

*д.т.н. Окалелов В. Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Приведен опыт применения методики функционально-структурной оптимизации сетей горных выработок в сложных горно-геологических условиях залегания угольных пластов.

Ключевые слова: сеть горных выработок, функционально-структурное проектирование.

Оптимизация сети горных выработок угольных шахт является весьма важной научно-технической задачей, успешное решение которой позволяет существенно (до 30%) сократить суммарную протяженность поддерживаемых выработок и сэкономить тем самым значительные финансовые ресурсы, расходуемые на обеспечение функционирования шахт.

До настоящего времени основным методом решения данной задачи было технико-экономическое сравнение вариантов систем разработки, схем подготовки и вскрытия шахтных полей [1]. Не останавливаясь на детальном анализе сущности данного метода следует отметить, что основной его недостаток связан с невозможностью гарантированного нахождения наилучшего варианта из всех возможных [2]. В работе [2] было предложено решать эту проблему с помощью морфологического анализа и процедуры Парето. При этом обеспечивалось нахождение подмножества Парето - оптимальных вариантов технологических схем шахты, из которых в дальнейшем уже с помощью метода технико-экономического сравнения выбирается оптимальный вариант.

Такой методический подход позволял уже более обоснованно подходить к формированию исходного перечня вариантов и формировать из него конкурентоспособные. Однако при этом остались не решенными вопросы оценки функционально-структурной организованности технической системы, наличие в ней дублирующих друг друга элементов, что в конечном счете приводило к проектированию сетей

горных выработок, содержащих избыточные функции и элементы.

С целью устранения отмеченных недостатков была предложена методика оптимизации сетей горных выработок на основе их функционально-структурного анализа [3]. Для проверки ее эффективности была решена задача обоснования оптимальной сети горных выработок для условий сближенных пластов l_3 и l_4 северного крыла блока № 1 ш. Комсомолец Донбасса, залегающих в весьма сложных горно-геологических условиях.

На восточной границе крыла угол падения пластов составляет 7 град., а на западной – 30 град. Пласты сближенные. Расстояние между ними по нормали 39 м. Природная относительная метаноносность пл. l_3 составляет $26 \div 40,5$, а пл. l_4 - $28-42$ м³/т.с.б.м., пласт l_3 опасен по внезапным выбросам. Размер участка по падению пл. l_3 изменяется от 2200 м у восточной границы до 900 м – у западной. По пл. l_4 эти размеры составляют соответственно 1800 и 800 м.

По проекту Донгипрошахта отработка данного участка предусматривалась по столбовой системе лавами по простиранию и этажной подготовке. Для этого предлагалось провести диагональный уклон и два ходка в центре участка по пл. l_3 и вскрыть пл. l_4 этажными квершлагами. Уголь с уклона предлагалось выдавать на северный полевой откаточный штрек гор. 418 м. У нижней границы блока на гор. 628 м предусматривалось проведение трех штреков: северного полевого конвейерного, северного полевого воздухоподающего

и северного полевого вентиляционного. У верхней границы предусматривалось проведение параллельного полевого откаточного штрека гор. 418 м.

Проветривание предусматривалось с нисходящим движением струи как в лавах, так и следующих за ними наклонных воздухоотводящих выработках с углом падения более 10° , что не соответствовало требованиям ПБ.

В связи с изложенным на шахте предлагался вариант отработки этого участка, предусматривающий проведение до места заложения уклона одного северного параллельного полевого откаточного штрека гор. 418 м, предназначенного для подачи свежей струи воздуха и откатки угля. Уклоны и ходки предлагалось проводить в междушастье в 5 м от кровли пл. l_3 . Движение воздушной струи в лавах - восходящее с выдачей исходящей по вентиляционным этажным штрекам на фланговую наклонную выработку, пройденную по пласту l_4 или l_3 на восточной границе участка рядом с последним выемочным столбом, отработанным лавой по восстанию. По этой фланговой выработке исходящая

струя воздуха должна была направляться на северный полевой вентиляционный штрек гор. 628 м.

При таком варианте подготовки пластов оставался открытым вопрос отведения исходящей струи воздуха из лав противоположного крыла оцениваемого участка и обеспечение безремонтного поддержания вентиляционных выработок. Поскольку и проектный, и шахтный вариант содержали существенные недостатки, то была выполнена предпроектная проработка возможных вариантов СГВ с использованием структурно-функциональной и функционально-структурной методик оптимизации.

Первоначально по методике [3] была составлена структурно-функциональная модель сети горных выработок, примыкающих к оцениваемому участку, для чего был построен граф соединений горных выработок (рис. 1) и матрица их функциональной загруженности (табл. 1), учитывающие их состояние и протяженность на момент разработки проектных решений. Расшифровка символов функций приведена в работе [3].

