

Ф.И. Евдокимов, д.т.н., проф., О.А. Бородина
ДонНТУ

СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ВЗАМЕН ГРАФИКОВ ГАНТТА

Производственная мощность угольных шахт обеспечивается своевременной подготовкой линии очистных забоев (лав), количеством, находящихся их в одновременной работе. Сроки отработки лав и продолжительность подготовки новых взаимообусловлены и требуют четкой организации горнопроходческих работ во времени. Проблема осложняется разнообразием условий залегания угольных пластов, горногеологическими условиями, глубиной залегания пластов и другими особенностями.

Стратегическое развитие современного промышленного предприятия невозможно без разработки инвестиционных проектов. Ограниченность предприятия в собственных инвестиционных ресурсах требует совершенствования организации, управления, планирования их объемов и распределения во времени.

Минуглепромом Украины весь шахтный фонд разделил на пять групп шахт. К первой группе отнесены шахты с производственной мощностью более миллиона тонн угля в год. Ко второй – шахты с производственной мощностью 500 тыс. тонн до 1,0 млн. тонн. К третьей – 200-500 тыс. тонн. К четвертой – 100-200 тыс. тонн. К пятой – шахты с производственной мощностью менее 100 тыс. тонн угля в год [1].

На шахтах первой и второй групп производственная мощность обеспечивается одновременной работой нескольких очистных забоев. На этих шахтах и возникает проблема сбалансированности сроков отработки действующих и подготовки новых очистных забоев.

В 1910г. Генри Гантт, развивая теорию научного менеджмента Фридриха Тейлора, предложил для совершенствования организации производства, календарные графики, получившие использование и в угольной отрасли при разработке календарных планов строительства, реконструкции шахт, при планировании развития горных работ и воспроизводстве мощности.

Проблемой своевременного воспроизводства мощности и применения сетевого планирования в угольной промышленности занимались ряд ученых, таких как В.В. Осмоловский, А.А. Шершнев, К.К. Кузнецов, П.И. Рапопорт, Воробьев Б.М., Бурчаков А.С. и другие уже достаточно давно. [2-8]. Тем не менее, как показывает практика, вопросы оптимизации сетевых моделей еще не решены и следует искать способы их усовершенствования.

Воспроизводство мощности действующей шахты – это перманентный процесс, последовательная смена очистных забоев в их взаимосвязи с

внешней и внутренней средой, поддерживающей производственную мощность.

Однако разработка календарных графиков развития горнопроходческих работ имеет ряд затруднений, к которым следует отнести:

- сложно определить срок начала и окончания проекта подготовки нового очистного забоя;
- назначить ответственных лиц за своевременную подготовку очистного забоя;
- распределить ресурсы во времени;
- минимизировать издержки;
- не представляется возможным сбалансировать сроки выбытия и ввода лав. В первую очередь это касается шахт, на которых в одновременной работе находится несколько очистных забоев.

Цель настоящей статьи – обоснование и разработка методов совершенствования организации производства для оптимизации затрат инвестиционных проектов.

Количество одновременно действующих очистных забоев, с одной стороны, повышает производственную мощность шахты, а с другой – усложняет календарный график горнопроходческих работ. К примеру, на рис. 1 представлен календарный график подготовки очистных забоев шахты им. А.Ф. Засядько [9]. Производственная мощность шахты 1млн. 500тыс.т., количество одновременно действующих очистных забоев - 3,9. Использовать такой график для управления процессом подготовки очистных забоев весьма проблематично.

Из этого следует, что в качестве инструмента управления процессом воспроизводства очистных забоев на действующих угольных предприятиях целесообразно применить сетевые модели.

Воспроизводство мощности угледобывающего предприятия путем своевременной подготовки новых очистных забоев взамен выбывающих, отработавших запасы полезных ископаемых, осуществляется в соответствии с принятой технологической схемой вскрытия и подготовки угольных пластов и соответствующей системой разработки (табл. 1).

