

БУТОВ А. В.
СОСТАВЛЕНИЕ СЕТЕВОГО ПЛАНА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В
ОБЛАСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОПЫТНО-
КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

УДК 004:007:001.89, ВАК 5.2.6, ГРНТИ 06.81.12

Составление сетевого плана для
принятия решений в области научно-
исследовательских и опытно-
конструкторских работ

Drawing up a network plan for
decision-making in the field of
research and development (r&d)
work

А. В. Бутов

A. V. Butov

Воркутинский филиал Ухтинского
государственного технического
университета; г. Воркута

Vorkuta branch of Ukhta State
Technical University; Vorkuta

При проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских (НИОКР) работ объективно существует фактор непредсказуемости результатов исследований и проведения опытных работ. Считается, что применение сетевых графиков, которые как и все графики детерминированы, лишены смысла, т.к. невозможно точно предусмотреть как будут протекать во времени НИОКР. В предлагаемой статье рассматривается возможность применения сетевого графика при планировании научно-исследовательских работ.

When conducting research and development (R&D) work, there is objectively a factor of unpredictability of results research and experimental work. It is believed that the use of network diagrams, which, like all graphs, are deterministic, is meaningless, because it is impossible to accurately foresee how R&D will proceed over time. The proposed article discusses the possibility of applying a network schedule in the planning of research work.

Ключевые слова: сетевой график, сетевой план принятия решений, замещение логических переменных вероятностями

Keywords: network diagram, network decision-making plan, substitution of logical changes with probabilities

Введение

При проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ объективно существует фактор непредсказуемости результатов исследований и проведения опытных работ. Считается, что применение сетевых графиков, которые детерминированы, лишены смысла, т.к. невозможно точно предусмотреть, как будут протекать во времени научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Рассмотрим в качестве примера разработку технологии разрушения горных пород на месторождениях ценного кристаллического сырья разрядно-импульсным методом.

Цель исследования – разработка модели процесса и разработка схемы разрядно-импульсной отбойки для решения основной технологической задачи – сочетания разрушающего действия на породы заданной зоны с сохранностью самих кристаллов.

Лицам, принимающим решения о начале работ, важно ответить на вопросы об оценках вероятностей успешного результата работы, а также неуспешного результата, плановых затратах времени при успешном и неуспешном результатах работы.

Для ответов на поставленные вопросы предлагается составить сетевой план с включением замещающего элемента эквивалентного элемента, обобщающего последовательные события.

Так как в выполнении работы присутствует вероятностная категория присутствуют и допущения, позволяющие составить исходный план, включающий события и их предполагаемую продолжительность (Таблица 1).

Таблица 1. События, планируемые при выполнении научно-исследовательской работы

№ п/п	Событие	Предполагаемая продолжительность, недель	Зависимость от
1	Изучение применимости технологии	4	-
2	Планирование экспериментальных работ	1	№1
3	Проведение экспериментов	3	№2
4	Обработка и интерпретация результатов экспериментов	8	№3
5	Разработка нового плана проведения экспериментов	1	№4
6	Теоретические исследования	16	№1
7	Защита результатов работы	1	№4 или №6 или оба
8	Выводы из неудачного результата	2	№4, №6
Итого		36	-

Получить с первой попытки положительный результат возможно с вероятностью 60 %. С вероятностью 20 % придется повторить некоторые эксперименты или провести новые и снова их обработать, прежде чем

результаты станут достаточными. С вероятностью 20 % затраченные усилия не принесут удовлетворительного результата.

Вероятность удачного завершения теоретических исследований примем равной 70 %, на долю неудачного итога приходится 30 %.

Предлагаемые количественные оценки продолжительности работ и вероятностных исходов носят характер допущений, основанных на экспертных суждениях.

Процесс выполнения работы нельзя жестко задать, т.к. он в определенной мере зависит от некоторых промежуточных этапов. Вероятность сразу достигнуть в экспериментальной части исследования положительного результата возникает только при особо благоприятных обстоятельствах. Неблагоприятный случай может привести к неудаче, несмотря интенсивные теоретические разработки. Возможны исходы, лежащие между перечисленными предельными состояниями.

