

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА МОЩНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Воспроизводство мощности угледобывающего предприятия производится путем перманентной подготовки новых очистных забоев взамен выбывающих. Срок отработки действующих очистных забоев строго регламентирован величиной запасов и суточной нагрузкой на действующий очистной забой. Его величина рассчитывается по формуле:

$$T_3 = \frac{Z_{oz}}{D_{nz}}, \quad (1)$$

где T_3 - лимитированный срок отработки очистного забоя, мес.;

Z_{oz} - запасы полезного ископаемого, ограниченные параметрами горных работ, тыс.т.;

D_{nz} - суточная нагрузка на действующий очистной забой, т/сут.

Исторически проблема своевременного воспроизводства мощности угледобывающего предприятия находится в центре внимания ученых, занимающихся проблемами воспроизводства организации шахтного строительства [1-5]. Проблема обострилась при переходе работы угольных шахт в рыночные условия. Это обуславливает необходимость поиска новых подходов к управлению воспроизводством производственной мощности действующих угольных шахт.

В последнее время все более активно при планировании инвестиций применяется теория управления проектами. Под термином «проект» - понимается комплекс мер, ограниченных временным интервалом - начало и конец, и предназначены для создания уникальных продуктов и услуг [6]. Различают несколько направлений в управлении проектами. Среди них особый интерес представляют модели календарно-сетевое планирования, основанные на анализе и синтезе методов сетевого планирования и математического моделирования.

Цель статьи – применение метода оптимизации воспроизводства производственной мощности действующих горнодобывающих предприятий на основе комплексного использования сетевых методов планирования и динамического программирования.

В затратах на воспроизводство мощности угледобывающего предприятия свыше 40% составляет сооружение горных выработок: углубка стволов, сооружение приемных площадок, проведение квершлагов, откаточных и вентиляционных штреков и других горных выработок. Количество и протяженность этих выработок определяют технологические схемы подготовки и системы разработки (таблица 1).

Таблица 1. – Технологические схемы воспроизводства мощности угледобывающих предприятий

Номер схемы	Виды сооружаемых выработок									
	Квершлаг	Транзитные уклоны	Полевые откаточные штреки	Воздухоподающие штреки	Бремсберги и ходки	Уклоны и ходки	Фланговые сбойки	Ярусные штреки	Бортовые ходки	Разрезные печи
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+		+	+	+		+	+		+
2	+		+	+	+		+	+		+
3	+		+	+	+		+	+		+
4	+		+	+	+		+	+		+
5	+		+	+	+		+	+		+
6	+		+	+	+		+	+		+
7	+		+	+	+	+	+	+		+
8	+		+	+	+	+	+	+		+
9	+		+	+	+	+	+	+		+
10	+	+	+	+	+		+	+		+
11	+	+	+	+	+		+	+		+
12	+	+	+	+	+		+	+		+
13	+	+	+	+	+		+	+		+
14	+	+	+	+	+		+	+		+
15	+	+	+	+	+		+	+		+
16	+	+	+	+	+		+	+		+
17	+	+	+	+	+		+	+	+	+
18	+	+	+	+	+		+	+	+	+
19	+	+	+	+	+		+	+	+	+
20	+	+	+	+	+		+	+	+	+
21	+	+	+	+	+		+	+	+	+
22	+	+	+	+	+		+	+	+	+

Анализ структуры составляющих технологической схемы позволяет организацию проведения горных выработок представить в форме сетевой модели. На рисунке 1 приведена упрощенная сетевая модель наиболее часто применяемой четвертой технологической схемы воспроизводства очистных забоев, временные параметры которой рассчитаны по известным методикам [2].

Ведущими параметрами сетевой модели являются: продолжительность и сроки свершения работ, критический путь, ранние и поздние сроки свершения событий (рисунок. 2).

