

Календарное планирование инвестиционных проектов с вероятностными временными параметрами работ

Кузьмич П.М., Махнист Л.П., Михайлова Н.В.
Брестский государственный технический университет
г. Брест, Республика Беларусь

Реферат

Исследованы методы, которые учитывают влияние случайных факторов на продолжительности работ (процессов) посредством использования их вероятностных оценок. Установлено, что разбивка вероятностей выполнения работ в заданные сроки на диапазоны (4,6 или 12) существенно не влияет общие сроки выполнения комплекса работ. Выполнены расчеты календарных графиков.

Ключевые слова: календарный план, продолжительность, случайное число, вероятностные временные параметры, нормальное распределение, организационный уровень.

Введение

Широкому применению календарного планирования в строительстве, капитальном ремонте, реконструкции препятствует ряд проблем. Одной из них является дискретное задание продолжительностей работ. Практика планирования основана на расчете продолжительностей работ исходя из их трудоемкости (машиноемкости) и (или) принятого количества рабочих (машин). В то же время на продолжительность работ влияют различные дестабилизирующие факторы, которые приводят к срыву планируемых сроков выполнения работ. Срыв сроков отдельных работ приводит к тому, что календарный план теряет свой смысл. Требуется его корректировка, изменение сроков выполнения работ, загрузки машин и механизмов, использования рабочей силы. Вместе с тем следует признать, что полное совпадение действительных продолжительностей и сроков выполнения работ с заложенными в календарном плане является скорее редчайшей

случайностью, чем признаком «высококачественного» планирования.

В известном методе PERT используются три длительности работ: оптимистическая, пессимистическая и наиболее ожидаемая. Предполагается, что для целей календарного планирования они известны (заданы заранее). Но это в ряде случаев требует привлечения экспертов или сбора статистической информации, что не всегда выполнимо. Более доступным является метод, изложенный в [1]. Автор предлагает учитывать влияние на продолжительность работ многочисленных дестабилизирующих факторов посредством использования вероятностных оценок продолжительности выполнения работ (процессов). Для этих целей в зависимости от организационного уровня исполнителей (высокий, средний, низкий) установлены законы распределения продолжительности работ: нормальный для исполнителей высокого уровня, усеченный нормальный для исполнителей среднего уровня и равномерного распределения для исполнителей низкого организационного уровня.

Установлено, что для исполнителей высокого организационного уровня продолжительность работ находится в пределах от 0,5 t до 1,5 t с математическим ожиданием 1,0 t. Далее в работе рассчитываются равновероятностные значения t центров тяжести равных площадей $0,0833 \Phi_0$: 0,5 t; 0,698 t; 0,789; 0,857 t; 0,917 t; 0,971 t; 1,029; 1,083 t; 1,143 t; 1,211 t; 1,302 t; 1,5 t.

При таком подходе конечных результат зависит лишь от организационного уровня исполнителей и исключается влияние случайных факторов на продолжительность работ которые могут иметь место в не зависимости от организационного уровня исполнителей.

Расчет календарных планов с вероятностными временными параметрами с учетом случайных факторов

С учетом изложенного, в данной работе предлагается предлагается:

– в качестве математического ожидания продолжительности работы принимать ее значение, определенное традиционным способом;

– сроки свершения событий назначаем исходя из предположения, что они также находятся в диапазоне $0,5T^c - 1,5T^c$, полагая, что события не обязательно являются результатом окончания одной или нескольких работ и мгновенного начала последующих работ, а подчиняются тем же закономерностям, что и работы и так же могут оказаться под влиянием случайных факторов.

– при помощи функции возвращения обратного нормального распределения, указав среднее и стандартное отклонение, находить значения на границах равных площадей. В качестве таковой в данной работе используется статистическая функция Microsoft Excel НОРМОБР в формате НОРМОБР (вероятность; среднее; стандартное откл.);

– используя генератор случайного числа, в каждом из диапазонов выбирается произвольное значение t . Для этих целей в настоящей работе использована функция Microsoft Excel СЛЧИС в формате $(T_{\max} - T_{\min}) * \text{СЛЧИСЛ}() + T_{\min}$. В качестве T_{\max} и T_{\min} берем большее и меньшее значения продолжительностей (сроков свершения событий) на границах диапазонов.

