

9.6. ОБ ОЦЕНКЕ ЗНАЧИМОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПРОЕКТОВ

Лесных В.В., д.т.н. профессор, директор центра «Анализ рисков» ООО «Ниигазэкономика»;
Литвин Ю.В., к.э.н., зам. зав. отделом «Анализ рисков нефтегазовых проектов»

Научно-исследовательский институт экономики и организации управления в газовой промышленности

В настоящей работе развивается метод оценки подмножества критических работ проекта, основывающийся на вероятностях нахождения каждой работы на критическом пути и ожидаемых превышениях сроков. Введенный показатель обладает большими возможностями в принятии управленческих решений, и выгодно отличается от показателей по точности оценок, которые были предложены другими авторами.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что одной из ключевых задач современного менеджмента является эффективное управление реализуемыми в их компаниях проектами. При этом многие параметры проектов, такие как сроки и качество, а также наличие необходимого объема финансирования и др. обычно находятся под воздействием разнообразных случайных факторов и событий, слабо предсказуемых на этапе планирования. Зачастую реализация этих событий негативно отражается на конечных результатах проекта.

Процесс разработки и реализации проектов состоит из ряда этапов, на каждом из которых решаются свои совокупности типовых задач. Это позволяет во многом стандартизировать процесс управления проектами, создать методики, облегчающие проведение работ по проектам в целом, а также снизить воздействие негативных случайных событий. Процесс стандартизации, начиная с 1990-х гг., продолжает развиваться и в настоящее время. Желание управлять возникающими неопределенностями и случайными факторами [4], а также последствиями, оказываемыми ими на конечные результаты проекта, привели к тому, что практически каждый из современных стандартов по управлению проектами включает в себя задачи управления рисками. Например, в популярном для российской практики руководстве PmBoK (project management body of knowledge), управление рисками выделено в качестве самостоятельной научной области знаний [6]. Наряду с этим существуют специализированные руководства по управлению рисками, например, PRAM (project risk analysis and management), а также RAMP (risk analysis and management for projects) [20, 21]. Процессы управления рисками нашли свое отражение также в мировых стандартах, таких как ISO 31000, COSO и др. [5, 8].

Многие работы посвящены разработке методик определения оптимального перечня операций проекта, последовательности и взаимосвязанности их выполнения, а также оценке длительности в условиях неопределенностей и рисков для конкретных условий [7, 11]. При этом, как подчеркивает ряд специалистов, наличие реалистичного план-графика, является одним из ключевых факторов для успешной реализации и управления рисками проекта [11].

В процессе развития науки управления проектами были предложены различные подходы к оценке рисков, основывающиеся на анализе сетевых моделей.

Метод критического пути, метод PERT, имитационное моделирование, нечеткие множества, критические цепи и др. нашли широкое применение в современной практике [13, 16, 18, 22, 12, 14, 15]. Отметим, что описанные подходы предполагают наличие фиксированной структуры работ сетевой модели и случайной длительности их выполнения; при этом в рассматриваемых моделях, как правило, отсутствуют вероятностные и условные переходы между ветвями.

Большие сложности анализа сетевых моделей связаны с масштабами оцениваемых систем. В случае небольших проектов менеджмент имеет возможность оценивать риски и управлять всеми работами проекта, в основном, базируясь на интуиции и опыте реализации предшествующих проектов. Однако, оценка рисков средних или больших проектов, а также управление ими ставит перед менеджментом несколько сложных проблем. Одной из них является потребность в выявлении и концентрации внимания на критических работах, задержки в выполнении которых существенно сказываются на сроках завершения проекта в целом. Это позволяет ускорить процессы принятия решений и уменьшить затраты на управления большими проектами. Для решения этой проблемы различными авторами предлагаются соответствующие методики оценки коэффициентов значимости выполнения работ. Однако переход от детерминированных к стохастическим сетям требует развития подходов, учитывающих вероятностный характер времени выполнения работ при различных законах распределения.

В настоящей статье развивается метод оценки подмножества критических работ проекта, основывающийся на вероятностях нахождения каждой работы на критическом пути и ожидаемых превышениях сроков. Введенный показатель обладает большими возможностями в принятии управленческих решений, и выгодно отличается от других по точности проводимых оценок.

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПРОЕКТОВ – ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ СЛУЧАЙ

Одним из широко используемых современных инструментов планирования и контроля выполнения проектов остаются сетевые модели. Известно, что сетевая модель представляет собой граф $G(A, X)$, состоящий из множества вершин \bar{X} , соответствующих событиям проекта, и направленных отрезков (дуг) \bar{A} , соединяющих эти вершины [1]. Дуги соответствуют выполняемым работам. Во многих случаях события могут инициировать одновременно несколько работ, что отражается на графе соответствующим числом дуг. При этом работы будут выполняться параллельно. В случае же последовательного соединения работы будут выполняются одна за другой.