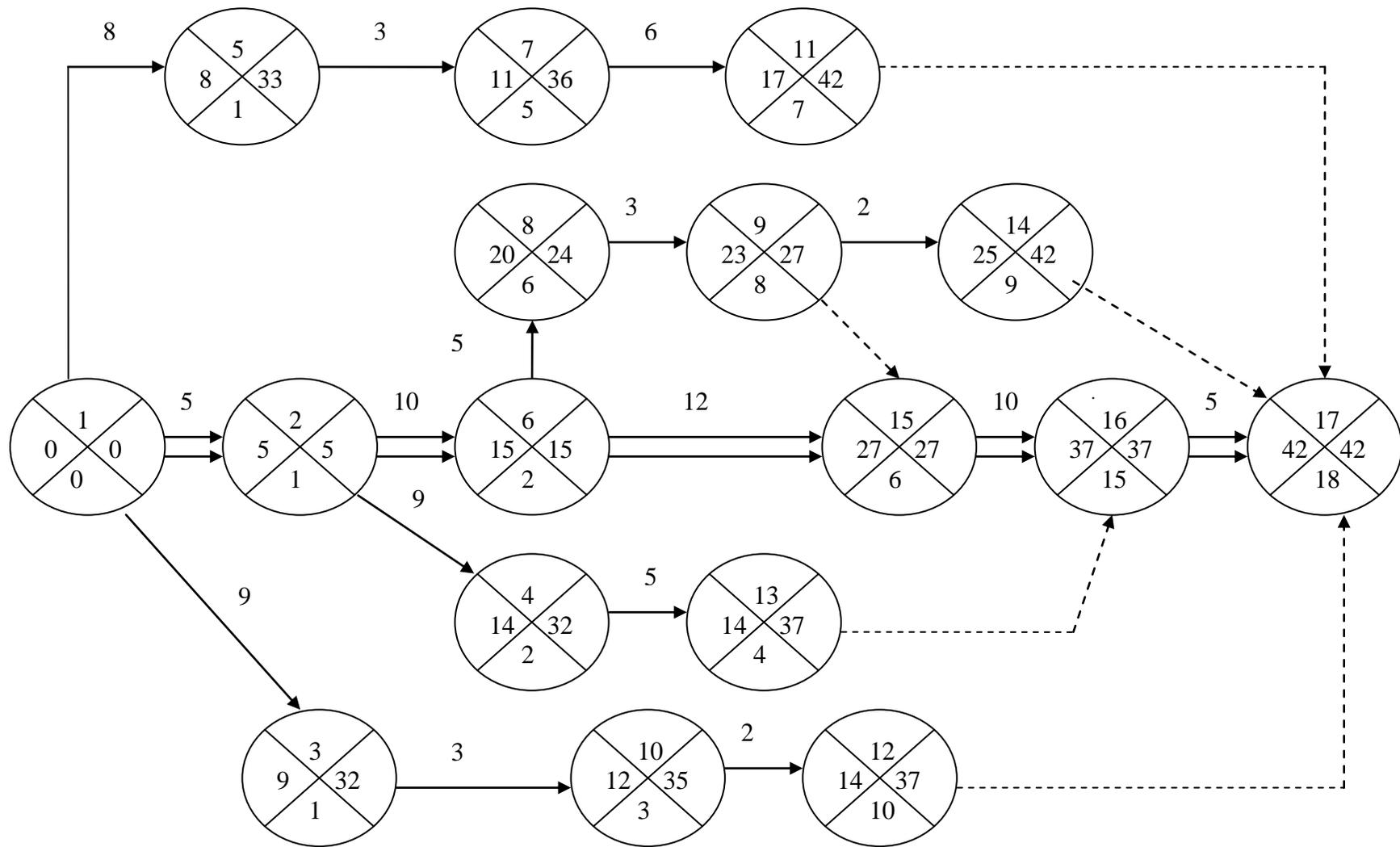


Рисунок 1. – Сетевая модель воспроизводства производственной мощности угольной шахты по четвертой технологической схеме

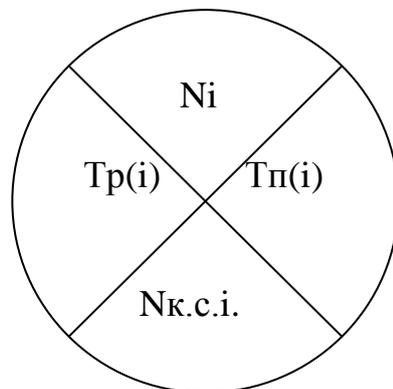


Рисунок 2. – Схема изображения события.

где N_i – номер рассматриваемого события;

$T_p(i)$, $T_n(i)$ – ранний и поздний сроки свершения i –го события, ед. времени;

$N_{к.с.і.}$ – номер предшествующего i –му критического события.