При расчете сроков свершения каждого последующего события принималось максимальное из значений: сроков свершения предшествующих событий или сумм сроков наступления предшествующих событий и продолжительностей входящих в данное событие работ, или продолжительностей выходящих из первого события работ, т.е.

$$T_n = \max\{T_{n-1}, t_{1,n}; (T_{n-1} + t_{n-1,n})\} \quad (1)$$

В данной работе на примере исходной сетевой модели (рис. 1) исследуется несколько вариантов построенных на вышеизложенном подходе.

Изначально исходим из того, что продолжительность работ находится в пределах $0,5 t$ до $1,5 t$ (т. е. исполнители этих работ имеют высокий организационный уровень)

Далее разбив вероятность наступления продолжительности каждой из работ или срок наступления события на 4 диапазона в пределах от $0,1$ до $0,9$, определим суммарную продолжительность выполнения комплекса работ.

Свершение события 2 является следствием окончания работы 1-2. Расчет вероятного наступления события 2 (выполнения работы 1-2) приведен в таблице 1

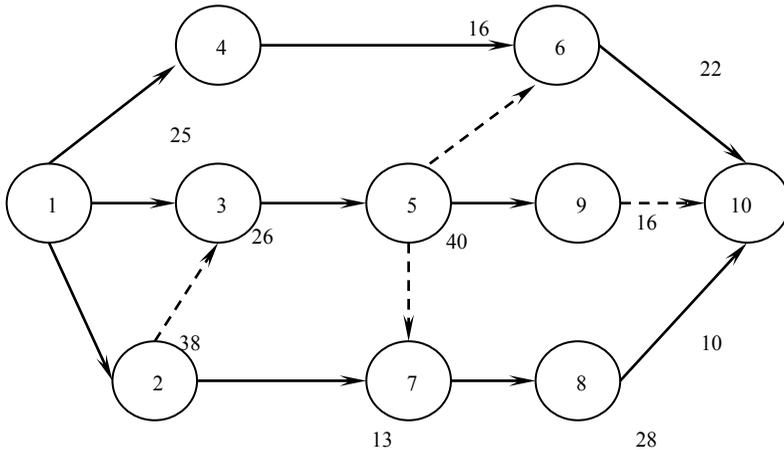


Рисунок 1 – Исходная сетевая модель с детерминированными временными параметрами

Таблица 1 - Расчет вероятного срока наступления события 2 (выполнения работы 1-2)

$$T=38, \sigma = 15$$

Вероятность	Значения T на границе	СЛЧИСЛ в диапазоне
0.1	18.77	27
0.3	30.13	
0.3	30.13	32
0.5	38	
0.5	38	39
0.7	45.86	
0.7	45.86	55
0.9	57	

$$T_2 = 38$$

Наступление события 3 является следствием свершения события 2 и завершения работы 1-3. Из вероятных сроков наступления события 2: 27;32;39;55 и завершения работы 1-3: 20;25;26;34 составляем таблицу 16 вероятных значений наступления события 3 (табл.2)

Таблица 2 – Расчет вероятных сроков наступления события 3

27	27	27	34
32	32	32	34
39	39	39	39
55	55	55	55

$$T_3=39$$

Наступления события 4 есть следствие завершения работы 1-4. Расчет вероятного наступления события 4 аналогичен расчету для события 2. В результате $T_4=24$.

Совершение события 5 является суммой вероятностных наступлений совершения 3 и завершения работы 3-5:

Вероятностные значения наступления события 3:28;33;39;55.

Вероятностные значения завершения работы 3-5: 27;33;42;57.

Тогда вероятностные значения наступления события 5 сведем в таблицу 3

Таблица 3 – Расчет вероятных сроков наступления события 5

+27	55	60	66	82
+33	61	66	72	88
+42	70	75	81	97
+57	85	90	96	112

Расчеты по аналогичным схемам выполним и для всех последующих событий.