В моделях сетевого планирования дуги могут представлять собой следующие работы проекта:

- (1) действительные работы – операции, требующие для своего выполнения привлечения финансовых или трудовых ресурсов;
- (2) дополнительные ожидания, вызванные задержками или временными прекращениями выполнения работ;
- (3) фиктивные работы, отражающие логическую связь между некоторыми событиями проекта [1, 2].

На рис. 1 представлен упрощенный пример сетевого графа проекта, состоящего из семи событий (1, 3, 5 и др.) и семи работ (1-2, 2-3, 4-5 и др.).

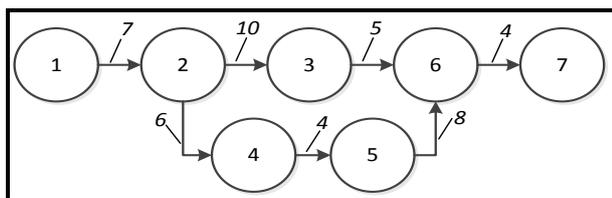


Рис. 1. Пример детерминированного сетевого графа реализации проекта

В данном примере присутствуют как последовательно, так и параллельно выполняемые работы. Так, работы 2-3 и 3-6 связаны между собой последовательно, и, в то же время, параллельно с работами 2-4, 4-5 и 5-6. Анализ последовательно – параллельных связей между работами проекта позволяет получить ряд интересных для практики выводов относительно раннего и позднего времени начала и завершения каждой из них, наличия доступных резервов времени и др. Алгоритмы расчета коэффициентов, позволяющих оценивать перечисленные характеристики, достаточно подробно описаны в современной литературе [1-30] и, поэтому в настоящей статье детально не рассматриваются.

Ключевой характеристикой любой работы является ее длительность, т.е. время, которое проходит между событиями начала и завершения. Кроме длительности, работы могут характеризоваться и другими параметрами:

- стоимость;
- последовательность реализации;
- трудозатраты;
- ресурсы;
- задержки времени выполнения и др.

Длительности выполнения работ на рис. 1 показаны числами над соответствующими стрелками и измеряются в днях. Так, например, длительность работы 1-2 составляет семь дней, а работы 3-6 – пять дней и т.д. В рассматриваемом сетевом графе время выполнения каждой работы задается числом, выражающим ожидания относительно среднего времени ее завершения; в дальнейшем такой граф будем называть детерминированным. Если же время выполнения хотя бы одной работы задано двумя и более значениями с соответствующими вероятностями, то такой граф будем называть стохастическим [1].

Ключевым понятием любой детерминированной сети является критический путь, под которым понимается последовательность работ и событий, требующая наибольшего времени выполнения [1]. Критический путь определяет длительность выполнения проекта. Таким образом, работы, лежащие на критическом пути, имеют наибольшую важность для своевременной реализации проекта, так как этот путь обладает нулевым запасом времени, а превышение длительности выполнения любой из работ ведет к увеличению сроков проекта. Из рис. 1 следует, что рассматриваемый граф содержит два пути: 1, 2, 3, 6, 7 и 1, 2, 4, 5, 6, 7. Длительность первого пути составляет $7 + 10 + 5 + 4 = 26$ дней, а второго 29 дней. Таким образом, второй путь является критическим, а работы, принадлежащие этому пути, обладают нулевым запасом времени. При этом первый путь обладает запасом времени в 3 дня.

Одним из возможных направлений оценок сетевых моделей является анализ критичности выполнения работ [1, 2, 9]. Критичность используется для того, чтобы обратить внимание менеджмента на работы, изменение времени выполнения которых в наибольшей степени влияет на итоговую длительность проекта. В [1, 2] предлагается проводить анализ критичности путем оценки коэффициента напряженности k_n по следующему алгоритму:

- выделить критический путь, т.е. последовательность работ, обладающих нулевым запасом времени;
- определить длительность максимального пути $t[L(i, j)_{max}]$ проходящего через работу (i, j) ;
- разделить длительность критического пути на две части: $t'(i, j)_{max}$ – суммарная длительность работ, лежащих как на критическом пути, так и на $L(i, j)_{max}$; $t''(i, j)_{max}$ – суммарная длительность работ, лежащих на критическом пути, и не принадлежащих $L(i, j)_{max}$;
- для работы, находящейся между событиями (i, j) , рассчитать «коэффициент напряженности»:

$$k_n(i, j) = \frac{t[L(i, j)_{max}] - t'_{кр}(i, j)_{max}}{t''_{кр}(i, j)_{max}}. \quad (1)$$

Числитель (1) представляет собой суммарную длительность участка $L(i, j)_{max}$, не принадлежащего критическому пути, а знаменатель – длительность участка критического пути, не совпадающего с $L(i, j)_{max}$. Таким образом, k_n показывает относительный резерв времени, доступный для использования каждой из работ, не лежащей на критическом пути, и принадлежащей $L(i, j)_{max}$. Для работ критического пути, k_n полагается равным единице. При этом можно выделить несколько критических зон, которые легко использовать на практике для определения важных с точки зрения управления работ. Зоны выделяются исходя из целей, ограничений и других особенностей реализуемого проекта. В качестве примера выделим три зоны, приведенные в [1, 2]: пусть все работы критического пути, а также те, у которых $k_n \geq 0,8 - 0,9$ составляют критическую зону и требуют максимального внимания со стороны менеджмента. Работы, у которых $k_n \leq 0,5 - 0,6$ составляют зону резервов. Оставшиеся работы относят к промежуточной зоне. Отметим, что границы изменения k_n принятые в настоящей работе, условны, и могут быть пересмотрены.