Временные параметры сетевой модели рассчитываются по формулам:

Ранний срок свершения j – го события:

$$T_p(j) = \max [T_p(i) + t_{ij}],$$

где - $T_p(j)$ – ранний срок свершения рассматриваемого события;

Поздний срок свершения i –го события рассчитывается по формуле:

$$T_n(i) = \min [T_n(j) - t_{ij}],$$

где t_{ij} – продолжительность выполнения работы q_{ij} , мес.

Критический путь и его длину определяют события, у которых ранний срок соответствует позднему, т.е. события с нулевым резервом времени. Длину критического пути определяет продолжительность работ, лежащих на критическом пути. Для рассматриваемой сетевой модели это работы с шифрами: $q_{1-2} \rightarrow q_{2-6} \rightarrow q_{6-15} \rightarrow q_{15-16} \rightarrow q_{16-17}$.

Длина критического пути составляет:

$$t_{1-2} + t_{2-6} + t_{6-15} + t_{15-16} + t_{16-17} = 5 + 10 + 12 + 10 + 5 = 42 \text{ месяца.}$$

Параметры выработок, позволяющие определить продолжительность их проведения, представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Параметры горных выработок схемы №4 воспроизводства мощности угледобывающего предприятия

Наименование выработок	Шифр – номер события		Длина выработки, м	Скорость проведения, м/мес.	Продолжительность сооружения, мес.
	2	3			
1	2	3	4	5	6
Сооружение верхней приемной площадки	1	2	300	60	5
Сооружение главного откаточного штрека №1	1	3	630	70	9

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Сооружение блокового вентиляционного штрека	1	5	600	70	8
Сооружение блокового воздухоподающего штрека	2	6	700	70	10
Сооружение блокового штрека	6	15	840	70	12
Сооружение главного откаточного штрека №2	2	4	630	70	9
Монтаж оборудования для лавы №1	3	10	-	-	3
Монтаж оборудования для лавы №2	4	13	-	-	5
Доставка оборудования	10	12	-	-	2
Фиктивная работа	13	16	-	-	0
Фиктивная работа	12	16	-	-	0
Сооружение людского ходка	6	8	300	60	5
Сооружение заездов	8	9	180	60	3
Фиктивная работа	9	15	-	-	0
Сооружение обходной выработки	9	14	120	6	2
Фиктивная работа	14	17	-	-	0
Сооружение заездов	5	7	180	60	3
Монтаж оборудования лав	7	11	-	-	6
Фиктивная работа	11	17	-	-	0
Проведение грузового ходка	15	16	600	60	10
Проходка разрезной печи	16	17	200	50	4

Сетевую модель проведения горных выработок можно рассматривать не как программу производственных процессов, а как инновационный проект, оптимизируемый по критерию минимальных капитальных затрат. Главное отличие проекта от программы состоит в том, что проект имеет временные рамки: начало и конец свершения входящих в него работ, жесткую продолжительность, определяемую длиной критического пути. Инновационный проект воспроизводства мощности угольной шахты считается завершенным в тот момент, когда прекращаются требования нового денежного потока и начинается добыча угля из вновь подготовленных очистных забоев.

В качестве метода оптимизации сетевой модели по критерию «минимум затрат» при заданной продолжительности реализации проекта может быть использовано динамическое программирование.

Критериальное уравнение в этом случае описывается уравнением:

$$Z(T) = \min [Z_{jti} + \sum_{i=1}^j Z_i (T_s - t_i)], \quad (2)$$

где $Z(T)$ – суммарные затраты на выполнение проекта, ден.ед.;

Z_{jti} – затраты на проведение j -й выработки критического пути, ден.ед.;

Z_i – затраты на проведение i -й выработки критического пути при регламентированной продолжительности критического пути, ден.ед.;

T_s – срок реализации проекта, мес.;

t_i – текущий момент времени, мес.

Процесс оптимизации сетевой модели выполняется в четыре этапа. Упрощенная блок-схема оптимизационного процесса показана на рисунке 3.

Этап 1. Формируются исходные данные:

- для построения сетевой модели и определения длины критического пути (таблица 2);

- определяется диапазон масштаба скоростей проведения горных выработок относительно установленных нормативов. К примеру, на рисунке 4 приведены гистограммы распределения фактических скоростей проведения различных видов горных выработок шахт Донецкого региона.

