

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ УГЛЕДОБЫЧИ К ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

Розроблено комплекс критеріїв оцінки готовності основних систем вуглевидобутку до підвищення безпеки, з урахуванням індивідуальних особливостей, психофізичних, біомеханічних параметрів гірників і імовірності своєчасного і безпомилкового рішення ними задачі. Проведено аналіз впливу індивідуальних особливостей гірників на продуктивність і посування вибою, ретроспективний аналіз і прогноз біомеханічних і психофізичних параметрів гірників і порівняльний аналіз готовності систем «гірники - очисний комплекс» до підвищення рівня безпеки вуглевидобутку в комбайновій і струговій лавах.

DEVELOPMENT OF CRITERIA OF READINESS ESTIMATION OF COAL MINING MAIN SYSTEMS TO INCREASE OF SAFETY

The complex of criteria of readiness estimations of coal mining main systems to increase of safety, with allowance for of specific features, psychophysical, biomechanical parameters of the colliers both probability of the well-timed and error-free solution a tasks by them is designed. The analysis of influencing of the colliers specific features on productivity and wall advance, retrospective analysis and forecast of the colliers biomechanical and psychophysical parameters and comparative analysis of readiness of systems « the colliers - longwall set of equipment » to increase of a coal mining safety level in cutter-loader and plough longwalls is conducted.

Решение проблемы высокого уровня аварийности и травматизма на угольных шахтах указывает на необходимость совершенствования подходов и методов, учитывающих взаимодействие главных подсистем технологии угледобычи – человека, природной среды и техники [1-3]. Существующие в настоящее время методы не учитывают в полной мере всего комплекса параметров, характеризующих взаимодействия в основной системе угледобычи «горнорабочие – очистной комплекс» и не раскрывают в совершенстве такой интегральной характеристики как «человеческий фактор» [4, 5]. Актуальной является задача разработки критериев оценок готовности основных систем к безопасной угледобыче для снижения уровня аварийности и травматизма на шахтах.

На основании проведенных исследований процессов угледобычи с комплексным учетом параметров горнорабочих, технических и технологических параметров обоснован и разработан комплекс критериев оценок надежного и безопасного функционирования высоконагруженных лав, как сложных технологических систем, с учетом индивидуальных особенностей, психофизических, биомеханических параметров горнорабочих и вероятности своевременного и безошибочного решения ними задачи:

- критерий рационального подбора рабочих очистного забоя определяется соотношением интегральных коэффициентов r_x и r_y , первый из которых характеризует способность рабочих восстанавливать силы и зависит от возраста рабочего, его физических кондиций и прочих факторов, которые для каждого

конкретного рабочего увеличивают либо снижают уровень восстановления сил, второй характеризует готовность рабочего к выполнению технологических операций и зависит от факторов, которые для каждого конкретного рабочего увеличивают либо снижают уровень усталости (мотивированность рабочих, их квалификация, опыт, принятая система стимулирования и пр.)

$$k_{pnp} = \frac{r_e}{r_y}; \quad (1)$$

- в качестве критерия надежности работы системы “машинист - выемочный комбайн НГУ” с учетом психофизических параметров горнорабочих предложено использовать вероятность безотказной работы такой системы, которая определяется числом горнорабочих комплексной бригады, показателями полноты, своевременности и достоверности информированности, которые зависят в свою очередь от количества информации, поступающей к горнорабочему, времени реализации решения, продолжительности периода от момента начала формирования решения до момента его окончания, опыта, квалификации (навыков) горнорабочих, скорости переработки информации, эмоционального состояния, темперамента личности, индивидуальных психофизиологических особенностей

$$P = \prod_{i=1}^n P_i = \prod_{i=1}^n \ln \frac{e}{e} + \frac{P_i - P}{P^+ + P} \cdot \frac{D_i - D}{D^+ - D} \cdot \left[1 - \frac{T_i \ln \frac{e}{e} + \frac{I_i}{R_i T_i} T^- + (T^+ - T_{rk})}{2(T^+ - T^-)} \right] \quad (2)$$