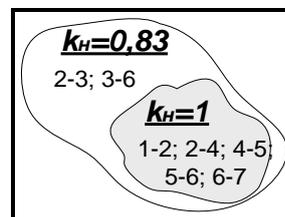


Рис. 2. Значения коэффициентов напряженности

На рис. 2 представлены результаты расчетов коэффициента k_n представленного выше сетевого графа. Из полученных результатов следует, что у работ 2-3 и 3-6 коэффициент напряженности меньше единицы, что позволяет отнести их к промежуточной зоне. Кроме того, в представленном графе отсутствует зона резер-

вов (т.е. работы с $k_n \leq 0,5 - 0,6$), а большинство работ лежит на критическом пути.

Это позволяет сделать вывод о хорошей сбалансированности представленной сетевой модели: при реализации проекта, работы будут выполняться одна за другой, а параллельные связи между группами работ реализовываться с минимальными резервами времени по отношению друг к другу. Таким образом, анализ коэффициента напряженности k_n позволил:

- идентифицировать наиболее важные с точки зрения управления работы, а также работы, близкие к критической зоне;
- выделить зону возможных резервов;
- оценить степень сбалансированности план-графика (в идеальной сетевой модели у всех работ $k_n = 1$);
- определить пути возможного перераспределения ресурсов от менее напряженных работ к более напряженным, обеспечивая рост сбалансированности сети и снижение общих рисков выполнения проекта и др.

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПРОЕКТОВ – СТОХАСТИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Далее будем рассматривать сетевые модели, в которых длительности выполнения работ являются случайными величинами с дискретной структурой¹. Определим среднюю длительность выполнения каждой работы, а также рисковые события, способные изменить время их реализации. При этом будем рассматривать рисковое событие как исключительно негативное, т.е. увеличивающее длительность работы [4]. Внесем в представленную на рис. 1 сетевую модель новый фиктивный тип работ – задержки (увеличение длительности выполнения работ по сравнению со средними значениями) за счет рисковых событий. Времена задержек также являются дискретными случайными величинами. Полученный в результате граф представлен на рис. 3.

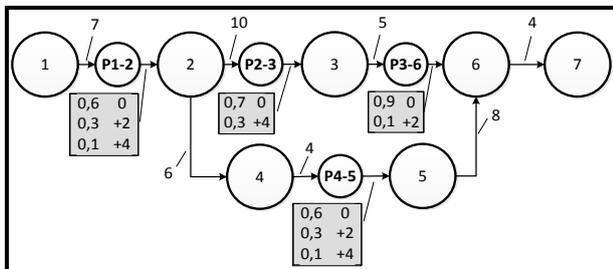


Рис. 3. Пример сетевого графа с фиктивными узлами

Из приведенного рисунка следует, что у работ 1-2, 2-3, 3-6, 4-5 существуют риски превышения сроков. Так, например, ожидается, что работа 1-2 будет выполняться 7 дней. Однако существует вероятность 0,3 того, что в результате реализации рискового события (или их совокупности) длительность работы увеличится на два дня, и с вероятностью 0,1 длительность работы увеличится на четыре дня. Аналогичные комментарии можно сделать и по другим работам проекта.

Из представленного на рис. 3 графа также следует, что реализация не всех работ сопровождаются рисковыми

событиями. Например, длительность работ 2-4 и 5-6 является детерминированной и составляет шесть и восемь дней соответственно. Отметим, что подобная ситуация достаточно часто встречается на практике. Например, ряд строительных работ, таких как выезд бригады на объект, подготовка котлована, возведение стен и др. может реализовываться с определенными задержками, вызванными природно-климатическими, организационными и другими причинами. В то же время проведение тендера, сдача выполненной документации заказчику и отчетности в налоговые органы обычно строго регламентированы. Таким образом, у некоторых работ проекта, вероятность превышения сроков выполнения настолько мала, что длительности таких операций можно приближенно положить равным их средним значениям.

Одной из важных задач, возникающих на этапе анализа стохастических сетевых моделей, является оценка распределения итоговой длительности проекта в зависимости от длительностей составляющих этот проект работ. Рассмотрим два способа решения этой задачи. В первом случае, используя алгоритм Мартина [17], реализуется метод последовательной дискретной свертки, позволяющий перейти от множества последовательных – параллельных работ с различными распределениями длительности к одной эквивалентной работе с итоговым распределением длительности.