Тогда в результате получим общую продолжительность выполнения всего комплекса работ равную 122 к. е., т. е. имеет место увеличение продолжительности на 5 % (6 к. е.). Тем самым

мы в определенное степени учли влияние возмущающих факторов как на продолжительность работ, так и событий являющихся следствием окончания одних работ и начала других работ.

Следующие два подхода отличаются от предыдущего тем, что вероятность наступления продолжительности каждой из работ или срока наступления события разбиваются на 6 и 12 диапазонов. Результаты вычисления продолжительностей отдельных работ сведены в таблицах 4 и 5.

Продолжительность выполнения работ при разбивке на 6 диапазонов.

Таблица 4 – Результат вычисления продолжительностей отдельных работ

Код работы	Продолжительность отдельной работы						Среднее значение t_{ij}
1-2	22	31	37	42	48	49	40
1-3	16	21	23	29	32	34	28
1-4	17	21	24	27	31	36	24
2-3	Организационная или технологическая зависимость						
2-7	6	9	12	13	16	18	13
3-5	20	31	39	43	47	57	38
4-6	9	12	15	17	20	22	17
5-6	Организационная или технологическая зависимость						
5-7	Организационная или технологическая зависимость						
5-9	10	13	15	16	19	21	16
6-10	14	18	20	23	27	29	23
7-8	15	23	25	28	35	37	27
8-10	6	9	9	11	12	15	10
9-10	Организационная или технологическая зависимость						

Таблица 5 – Продолжительность выполнения работ при разбивке на 12 диапазонов

Код работы	Продолжительность отдельной работы												Среднее значение t_{ij}
	23	25	29	30	35	36	40	42	44	49	51	56	
1-2	23	25	29	30	35	36	40	42	44	49	51	56	39
1-3	15	18	20	21	23	26	27	29	30	32	35	39	27
1-4	13	17	20	20	22	24	26	28	29	32	33	36	26
2-3	Организационная или технологическая зависимость												
2-7	6	7	9	10	10	12	13	13	14	16	17	18	12
3-5	24	26	31	34	36	38	41	43	47	50	53	58	38
4-6	9	10	12	14	15	16	17	18	19	20	22	23	17
5-6	Организационная или технологическая зависимость												
5-7	Организационная или технологическая зависимость												
5-9	9	11	12	14	15	15	16	18	19	20	21	22	16
6-10	13	16	16	18	20	21	23	25	26	28	30	31	22
7-8	16	19	22	24	25	27	29	30	33	34	37	41	29
8-10	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	13	15	10
9-10	Организационная или технологическая зависимость												

Продолжительность выполнения всего комплекса работ при разбивке на 6 диапазонов составит 121 к. е, на 12 диапазонов – 122 к. е., а 4.3 % отклонения от исходного (5 к. е.) и 5 % (6 к. е.) соответственно.

Полученные результаты дают основания полагать, что количество диапазонов (4,6 или 12) не оказывают существенного влияния на общую продолжительность, но приводит лишь к увеличению объема вычислительных операций.

Еще один подход определения планируемой продолжительности выполнения комплекса работ заключается в определении продолжительностей работ и сроков свершения событий в заданных

пределах ($0,5 t \div 1,5 t$) с использованием функции СЛЧИС без разбивки вероятностей наступления на диапазоны.

Алгоритм расчетов в этом случае несколько отличается от ранее использованного и реализуется следующим образом:

1) Продолжительность работ как выходящих из события 1 так и всех последующих определяется как случайная величина в диапазоне от $0,5 t$ до $1,5 t$ с использованием функции СЛЧИС;

2) Срок свершения событий в которое входят работы выходящие из первого события выбирается в диапазоне от $0,5 T^c$ до $1,5 T^c$ по аналогии с п.1, но не менее принятой продолжительности входящей в данное событие работы.