Определим детерминированный выход как естественное продолжение графика намеченных работ. Вероятностный выход тогда будет связан с условным разветвлением, зависящим от исхода этих работ.

Сетевой план для принятия решений с учетом вероятностного характера течения работы учитывает три различных варианта связи между событиями: конъюнктивную, альтернативную и дизъюнктивную (Таблица 2)

Таблица 2. Виды связей в сетевом плане

11	Конъюнктивная связь (логическое «И»)	Все предшествующие события, указанные приходящей стрелкой, должны произойти прежде, чем сможет начаться данная работа (как в обычном сетевом плане)
22	Альтернативная связь (логическая функция: включающее «ИЛИ»)	Каждая подходящая к тому или иному событию стрелка (обозначающая наступление одного – единственного события в прошлом) может вызвать начало работы. Таким образом, работа начинается сразу же после завершения любой из предыдущих
33	Дизъюнктивная связь (логическая функция: исключаящее «ИЛИ»)	Каждая стрелка, подходящая к тому или иному прямоугольнику, может вызвать начало работы. Однако в отличие от альтернативной связи, работы, связанные с ходом всего исследования, не независимы друг от друга, а взаимно исключают одна другую. Поэтому параллельное выполнение работ невозможно, а следовательно, невозможно и прохождение стартового сигнала к последующей работе по нескольким путям

Для комбинации двух различных выходов и трех возможных видов связи на входе мы получаем 6 условных обозначений событий (Рисунок 1)

С помощью указанных символов можно изобразить сетевой план для принятия решений, отражающий описанные варианты выполнения работ (Рис.2).

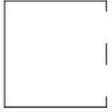
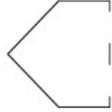
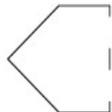
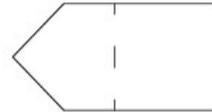
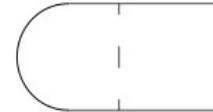
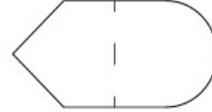
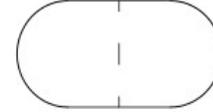
		Вход		
		Конъюнктивный	Альтернативный	Дизъюнктивный
Выход				
				