Таблица 1

Схемы подготовки очистных забоев

| Шифр схемы | Признаки | Варианты |
|------------|---------------------------------|---|
| I | Способ подготовки шахтного поля | 1.1 погоризонтный; 1.2 панельный; 1.3 этажный |
| II | Порядок отработки шахтного поля | 2.1 прямой; 2.2 обратный; 2.3 комбинированный |
| III | Порядок отработки пластов | 3.1 нисходящий; 3.2 восходящий; 3.3 комбинированный |
| IV | Способ подготовки пластов | 4.1 индивидуальный; 4.2 групповой |

| Наименование выработки | Длина, м | Скорость проведения, м/мес. | Продолжительность проведения, мес. | Календарный срок сооружения выработки, мес. | | | | | | |
|---|----------|-----------------------------|------------------------------------|---|------|------|------|------|----|----|
| | | | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Воздухоподающий и вентиляционный штреки блока №2 | 2200 | 70 | 15.7*2 | 15.7 | | | | | | |
| Фланговые вентиляционные сбойки блока № 2 | 600 | 60 | 5*2 | 5.0 | 20.7 | | | | | |
| Верхняя приёмная площадка конвейерного бремсберга блока № 2 | | 70 | 11*2 | 15.7 | 26.7 | | | | | |
| Конвейерный бремсберг блока № 2 с ходками | 3060 | 60 | 16.7*3 | 26.7 | | | 43.4 | | | |
| Приёмные площадки конвейерного бремсберга №2 блока № 2 | | 70 | 6*2 | 43.4 | | | | 49.4 | | |
| Нижняя приёмная площадка бремсберга № 2 блока № 2 | | 70 | 6*2 | 43.4 | | | | 49.4 | | |
| Ярусные конвейерные и воздухоподающие штреки лав блока № 2 | 2200 | 110 | 10*2 | 49.4 | | | | 59.4 | | |
| Разрезные печи лав блока № 2 | 400 | 110 | 1.8*2 | 59.4 | | | | 61.2 | | |
| Монтаж оборудования в лавах блока № 2 | | | 1*2 | 61.2 | | | | 62.2 | | |
| Главные откаточные штреки блока № 2 | 1100 | 70 | 7.8*2 | 49.4 | | | | 57.2 | | |
| Конвейерный уклон блока № 2 с ходками | 900 | 60 | 5*3 | 57.2 | | | | 62.2 | | |
| Воздухоподающие и вентиляционные штреки блока № 1 | 2200 | 70 | 15.7*2 | 5.0 | 20.7 | | | | | |
| Фланговые вентиляционные сбойки блока № 1 | 600 | 60 | 5*2 | 20.7 | | 25.7 | | | | |
| Приёмная площадка конвейерного бремсберга блока № 1 | | 70 | 11*2 | 20.7 | | 31.7 | | | | |
| Конвейерный бремсберг блока № 1 с ходками | 2100 | 60 | 11.7*3 | 31.7 | | | 43.4 | | | |
| Промежуточные приёмные площадки конвейерного бремсберга №1 блока №1 | | 70 | 6*2 | 43.4 | | | | 49.4 | | |
| Нижняя приёмная площадка конвейерного бремсберга №1 блока №1 | | 70 | 6*2 | 43.4 | | | | 49.4 | | |
| Ярусные конвейерные и воздухоподающие штреки лав блока №1 | 2200 | 110 | 10*2 | 49.4 | | | | 59.4 | | |
| Разрезные печи лав блока № 1 | 400 | 110 | 1.8*2 | 59.4 | | | | 61.2 | | |
| Монтаж оборудования в лавах блока № 1 | | | 1*2 | 61.2 | | | | 62.2 | | |
| Главные откаточные штреки блока № 1 | 1100 | 70 | 7.9*2 | 49.3 | | | | 57.2 | | |
| Конвейерный уклон блока № 1 с ходками | 1050 | 70 | 5*3 | 57.2 | | | | 62.2 | | |

Рис. 1. График организации работ при воспроизводстве мощности горного предприятия.