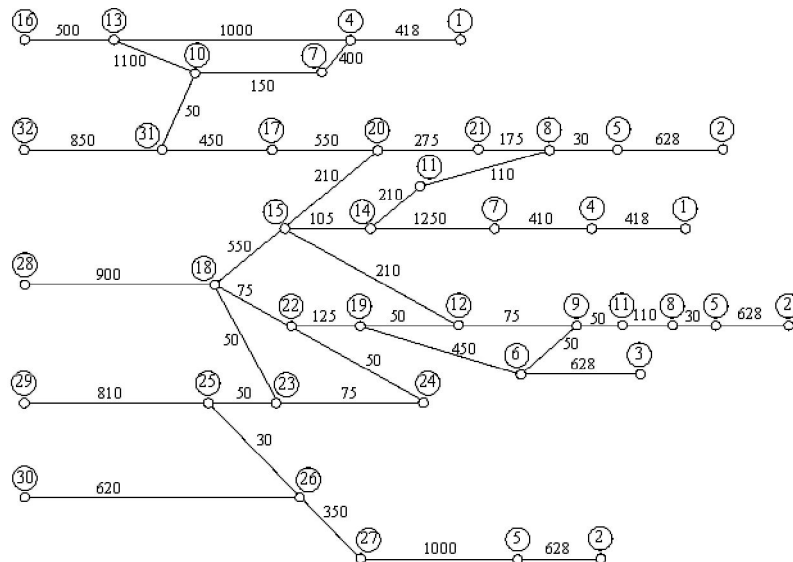


Рисунок 1 – Граф последовательности соединения сети горных выработок северного блока ш. Комсомолец Донбасса

Таблица 1 – Матрица функциональной загруженности горных выработок

| Цифровой код выработки | Функции | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | F_{33} | F_{34} | F_{35} | f_{311} | f_{312} | f_{361} | f_{362} | f_{371} | f_{373} | f_{392} |
| 1, 4 | | + | + | | + | | | 0,36 | | |
| 4, 13, 16 | | + | + | + | | | | 0,21 | | |
| 7, 10, 13 | 0 | + | + | | + | + | | 0,23 | | |
| 31, 32 | | | | | | + | | | 0,29 | |
| 10, 31, 17 | | | | | | + | | | 0,28 | |
| 17, 20 | | | | | | + | | | 0,28 | |
| 20, 21 | | | | | | | | | 0,32 | |
| 21, 8, 5 | | | | | | | | | 0,32 | |
| 7, 14, 15,12 | 0,4 | + | | + | | | | 0,02 | | |
| 12, 19,22 24 | | + | + | + | | | | 0,16 | | |
| 19, 6 | | + | + | + | | | | 0,35 | | |
| 14, 15, 12 | 0,4 | + | | + | | | | 0,02 | | |
| 12, 9, 11,8, 5 | 0,4 | | | | | | | 0,35 | | |
| 15, 18, 23 | | | | | + | | | | 0,17 | |
| 5, 27 | 0,55 | | | | | | | | 0,11 | |
| 27, 26 | 0,15 | | | | | | | | 0,11 | |
| 22, 18, 28 | | | | | + | | | | 0,02 | |
| 24, 23, 25, 29 | | + | + | + | | | | 0,30 | | |
| 26, 30 | 0,15 | | | | + | + | | | 0,22 | |
| 2, 5 | 0,6 | | | | | | + | | 0,84 | |
| 3, 6 | | + | + | + | | | | 0,9 | | + |

В табл. 1 представлены значения критериев загруженности выработок функциями F_{33} , f_{371} и f_{373} , оказывающих наиболее существенное влияние на эффективность отработки анализируемого участка. Критерий состояния выработок не учитывался, поскольку его величина для большинства выработок была равна единице или близка к ней. Матрица стыковочных узлов не составлялась ввиду того, что рассматривалась лишь часть СГВ, которая достаточно просто была отражена на графе с указанием расстояний между стыковочными узлами.

Анализ графа и матрицы позволил выделить параллельные ветви выработок, примыкающих к анализируемому участку. На гор. 418 м это ветви 1, 4, 13, 16; 1, 4, 7, 10, 13, 16 и 1, 4, 7, 10, 31, 32. На гор. 628 м: 18, 28; 18, 23, 25, 29; 26, 30.

Анализ их функций показал, что выработки, входящие в ветви 1, 4, 13, 16 и 1, 4, 7, 10, 13, 16, дублируют подачу свежей струи воздуха, а ветви 18, 28 и 26, 30 дуб-

лируют отведение исходящей струи воздуха гор. 628 м. Кроме того, выработки ветви 2, 5, 20, 17, 31, 32 также предназначены для отведения исходящей струи воздуха из лав, обрабатывающих северное крыло пл. l_4 .