где P^+ , P - максимально целесообразный и минимально допустимый объем информации, необходимый для принятия решения; P_i - текущий объем информации, полученный горнорабочим; D^+ , D - соответственно максимальный и минимальный, практически целесообразный уровень достоверности информированности; D_i - текущая величина достоверности информированности горнорабочего; T^- , T^+ - соответственно минимально и максимально возможная длительность периода формирования решения; R_i - темп поступления информации в память (приема информации памятью), ед/с; I_i - некоторое конечное количество информации, хранящееся в памяти по истечению достаточно большого промежутка времени, ед; T_i - постоянная времени переработки информации памятью, с; T_{rk} - длительность периода от момента на-

чала формирования решения до момента его реализации, с;

- в качестве критерия экономичности перемещения машиниста в процессе выемки угля предложено использовать показатель энергозатрат машиниста на тонну добытой горной массы (энергетической стоимости тонны горной массы)

$$\frac{E}{Q} = \frac{E}{v_n m r g} = \frac{\frac{E_0}{v_n} + b_1 + b_2 v_n}{m r g}, \quad (3)$$

где v_n - скорость подачи комбайна, м/мин; m - вынимаемая мощность пласта, м; r - ширина захвата комбайна, м; g - плотность горной массы, т/м³; E_0 - затраты энергии горнорабочего в состоянии покоя, Вт; b_1 - коэффициент, характеризующий линейный компонент реакции организма на нагрузку, который преобладает в зоне нагрузок умеренной и большой относительной мощности; b_2 - коэффициент, характеризующий квадратичный компонент реакции организма на нагрузку, возникающей в зоне большой и субмаксимальной относительной мощности, когда затраты на преодоление внешних сил сопротивления движению и на работу внутренних органов значительно возрастают;

- критерием эффективности процесса выемки угля является показатель экономичности функционирования системы "машинист – выемочный комбайн", который является мультипликативной функцией показателей экономичности машиниста и комбайна

$$KЭ_{чм} = \frac{\frac{\partial E}{\partial Q} \cdot \frac{\partial Q}{\partial v}}{H_w^{-1}} = \frac{m r g}{\frac{E_0}{v} + b_1 + b_2 v} \cdot \frac{v_n m r g}{60 P_{уст}}, \quad (4)$$

где $P_{уст}$ - устойчивая мощность двигателей комбайна, Вт;

- интегральным показателем (критерием) надежности системы управления процессом добычи угля является вероятность достижения запланированного объема добычи при обеспечении безопасности работ, которая зависит от вероятности безотказной работы (выполнения задачи), коэффициента готовности нижних звеньев управления, вероятности безошибочной работы текущего звена, вероятности своевременного решения задачи, вероятности исправления ошибочных действий текущим звеном управления

$$P^i = P_{\sigma}^{i-1} + (1 - P_{\sigma}^{i-1}) k_{\sigma}^i (P_{\sigma}^i P_{\sigma}^i + (1 - P_{\sigma}^i) P_{уст}^i), \quad (5)$$

где P_0^{i-1} - вероятность безотказной работы (выполнения задачи) нижнего i -го звена управления; k_c^i - коэффициент готовности i -го звена управления; P_0^i - вероятность безошибочной работы i -го звена; $P_{св}^i$ - вероятность своевременного решения задачи i -м звеном управления; $P_{исп}^i$ - вероятность исправления ошибочных действий i -м звеном управления.

Для определения коэффициентов r_y и $r_с$ (1), которые относятся к основным технологическим операциям процесса выемки угля и оказывают доминирующее влияние на показатели эффективности процесса, проведен полный факторный эксперимент. Диапазоны варьирования r_y и $r_с$ изменялись в пределах значений данных коэффициентов, определенных для шахт Западного Донбасса (от 0 до 0,2). Статистическая оценка достоверности результатов подтвердила адекватность описания поверхностей откликов полиномом 1-й степени (F -критерий Фишера составил 308 и 307, соответственно, для откликов производительность и подвигание забоя, табличное значение критерия при 12 варьированных параметрах для уровня значимости 0,05 составило 2,7; множественный коэффициент корреляции для обоих откликов близок 0,7) и значимость всех факторов в линейном уравнении регрессии (табличное значение t -критерия Стьюдента составило 1,96). График интенсивности влияния факторов на сменную производительность и подвигание забоя приведен на рис. 1 (факторы, оказывающие негативное влияние на функцию отклика выделены темным оттенком; уровень значимости ограничен прямой; ось OY - уровень значимости факторов). Для факторов введены следующие обозначения: X1, X2 - r_y и $r_с$ перемещения комбайна; X3, X4 - r_y и $r_с$ передвижки крепи; X5, X6 - r_y и $r_с$ восстановления комбайна; X7, X8 - r_y и $r_с$ восстановления крепи; X9, X10 - r_y и $r_с$ проведения регламентных перерывов; X11, X12 - r_y и $r_с$ восстановления забоя по горным факторам. Анализ результатов свидетельствует о доминирующем влиянии на производительность забоя факторов X1, X3, X2, X9, X5 и X7. Данные параметры, за исключением X2, характеризуют готовность рабочих к выполнению операций в течение смены. Значимость прочих факторов ниже, данные факторы X10, X6, X4, X8, X12 характеризуют способность рабочих восстанавливать силы.