Детерминированный				
Вероятностный				

Рисунок 1. Условные обозначения операций в сетевом плане для принятия решений

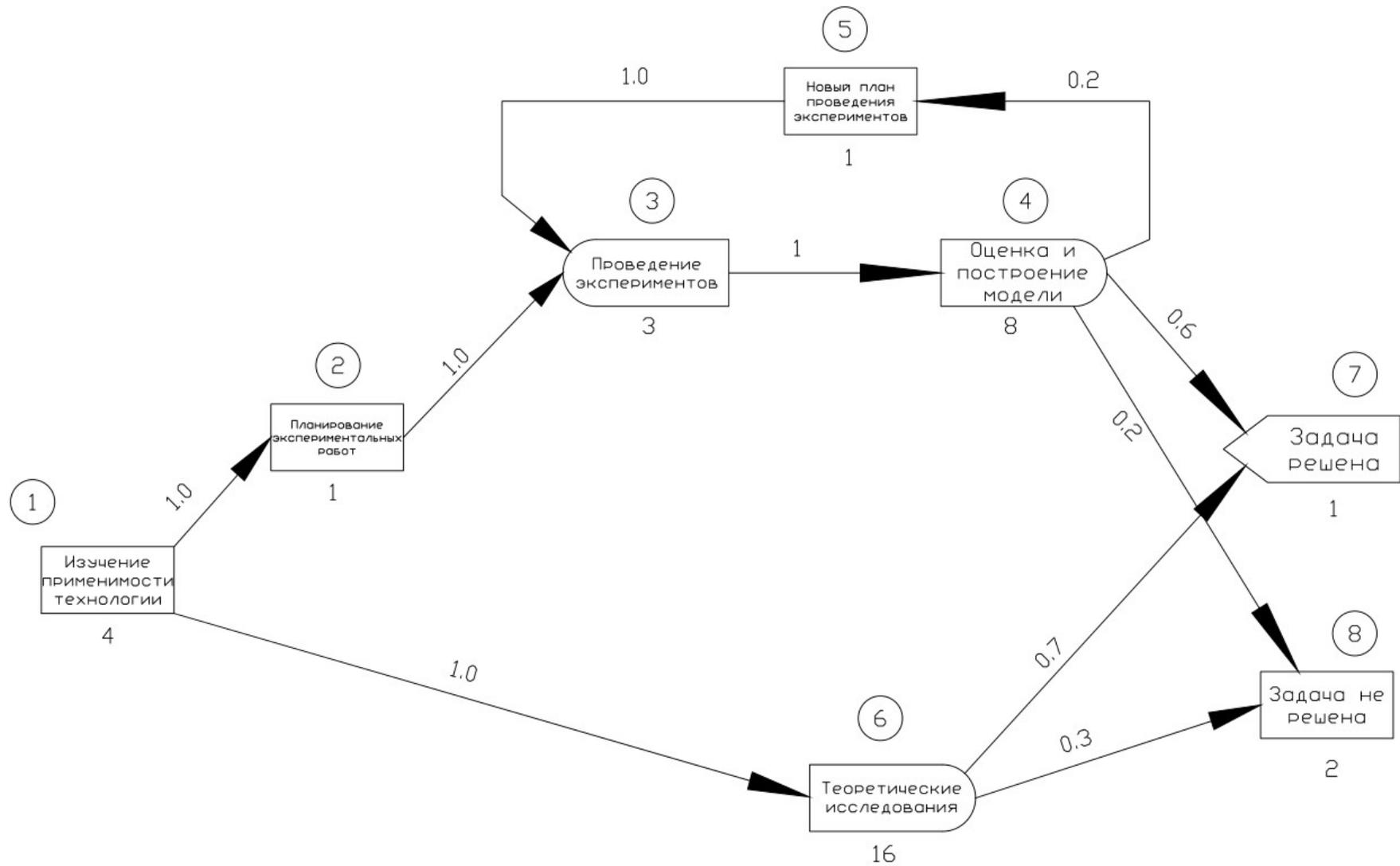


Рисунок 2. Сетевой план для принятия решений при постановке научно-исследовательской работы

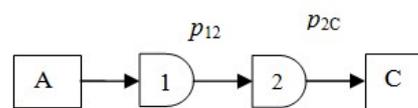
Числа, стоящие над знаками, обозначающими вид события, соответствуют номеру в таблице 1. Соответствующие временные и денежные затраты проставлены под обозначениями. События 1,2,5,8 ограничены как на входе, так и на выходе вертикальными прямыми – это события, как и в обычном сетевом плане. Разветвление после события 1 детерминировано, поскольку оба пути обязательны. После событий 2 и 5 разветвления отсутствуют, а на прямоугольнике 7 все предшествующие события (4 и 6) замыкаются, если, конечно, результат работы не отрицательный, т. е. проблема решена. Пока исследования продолжаются, работу нельзя считать бесперспективной. У события 3 имеется дизъюнктивный вход, так как эксперименты будут проводиться либо по первоначальному плану (2), либо в соответствии с новым планом (5). Параллельное прохождение обеих стрелок исключено. Однако выход события 3 детерминирован, так как за ним обязательно должна следовать оценка результатов, то есть событие 4. По этой же причине детерминирован вход события 4. Выход же события 4, напротив, вероятностный, поскольку в зависимости от результатов обработки экспериментов могут иметь место три возможных продолжения. Точно такой же вероятностный выход имеется у события 6, но здесь возможны лишь два продолжения. Обозначение 7 указывает на альтернативную связь, так как решение проблемы может быть найдено двумя путями (см. 4 и 6). Достаточно получить одно из этих решений – любое, которое по времени окажется первым, и можно считать, что задание на научно-исследовательскую работу успешно выполнено, следовательно, здесь надо применить символ «включающее „ИЛИ“». Числа, стоящие над стрелками – вероятности того, что события будут развиваться по соответствующему пути.

Для количественной оценки в случаях разветвления после какого-либо события и при нескольких путях подхода к одному какому-либо событию надо воспользоваться формулами расчета вероятностей – на детерминированных участках от события 1 к событию 2 или 6 расчеты ведутся, как и в случае обычного сетевого плана.