Имеется дублирование и функции транспорта горной массы на гор. 418 м выработками ветвей 13, 10, 7, 14, 15, 12, 9, 11, 8, 5 и 16, 13, 10, 7, 14, 15, 12, 9, 11, 8, 5. Дублирующая эту же функцию ветвь выработок 30, 26, 27, 52 расположена и на гор. 628 м.

Наличие дублирующих ветвей позволило поставить вопрос о целесообразности их одновременного использования при подготовке анализируемого участка. Сложившаяся сеть горных выработок по пл. l_3 и l_4 предусматривала обеспечение транспорта горной массы на двух горизонтах одновременно с проветриванием выемочных столбов по нисходящей схеме. Это позволяло расширить возможности одно-

временной работы лав на двух горизонтах с их обособленным проветриванием и транспортом горной массы и потому, было оправданным. Однако при обработке северного крыла по предложенному базовому проектному варианту эти преимущества уже приводят к нарушению требований ПБ при проветривании лав. Кроме того, предложенная в проекте схема транспорта горной массы ведет к значительному перепробегу груза, а транспорт угля на гор. 418 м с помощью электровозной откатки менее производителен по сравнению с конвейерным на гор. 628 м. В этой связи возникла необходимость проверки целесообразности применения панельной подготовки участка с его обработкой по бремсберговой схеме. При этом транспорт горной массы от панельного бремсберга к главному стволу, можно осуществлять по выработкам ветви 30, 26, 27, 5, 2, которые фактически загружены выполнением данной функции от 15 до 60%. Проветривание лав предполагалось выполнять при этом по восходящей схеме с выдачей исходящей струи на гор. 418 м.

Поэтому была поставлена под сомнение целесообразность дальнейшего проведения северного полевого вентиляционного штрека гор. 628, который входит в ветвь 22, 18, 28 и загружен функцией отведения исходящей струи всего на 2%. Кроме того, исчезла и необходимость использования одного из магистральных откаточных штреков на гор. 418 м, так как транспорт горной массы к главному стволу можно осуществлять по выработкам гор. 628 м. В связи с этим признано целесообразным не проводить северный параллельный откаточный штрек гор. 418 до места заложения панельного бремсберга, а ограничиться проведением северного полевого откаточного штрека и использовать его в качестве вентиляционного для отведения исходящей струи из лав панели. Этот штрек загружен функцией проветривания всего на 28%, а функция "транспорт горной массы" на момент анализа не осуществлялась. Исходящую струю из штрека предложено

было направлять по ветви 10, 31, 17, 20, 21, 8, 5, выработки которой загружены функцией проветривания не более, чем на 32%.

Из изложенного видно, что все решения, рекомендованные на стадии анализа СФМ, позволили сразу достигнуть существенного упрощения СГВ за счет отказа от дальнейшего проведения двух полевых штреков. Однако остался не решенным вопрос о выборе наилучшего варианта топологии панельных выработок.

Поэтому в дальнейшем по методике, изложенной в работе [4] был осуществлен перебор вариантов с различным заложением панельных бремсбергов и ходков, уклонов и ходков, главных штреков и групповых штреков. В итоге было сформировано 10-технически осуществимых вариантов сетей панельных выработок.

Для выбора предпочтительных из них были построены их функционально-структурные модели реализации функции F_{21} (подготовка шахтного поля). Пример такой модели для 1-го варианта представлен в табл. 2. В ней указаны подготавливающие выработки, определяющие способ и схему подготовки пластов l_3 и l_4 . Знаком "+" отмечены выполняемые этими выработками функции, а знаком " \oplus " - функции, которые может потенциально выполнять горная выработка. Для каждой из построенных моделей рассчитаны критерии совмещения функций (k_{CF}), их широты (k_{wF}) и концентрации (k_N). Результаты расчетов представлены в табл. 3.

С помощью процедуры Парето из 10-и вариантов было отобрано лишь два предпочтительных.

По аналогичной методике были сконструированы и оценены варианты СГВ, определяющие систему разработки угольных пластов (функция F_{22}).

В результате из 20-и возможных вариантов для дальнейшего анализа отобрано 3, различающихся тем, что в одних предусмотрено деление яруса на подъярусы, в других такого деления нет, а также местом заложения участков бремсбергов, ходков и квершлаггов.

