

*Канд. техн. наук, научн. сотр. Шевченко В.Г.
(ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина)
Канд. техн. наук, доц.каф. ЭК и ИТ Смекалин Е.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ НА КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННУЮ ЛАВУ ОТ УРОВНЯ КВАЛИФИКАЦИИ И УСТАЛОСТИ ГОРНОРАБОЧИХ

Розроблено алгоритм моделювання процесу виїмки вугілля комплексно-механізованим вибоєм з урахуванням параметрів, що характеризують кваліфікацію і втому гірників. Встановлено закономірності зміни показників ефективності процесу виїмки від рівня кваліфікації і втому гірників.

Приоритетным направлением развития технологии подземной угледобычи является совершенствование средств комплексно-механизированной очистной выемки угля. За последнее десятилетие разработан и внедрен на шахтах Украины целый ряд комплексов нового технического уровня. Однако при стабильности развития технологии и совершенствовании добычной техники резервы ее функционирования реализованы не полностью. Так, эксплуатационная производительность комплексов нового технического уровня в среднем составляет 40-50 % технической, а на отдельных шахтах и участках не превышает 25 %. Возникает проблема полной реализации технологического резерва комплексно-механизированной подземной угледобычи [1-3].

Одной из причин существенного различия в проектной и фактической производительности современных средств очистной выемки угля, является отсутствие методов расчета, позволяющих учитывать, как на стадии проектирования очистных комплексов, так и при их эксплуатации, влияние параметров, характеризующих квалификацию и усталость горнорабочих, на эффективность процесса добычи угля. Поэтому, разработка методов расчета и установление закономерностей изменения производительности комплексно-механизированных забоев от уровня квалификации и усталости машинистов, является актуальной научно-прикладной задачей. Решение подобного рода задачи позволит обоснованно выбирать рациональные параметры процессов добычи угля, как при эксплуатации очистных комплексов, так и на стадии их проектиро-

вания, и в конечном итоге приблизить эксплуатационные показатели работы комплексов к уровню запланированных, проектных значений.

Современная технология комплексно-механизированной подземной добычи угля предполагает функционирование подсистемы очистных работ посредством тесного взаимодействия бригады горнорабочих (ГРОЗ) и комплекса машин. В связи с многообразием основных и вспомогательных функций, выполняемых горнорабочими очистного забоя, процесс взаимодействия подсистем «человек» и «машина» целесообразно рассматривать как систему «звено ГРОЗ – комплекс машин». Так как существующие показатели эффективности не позволяют напрямую учесть влияние параметров данной системы на эффективность процессов, в качестве критерия, отражающего готовность системы «звено ГРОЗ – комплекс машин» к выполнению технологических операций добычи угля, необходимо использовать показатель - коэффициент готовности человеко-машинной системы $k_2^{чМ}$, равный:

$$k_2^{чМ} = k_2^М k_2^ч = \frac{t_p^М}{t_p^М + t_в^М} \times \frac{t_p^М + t_в^М}{t_p^М + t_в^М + t_в^ч} = \frac{t_p^М}{t_p^М + t_в^М + t_n}, \quad (1)$$

где $k_2^М$, $k_2^ч$ – коэффициенты готовности соотв. машины и человека;

$t_p^М$, $t_p^ч$, $t_в^М$, $t_в^ч$, – суммарное время работы и суммарное время восстановления соответственно машины и человека, мин; (так, в комплексной бригаде время работы человека равно суммарному времени работы машины и времени ее восстановления: $t_p^ч = t_p^М + t_в^М$; время восстановления человека равно регламентированному времени на отдых – t_n).

Время (скорость) выполнения рабочими технологических операций при выемке угля, определяется множеством факторов, к которым относятся: параметры, определяющие мотивацию и стимулирование рабочих (уровень заработной платы, карьерный рост, повышение квалификации, овладение навыками, приобретение новых знаний, повышение самооценки, одобрение коллектива, наследственность профессии, денежная премия, социальные гарантии со стороны государства и пр.); социально-психологические (квалификация, психологический настрой, темперамент, возраст, социальное положение, отношение к труду, климат в коллективе и пр.); производственно-экономические (уровень добычи, себестоимость, производительность труда и пр.).

Помимо данных параметров на процесс добычи угля оказывают влияние организационные факторы: суммарная продолжительность перерывов на отдых рабочих t_n , число перерывов на отдых n_n , нормативы

времени выполнения основных технологических операций (математическое ожидание и дисперсия при случайном характере параметров): управление комбайном, передвижка става конвейера, передвижка секций крепи, восстановление комбайна, конвейера, крепи, восстановление лавы при отказе по горным факторам, проведение регламентных перерывов.