Для случая дискретных распределений, приводимые в алгоритме Мартина формулы преобразуются в следующий вид:

1. Для последовательно соединенных работ (рис. 4):

$$f_{jk}(t) = \sum_{l=0}^t p_{ij}(l) * p_{jk}(t-l) = f_{ij} * f_{jk}(t), \quad (2)$$

где $f_{jk}(t)$ – вероятности распределения длительности последовательно выполняемых работ ij и jk , $p_{ij}(l)$ – вероятность того, что работа, лежащая между событиями i и j , примет значение l ;

2. Для параллельно-соединенных работ (рис. 5):

$$f_{jk}(t) = f_{ij}(t) \sum_{l=0}^t f_{jk}(l) + f_{jk}(t) \sum_{l=0}^{t-1} f_{ij}(l). \quad (3)$$

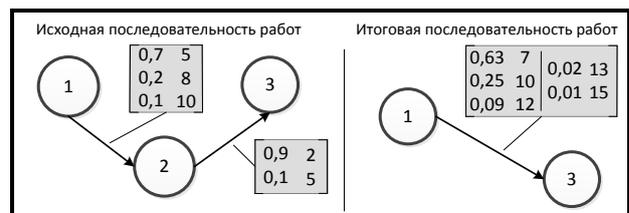


Рис. 4. Пример оценки времени выполнения последовательно-соединенных работ

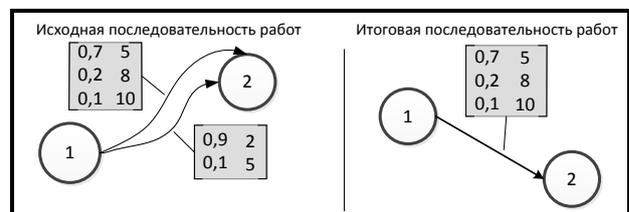


Рис. 5. Пример оценки времени выполнения параллельно-соединенных работ

Результаты последовательно-параллельной свертки графа, представленного на рис. 3, приведены ниже

¹ Дискретную структуру используем в целях наглядности представления.

(рис. 6). Из полученных результатов следует, что существует лишь один шанс из пяти, что проект будет выполнен в установленные сроки. Кроме этого, существует ~30% вероятности того, что итоговое превышение длительности составит не более пяти дней, и ~50% вероятность того, что итоговое превышение длительности составит от пяти до 16 дней. Таким образом, рассматриваемый проект обладает значительными рисками превышения сроков.

Для преодоления этой проблемы требуется решение следующих задач:

- идентификации работ, оказывающих наибольшее воздействие на итоговое превышение сроков выполнения проекта;
- разработки мероприятий, направленных на уменьшение сроков выполнения критически важных работ проекта.

Для проверки правильности выполненных расчетов и предложенных формул (2-3) была разработана имитационная модель, повторяющая процесс реализации проекта для исходных данных о длительности работ, представленных на рис. 2. Полученные результаты представлены на рис. 6. Как видно из графика, результаты имитации хорошо совпали с теоретическими значениями.

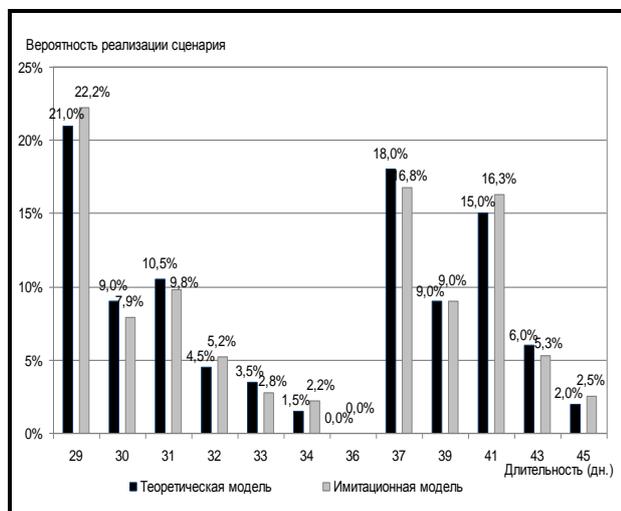


Рис. 6. Накопленные вероятности распределения длительности выполнения проекта

Отметим, что для полностью случайной сетевой модели нельзя ввести понятие критического пути, так как с определенной вероятностью любой путь может стать критическим. Для рассматриваемых в настоящей работе сетевых моделей с ограниченной дискретной структурой времени выполнения работ из множества всех путей \bar{L} можно выделить подмножество критических путей $\bar{L}_{кр}$. Очевидно, что за счет ограничений в дискретной структуре времени выполнения работ, не каждый из путей, принадлежащих множеству \bar{L} , будет также принадлежать и подмножеству $\bar{L}_{кр}$. Таким образом, $\bar{L}_{кр} \leq \bar{L}$. Если же распределения длительностей выполнения работ задаются не только как превышения над средним значением, но и как уменьшения (ускорение выполнения работ), то подмножество $\bar{L}_{кр}$, удастся разбить на три подмножества: $\bar{L}_{кр,1}$ – подмножество критических путей, для которых итоговая длительность

больше $\bar{L}_{кр,сп}$; $\bar{L}_{кр,2}$ – подмножество критических путей, для которых итоговая длительность меньше $\bar{L}_{кр,сп}$ и $\bar{L}_{кр,сп}$. Причем $\bar{L}_{кр} = \bar{L}_{кр,1} + \bar{L}_{кр,сп} + \bar{L}_{кр,2}$.