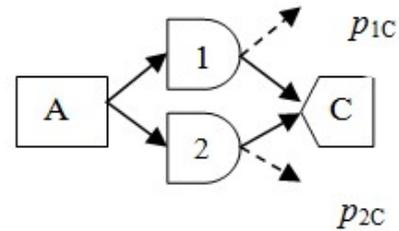
Рассмотрим 5 ситуаций, встречающихся в сетевом плане для принятия решений: последовательное соединение, конъюнктивное, альтернативное и дизъюнктивное параллельное соединение, а также простая обратная связь [7].

Для удобства анализа сетевого плана, приведенного на Рисунке 2 сопоставим каждому виду соединения его схематическое изображение следующим образом:

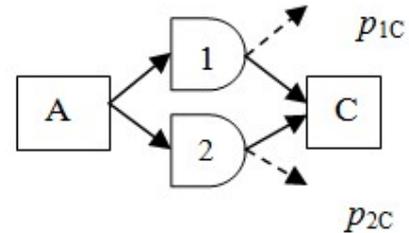
последовательное
соединение (тип 1)



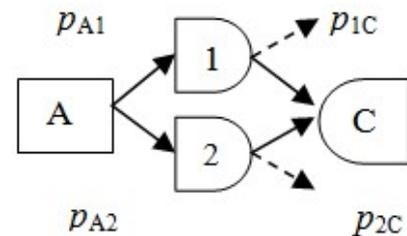
конъюнктивное
параллельное
соединение
(тип 2)



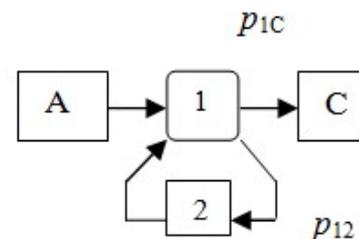
альтернативное
параллельное
соединение
(тип 3)



дизъюнктивное
параллельное
соединение
(тип 4)



простое
обратное
соединение
(тип 5)



Приведенные схемы показывают способы соединения между собой событий 1 и 2, включенных между событиями A и C . Вместо событий 1 и 2 вводится замещающий их эквивалентный элемент B , также включенный между A и C . Он обобщает события 1 и 2. Для него можно определить временные затраты D_B . Вероятность того, что путь $B—C$ будет действительно реализован, можно рассчитать по формулам расчета вероятности p_{BC}).

Объединим в таблице 3 вид соединения, тип соединения, соответствующую типу соединения формулу расчета вероятности p_{BC} , а также формулу, позволяющую определить временные затраты.

Таблица 3. Структура расчета для сетевого плана принятия решений

№пп	Вид соединения	Схематическое изображение	Эквивалентный блок B	
			Вероятности	Временные затраты
1	Последовательное		$p_{BC} = p_{12} \cdot p_{2c}$	$D_B = D_1 + D_2$
2	Конъюнктивное параллельное		$p_{BC} = p_{1c} \cdot p_{2c}$	$D_B = \max[D_1; D_2]$
3	Альтернативное параллельное		$p_{BC} = p_{1c} + p_{2c} - p_{1c}p_{2c}$	$D_B = \frac{1}{p_{BC}} \{ p_{1c}D_1 + p_{2c}D_2 + p_{1c}p_{2c} \times [\min(D_1; D_2) - D_1 - D_2] \}$
4	Дизъюнктивное параллельное		$p_{BC} = p_{A1}p_{1c} + p_{A2}p_{2c}$	$D_B = \frac{1}{p_{BC}} (p_{A1}p_{1c}D_1 + p_{A2}p_{2c}D_2)$
5	Простое обратное		$p_{BC} = \frac{p_{1c}}{1 - p_{12}}$	$D_B = \frac{D_1 + p_{12}D_2}{1 - p_{12}}$

Проанализируем с помощью Таблицы 3 сетевой план, представленный на Рисунке 2. Сначала рассмотрим успешный вариант – научно-исследовательская работа заканчивается успешно, то есть событие 8 и две ведущие к нему стрелки не принимаем во внимание. Для упрощения обратной связи события 3, 4, 5 будем рассматривать вместе, заменив их одним эквивалентным элементом для случая простой обратной связи. События 3, 4 объединим, т. к. связь между ними носит детерминированный характер. Из событий 3, 4 образуем эквивалентное событие длительностью 11 недель (3+8 рис.2). Это эквивалентное событие на схеме в табл. 3 в графе, относящейся к простой обратной связи, изображается звеном 1, событие 5 сетевого плана представлено звеном 2. Эквивалентным элементом (J_{345}) будет элемент, замещающий события 3, 4, 5.