Задача исследований состоит в учете динамики изменения времени выполнения горнорабочими основных технологических операций процесса выемки угля в течение добычной смены (учет влияния параметров, характеризующих уровень квалификации и усталости горнорабочих), установлении зависимостей между показателями эффективности процесса и параметрами, характеризующими уровень квалификации и усталости горнорабочих, и нахождении рациональных значений продолжительности и числа перерывов на отдых рабочих для каждого конкретного очистного забоя.

Время выполнения технологических операций рабочими T зависит от текущего времени смены t и к концу смены из-за снижения скорости реакции, усталости и прочих факторов данное время отлично от нормативного T_0 , т.е. время выполнения рабочими операций снижается (затухает) к концу смены. Априори предположим, что скорость изменения усталости рабочих $\frac{dY}{dt}$ в процессе добычи пропорциональна самому уровню усталости Y : $\frac{dY}{dt} = r_y Y$ (r_y - некоторый коэффициент пропорциональности). Если время выполнения рабочими операций прямо пропорционально уровню усталости, интегрируя, получаем: $T = C e^{tr}$. При наличии у рабочих определенного начального норматива выполнения операций $T_0 = C$, имеем:

$$T = T_0 e^{tr_y}, \quad (2)$$

где r_y – интегральный коэффициент, характеризующий готовность рабочего к выполнению технологических операций, зависящий от факторов, которые для каждого конкретного рабочего увеличивают либо снижают уровень усталости (мотивированность рабочих, их квалификация, опыт, принятая система стимулирования и пр.).

Для времени выполнения операций, в зависимости от уровня восстановления рабочими сил, по аналогии запишем:

$$T = T_0 e^{-t n r_s}, \quad (3)$$

где r_g – интегральный коэффициент, характеризующий способность рабочих восстанавливать силы, зависящий от возраста рабочего, его физических кондиций и прочих факторов, которые для каждого конкретного рабочего увеличивают либо снижают уровень восстановления сил.

С целью учета взаимосвязей в системе «звено ГРОЗ – очистной комплекс» и установления закономерностей функционирования такой системы, разработан алгоритм имитационной многофакторной модели процесса добычи угля [4], учитывающий, наряду с комплексом технологических, технических, горно-геологических, горнотехнических и организационных параметров, снижение времени выполнения рабочими основных технологических операций (управление комбайном, перемещение става конвейера, передвижка секций крепи, восстановление оборудования, проведение регламентированных перерывов, восстановления забоя по горным факторам) к концу смены, а также повышение уровня восстановления сил рабочими с увеличением числа и продолжительности перерывов на отдых. Оценка адекватности модели показала достаточную для проведения инженерных расчетов сходимость выходных показателей с фактическими показателями работы забоев шахт Западного Донбасса, абсолютное отклонение для которых не превысило 25 %.

Для условий разработки пологих пластов, характерных для забоев шахт Западного Донбасса, проведены аналитические исследования процесса выемки угля. Установлены зависимости выходных показателей процесса от коэффициентов r_y и r_g при широких диапазонах их варьирования (рис.1).

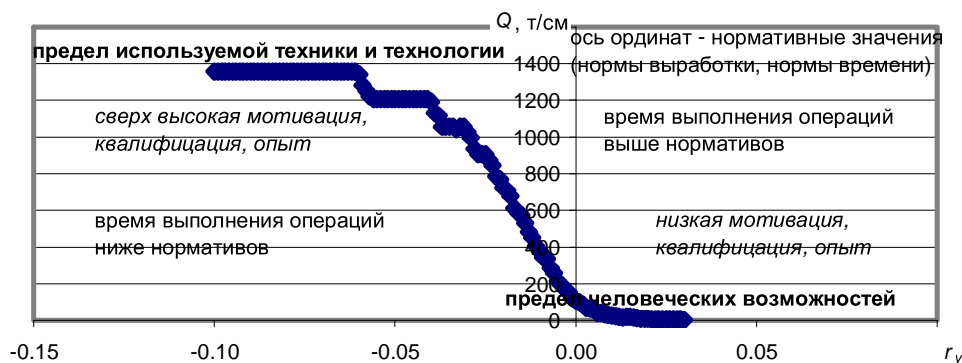
Как видно эффективность процесса обратно пропорциональна коэффициенту r_y и прямо пропорциональна r_g . Отношение данных параметров характеризует критерий рационального подбора рабочих очистного забоя:

$$k_{пр} = \frac{r_g}{r_y}. \quad (4)$$

На графике (рис. 1а) можно выделить характерные области, отражающие взаимосвязи системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс». Так, ось ординат определяет существующие нормативы (нормы выработки, нормы времени) процесса добычи угля. В левой (относительно оси OY) плоскости лежит область, в которой время выполнения технологических операций человеком ниже нормативных значений, в правой плоскости – область, для которой характерно время выполнения операций превышающее нормативные значения. В левой области также находится пре-

дел эффективности процесса добычи угля для используемой техники и применяемой технологии. В правой области лежит предел человеческих возможностей по осуществлению операций технологии комплексно-механизированной добычи угля. Анализ графика на рис. 1б также указывает на существование предела для реализации физических возможностей горнорабочих, определяемого уровнем их квалификации, опыта, мотивированности и пр.