Для идентификации перечня наиболее важных работ, т.е. тех которые создают наибольшее превышение длительности проекта, воспользуемся описанным ранее коэффициентом напряженности k_n . Алгоритм оценки данного коэффициента для стохастической сети представлен в [1]. Результаты моделирования k_n представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ k_n ДЛЯ РАБОТ 2-3, 3-6

Коэффициент напряженности	Вероятность, %
15/30	12,6
17/30	1,4
15/26	18,9
19/30	5,4
17/26	2,1
21/30	0,6
19/26	8,1
21/26	0,9
15/18	31,5
17/18	3,5
1	15

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ k_n ДЛЯ РАБОТ 2-4, 4-5, 5-6

Коэффициент напряженности	Вероятность, %
18/21	1,5
18/19	13,5
1	85,0

Работы 1-2 и 6-7 получили значение k_n , равное единице для всех возможных вариантов реализации проекта. Напряженность последовательно выполняемых работ 2-3, 3-6, а также 2-4, 4-5, 5-6 оказалась одной и той же. У работ 2-3 и 3-6 коэффициент напряженности находится в критической зоне ($k_n \geq 0,9$) в 18,5% случаев, и в зоне резервов ($k_n \leq 0,6$) в 32,9% случаев. Аналогичные выводы можно сделать и по работам 2-4, 4-5, 5-6. Отметим ряд проблем, с которыми приходится сталкиваться при использовании приведенного коэффициента k_n .

1. Из полученных в табл. 1, 2 оценок следует, что работы 1-2, 6-7 имеют наибольшее значение k_n , равное единице, для любых сценариев реализации проекта. Это следует из того, что указанные работы всегда лежат на критическом пути. Однако, как следует из рис. 2, работа 1-2 является случайной, в то время как работа 6-7 – детерминированной (длительность ее реализации фиксирована и составляет 4 дня). Таким образом, с точки зрения критичности, значимость работы 6-7 должна быть равна нулю т.к. ни в одном из сценариев реализации проекта превышение общих сроков не связано с работой 6-7.
2. Аналогичная проблема наблюдается и при анализе работ 2-4, 5-6 и 4-5. Несмотря на то, что их напряженность не всегда равна единице, как и в предыдущем случае, значения коэффициента k_n для указанных работ совпадают. Однако работы 2-4 и 5-6 – детерминированные, в то время как работа 4-5 случайная. Поэтому важность первых двух работ должна быть равна нулю.

3. Рассмотрим работы 2-3 и 3-6. Коэффициент напряженности этих работ принимает различные значения, однако величины K_n и вероятности их появления не изменяются при переходе от работы 2-3 к работе 3-6. Т.е. при принятии управленческих решений, базирующихся на коэффициенте напряженности, значимость работ 2-3 к 3-6 будет одной и той же. При этом среднее превышение длительности работы 2-3 составляет 1,2 дн., а ее стандартное отклонение $\pm 1,83$ дн. В тоже время, для работы 3-6 среднее превышение длительности составляет 0,2 дн., а ее стандартное отклонение $\pm 0,60$ дн. Таким образом, с точки зрения управления эти работы различны, а рассчитанные значения коэффициента напряженности не позволяют принять верные управленческие решения.

В настоящее время многими авторами предложены альтернативные подходы к оценке критичности выполняемых работ. Так, в [10] предложено использовать коэффициент критичности пути (path criticality index, **PCI**) определяемый следующим образом для заданной стохастической сети: пусть $\Pi = \{\pi_n\}_{n=1}^r$ – множество всех возможных путей стохастической сети, а $L(\pi_n)$ – длительность пути π_n . Тогда $L(\pi_n) = \sum_{i \in \pi_n} d_i$, где d_i – длительность работы i , лежащей на пути π_n . В этом случае коэффициент **PCI** будет вычисляться по формуле:

$$PCI(\pi_n) = Pr[L(\pi_n) \geq L(\pi_k), \forall \pi_k \in \Pi, \pi_n \neq \pi_k] \quad (4)$$

Зная коэффициент критичности **PCI** каждого пути, а также множество всех путей, включающих анализируемую работу, определяют коэффициент критичности работы (activity criticality index, **ACI**) путем суммирования **PCI** всех путей, содержащих оцениваемую работу. Учитывая сложность вычисления коэффициентов **PCI** и **ACI**, для их оценки обычно используют метод Монте-Карло. Ключевым недостатком такого подхода является отсутствие учета последствий превышения длительности различных работ на сроки выполнения проекта в целом, т.е. две последовательные работы проекта будут иметь одинаковые значения **ACI** вне зависимости от абсолютных превышений длительности. Существуют и другие проблемы использования **PCI** и **ACI** изложенные в [24].

