

РЕТРОСПЕКТИВА И ПРОГНОЗ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ И ПСИХОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОРАБОЧИХ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Виконано ретроспективний аналіз та виділено тенденції розвитку технології і засобів механізованого видобутку вугілля з тонких пологих пластів. Дано оцінку та зроблено прогноз зміни біомеханічних і психофізичних параметрів гірників очисного вибою з урахуванням тенденцій розвитку технології.

RETROSPECTION AND FORECAST OF BIOMECHANICAL AND PSYCHOPHYSICAL PARAMETERS OF THE STOPE COLLIERIES

The retrospective analysis is executed and the development tendencies of technology and means of the mechanize coal mining from thin flat seams are discharged. Estimation and forecast of change of biomechanical and psychophysical parameters of the stope colliers with allowance for development tendencies of technology also are made.

Основные характеристики этапов развития технологии и средств механизированной выемки угля из пологих пластов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики этапов технологии и средств механизированной выемки угля

Процесс (параметр)	до 1950 г.	1950-1960 гг.	1960-1970 гг.	1970-2000 гг.	после 2000 г.	
Выемка угля	Врубная машина	Широкозахватный комбайн. Струг	Узкозахватный комбайн	Механизированные комплексы 1-4 поколений (узкозахватный комбайн (струг), механизированная крепь, скребковый конвейер)	Механизированные комплексы НТУ (узкозахватный комбайн (струг), механизированная крепь, скребковый конвейер)	
Крепление	Деревянная крепь, посадочные стойки	Индивидуальная металлическая крепь, посадочные стойки	Механизированная крепь			
Транспортировка по лаве	Качающийся конвейер	Разборной скребковый конвейер	Передвижной скребковый конвейер			
График организации работ	Циклический					
Основные функции	Машинист	Перемещение по лаве, управление выемочной машиной				
	ГРОЗ	Бурение шпуров, навалка угля, установка/извлечение стоек крепи, передвижка конвейера	Зачистка угля, установка/извлечение стоек крепи, задвижка конвейера, оформление ниш	Зачистка угля, передвижка секций крепи, задвижка конвейера, оформление ниш		
Характер труда	Машинист	Средней тяжести	Средней тяжести	Средней тяжести	Тяжелый	Очень тяжелый
	ГРОЗ	Очень тяжелый	Тяжелый	Средней тяжести	Средней тяжести	Средней тяжести
Резерв времени на принятие решения	Машинист	Большой	Большой	Средний	Средний	Низкий
	ГРОЗ	Большой	Большой	Средний	Средний	Низкий

В развитии технологии и средств механизированной выемки угля можно выделить следующие основные этапы: до 1950 г. выемка угля производилась преимущественно буровзрывным способом с бурением шпуров при помощи буровых станков и предварительной зарубкой пласта врубовой машиной, управляемой машинистом [1]. Транспортировка угля по лаве осуществлялась качающимся конвейером, навалка угля на конвейер производилась горнорабочими вручную. Откатка угля по участковым и магистральным выработкам осуществлялась в вагонетках, до 1940 года вагонетки перемещались вручную, после - применялась электровозная откатка. Крепление производилось деревянными стойками. В 1950-1960 гг. на смену буровзрывному способу отбойки угля и врубовым машинам пришли широкозахватные комбайны, при благоприятных условиях разработки применялись струги. Транспортировка угля по лаве производилась разборными скребковыми конвейерами, по участковым выработкам – ленточными конвейерами, по магистральным штрекам – электровозами в вагонетках. Крепление лавы осуществлялось индивидуальной крепью (металлические призабойные, посадочные стойки). 1960-1970 гг. – начало внедрения узкозахватных комбайнов и применения механизированных крепей. Транспортировка угля по лаве – скребковыми конвейерами, по откаточным выработкам – ленточными. 1970-2000 гг. – внедрение механизированных комплексов 1-го (1970-1975 гг.), 2-го (1975-1985 гг.), 3-го (1985-1990 гг.) и 4-го (1990 – 2000 гг.) поколений. После 2000 г. - разработка и внедрение комбайновых и струговых механизированных комплексов нового технического уровня.