а)



б)

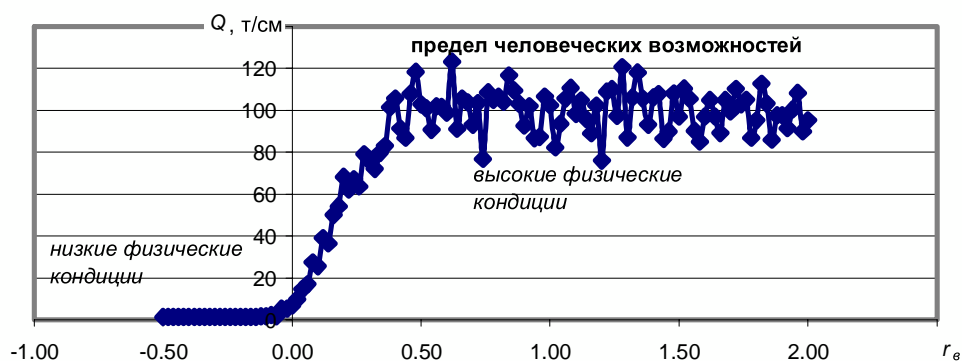


Рисунок 1 – Зависимость сменной производительности забоя от коэффициентов r_y (а) и $r_в$ (б)

Установлена зависимость коэффициента готовности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от суммарной продолжительности перерывов на отдых рабочих (рис. 2).

Данная параболическая зависимость имеет экстремум, наличие которого объясняется тем фактом, что с одной стороны перерывы меньшей продолжительности увеличивают время цикла по выемки угля, с другой – снижают уровень восстановления рабочими сил, что при определенных r_y влечет к существенному увеличению времени выполне-

ния рабочими операций и, наоборот, увеличение продолжительности перерывов – уменьшает время цикла и увеличивает уровень восстановления рабочими сил, что приводит к сокращению времени выполнения ними операций до нормативных значений. Наличие экстремума указывает на существование оптимальной продолжительности перерыва на отдых рабочих в каждой конкретной лаве. Точка же экстремума зависит как от комплекса горнотехнических, горно-геологических и технологических факторов, так от индивидуальных особенностей рабочих, осуществляющих в данном забое добычу угля, выражаемых через интегральные коэффициенты r_y и r_g .

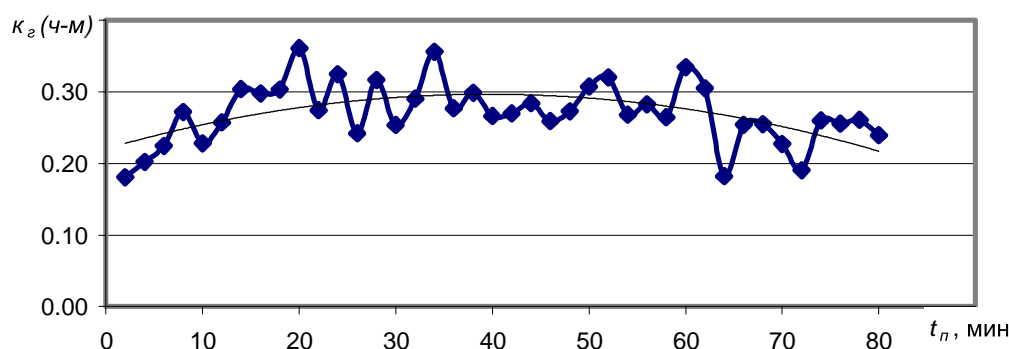


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента готовности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от продолжительности перерывов на отдых

Проведенные исследования указали на тот факт, что зависимость выходных показателей процесса от продолжительности перерывов на отдых имеет нелинейный характер, который обуславливается влиянием на процесс добычи усталости и способности рабочих восстанавливать свои силы.

Практическое значение данного результата исследований состоит в нахождении оптимального значения продолжительности перерывов на отдых для каждого конкретного забоя с учетом влияния как горнотехнических, горно-геологических, технических и технологических факторов, так и индивидуальных особенностей рабочих, осуществляющих в нем добычу, учитываемых через интегральные коэффициенты r_y и r_g .