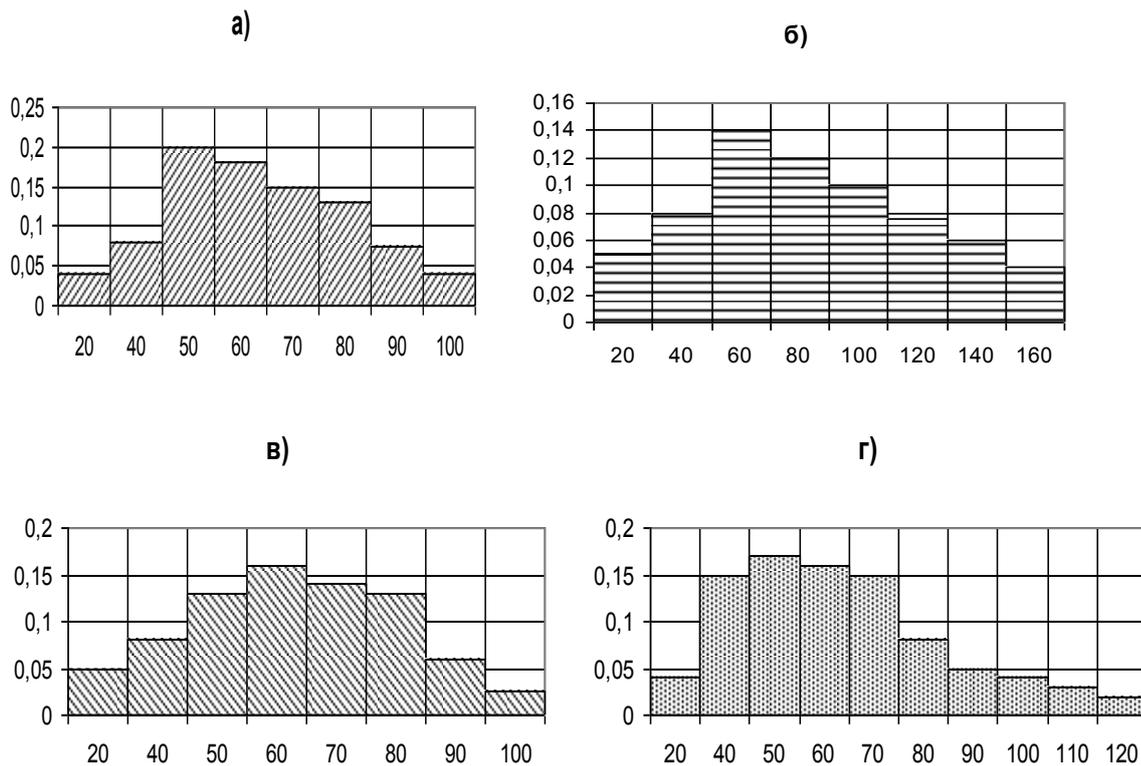


Рисунок 4 – Гистограммы распределения скоростей проведения горных выработок: а) квершлаг; б) полевые штреки; в) пластовые штреки; г) уклоны и ходки.

Стоимостные параметры проведения горных выработок при нормативных скоростях проведения горных выработок и методика расчета изменения затрат на проведение горной выработки под влиянием изменения скорости ее проходки, разрабатываются предприятием на базе анализа статистических данных.