Сетевой план, описывающий ход работы в случае успешного завершения представлен на Рисунке 3 а.

Вероятность того, что эквивалентный элемент J_{345} приведет к решению проблемы, вычисляется по формуле для простой обратной связи:

$$P_{J_{345/7}} = \frac{P_{1C}}{1 - p_{12}}, \quad (1)$$

где p_{1C} – вероятность получить с первой попытки положительный результат; p_{12} – вероятность повторить некоторые эксперименты или провести новые и снова их обработать, прежде чем результаты станут достаточными для успешного решения.

По формуле (1) вероятность успешного решения составит:

$$P_{J_{345/7}} = \frac{0,6}{1 - 0,2} = 0,75$$

Временные затраты, соответствующие эквивалентному событию составят:

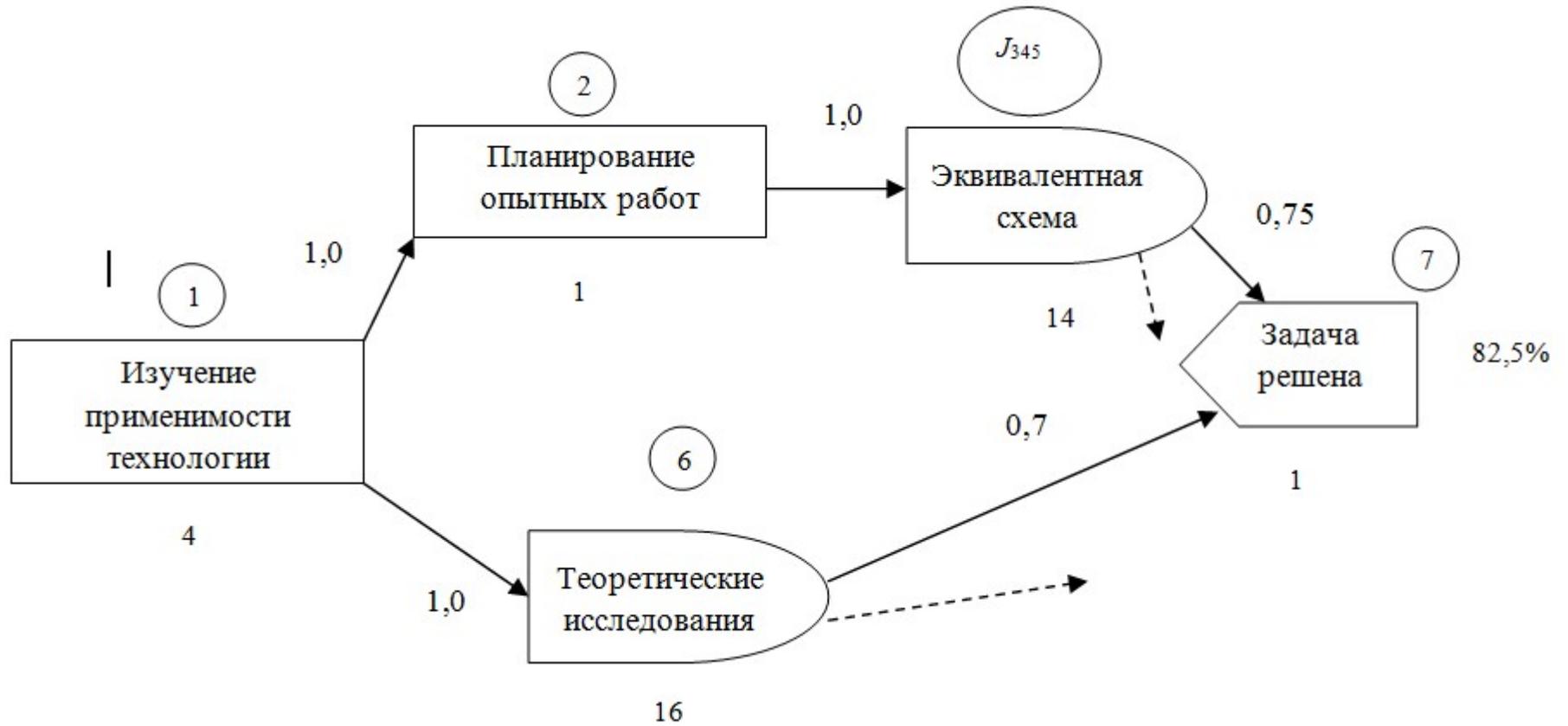
$$D_{J_{345}} = \frac{D_1 + p_{12}D_2}{1 - p_{12}}, \quad (2)$$