В работе [24] для оценки критичности работ проекта предложен индекс значимости (significance index, **SI**), вычисляемый для произвольной работы (i, j) по следующей формуле:

$$SI(i, j) = E\left[\frac{y_{ij}}{y_{ij} + TF(ij)} * \frac{T}{E[T]}\right], \quad (5)$$

где

$TF(ij)$ – полный резерв, $TF(ij) = t_j(L) - t_i(E) - y_{ij}$;

y_{ij} – длительность работы ij ;

T – время выполнения проекта;

$E[T]$ – среднее ожидаемое время выполнения проекта;

$t_j(L)$ – позднее время выполнения работы ij ;

$t_i(E)$ – раннее время выполнения работы ij .

К недостаткам коэффициента **SI** относят сложности точной оценки величины $E[T]$, а также ошибочные выводы о значимости работ проекта для случая их последовательного выполнения [9].

В работе [25] предложен индекс критичности (criticality index, **CRI**), основывающийся на оценках корреляции между длительностью работы i (в статье работы

определяются одним индексом) и общей продолжительностью выполнения проекта. Расчет **CRI** производится по формуле:

$$CRI = [Corr(d_i, T)] \quad (6)$$

где

d_i – длительность выполнения работы i ;

T – общая длительность проекта.

К недостаткам **CRI** относят предположение о линейности связи между длительностями анализируемой работы и проекта в целом, а также учет лишь отклонений длительности выполнения работы без анализа того, лежит ли она в момент оценки на критическом пути [9].

Отдельную группу подходов к оценке значимости работ проекта составляют методы под общим названием «анализ чувствительности» [9]. При их использовании оценивают воздействие, оказываемое изменением средней продолжительности выполнения отдельной задачи проекта на среднюю длительность проекта. В методах анализа чувствительности типа «отклонение-среднее» оценивают степень чувствительности, среднего времени выполнения проекта к различным отклонениями длительности отдельной задачи. При этом рассчитывается специальный коэффициент «измерения весомости неопределенности» (uncertainty importance measure, **UIM**):

$$UIM(i) = \frac{D_{T,i}}{D_T}, \quad (7)$$

где

$D_{T,i}$ – отклонение общих сроков выполнения проекта, вызванное изменением длительности выполнения работы i ;

D_T – общее отклонение сроков выполнения проекта.

Из проведенного обзора следует, что большинство из указанных коэффициентов обладают существенными недостатками и в ряде случаев дают некорректную оценку времени выполнения работ проекта, а значит, переключают внимание на малозначимые и несущественные операции. Все это приводит к необходимости разработки нового коэффициента оценки значимости выполнения работ.

КОЭФФИЦИЕНТ УТОЧНЕННОЙ ОЦЕНКИ КРИТИЧНОСТИ ЗНАЧИМОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Для оценки значимости выполнения работ проекта введем уточненный коэффициент критичности (θ_{ij}), основанный на анализе условного математического ожидания превышения сроков выполнения проекта. Для расчета данного коэффициента используется имитационная модель, при помощи которой для заданного числа итераций N производится оценка длительности выполнения каждой работы и итоговых сроков реализации проекта. По полученным результатам строится график (рис. 7), на оси **OY** которого отражается вероятность того, что рассматриваемая работа окажется на критическом пути при различных длительностях ее выполнения (ось **OX**). Уточненный коэффициент критичности определяется как условное математическое ожидание того, что сроки выполнения работ будут превышены. Для данных, представленных

на рис. 7, коэффициент уточненной оценки критичности будет рассчитываться по формуле:

$$\theta_j = 0,7 * (7 - 5) + 0,55 * (10 - 5) + 0,6 * (14 - 5) = 8,35 \text{ дн.} \quad (8)$$

Отметим, что при таком представлении удастся учесть две особенности:

- по аналогии с введенным выше коэффициентом напряженности k_n , определить степень критичности выполнения работы, т.е. оценить вероятность того, что работа окажется на критическом пути;
- учесть, что с увеличением волатильности работы, возрастает и степень оказываемого ею воздействия на итоговый срок проекта.



Рис. 7. Оценка критичности выполнения работы

Алгоритм оценки коэффициента критичности θ_j состоит из следующих шагов.

1. Формирование необходимых для проведения анализа исходных данных:
 - перечня работ проекта и взаимосвязей между ними;
 - распределения вероятностей длительностей выполнения каждой работы проекта.
2. Имитация и получение итоговых распределений длительности выполнения проекта, а также условных вероятностей того, что при определенном значении длительности работа окажется на критическом пути.
3. Оценка коэффициентов критичности выполнения работы θ_j как произведения превышения длительностей выполнения работы над ожидаемыми значениями, на вероятность того, что работа окажется на критическом пути.
4. Ранжирование работ по уточненным коэффициентам критичности θ_j . Принятие управленческих решений, если это необходимо, по работам, обладающим наибольшей критичностью.

Результаты оценок θ_j для некоторых из работ сетевого графа, представленного на рис. 3, приведена в табл. 3.