Таблица 2 – Функционально-структурная модель реализации функции F_{21} по варианту 1

| Выработки | Функции | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | F_2 | | | F_3 | | | | |
| | F_{21} | | F_{22} | F_{31} | F_{32} | F_{33} | F_{35} | |
| | f_{212} | f_{213} | f_{221} | | | f_{331} | f_{351} | f_{352} |
| 1. Уклон | + | + | + | | + | + | | + |
| 2. Людской ходок | + | + | + | + | | | + | |
| 3. Вспомогательный ходок | + | + | + | | | + | + | |
| 4. Сев. параллельный отк. штрек гор. 418 м | + | + | | + | + | + | | + |
| 5. Сев. полевой отк. штрек гор. 418 м | + | + | | + | + | + | + | |
| 6. Вентиляционный квершлаг l_3 - l_4 | + | | | | | | | + |
| 7. Заезд со вспомогательного ходка на северный полевой откаточный штрек | | | | | | + | + | |
| 8. Заезд с людского ходка на пл. l_3 | | | | + | | | + | |
| 9. Заезд со вспомогательного ходка на l_3 | | | | | | + | + | |
| 10. Северный ярусный квершлаг | + | | | + | | | | + |
| 11. Южный ярусный квершлаг | + | | | + | + | + | + | + |
| 12. Сбойка с l_3 на северный параллельный штрек гор. 418 м | | | | | + | | | |
| 13. Вентиляционная сбойка для проветривания камер подъемных машин | | | | | | | | + |

Таблица 3 – Результаты расчетов критериев k_{cF} , $k_{иF}$, k_N

| Вариант | Критерии | | |
|---------|----------|----------|-------|
| | k_{cF} | $k_{иF}$ | k_N |
| 1 | 0,452 | 0,077 | 0,686 |
| 2 | 0,473 | 0,071 | 0,654 |
| 3 | 0,479 | 0,083 | 0,705 |
| 4 | 0,490 | 0,091 | 0,706 |
| 5 | 0,490 | 0,077 | 0,626 |
| 6 | 0,500 | 0,091 | 0,706 |
| 7 | 0,464 | 0,071 | 0,670 |
| 8 | 0,448 | 0,083 | 0,705 |
| 9 | 0,452 | 0,077 | 0,723 |
| 10 | 0,454 | 0,091 | 0,748 |

После этого было построено шесть совмещенных функционально-структурных моделей СГВ, объединяющих подготавливающие и подготовительные выработки. Их оценка по указанным выше критериям показала, что предпочтительными являются три варианта. Первый предусматривает проведение северного параллельного полевого откаточного штрека до середины панели, бремсберга и двух ходков в междупластье, ярусных квершлагов в центре панели, вентиляционного панельного квершлага гор. 418 м, столбовую систему разработки - "лава-ярус".

Второй и третий варианты предусматривают проведение северного параллельного и полевого откаточных штреков гор. 418 м, грузо-людского уклона и ходка, ярусных квершлагов, панельного вентиляционного квершлага. Система разработки во втором варианте столбовая с делением

яруса на подъярусы, а в третьем – лава-ярус. В обоих случаях ярусные квершлагы закладываются в центре панели.

Указанные три варианта и были приняты для технико-экономического сравнения, в результате которого окончательно принят первый вариант. Его сравнение с базовым проектным показало, что удельные затраты снижаются на 81%, а по сравнению с шахтным - на 83%, что объясняется, прежде всего, снижением общего объема проведения магистральных штреков гор. 418 м и 682 м на 2250 м.

Таким образом, изложенный опыт использования методики функционально-структурного проектирования сетей горных выработок показал, что она позволяет находить оптимальные варианты развития СГВ среди большого их исходного числа без сложных предпроектных расчетов и обоснований.

Библиографический список

1. Шестаков В.А. Проектирование горных предприятий / В.А. Шестаков. – М.: МГГУ, 2003. – 795 с.
2. Бурчаков А.С. Выбор технологических схем угольных шахт / А.С. Бурчаков, В.А. Харченко, Л.А. Кафорин. – М.: Недра, 1975. – 274 с.
3. Окалелов В.Н. Функционально-стоимостное проектирование сети горных выработок / В.Н. Окалелов // Известия вузов. Горный журнал. – 1992. – № 2. – С.54-59.
4. Окалелов В.Н. Методика морфологического синтеза вариантов сетей горных выработок / В.Н. Окалелов // Уголь Украины. – 2007. – № 4. – С. 6-9.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Фрумкин Р. А.

Статья поступила в редакцию 04.11.13.

д.т.н. Окалелов В. М. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ У СКЛАДНИХ УМОВАХ РОЗРОБКИ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Наведений досвід застосування методики функціонально-структурної оптимізації мереж гірничих виробок в складних гірничо-геологічних умовах залягання вугільних пластів.

Ключові слова: мережа гірничих виробок, функціонально-структурне проектування.

Okalelov V. N. (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

OPTIMIZATION OF MINING WORKINGS SYSTEM IN THE COAL MINES, WHEN THE CONDITIONS OF COAL SEAM WORKING ARE DIFFICULT

The experience of application of the methodology of functional and structural optimization of mining workings system in difficult geological conditions of coal seam bedding.

Key words: mining workings system, functional and structural designing.