Отличие в основных функциях горнорабочих заключается в переходе от ручного труда к частично-механизированному, это касается, прежде всего, процессов передвижки конвейера, секций крепи, навалки угля на конвейер. Функции машиниста выемочной машины существенно не изменились. Характер труда горнорабочих менялся от очень тяжелого до средней тяжести, для машиниста выемочной машины – от средней тяжести до очень тяжелого. Качественная оценка резерва времени на принятие решения показывает, что при выемке угля с применением врубовых машин и широкозахватных комбайнов горнорабочие имели большее время на оценку ситуации, обдумывание и принятие наиболее оптимальных решений, с началом применения механизированных комплексов данный показатель постепенно уменьшается.

Основные параметры средств механизированной выемки тонких пологих пластов с учетом тенденций развития технологии представлены в табл. 2; на рис. 1 приведены тенденции изменения основных параметров средств механизированной выемки тонких пологих пластов.

Данные табл. 2 и рис. 1 свидетельствуют об увеличении энерговооруженности и производительности средств механизированной угледобычи, нагрузки на лаву, темпов подвигания забоев, производительности труда горнорабочих. Для современных средств добычи характерны более широкие диапазоны горнотехнических условий их применения: углы залегания, сопротивляемость разрушению пластов резанием, длина лавы. При этом надежность процесса добычи повысилась не существенно, а численность комплексной бригады горнорабочих

несколько возросла. Удельные энергозатраты на добычу угля имеют тенденцию к понижению.