Схему подготовки дополняют системы разработки: сплошная, столбовая, комбинированная, камерная, камерно-столбовая.

Технологическая схема и системы разработки формируют состав горнопроходческих работ и дают возможность представить организацию и управления воспроизводством очистной линии забоев в виде сетевой модели, рассчитать продолжительность подготовки очистного забоя к заданному сроку, минимизировав при этом необходимые финансовые затраты.

Главным параметром сетевой модели является критический путь, определяющий продолжительность выполнения работ, входящих в инвестиционный проект. Расчет длины критического пути выполняется по общепринятой в мировой практике методике. К необходимой исходной информации для разработки сетевой модели воспроизводства очистного забоя и оптимизации (минимизации) затрат инвестиционного проекта следует отнести:

- разработку структуры сетевой модели, состава последовательно и параллельно проводимых выработок;
- длины и нормативные темпы (скорости) проводимых выработок;

- доверительные интервалы диапазона темпов проведения;
- срок подготовки очистного забоя;
- технологию проведения и другие (табл. 2).

Таблица 2

Технологические схемы проведения горных выработок [10].

| Шифр схемы | Способ разруше- ния пород | Проходческое оборудование | | |
|---------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|
| | | Буровое | Погрузочное | Транспортное |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | комбайновый | - | - | конвейерный транспорт |
| 2 | комбайновый | - | - | конвейерный транспорт |
| 3 | буро-взрывной | БУ, БУЭ | 2ПНБ-2Б | конвейерный транспорт |
| 4 | буро-взрывной | ЭБГП, СЭР | скреперная | конвейерный транспорт |
| 5 | буро-взрывной | БУ, БУЭ | 1ППН-5 | конвейерный транспорт |
| 6 | буро-взрывной | ЭБГП, СЭР | 1ППН-5 | конвейерный транспорт |
| 7 | буро-взрывной | БУ, БУЭ, | 1ППН-2, 2ППБ-2 | конвейерный транспорт |
| 8 | буро-взрывной | ЭБГП, СЭР | 1ППН-2, 2ППБ-2 | конвейерный транспорт |
| 9 | буро-взрывной | ЭБГП-5,СЭР | скреперная | конвейерный транспорт |

Механизм оптимизации сетевой модели подготовки очистного забоя проиллюстрируем на примере типовой схемы [11], рекомендованной для угольных шахт Донбасса, представленной на рис 2. Исходные данные о параметрах работ приведены в таблице 3. Механизм оптимизации представлен на рис. 3. Критический путь сетевой модели проходит через события 1-2-6-15-16-17 и составляет 41 мес. Условно заданный срок (T_s) равен 36мес.

Процедура определения темпов проведения горных работ, лежащих на критическом пути, осуществляется последовательным выполнением шагов 8-13.

Критериальным уравнением оптимизации является тождество:

$$B_i \cdot v_i^2 - C_i = const = F \quad (1)$$

где B_i – доля постоянных затрат на проведение i -ой выработки с плановыми (нормативными) темпами, тыс. грн.;

v_i – плановые (нормативные) темпы проведения i -ой выработки, лежащей на критическом пути, м./мес.;

C_i - доля переменных затрат на проведение i -ой выработки с плановыми (нормативными) темпами, тыс. грн.;

F_i – варьируемый стоимостной параметр, формируемый в виде банка данных $F_i = \overline{1, n}$, где n – количество работ в сетевой модели. Значение этого параметра возрастает путем суммирования его значений последовательно от начального события к конечному. Для каждого вариативного значения F определяются темпы и продолжительность проведения выработок критического пути и его длина ($T_{кр}$).