где D_1 – эквивалентное событие(объединение событий 3,4) длительностью 11 недель;

D_2 – продолжительность разработки нового плана проведения экспериментов (событие 5 рис.2);

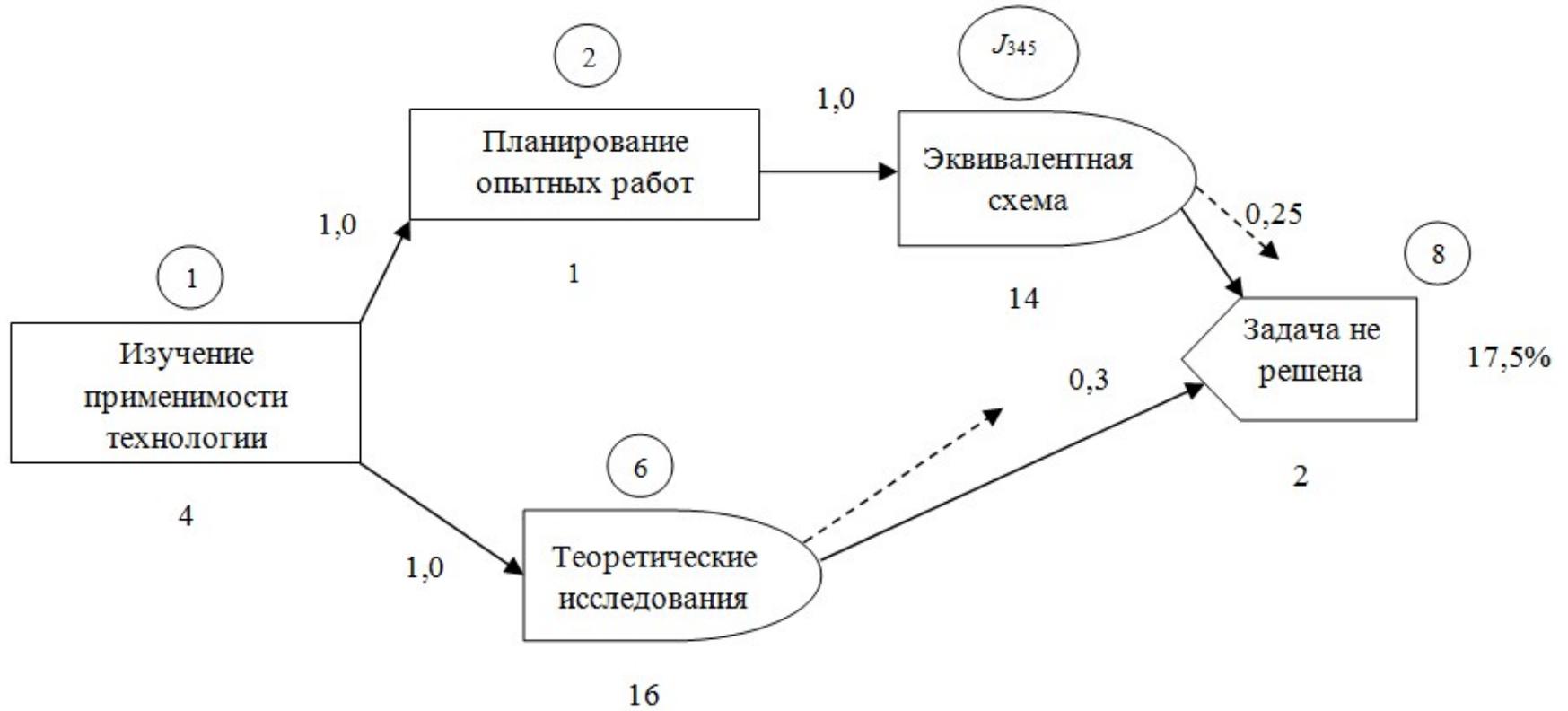
По формуле (2) временные затраты составят:

$$D_{J_{345}} = \frac{11 + 0,2 \cdot 1}{1 - 0,2} = 14 \text{неделя}$$



a – упрощенный сетевой план, описывающий ход работы в случае успешного завершения

Рисунок 3. Упрощенный сетевой план



б – упрощенный сетевой план, описывающий ход работы в случае неудачного завершения

Рисунок 3. Упрощенный сетевой план

На следующем шаге рассмотрим альтернативное параллельное соединение на входе события 7 (успешное завершение работы). Для этого объединим события 345 (эквивалентное событие) и 6 (теоретические исследования) в один новый эквивалентный элемент, который обозначим J_{3456} , тогда вероятность достижения события 7 составит (табл.3 п.3):

$$p_{BC} = p_{1C} + p_{2C} - p_{1C}p_{2C}, \quad (3)$$

где p_{1C} – вероятность получить с первой попытки положительный результат; p_{2C} – вероятность отсутствия удовлетворительного результата теоретических исследований.

По формуле (3) вероятность достижения события 7 составит:

$$p_{J_{3456/7}} = 0,75 + 0,3 - 0,75 \cdot 0,3 = 0,825$$

Временные затраты, соответствующие эквивалентному событию составят:

$$D_B = \frac{1}{p_{J_{3456/7}}} \left\{ p_{J_{345/7}} D_{J_{345}} + p_{2C} D_2 + p_{J_{345/7}} p_{2C} \left[\min(D_{J_{345}}; D_2) - D_{J_{345}} - D_2 \right] \right\} \quad (4)$$

где $p_{J_{3456/7}}$ – вероятность достижения события 7; $p_{J_{3456/7}} = 0,825$

p_{2C} – вероятность отсутствия удовлетворительного результата теоретических исследований; $p_{2C} = 0,3$

$D_{J_{345}}$ – временные затраты, соответствующие эквивалентному событию;

$D_{J_{345}} = 14$ недель

D_2 – временные затраты, соответствующие времени проведения теоретических исследований; $D_2 = 16$ недель

По формуле (2) временные затраты составят:

$$D_B = \frac{1}{0,825} \left\{ 0,75 \cdot 14 + 0,3 \cdot 16 + 0,75 \cdot 0,3 \cdot (14 - 14 - 16) \right\} = 14,2 \text{ недели}$$

Прибавив к D_{3456} временные затраты на достижение событий 1, 2 и 7, получим общее время, требуемое на выполнение научно-исследовательской работы для случая ее благоприятного исхода – решения поставленной задачи:

$$D = 14,2 + 4 + 1 + 1 = 20,2 \text{ недели}$$

Сетевой план, описывающий ход работы в случае отрицательного результата, т.е. результата, показывающего бесперспективность дальнейших исследований и опытных работ представлен на рис.3б

При оценке неблагоприятного варианта не рассматривается событие 7 и ведущие к нему стрелки. События 3,4,5 по-прежнему объединим в эквивалентное событие J_{345} . Ранее была оценена вероятность в 20% исхода, при котором построение модели по результатам эксперимента не приводит к решению задачи.

Вероятность того, что эквивалентный элемент J_{345} приведет к отрицательному результату вычисляется по формуле (1)

$$p_{J_{345/8}} = \frac{0,2}{1 - 0,2} = 0,25$$

В числителе вероятность 0,2 взята из рис.2, где она проставлена над стрелкой, ведущей от события 4 к событию 8. Вероятность 0,2 в знаменателе дроби проставлена над стрелкой, ведущей от события 4 к событию 5 (Рисунок 2).