Анализ результатов позволяет сделать вывод о существенно большем влиянии на эффективность добычи угля таких способностей человека как опыт, квалификация, мотивированность, принятая система стимулирования и о меньшем влиянии факторов, характеризующих возраст и физические кондиции рабочих. Установленные многофакторные зависимости также свидетельствуют о том, что факторы, относящиеся к таким технологическим операциям как управление комбайном и передвижка секций крепи являются наиболее важными с точки зрения требований к квалификации, опыту и физическим кондициям рабочих. На основании того, что картина интенсивности влияния коэффициентов на эффективность добычи будет различна для каждого забоя, можно также предложить дифференцированный подход к подбору

рабочих для каждого конкретного забоя, определяя доминирующий фактор для каждого забоя можно найти «узкое место» в системе «звено ГРОЗ – очистной комплекс» и дифференцированно осуществлять подбор кадров.

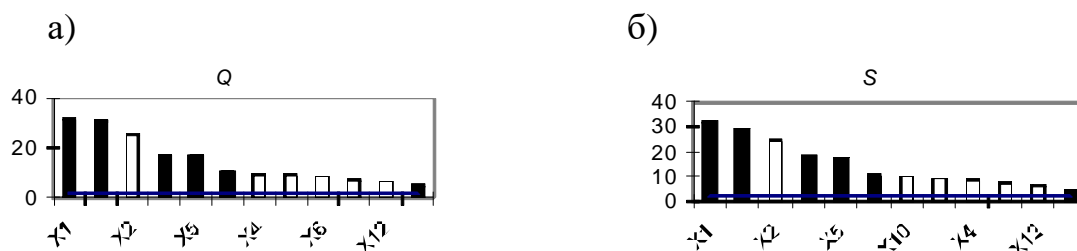
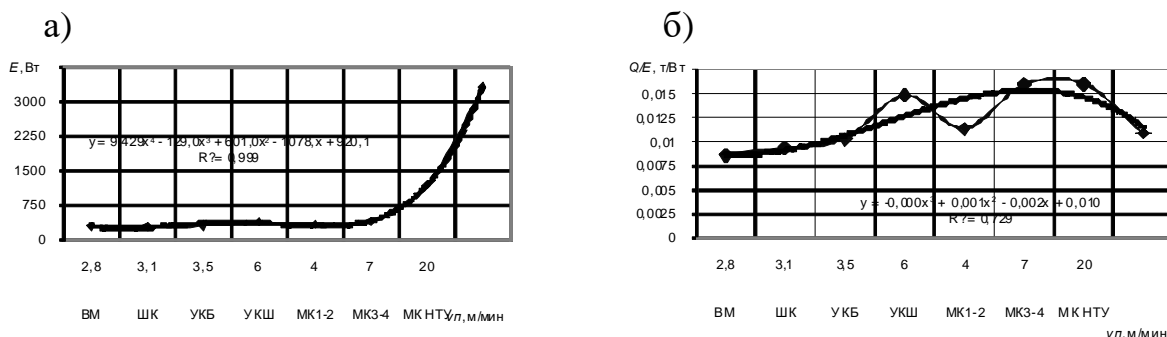


Рис. 1 - Интенсивность влияния коэффициентов r_y и r_g основных технологических операций на сменную производительность (а) и подвигание (б) очистного забоя.