Таблица 3

Параметры горных выработок воспроизводства мощности угледобывающего предприятия

| Наименование выработок | Шифр – номер события | | Длина выработки, м | Скорость проведения, м/мес. | Продолжительность сооружения, мес. |
|--|----------------------|----|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 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 |
| Сооружение блокового воздухоподающего штрека | 2 | 4 | 700 | 70 | 10 |
| Сооружение блокового штрека | 4 | 10 | 840 | 70 | 12 |
| Монтаж оборудования для лавы | 3 | 7 | - | - | 3 |
| Доставка оборудования | 7 | 8 | - | - | 2 |
| Фиктивная работа | 8 | 11 | - | - | 0 |
| Сооружение людского ходка | 4 | 5 | 300 | 60 | 5 |
| Сооружение заездов | 5 | 6 | 180 | 60 | 3 |
| Фиктивная работа | 6 | 10 | - | - | 0 |
| Сооружение обходной выработки | 6 | 9 | 120 | 6 | 2 |
| Фиктивная работа | 9 | 12 | - | - | 0 |
| Проведение грузового ходка | 10 | 11 | 600 | 60 | 10 |
| Проходка разрезной печи | 11 | 12 | 200 | 50 | 4 |

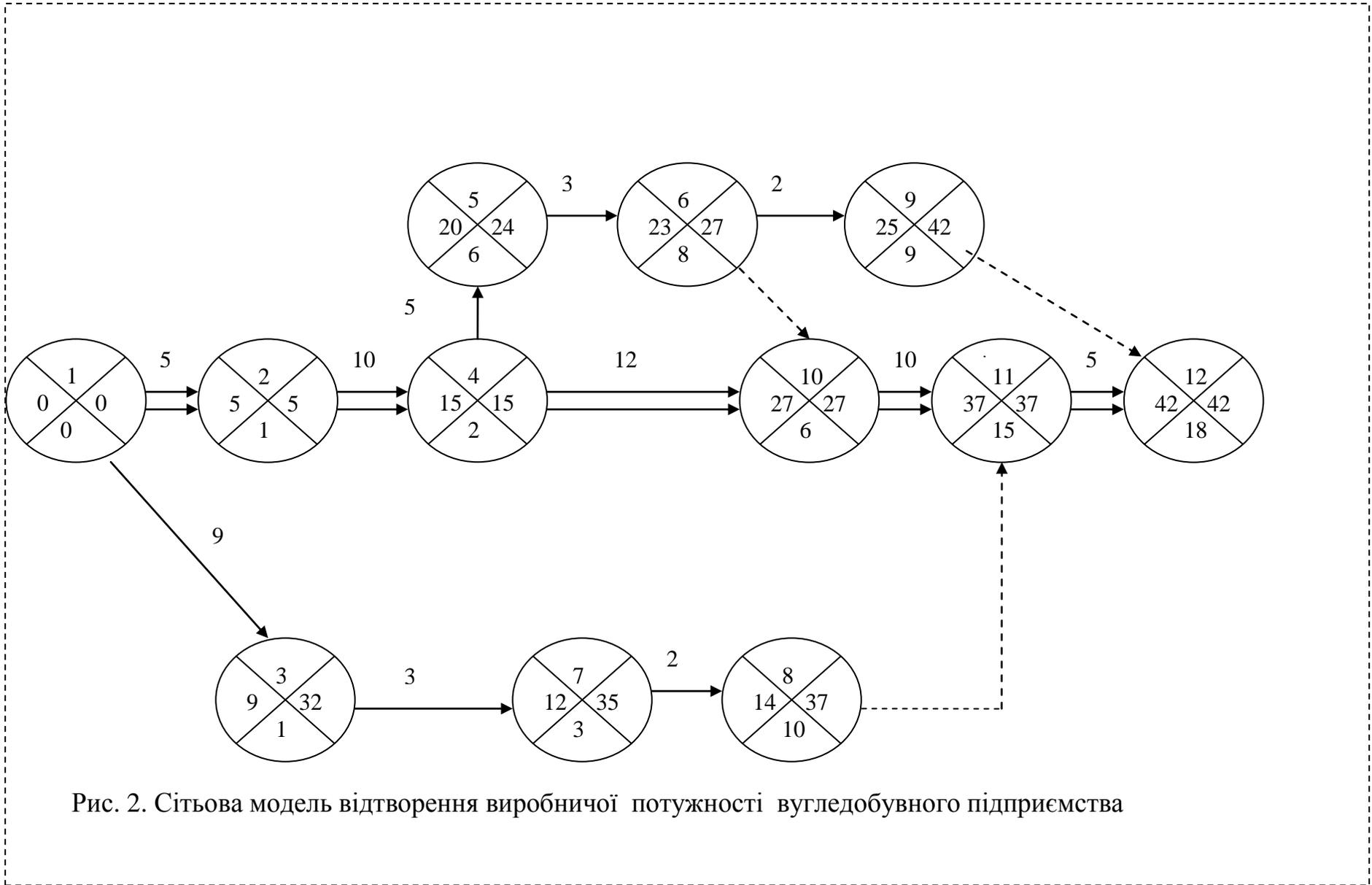


Рис. 2. Сітьова модель відтворення виробничої потужності вугледобувного підприємства