Таблица 2 - Основные параметры средств механизированной выемки пологих пластов

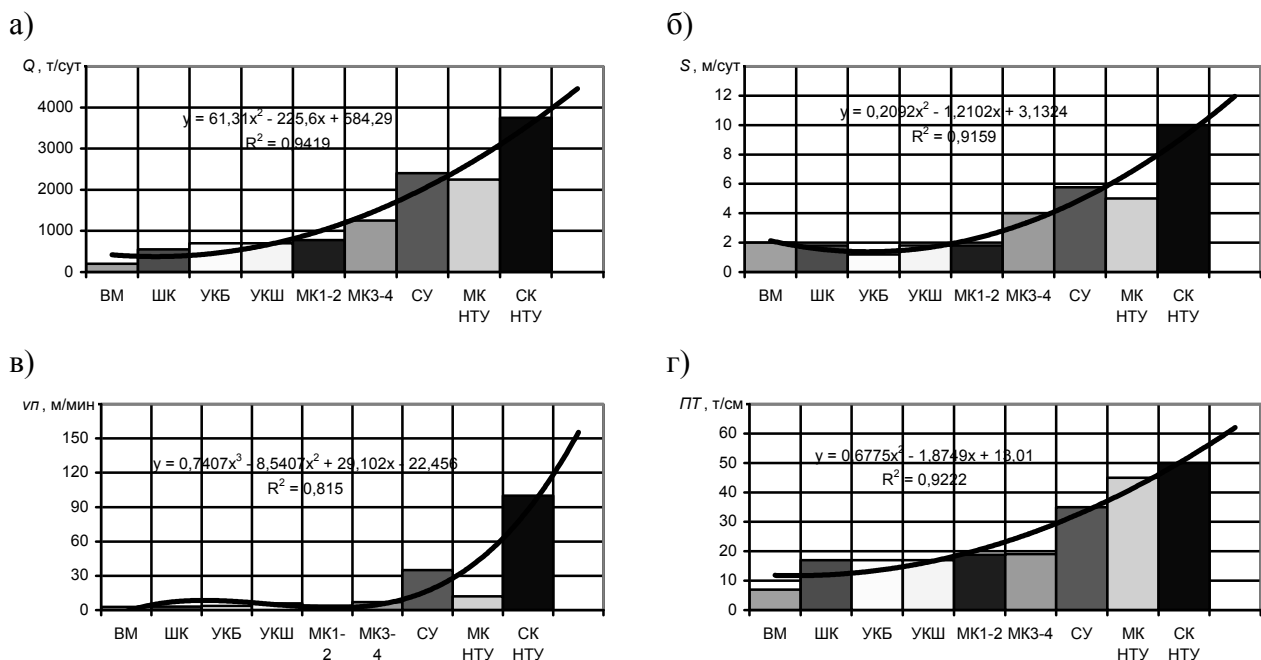
Параметр	Частично механизированная	Комбайновая			Комплексно-механизированная				
	Врубочная машина	Широкозахватные	Узкозахватные		Комбайновые комплексы			Струговые установки	Струговые комплексы НТУ
			барабанные	шнековые	1-2 поколений	3-4 поколений	НТУ		
Длина лавы, м	90-150	120-150	120-150	120-150	120-150	200-220	200-350	60-200	150-250
Величина захвата, м	2,0	1,6-2,0	0,8-1,0	0,63; 0,8	0,63; 0,8	0,63; 0,8	0,63; 0,8	0,06-0,1	0,04-0,16
Производительность, т/мин	1,8	0,95-2,6	1,35-2,8	1,2-3,4	3-5	5-8	4-10	1,8-10	6-12
Нагрузка на лаву, т/сут	100-300	500-600	600-800	600-800	700-900	1000-1500	1500-3000	1000-2400	2500-5000
Подвигание забоя, м/сут	2	1,6-2	0,8-1,6	1,2-2,4	1,2-2,4	3,6-4,2	4,6-5,2	5-7	7-12
Коэффициент готовности выемочной машины	0,8-0,85	0,2	0,3-0,35	0,3	0,3	0,35	0,4-0,8	0,4-0,58	0,35-0,45
Суммарная мощность двигателей, кВт	75	40-95	65-120	110-115	120-190	200-315	420	20-90	220-500
Максимальная скорость подачи, м/мин	2,8	2,8-3,5	2,7-4	6	4-6	5-10	12-20	28-40	35-130
Удельные энергозатраты, кВт ч/т	0,8-1	2,6-2,8	2,2,-2,3	1,8-2,1	2,3-2,6	2-2,2	1,6-1,75	0,3-0,4	1,1-1,25
Численность бригады, чел	10-12	10-12	14-16	14-16	10-12	15-18	18-20	18-20	12-20
Производительность труда, т/чел-см.	5-10	15-20	15-20	15-20	16-19	18-20	20-55	30-40	40-60

Прогноз основных показателей средств механизированной выемки тонких пологих пластов показывает, что в прогнозном периоде, который с учетом тенденций и этапов развития средств механизированной выемки тонких пологих пластов составляет 10-15 лет, производительность выемочных машин в среднем возрастет до 12-14 т/мин, нагрузка на забой составит 4000-4500 т/сут, подвигание забоя – 10-12 м/сут, производительность труда горнорабочего составит 60-65 т в смену.

При выраженной тенденции к повышению производительности, параметры организации процессов в лаве и основные функции горнорабочих остаются практически неизменными. Так, для всех этапов развития средств механизированной добычи угля характерно присутствие подготовительных, заключитель-

ных, конечных операций, регламентных перерывов, а горнорабочие выполняют схожие основные функции: управление выемочной машиной, передвижка крепи и конвейера, зачистка и погрузка угля на конвейер, оформление ниш.

Поскольку технология угледобычи коренным образом не изменилась, а повышение энерговооруженности, скорости подачи и производительности выемочных машин предъявляет новые требования к горнорабочим, то прогнозирование изменения их биомеханических и психофизических параметров с учетом тенденций развития технологии представляет собой актуальную научную задачу.