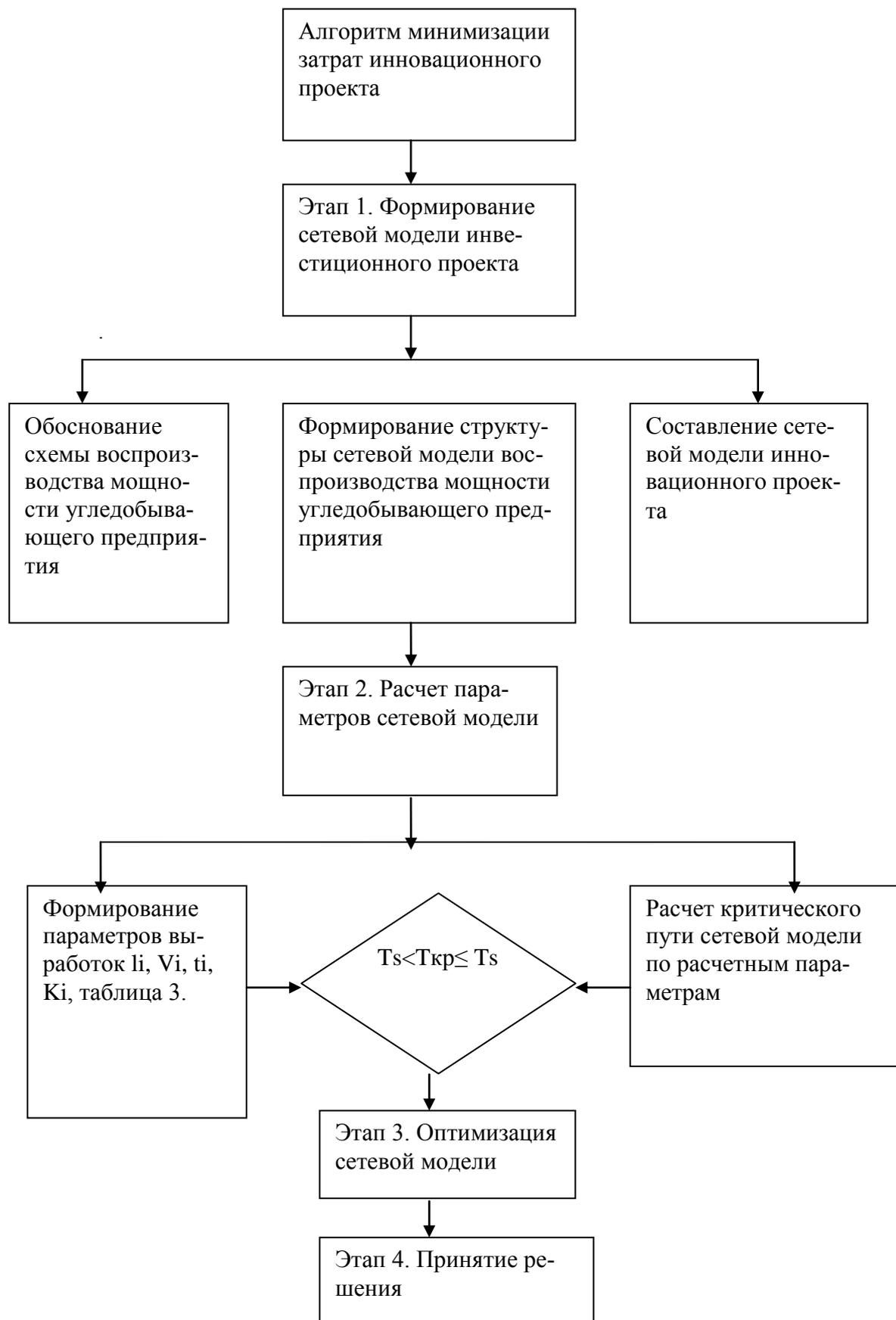


Рисунок 3. – Механизм оптимизации инновационного проекта

Корреляционная модель определения затрат на проведение горной выработки при варьируемой скорости ее проведения имеет вид:

$$K(V)=K_H \cdot L \cdot \gamma, \quad (3)$$

где $K(V)$ – затраты на проведение 1м горной выработки при нормативной скорости проведения, полученная на основе составления сметы расходов, грн./м.;

L – длина горной выработки, м.

γ – коэффициент, учитывающий влияние скорости проведения горной выработки на стоимость ее проведения, доли. ед;

$$\gamma=(a_0+a_1 \cdot V + a_2/V),$$

где V – скорость проведения горной выработки ,м/мес.;

a_0, a_1, a_2 , - статистические коэффициенты. Их величина для средних условий проведения горных выработок шахт Донецкого бассейна может быть принята по результатам обработки фактических данных, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 – Обобщающие статистические коэффициенты, определяющие влияние скорости проведения выработки на стоимость.