3) Срок свершения последующих событий определяется как сумма сроков свершения предшествующих событий и продолжительностей работ входящих в данное по максимальному значению полученному в соответствии с п. 1 и п.2 для всех входящих в данное событие работ и зависимостей.

Расчеты выполненные в соответствии с вышеизложенным для примера (рис.1) дали следующий результат (табл. 6):

Таблица 6 – Расчет временных параметров для исходной сетевой модели без разбивки вероятностей на диапазоны

	t, Tc	$0,5 t \div 1,5 t$ $0,5 T^c \div 1,5 T^c$	t_{mo} T^c_{mo}
Работа 1-4	25	12.5-37.5	18.5
Работа 1-8	38	19-57	51.5
Работа 1-3	26	13-39	22.5
Событие 2	51.5	25.8-77.2	61.7
Событие 3	22.5	11.3-33.8	32.7
Событие 4	18.5	9.2-27.7	18.5
Работа 2-7	13	6.5-19.5	8.7
Работа 3-5	40	20-60	55.6
Работа 4-6	16	8-24	19.6
Событие 5	88.3	44.1-132.4	118.
Событие 6	38.1	19.0-57.2	$\max\{38.1$ $118.0\}$
	88.3	44.1-132.4	

Событие 7	70.4	35.2-195.6	$\max\left\{\begin{matrix} 70.4 \\ 118.0 \end{matrix}\right.$
	88.3	44.1-132.4	
Работа 5-9	16	8-24	16
Работа 6-10	22	11-33	14.0
Работа 7-8	28	14-42	23.7
Событие 8	141.7	70.8-212.2	$\max\left\{\begin{matrix} 136.2 \\ 141.7 \end{matrix}\right.$
Событие 9	134	67-201	137.5
Работа 8-10	10	5-15	7.9
Событие 10			$\max\left\{\begin{matrix} 132.0 \\ 149.6 \\ 137.5 \end{matrix}\right.$

В данном случае отклонение от исходного варианта составит 33.6 к. е. или 29 %.

Для окончательного вывода о целесообразности рассмотренных методов расчета календарных планов проведены аналогичные для примера изложенного в [1]. При этом получены следующие результаты:

- при разбивке на 4 диапазона общая продолжительность составила 29 к. е. отклонение от исходной в 25 к. е. составляет 4 к. е. или 16 %;

- на 6 диапазонов: продолжительность 31 к. е., отклонение 6 к. е. или 24 %;

- на 12 диапазонов: 30 к. е., отклонение 5 к. е. или 20 %;

- без разбивки на диапазоны выполнено десять независимых расчетов со следующими результатами: 30; 28; 27; 33; 30; 58; 31; 35; 22; 19.

Среднее из них равно 31.3 к. е. отклонение от исходного 6.3 к. е. или 25.2 %

Заключение

Выполненные расчеты по предлагаемой методике приводят к увлечению общей продолжительности комплекса работ по сравнению с исходной при расчете которой продолжительности работ приняты равными t , хотя изначально принят высокий

организационный уровень исполнителей, продолжительность каждой отдельно взятой работы находится в пределах $0,5 t \div 1,5 t$. Как правило, в практике реализации проектов также имеет место увеличение сроков по сравнению с запланированными.

Разбивка вероятностей на диапазоны существенно не влияет на окончательный результат, но увеличение диапазонов дает увеличение трудоемкости расчетов календарного плана. Поэтому окончательно можно рекомендовать для практических целей выполнять расчеты календарных планов с вероятностными временными параметрами работ без разбивки последних на диапазоны. Такой подход без особых трудностей можно применить и в случае со средним или низким организационным уровнем исполнителей.

Расхождения в результатах расчетов по приведенному примеру (11 %) и примеру рассмотренному в [1] (21 %) дает основания предполагать, что на конечный результат влияют: топология сетевой модели, количество событий сетевой модели календарного плана.

Список использованных источников

1. Калугин Ю.Б. Расчет календарных планов работ с вероятностными временными параметрами. /Ю.Б. Калугин// Изв. Вузов. Строительство – 2011-№10-с.51-58