Новое эквивалентное событие 3456, замещающее событие 345 и событие 6 будет иметь показатели, рассчитанные по формулам для конъюнктивного параллельного соединения.

Так вероятность прихода в конечный пункт 8 будет рассчитываться по формуле:

$$P_{345/8} = P_{1C} \cdot P_{2C} \quad (5)$$

где P_{1C} – вероятность того, что эквивалентный элемент J_{345} приведет к отрицательному результату, $P_{1C}=0,25$;

Тогда вероятность прихода в конечный пункт 8 по формуле (5) :

$$P_{345/8} = 0,25 \cdot 0,7 = 0,175$$

Временные затраты, соответствующие эквивалентному событию составят:

$$D_B = \max [D_1; D_2] \quad (6)$$

Временные затраты для эквивалентного события 3456 по формуле (6):

$$D_{3456} = \max [14; 16] = 16 \text{ недель}$$

Чтобы получить суммарные временные затраты для неудачного исхода планируемой работы следует прибавить к временным затратам для эквивалентного события 3456 соответствующие значения, относящиеся к событиям 1, 2 и 8 :

$$D = 16+4+1+2 = 23 \text{ недели}$$

Заключение

Таким образом, ответы на поставленные в начале вопросы будут следующими:

– вероятность того, что планируемые научно-исследовательская работа и опытные работы закончатся успешно, составляет 82,5 %, на ее выполнение потребуется 20,2 недели;

– вероятность неудачного исхода планируемой научно-исследовательской работы и опытных работ составляет 17,5 %, на ее выполнение будет затрачено 23 недели.

Полученные результаты позволяют лицу, ответственному за научно-исследовательскую работу, оценивать проблематику исследований более точно и распределять ресурсы с учетом временных затрат.

Список использованных источников и литературы

1. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : [учебное пособие] / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Академия, 2003. – 459 с.
2. Орлов, А. И. Теория принятия решений. Учебное пособие / А. И. Орлов. – М.: Издательство «Экзамен», 2005. – 656 с.
3. Родзин С. И. Теория принятия решений: лекции и практикум: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 336 с.
4. Кофман А., Фор Р. Займёмся исследованием операций / А. Кофман, Р. Фор. М.: Мир, 1966.
5. Принять решение – но как? / Э. Науман; Пер. с нем. М. С. Каценбогена; Под ред. [и с предисл.] Ю. П. Адлера. – М. : Мир, 1987. – 197 с.
6. Филинов-Чернышев, Н. Б. Разработка и принятие управленческих решений : учебник и практикум для вузов / Н. Б. Филинов-Чернышев. — 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 324 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-03558-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/490235> (дата обращения: 24.06.2022).

List of references

1. Probability theory and its engineering applications: [textbook] / E. S. Venttsel, L. A. Ovcharov. – 3rd ed., revised. and additional – Moscow: Academy, 2003. - 459 p.
2. Orlov, A. I. Theory of decision making. Textbook / A. I. Orlov. – M. : Publishing house "Exam", 2005. – 656 p.
3. Rodzin S. I. Theory of decision making: lectures and workshop: Textbook. - Taganrog: Publishing House of TTI SFU, 2010. – 336 p.
4. Kofman A., Fore R. Let's do operations research / A. Kofman, R. Fore. M.: Mir, 1966.
5. Make a decision - but how? / E. Nauman; Per. with him. M. S. Katsenbogen; Ed. [and with a preface] Yu. P. Adler. – M. : Mir, 1987. – 197 p.
6. Filinov-Chernyshev, N. B. Development and adoption of managerial decisions: a textbook and workshop for universities / N. B. Filinov-Chernyshev. — 2nd ed., corrected. and additional - Moscow: Yurayt Publishing House, 2022. - 324 p. - (Higher education). – ISBN 978-5-534-03558-2. – Text: electronic // Educational platform Urait. – URL: <https://urait.ru/bcode/490235> (date of access: 06/24/2022).