ВМ – врубная машина, ШК – широкозахватный комбайн, УКБ – узкозахватный комбайн барабанный, УКШ – узкозахватный комбайн шнековый, МК1-2, МК3-4 – механизированные комплексы 1-2-го и 3-4-го поколений, СУ – струговые установки, МК НТУ – механизированные комплексы нового технического уровня, СК НТУ – струговые комплексы нового технического уровня

а) нагрузки на лаву Q , б) подвигания забоя S , в) скорости подачи выемочной машины v_n , г) производительности труда горнорабочих $ПТ$

Рис. 1 - Тенденции изменения основных параметров механизированной выемки тонких пологих пластов

Таким образом, главным направлением совершенствования технологии угледобычи до настоящего времени остается развитие средств механизации, в первую очередь за счет увеличения их энерговооруженности, скорости подачи и производительности. Так, скорость подачи современных комбайнов достигает 12-20, а стругов 100-120 м/мин. Однако, если для технологии струговой отработки пластов характерно дистанционное управление стругом, то для комбайновой выемки остается необходимость в перемещении машиниста по лаве вслед за выемочной машиной. Значения скорости подачи на прогнозируемый

период будут в среднем составлять: для очистных комбайнов - 30-35, для стругов - 150-160 м/мин.

Повышение скорости подачи очистных комбайнов требует от машинистов увеличения затрат энергии на перемещение по лаве, повышение же скорости движения стругов сопровождается увеличением темпов процессов добычи, а следовательно, и темпов поступления к машинисту информации о текущей ситуации в забое, состоянии горного массива, средств добычи и пр.

Зависимость энергозатрат машиниста от скорости перемещения по лаве имеет следующий вид [2-4]:

$$E = E_0 + b_1v + b_2v^2,$$

где v - скорость передвижения, м/мин; E_0 - затраты энергии в состоянии покоя, Вт; b_1 и b_2 - коэффициенты, характеризующие соответственно линейный и квадратичный компоненты реакции организма на нагрузки умеренной, большой и субмаксимальной относительной мощности (согласно [2-4] для случая перемещения машиниста по лаве в положении «полулежа» приняты следующие параметры: $E_0=280$ Вт, $b_1=6$, $b_2=2$).

Для оценки экономичности перемещения машиниста в процессе выемки целесообразно ввести показатель экономичности, обратный энергозатратам машиниста на 1 тонну горной массы:

$$КЭ = \frac{Q}{E} = \frac{vmr\gamma}{E} = \frac{mr\gamma}{\frac{E_0}{v} + b_1 + b_2v},$$

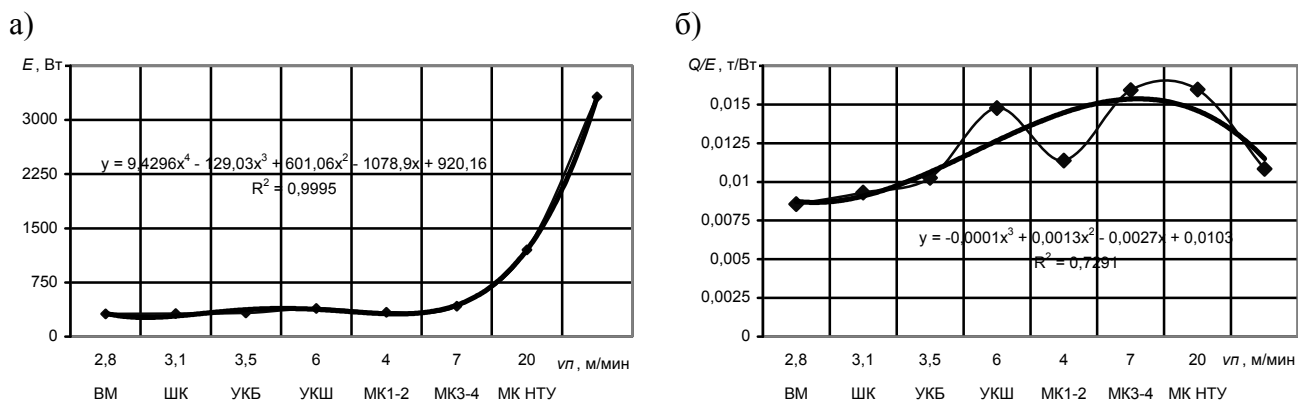
где E - общие затраты энергии, Вт; E_0 - затраты энергии в состоянии покоя, Вт; Q - количество добываемого угля, т/мин; v - скорость передвижения машиниста, м/мин; m - мощность пласта, м; r - ширина захвата комбайна, м; γ - плотность горной массы, т/м³.

