 (72), pp. 12–19.