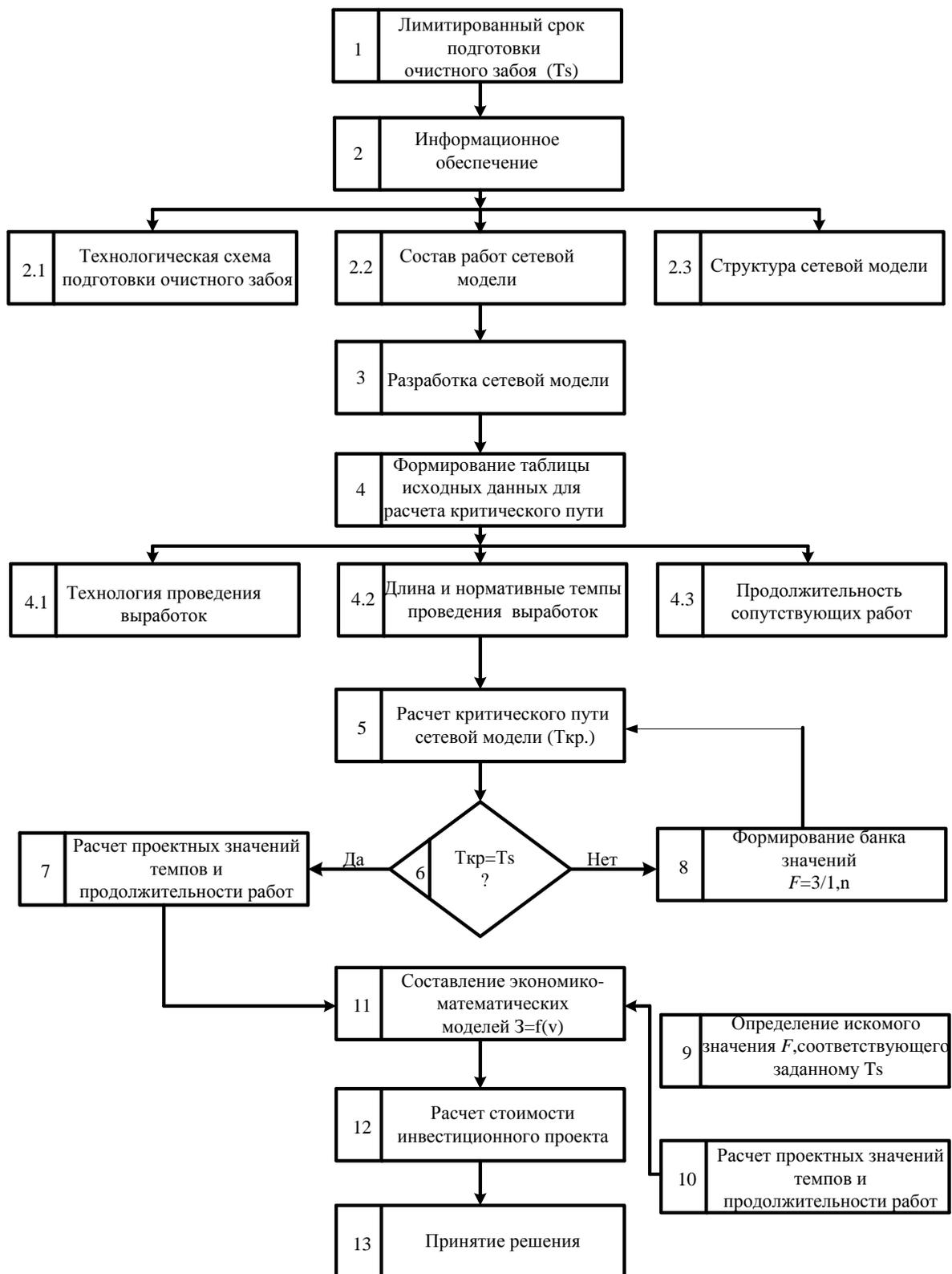


Рис. 3. Алгоритм оптимизации сетевой модели воспроизводства фронта очистных работ угольной шахты.

По каждому значению F определяются темпы проведения горных выработок критического пути по формуле:

$$v_i = \sqrt{\frac{F_i + C_i}{B_i}} \quad (2)$$

Продолжительность сооружения выработки ($t_i=l_i/v_i$) и длина критического пути по формуле:

$$T_{кр} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{v_i} + t_{p.n} + t_m \quad (3)$$

где $t_{p.n}$ – продолжительность регламентированных перерывов, мес.;
 t_m – время монтажно-демонтажных работ, мес.

Процесс расчета величины F прекращается при выполнении условия $T_{кр} = T_s$.

Величина параметра F определяется графическим путем (рис. 4).

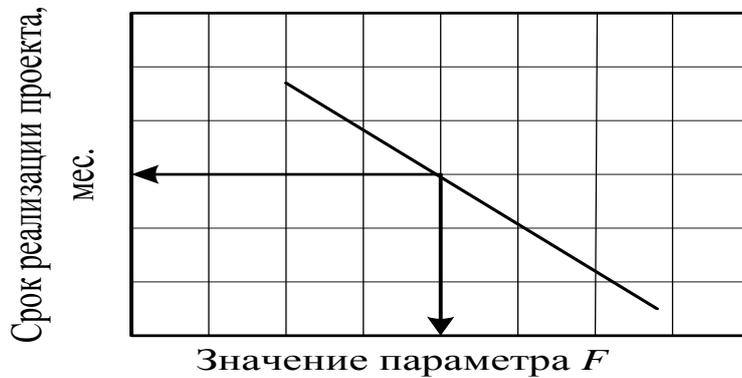


Рис. 4. Зависимость $T_{кр} = f(F)$.

Пределы диапазона отклонения моделируемых темпов проведения выработок определяются на основе анализа статистических данных или рассчитывается по формулам:

$$v_{i\min} = \frac{v_{nli}}{[\alpha / (\alpha + \beta) \cdot (K_m - 1)] + 1}, \quad (4)$$

$$v_{i\max} = \frac{v_{nli} \cdot d_i}{[\alpha / (\alpha + \beta) \cdot (K_m - 1)] + 1}, \quad (5)$$

где v_{nli} – (плановые) нормативные темпы проведения i -ой выработки, м./мес.;

α, β – параметры распределения реальных темпов проведения горных выработок, определяемые на основе принятого закона распределения в заданном интервале: нормальный, гамма или бета-распределение [9];

d_i – частное от деления фактических максимальных темпов проведения i -ой выработки к минимальным (табл. 4).

Таблица 4

Границы варьирования реальных темпов проведения горных выработок

| Вид выработки | Количество наблюдений | Темпы проведения, м./мес. | |
|---------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|
| | | минимальные | максимальные |
| Вертикальные стволы | 120 | 25 | 150 |
| Квершлагги | 70 | 30 | 120 |
| Полевые штреки | 170 | 30 | 130 |
| Пластовые штреки | 300 | 50 | 200 |
| Бремсберги и ходки | 250 | 30 | 130 |
| Уклоны и ходки | 60 | 30 | 120 |