Изменение энергозатрат и показателя экономичности перемещения машиниста от скорости подачи, характерной для различных средств механизированной выемки тонких пологих пластов, приведена на рис. 2.

Анализ данных свидетельствует, что тенденция повышения скорости подачи комбайнов будет сопровождаться повышением затрат энергии машиниста на перемещение по лаве. Так, затраты энергии машиниста при прогнозируемых скоростях подачи (30-35 м/мин) будут в 5-10 раз превышать затраты энергии при перемещении вслед за врубовыми машинами и очистными комбайнами 1-4 поколений.

Показатель экономичности достигает своего оптимального значения 0,016 т/Вт для механизированных комплексов 3-4 поколений, а затем резко понижается, а его прогнозные значения составят 0,01-0,012 т/Вт, что приближается к значениям данного показателя для врубовых машин.

Таким образом, тенденция повышения скорости подачи и производительности средств очистной выемки угля в ближайшей перспективе будет сопровождаться существенными затратами энергии горнорабочего на перемещение по лаве, а показатель экономичности перемещения будет иметь тенденцию к резкому снижению.



ВМ – врубная машина, ШК – широкозахватный комбайн, УКБ – узкозахватный комбайн барабанный, УКШ – узкозахватный комбайн шнековый, МК1-2, МК3-4 – механизированные комплексы 1-2-го и 3-4-го поколений, МК НТУ – механизированные комплексы нового технического уровня

Рис. 2 - Изменение энергозатрат (а) и показателя экономичности машиниста (б) от скорости подачи, характерной для различных средств механизированной выемки тонких пологих пластов

Увеличение темпов угледобычи предъявляет высокие требования к организации и слаженности взаимодействия горнорабочих между собой в процессе управления добычной техникой. Критерием надежности работы системы «звено ГРОЗ - очистной комплекс» с учетом психофизических параметров горнорабочих является вероятность безотказной работы:

$$p = \prod_{i=1}^n p_i = \prod_{i=1}^n \ln(1 + I_{Pi} I_{Ti} I_{Di}), \quad (1)$$

где n - число горнорабочих комплексной бригады; I_{Pi} , I_{Ti} , I_{Di} - показатели полноты, своевременности и достоверности информированности горнорабочих, зависящие от количества информации, поступающей к горнорабочему, времени реализации решения, длительности периода от момента начала формирования решения до момента его окончания, опыта, квалификации (навыка) рабочих, определяющих скорость переработки информации, эмоционального состояния, темперамента личности, индивидуальных психофизиологических особенностей [5,6].