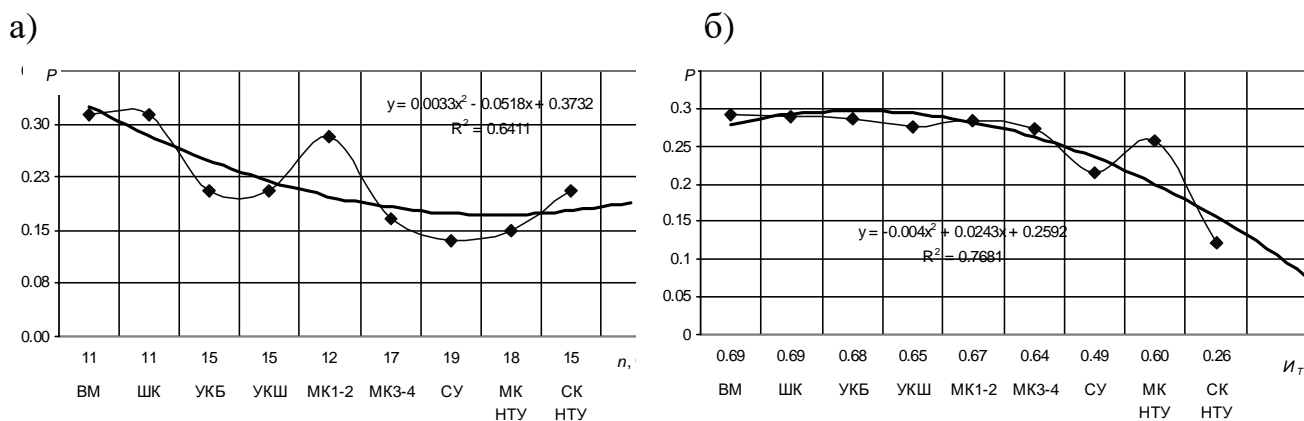


ВМ – врубовая машина, ШК – широкозахватный комбайн, УКБ – узкозахватный комбайн барабанный, УКШ – узкозахватный комбайн шнековый, МК1-2, МК3-4 – механизированные комплексы 1-2-го и 3-4-го поколений, МК НТУ – механизированные комплексы нового технического уровня

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

С помощью критериев (2)-(5) проведен ретроспективный анализ и прогноз биомеханических и психофизических параметров горнорабочих очистного забоя. Изменение энергозатрат и показателя экономичности перемещения машиниста от скорости подачи, характерной для различных средств механизированной выемки тонких пологих пластов, приведена на рис. 2, изменение вероятности безотказной работы системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от численности комплексной бригады (а) и показателя своевременности ин-

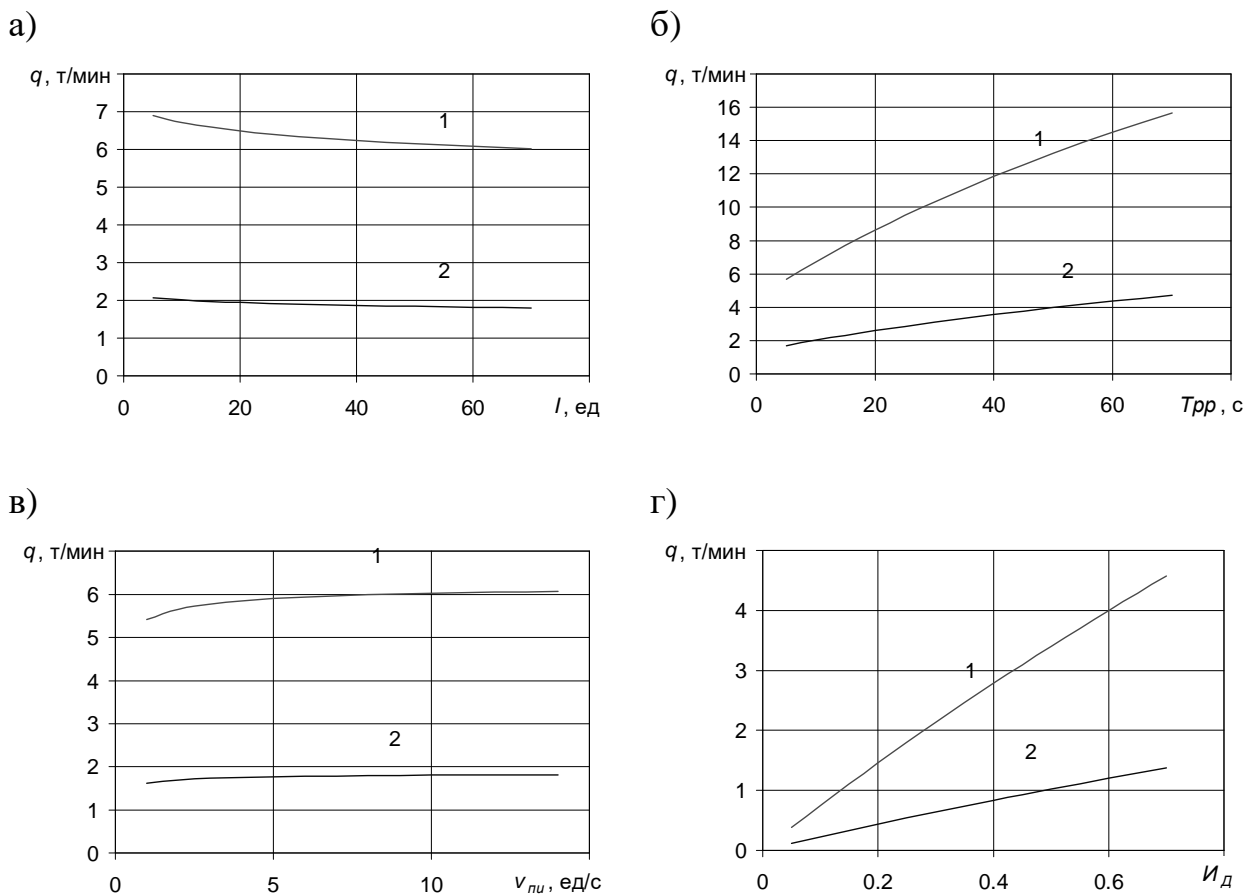
формированности - на рис. 3.