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ КРИТИЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПРОЕКТА

Номер работы	Длительность выполнения работы, дн.	Вероятность оказаться на критическом пути	Уточненный коэффициент критичности ($\theta_{дн.}$), дн.
1-2	7	0,60	1
1-2	9	0,30	
1-2	11	0,10	
4-5	4	0,35	4,8
4-5	12	0,30	
4-5	16	0,20	
2-3	10	0	0,6
2-3	14	0,15	
5-6	8	0,85	0

Из табл. 4 следует, что работа 4-5 имеет наибольшую критичность. Среднее время превышения длительности выполнения проекта, вызванное с увеличением сроков работы 4-5 составляет 4,8 дн. Работы 1-2, 2-3 и 3-6 обладают меньшей критичностью, однако они также могут влиять на общие сроки завершения проекта. Отметим, что, несмотря на то, что работа 1-2 всегда лежит на критическом пути, $\theta_{12} \ll \theta_{45}$. Это связано с тем, что абсолютные превышения длительности работы 1-2 значительно ниже абсолютных превышений длительности работы 4-5. И, наконец, работы 2-4, 5-6 и 6-7 обладают нулевой критичностью, так как их волатильность равна нулю и, следовательно, эти работы не создают каких-либо превышений сроков выполнения проекта.

Таблица 4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ КОЭФФИЦИЕНТА КРИТИЧНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАЧИМОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПРОЕКТА

Наименование работы	θ , дн.	$\theta_{норм}$
Работа 1-2	1	0,16
Работа 2-3	0,6	0,09
Работа 3-6	0,03	0,00
Работа 2-4	0	0
Работа 4-5	4,8	0,75
Работа 5-6	0	0
Работа 6-7	0	0

Таким образом, ключевыми источниками возникновения рисков превышения итоговых сроков реализации проекта являются работы 1-2 и 4-5. Именно эти работы требуют наибольшего внимания со стороны менеджмента в процессе реализации проекта. Уровень управленческого воздействия должен определяться исходя из создаваемого этими работами превышения сроков проекта, возникающими при этом штрафными санкциями или другими издержками. Описанная процедура оценки показателя критичности выполнения работ позволяет ответить на вопрос «а что если?». Ответ на этот вопрос позволит оценить итоговые превышения суммарной длительности выполнения работ проекта и вероятности их появления; выделить подмножества работ, оказывающих наибольшее воздействие на суммарную длительность; оценить возникающие при этом штрафные санкции, а также предложить перечень мероприятий, способных снизить (или даже полностью устранить) риски превышения сроков проекта.

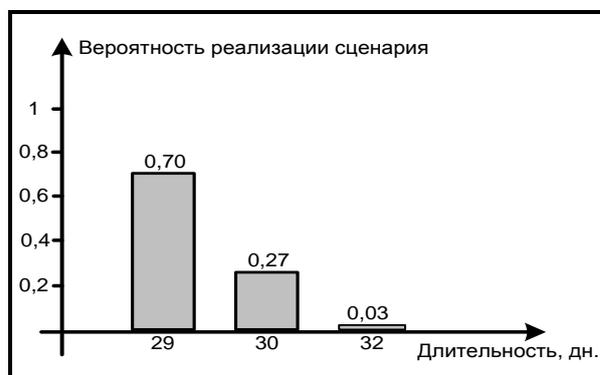


Рис. 8. Накопленные вероятности распределения длительности проекта (после применения мероприятий, снижающих риски проекта)

Заметим, в случае реализации мероприятий, способных снизить неопределенности длительностей выполнения критичных работ, удается также значительно сузить итоговое распределение длительности выполнения проекта. Результаты моделирования итоговой длительности проекта для случая отсутствия неопределенностей в реализации работ 1-2 и 4-5 приведены на рис. 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важным методическим аспектом эффективного управления проектом является учет неопределенности и рисков, возникающих на различных этапах его реализации. Развитие современной теории управления рисками во многом диктуется соответствующими стандартами, а также использованием различных экономико-математических моделей оценки и управления рисками. Учет неопределенных событий позволяет менеджменту вовремя отреагировать на возникающие угрозы, создать необходимые резервы или воспользоваться появляющимися возможностями.

Одной из ключевых составляющих процесса планирования проекта является учет неопределенностей в длительности выполнения работ. Различные подходы позволяют получать оценки неопределенности итоговой длительности работ проекта, а также оценивать уровень критичности их выполнения. Однако большинство из этих подходов в ряде случаев дают некорректные результаты важности своевременного выполнения работ проекта. Существенную помощь в решении этой проблемы оказывает имитационное моделирование, позволяющее «проиграть» процесс реализации проекта, и оценить тем самым, итоговые превышения сроков его выполнения. В настоящей работе предложен новый коэффициент уточненный коэффициент критичности выполнения работ, частично снимающий проблемы, присущие подобным коэффициентам, предложенным в других источниках. Использование данного коэффициента и методики его расчета позволяют оценить важность работ для своевременного выполнения проекта.

В статье приведен численный расчет по данному коэффициенту, результаты которого хорошо соотносятся с интуитивными предположениями относительно ранжирования важности работ условного проекта.