Вид выработки	Значение коэффициентов		
	a_0	a_1	a_2
Квершлаг	0,42	0,0048	17
Пластовые откаточные штреки	0,46	0,0034	20
Ярусные штреки	0,36	0,0045	18
Вентиляционные штреки	0,40	0,0044	16
Уклоны и грузовые ходки	0,31	0,0056	20

Затраты на проведение горных выработок рассчитываются с учетом фактора времени. Результаты расчетов сводятся в таблицу 4, которая состоит из следующих строк:

Строка 0 – длина выработки, м. (шифр - l_i);

Строка 1 – альтернативные скорости проведения горной выработки, м/мес. (шифр - V);

Строка 2 – продолжительность проведения горной выработки при соответствующей скорости проведения, мес. (шифр - t_i);

Строка 3 – затраты на проведение 1м горной выработки при соответствующей скорости, грн/м. (шифр - K_v);

Строка 4 – приведенные во времени затраты на проведение всей выработки, тыс. грн. (шифр K_1);

Строка 5 – продолжительность проведения всех выработок, лежащих на критическом пути, предшествующих рассматриваемой, мес. (T_i);

Строка 6 – суммарные, приведенные во времени, затраты на проведение выработок соответствующего критического пути, Z_j ;

Строка 7 – заданный срок подготовки новой линии очистных забоев, мес. (шифр T_s).

Таблица 4 строится в последовательности обратной критическому пути.

Таблица 4 - Исходные данные оптимизации сетевой модели подготовки новой линии очистных забоев

Шифр работ	Название	Параметры	Ед. изм.	Шифр строки	Масштабы варьирования параметров					
					6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
q1-2	Разрезная печь	Длина выработки, l 1-2	м	0	200	200	200	200	200	200
		Скорость проведения, V1-2	м/мес	1	20	25	40	50	100	200
		Продолжительность проведения, t1-2	мес	2	10	8	5	4	2	1
		Затраты на проведение, Kv1-2	тыс.грн/м	3	5,152	4,6	3,904	3,76	4	5,44
		Полные затраты, KI 1-2	тыс. грн.	4	1231,423	1056,791	845,163	798,028	816	1088
q2-6	Грузовой ходок	Длина выработки, l2-6	м	0	600	600	600	600	600	600
		Скорость проведения, V2-6	м/мес	1	20	40	50	60	100	120
		Продолжительность проведения, t2-6	мес	2	30	15	12	10	6	5
		Затраты на проведение, Kv2-6	тыс.грн/м	3	13,43	9,76	9,275	9,09	9,55	10,08
		Полные затраты, KI 2-6	тыс. грн.	4	14309,75	7726,868	6919,378	6518,035	6326,383	6546,55
		Продолжительность проведения двух выработок критического пути T2	мес.	5	40	23	17	14	8	6
		Суммарные затраты на проведение двух выработок критического пути, З2	млн. грн.	6	15541,18	8783,658	7764,541	7316,063	7,142,383	7634,55
q6-15	Блоковый штрек	Длина выработки, l6-15	м	0	840	840	840	840	840	840
		Скорость проведения, V6-15	м/мес	1	30	40	60	70	105	140
		Продолжительность проведения, t6-15	мес	2	28	21	14	12	8	6
		Затраты на проведение, Kv6-15	тыс.грн/м	3	14,7	13,15	11,968	11,804	12,089	12,996
		Полные затраты, KI 6-15	тыс. грн.	4	21,14	16,41	13	12,3	11,66	12
		Продолжительность проведения трех выработок критического пути T3	мес.	5	68	44	31	26	16	12
		Суммарные затраты на проведение трех выработок критического пути, З3	млн. грн.	6	36,7	25,19	20,76	19,64	18,8	19,64

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
q15-16	Блоковый возду- хоподающий штрек	Длина выработки, l 15-16	м	0	700	700	700	700	700	700
		Скорость проведения, V15-16	м/мес	1	20	35	50	70	100	140
		Продолжительность проведения, t15-16	мес	2	35	20	14	10	7	5
		Затраты на проведение, Kv15-16	тыс.грн/м	3	34,81	20,33	16,8	15,15	15,7	17,07
		Полные затраты, Kl 15-16	тыс. грн.	4	24,37	14,23	11,77	10,86	10,96	11,95
		Продолжительность проведения четырех выработок критического пути Т4	мес.	5	103	64	45	36	23	17
		Суммарные затраты на проведение четырёх выработок критического пути, З4	млн. грн.	6	61,05	39,43	32,54	30,5	29,77	31,59
q16-17	Выработки приемной площадки	Длина выработки, l 16-17	м	0	300	300	300	300	300	300
		Скорость проведения, V16-17	м/мес	1	20	40	60	80	100	150
		Продолжительность проведения, t16-17	мес	2	40	20	15	10	8	5
		Затраты на проведение, Kv16-17	тыс.грн/м	3	20,6	15,6	14,89	15,232	16	18,7
		Полные затраты на проведение, Kl 16-17	тыс. грн.	4	13,38	6,825	5,894	5,461	5,536	6,06
		Продолжительность проведения всех выработок критического пути Ткр.	мес.	5	143	84	60	46	31	22
		Затраты на проведение выработок критического пути, Зкр.	млн. грн.	6	40,08	32,27	29,96	29,78	31,22	34,65
		Заданный срок подготовки очистной линии забоев, Т5	мес.	7	40	40	40	40	40	40

Этап 3. Оптимизация сетевой модели при заданном сроке выполнения инновационного проекта.