Затраты на реализацию инвестиционного проекта рассчитываются по формуле:

$$Z = \sum_{i=1}^N K_i \cdot l_i \left(\lambda + \frac{\beta}{v} + \omega \cdot e^{\gamma \left(\frac{v-v_n}{v_n} \right)} \right) \quad (6)$$

где K_i – стоимость сооружения 1м i -й горной выработки, грн./мес.;
 λ, β, ω - параметры, характеризующие долю постоянных и переменных затрат в стоимости проведения выработки (табл. 5);

γ – статистический параметр, характеризующий влияние темпов проведения выработки на переменные затраты (табл. 6).

v – заданные темпы проведения горной выработки, м/мес.;

v_n – нормативные темпы проведения горной выработки, м/мес.;

Таблица 5

Обобщающие статистические коэффициенты, определяющие влияние скорости проведения выработки на стоимость

| Вид выработки | Значение коэффициентов | | |
|-----------------------------|------------------------|----------|---------|
| | λ | ω | β |
| Квершлагги | 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 |

Таблица 6

Значение статистического параметра γ [10].

| Технологическая схема | 1-9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 9 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| γ | 0,017 | 0,046 | 0,036 | 0,018 | 0,04 | 0,066 | 0,62 |

Разработанный методический подход оптимизации сетевых моделей подготовки новых очистных забоев упрощает решение задачи обоснования

затрат на воспроизводство мощности угледобывающих предприятий, а также позволяет учитывать не только затраты на проведение горных выработок, но и затраты на поддержание, что дает возможность перейти от планирования темпов к планированию продолжительности сооружения.

Планирование воспроизводства мощности угледобывающего предприятия на основе сетевых моделей дает возможность оптимизировать затраты на инвестиционный проект, что повышает уровень привлекательности инвестиций для угольных предприятий.

Список литературы

1. Павленко И.И. Система выбора перспективных шахт для инвестирования и поддержания их мощности / Павленко И.И., Снадчук Г.С.: Науковий вісник НГУ, 2009, №11. – С. 83-86;
2. Осмоловский В.В. Применение сетевого планирования и управления в горнорудной промышленности УССР / В.В. Осмоловский, А.А. Шершнев, А.В. Бузинкин. – К., УкрНИИНТИ, 1969. – 63с.;
3. Кузнецов К.К. Сетевые методы планирования и управления в угольной промышленности / К.К. Кузнецов, П.И. Рапопорт – М., «Недра», 1975. – 208с.;
4. Воробьев Б.М. Методы сетевого планирования и управления в угольной промышленности / Б.М. Воробьев, А.С. Бурчаков, С.С. Лихтерман, А.И. Свирид – М., изд-во «Недра», 1971. – 216с.;
5. Иванов Н.И. Стоимость и сроки строительства шахт (применение экономико-математических методов) / Н.И. Иванов, Ф.И. Евдокимов – Изд-во «Недра», 1968. – 216с.;
6. Зуховицкий С.И. Математические методы сетевого планирования / С.И. Зуховицкий, И.А. Радчик - М. «Наука», 1965.— 296 с;
7. Алымов А.Н. Воспроизводство и использование производственных фондов в угольной промышленности / А.Н. Алымов, А.Н. Федорищева – К.: Наукова думка, 1972. – 292с.;
8. Зборщик М.П. Воспроизводство мощности угольных шахт / М.П. Зборщик, Ф.И. Евдокимов, А.Т. Кучер. – К.: Техника, 1987. – 149с.;
9. Питенко И.В. Методологические основы инвестиционного проекта развития промышленных предприятий / И.В. Питенко, В.А. Кучер. - Донецк: «Вебер», 2009. – 722с.;
10. Бабиюк Г.В. Анализ показателей проходческих работ на шахтах ГП «Свердловскантрацит»/ Бабиюк Г.В., Смекалин Е.С.: Уголь Украины, 2008, - С. 16-20.
11. Прогрессивные технологические схемы подготовки и отработки пластов на угольных шахтах. – Москва. ИГД им. Скочинского. – 1979. – 576с.