Литература

1. Голенко Д.И. Стохастические методы сетевого планирования в управлении [Текст] / Д.И. Голенко. – М.: Наука, 1968.
2. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками [Текст] / Д.И. Голенко-Гинзбург. – Воронеж: Научная книга, 2010. – 284 с.
3. Математические основы управления проектами [Текст] / под ред. Буркова В.Н. – М.: Высшая школа, 2005. – 422 с.
4. Риск-менеджмент инвестиционного проекта [Текст] / под ред. М.В. Грачевой. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. – 544 с.
5. Риск-менеджмент – принципы и руководства [Электронный ресурс] : междунар. стандарт ISO 31000. Режим доступа: <http://www.minfin.ru>.
6. Руководство к своду знаний по управлению проектами (РМВоК) [Текст]. 2004. 388 с.
7. Atkinson R., Crawford L. et al. Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management // International journal of project management. 2006. Vol. 24(8). p. 687-698.
8. Committee of sponsoring organizations of the treadway commission (COSO). Enterprise risk management – integrated framework (ERM), 2004.
9. Demeulemeester E., Herroelen W. Project scheduling. A research handbook // International series in operations research & management science. Col. 49.
10. Elmaghraby S.E. On criticality and sensivity in project networks // European journal operational research. 2000. Vol. 127. p. 220-238.
11. Fortune J., White D. Framing of project critical success factors by a systems model // International journal of project management. 2006. Vol. 24(1). p. 53-65.

12. Goldratt E.M. Critical chain. Great Barrington, The North River Press Publishing Corporation. 1997.
13. Kelley J. E. Critical-path planning and scheduling: mathematical basis // Operations research. 1961. Vol. 9. p. 290-320.
14. Kuchta D. Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment // International journal of project management. 2001. Vol. 19(5). Pp. 305-310.
15. Liberatore M.J. Project schedule uncertainty analysis using fuzzy logic // Project management journal. 2002. Vol. 33(4). P. 15.
16. Malcolm D.G., Roseboom J.H., Clark C.E., Fazer W. Application of a technique for research and development program evaluation // Operations research. 1959. Vol. 7(5). p. 646-669.
17. Martin J.J. Distribution of the time through a directed acyclic network // Operation research. 1965. Vol. 13,1.
18. Miller R.W. How to plan and control with pert // Harvard business review. 1962. p. 93-104.
19. Moder J. Network techniques in project management // Project management handbook. New York, 1988. Van Nostrand Reinhold.
20. Project risk analysis and management guide (pram (2004)). High Wycomb, association for project management (APM).
21. Risk analysis and management for projects (ramp (2005)). London, Institute of civil engineering and the faculty and institute of actuaries, Thomas Telford.
22. Van Slyke R.M. Monte Carlo methods and the pert problem // Operations research. 1963. Vol. 11(5). Pp. 839-860.
23. Ward S., Chapman C. Transforming project risk management into project uncertainty management // International journal of project management. 2003. Vol. 21(2). Pp. 97-105.
24. Williams T.M. Practical use of distributions in network analysis // Journal of the operational research society. 1992. Vol. 43. p. 265-270.
25. Williams T.M. Criticality in stochastic networks // Journal of the operational research society. 1992. Vol. 43. Vol. 4. p. 353-357 p.

Ключевые слова

Проекты; управление проектами; работы проекта; важность работ проекта; оценка важности; дискретные распределения выполнения работ проекта.

Лесных Валерий Витальевич

Литвин Юрий Васильевич

РЕЦЕНЗИЯ

Предложенная к публикации статья связана с развитием методов оценки весомости работ в сетевых моделях управления проектами. В статье авторы рассмотрели существующие подходы к управлению проектами и определили значимость используемых при этом работ и подходов. Основное внимание уделено проектам, находящимся под влиянием внутренних и внешних неопределенностей, создающих риски их своевременного завершения. Результаты проведенного анализа расширяют возможности существующих методов оценки важности работ и их влияния на принимаемые управленческие решения в условиях рисков.

В статье сформулирован новый показатель критичности выполнения работы и разработана методика, позволяющая проводить оценки критичности работ в реализуемых проектах. Адекватность предложенного подхода оценивалась путем сравнения полученных оценок с результатами имитационного моделирования. Проведенные расчеты и результаты имитационного моделирования показали высокое совпадение результатов выполненных приближенных аналитических оценок. При этом в имитационной модели частично были сняты присущие аналитическим оценкам ограничения. Выполненные оценки проектов с помощью разработанного подхода хорошо согласуются с мнениями специалистов, проводящих ранжирование соответствующих проектов на практике. Статья расширяет возможности существующих методов оценки проектов и их рисков, является полезной для менеджмента, осуществляющего управление и рассчитывающего эффективность и риски инвестиционных и других проектов.

Считаю, что статья «Об оценке значимости выполнения работ проектов» авторов Лесных В.В., Литвина Ю.В. имеет научную и практическую значимость и рекомендуется к опубликованию.

Парфенова М.Я., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Математика и информатика» Московского университета им. С.Ю. Витте