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

С помощью критериев проведено сравнение эффективности труда горнорабочих в комбайновой и струговой лавах. Основные закономерности изменения производительности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от психофизических параметров горнорабочих приведены на рис. 4. За один и тот же промежуток времени машинист струга должен переработать большее количество информации, чем машинист комбайна (рис. 4а). Таким образом, в струговой лаве увеличивается плотность потока информации, а также сокращается временной ресурс на формирование и реализацию решения (рис. 4б). Поэтому машинист струга должен обладать большими навыками, быть более опытным и квалифицированным в отношении процесса приема-переработки информации и принятия наиболее оптимального решения, определяемого текущей ситуацией (рис. 4в). Машинист комбайна, в свою очередь, обладает более достоверной информацией о текущей ситуации в забое, может наглядно визуально оценить состояние пласта, кровли, выемочной машины и соответственно принять более надежное решение (рис. 4г). Следовательно, струговая выемка предъявляет большие требования к качеству (достоверности и своевременности) информации, а также навыкам и квалификации машиниста по сравнению с комбайновой.



1 – струговая лава; 2 – комбайновая лава

Рис. 4 - Зависимость производительности системы q «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от количества поступающей к машинисту информации (а); временного ресурса реализации решения (б); параметра, характеризующего навыки, опыт, квалификацию машиниста (в); показателя уровня достоверности информированности (г);

Выводы.

1. Впервые разработан и обоснован комплекс критериев оценок надежного и безопасного функционирования высоконагруженных лав, как сложных технологических систем, с учетом индивидуальных особенностей, психофизических, биомеханических параметров горнорабочих и вероятности своевременного и безошибочного решения ими задачи.

2. Проведенный с помощью разработанных критериев анализ влияния индивидуальных особенностей горнорабочих на производительность и подвигание забоя, а также ретроспективный анализ и прогноз биомеханических и психофизических параметров горнорабочих очистного забоя показал:

- сменная производительность комплексно-механизированного забоя определяется совместным влиянием параметров, характеризующих готовность горнорабочих к выполнению основных технологических операций и способность восстанавливать силы. При этом доминирующее влияние на производительность забоя оказывают факторы, характеризующие готовность машинистов комбайна и крепи к выполнению технологических операций (квалифи-

кация, опыт, мотивированность); в меньшей степени производительность определяется факторами, характеризующими способность рабочих восстанавливать силы (возраст и физические кондиции);

- 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.