Производительность выемочного комбайна с учетом (1) будет определяться выражением:

$$q = mr\gamma_n P = mr\gamma_n \ln(1 + I_{Pi} I_{Ti} I_{Di})^n$$

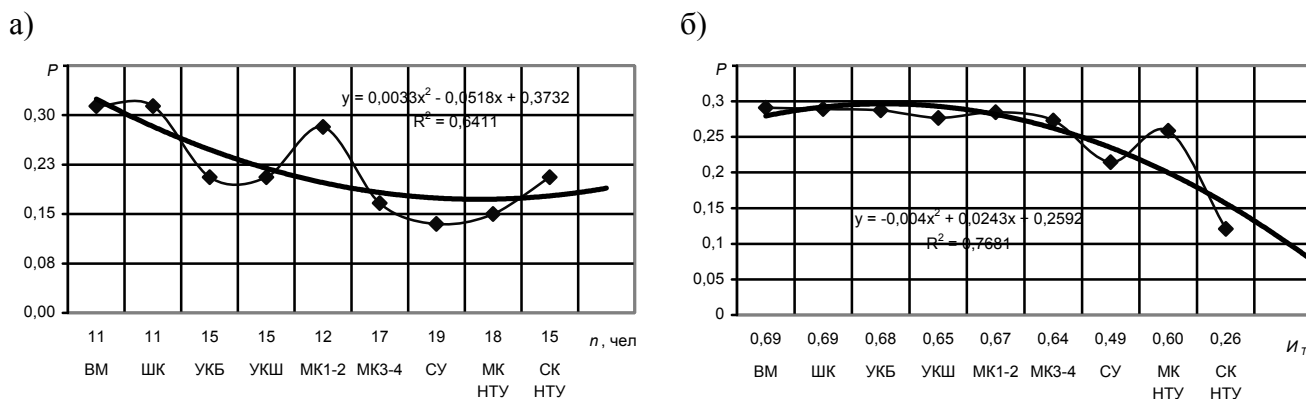
струговой установки:

$$q = mh\gamma_c P = mh\gamma_c \ln(1 + I_{II} I_T I_D)^n,$$

где m - вынимаемая мощность пласта, м; r - ширина захвата комбайна, м; γ - объемная плотность угля, т/м³; h - толщина стружки, м; v_n - скорость подачи комбайна, м/мин; v_c - скорость движения струга, м/мин.

Поскольку число горнорабочих в забое, оборудованном комбайновым комплексом НТУ, превышает данный параметр, как для стругов, комплексов 1-3 поколений, так и для врубовой машины, что связано, прежде всего, с увеличением длины лавы и отсутствием эффективных средств дистанционного управления процессом передвижки секций крепи, следовательно и надежность системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» при прочих равных условиях будет ниже. Зависимость вероятности безотказной работы системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от численности горнорабочих комплексной бригады, в предположении одинакового уровня их информированности (1), приведена на рис. 3а.

Повышение темпов добычи увеличивает количество информации, поступающей к горнорабочему, сокращает ресурс времени на ее переработку, формирование и реализацию решения. Зависимость вероятности безотказной работы системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от показателя своевременности информированности (количества поступающей информации и ресурса времени реализации решения) приведена на рис. 3б.



ВМ – врубовая машина, ШК – широкозахватный комбайн, УКБ – узкозахватный комбайн барабанный, УКШ – узкозахватный комбайн шнековый, МК1-2, МК3-4 – механизированные комплексы 1-2-го и 3-4-го поколений, СУ – струговые установки, МК НТУ – механизированные комплексы нового технического уровня, СК НТУ – струговые комплексы нового технического уровня

Рис. 3 – Изменение вероятности безотказной работы системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от численности комплексной бригады (а) и показателя своевременности информированности (б) для различных средств механизированной выемки тонких пологих пластов

Анализ графиков свидетельствует о том, что вероятность безотказной работы, при прочих равных условиях, снижается с увеличением количества горнорабочих в комплексной бригаде. Следовательно, надежность системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» при выемке угля комплексами НТУ в целом ниже, чем при выемке угля комплексами 1-4 поколений и врубовыми машинами.