Концепцией оптимизации сетевой модели является определение продолжительностей проведения всех выработок критического пути, при которых новый очистной завод будет подготовлен к заданному сроку (T_s) при минимальной потребности в капитальных затратах.

Оптимизация сетевой модели выполняется в несколько шагов.

Шаг 1. По данным таблицы 4 определяется продолжительность проведения первой горной выработки (t_{16-17}), при которой требуются минимальные затраты. Эта продолжительность (t_{16-17}) принимается в качестве оптимальной и не изменяется в течении всех последующих расчетов.

Шаг 2. Определяется продолжительность проведения второй выработки критического пути, следующей за выработкой q_{15-16} , а продолжительность ее проведения t_{15-16} определяется следующим образом.

Определяется остаточная продолжительность выполнения работ инновационного проекта после вычета продолжительности проведения выработки q_{16-17} , т.е. определяется разность:

$$T_1 = T_s - t_{16-17}.$$

Шаг 3. С разностью T_1 входим в диапазон проведения всех выработок следующих за q_{16-17} . Для рассматриваемой сетевой модели оптимальной продолжительностью проведения выработки q_{16-17} является 10 месяцев, при этом затраты на ее проведение будут минимальными и составят 5,461 млн. грн. Остаточная разность продолжительности реализации проекта составит $T_1 = 40 - 10 = 30$ месяцев. С этой разностью и входим в диапазон оставшегося времени, который характеризует строка 5 выработки q_{15-16} . На проведение оставшихся выработок, согласно этой строки, может быть принято 36 и 23 месяца. Выбираются одна из этих продолжительностей или находится промежуточное время между ними путем соответствующей корректировки. Для принятого времени определяются затраты на проведение выработок q_{16-17} и q_{15-16} .

Шаг 4. По методике, изложенной в шаге 3 определяются продолжительности и затраты на проведение оставшихся выработок критического пути.

Оптимизация сетевой модели заканчивается выбором продолжительности проведения исходной выработки сетевой модели и определением суммарных затрат на реализацию сетевой модели. Общие затраты по каждой выработке определяет регламентированная продолжительность, полученная в результате распределения заданного времени реализации проекта.

Суммарные затраты для рассматриваемой сетевой модели составляют более 29 млн. грн.

Проиллюстрированный подход оптимизации инновационного проекта воспроизводства мощности действующего угледобывающего предприятия дает основание утверждать, что метод динамического программирования может найти широкое применение в практике планирования капитальных вложений на действующих добывающих предприятиях при обосновании стратегических программ.

Исходной посылкой для успешного применения этого метода на каждом предприятии должны быть разработаны компьютерные программы сбора и обработки данных, необходимых для составления необходимых математических моделей.

Список использованной литературы

1. Алымов А.Н., Федорищева А.Н. Воспроизводство и использование производственных фондов в угольной промышленности. – К.: Наукова думка, 1972. – 292с.;
2. Иванов Н.И., Евдокимов Ф.И. Моделирование организации шахтного строительства. – М.: Недра, 1973. – 182с.;
3. Воспроизводство вскрытых и подготовка новых запасов угля на шахтах / под ред. Н.К. Гринько. – М.: Недра, 1990. – 352.;
4. Дубов Е.Д., Лепихов А.Г., Покрасс В.Л. Технологические схемы разработки пологих пластов // Уголь Украины. – 2000. - №6. – С. 10-14;
5. Кабанов А., Нейнбург В., Драчук Ю.А. О систематизации методических подходов к оценке экономической эффективности инноваций в промышленном производстве // Уголь Украины. – 2000. - №9. – С. 70-75;
6. Шеховцев А. Оптимизация дискретных методов управления проектами // Проблемы теории и практики управления. – 2008. - № 8. – С. 62-67.