3. Основные результаты сравнительного анализа готовности систем «горнорабочие - очистной комплекс» к повышению уровня безопасности угледобычи в комбайновой и струговой лавах заключаются в следующем:

- главным резервом повышения производительности комбайновой выемки угля является увеличение скорости подачи. С увеличением скорости подачи очистных комбайнов энергозатраты машиниста в процессе перемещения по лаве увеличиваются в квадратичной зависимости. Машинист будет нести существенные энергозатраты при увеличении скорости подачи, особенно при выемке угля из пластов мощностью 0,7-0,9 м. С увеличением скорости подачи очистных комбайнов показатель экономичности функционирования системы «машинист - выемочный комбайн» имеет предел, обусловленный физиологическими возможностями (биомеханическими характеристиками) машиниста. Поскольку для скорости подачи будет достигнут предел в экономичности работы системы «машинист – выемочный комбайн», а управление таким параметром, как ширина захвата, на практике в широких диапазонах трудноосуществимо, в ближайшей перспективе потребуются либо изменение технологии комбайновой угледобычи, либо вывод машиниста из лавы. С точки зрения энергозатрат и экономичности системы «машинист – выемочный комбайн» струговая выемка имеет существенные преимущества перед комбайновой;

- в струговой лаве технология предусматривает удаление человека от машины и снабжение его информацией, что увеличивает время реакции машиниста струга на нештатную ситуацию. При увеличении нагрузки на струговую лаву увеличивается плотность потока информации, а также сокращается ресурс времени на формирование и реализацию решения, поэтому машинист струга должен владеть большими навыками, быть более опытным и квалифицированным при приеме и переработке информации. Поскольку машинист комбайна находится непосредственно в забое, он обладает более достоверной информацией о текущей ситуации, поэтому надежность принятия наиболее оптимального решения в комбайновой лаве выше, чем в струговой. Меньшая трудоемкость струговой выемки и сокращение численности горнорабочих в струговой лаве ведет к повышению общей надежности и производительности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюханов А.М. Научная основа программы повышения безопасности труда на угольных шахтах Украины / А.М. Брюханов // Уголь Украины. - 2004. - № 2. - С. 27-29.
2. Федченко Ю.А. Влияние природного, технологического и человеческого факторов на безопасность высокопроизводительных очистных забоев / Ю.А. Федченко // Уголь. – 2006. - № 7. – С. 26-28.
3. Коркин Т.А. Концептуальные положения инвестирования в человеческий капитал угледобывающего предприятия / Т.А. Коркин // Горный журнал. – 2009. - № 6. – С. 23-29.
4. Тополов В.С. Охрана труда и человеческий фактор в угольной промышленности Украины / В.С. Тополов, В.М. Ивагин, А.А. Ануфриенко // Уголь Украины. – 2005. - № 2. – С. 29-32.
5. Галкин А.В. К вопросам повышения надежности персонала горного предприятия в обеспечении безопасности производства / А.В. Галкин // Горный информационно аналитический бюллетень. – 2007. - № 12. – С. 47-50.

УДК 622.807.54

К.В. Кузьминов, к.т.н., ст. преп.,
Я.Я. Лебедев, к.т.н., доц.,
Е.А. Яворская, к.т.н., асс.
(НГУ)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВНЕШНИХ УТЕЧЕК ВОЗДУХА НА МАРГАНЦЕВЫХ ШАХТАХ

Обґрунтовано вибір параметрів пристроїв для зниження зовнішніх витоків повітря шляхом створення повітряної завіси.

GROUND OF PARAMETERS OF DEVICES FOR THE DECLINE OF EXTERNAL LOSSES OF AIR ON MANGANESE MINES

It is grounded choice of parameters of devices for the decline of external sources of air by creation of air curtain.

На марганцевых шахтах утечки воздуха через надшахтные здания вентиляционных стволов часто достигают 50% от производительности вентилятора, а иногда и превышают эту величину.

Исследования выполненные в НГУ [1] позволяют сделать вывод, что струйная аэродинамическая установка (САУ) (рис. 1) может быть эффективным средством снижения непроизводительных потерь воздуха через надшахтные здания.

При работе указанной установки, по периметру устья вентиляционного ствола создается струя воздуха с большим напором, которая перекрывает ствол и направлена против потока утечек воздуха, проникающих через неплотности надшахтного здания.

Воздушная завеса, перекрывающая устье ствола, с забором воздуха из надшахтного здания приводит к перераспределению воздуха в сторону его увеличения в шахтной вентиляционной сети, и уменьшения подсосов. Производительность главного вентилятора незначительно уменьшается.

Использование воздушной завесы может дать ощутимый экономический эффект только при условии применения САУ с обоснованными значениями