С увеличением скорости подачи, темпов процесса выемки, сокращением ресурса времени на реализацию решения и увеличением количества поступающей к горнорабочим информации вероятность безотказной работы системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» будет снижаться в параболической зависимости. Так, вероятность безотказной работы данной системы для комбайновых комплексов НТУ будет в 1,5 раза, а для струговых – в 2-2,5 раза ниже, чем при выемке угля врубовыми машинами, комбайнами и комплексами 1-2 поколений. Прогнозные значения скоростей подачи также свидетельствуют о резком снижении надежности работы такой системы. Однако в данном случае увеличение численности горнорабочих может положительно сказаться на надежности, так как общее количество информации будет распределено между членами бригады.

С учетом тенденций развития технологии и средств механизированной добычи угля с целью сокращения времени переработки информации и повышения ресурса времени реализации решения должны предъявляться большие требования к слаженности работы бригады, распределению обязанностей и между ее членами, психологии поведения человека в коллективе. При оценке надежности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» необходимо руководствоваться принципом равномерного распределения информации между членами комплексной бригады, в соответствии с их навыками, опытом, квалификацией.

Выводы.

1. Главным направлением совершенствования технологии угледобычи является увеличение энерговооруженности, скорости подачи и производительности выемочных машин. До сих пор передвижение людей по лаве не механизировано, поэтому повышение скорости подачи очистных комбайнов требует от машинистов увеличения затрат энергии на перемещение, повышение скорости движения стругов сопровождается увеличением темпов поступления к горнорабочему информации и сокращением ресурса времени на реализацию решения.

2. Тенденция повышения скорости подачи и производительности средств очистной выемки угля сопровождается существенными затратами энергии горнорабочего на перемещение по лаве, а показатель экономичности перемещения имеет тенденцию к резкому снижению. Предельная скорость подачи в ближайшем будущем будет трудно соизмерима со скоростью перемещения и энергозатратами человека. Затраты энергии машиниста комбайна при прогнозируемых скоростях подачи 30-35 м/мин будут в 5-10 раз превышать затраты энергии при перемещении вслед за врубовыми машинами и очистными комбайнами 1-4 поколений. Показатель экономичности перемещения машиниста по лаве достигает своего оптимального значения 0,016 т/Вт для механизированных комплексов

3-4 поколений, а затем резко понижается; его прогнозные значения составят 0,01-0,012 т/Вт, что приближается к значениям данного показателя для врубовых машин.

3. Надежность системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» по факторам «человеконасыщенность» и «быстрота принятия решения» снижается в параболической зависимости с увеличением количества горнорабочих в комплексной бригаде и темпов процесса выемки; вероятность безотказной работы такой системы с учетом тенденций повышения производительности и скорости подачи выемочных машин будет в 1,5-2 раза ниже, чем при выемке угля врубовыми машинами, комбайнами и комплексами 1-2 поколений.

4. Раньше средства добычи были более примитивные, однако было больше времени на обдумывание ситуаций и принятие решений. С целью сокращения времени переработки информации, повышения ресурса времени для принятия правильного решения в опасной и аварийной ситуации должны предъявляться большие требования к слаженности работы бригады, распределению обязанностей и между ее членами, психологии поведения человека в коллективе. При оценке надежности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» необходимо руководствоваться принципом равномерного распределения информации между членами комплексной бригады, в соответствии с их навыками, опытом, квалификацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горные машины и комплексы / А.В. Топчиев, В.И. Ведерников, М.Т. Коленцев и др. - М.: Недра, 1971. – 560 с.
2. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений: Учеб. пособие. - М.: Просвещение, 1989.— 210 с.
3. Попов Г.И. Прогностическое тестирование спортсменов // Сборник трудов РГАФК. - М. - 1998. - Т. 3. - С. 35-42.
4. Зацюрский В.М., Алешинский С.Ю., Якунин Н.А. Биомеханические основы выносливости. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 207 с.
5. Приснякова Л.М. Нестационарная психология. - Киев: Днипро, 2002. – 255 с.
6. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. – Киев: Наукова думка, 2005. - 744 с.