Так, для приведенного примера, при исходных значениях параметров, характерных для шахт Западного Донбасса, с увеличением суммарной продолжительности перерывов на отдых с 30 до 38 минут нагрузка на забой возрастет на 36 тонн в сутки, что позволит получить экономический эффект в сумме 2 млн. грн в год.

Установлены зависимости выходных показателей процесса добычи от числа перерывов на отдых n_n при их одинаковой суммарной продолжительности $t_n = const$. Зависимость коэффициента готовности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от числа перерывов на отдых рабочих, равномерно распределенных на временной оси, приведена на рис. 3.

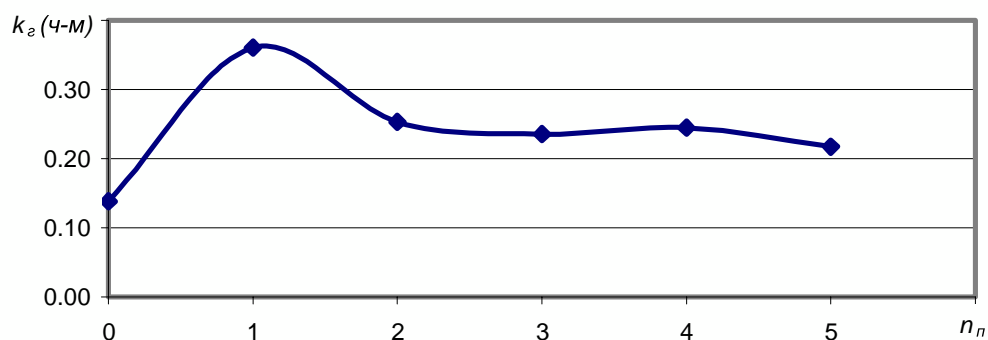


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента готовности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» от числа перерывов на отдых рабочих при их одинаковой суммарной продолжительности

Анализ зависимости указывает на существование единственного максимального значения. Присутствие экстремума объясняется тем, что рабочим в течение смены необходим хотя бы один перерыв для восстановления сил. С другой стороны, увеличение числа перерывов негативно отражается на машинной подсистеме, что связано с надежностью оборудования, – для машин сокращается промежуток времени t_i , который, при их определенном уровне надежности, может быть потенциально использован для добычи угля:

$$t_i = \frac{T_{см} - T_{пз} - t_{п}}{n_n + 1}, \quad i = 1..n+1, \quad (5)$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены, мин; $T_{пз}$ – продолжительность подготовительно-заключительных операций, мин.

Для определения коэффициентов r_y и r_g , 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_g 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) и значимость всех факторов в линейном уравнении регрессии (t -критерий Стьюдента). График интенсивности влияния факторов на сменную производительность забоя приведен на рис. 4 (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_θ перемещения комбайна; X3, X4 - r_y и r_θ передвижки крепи; X5, X6 - r_y и r_θ восстановления комбайна; X7, X8 - r_y и r_θ восстановления крепи; X9, X10 - r_y и r_θ проведения регламентных перерывов; X11, X12 - r_y и r_θ восстановления забоя по горным факторам.

Q

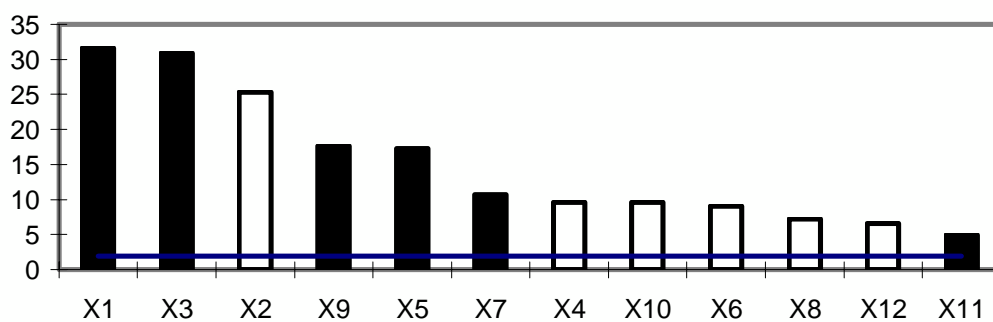


Рисунок 4 – Интенсивность влияния коэффициентов r_y и r_θ основных технологических операций на сменную производительность очистного забоя

Анализ результатов свидетельствует о доминирующем влиянии на эффективность процесса 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, уровень стимулирования и о меньшем влиянии факторов, характеризующих возраст и физические кондиции рабочих. Из результатов исследований также следует, 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 горнорабочих.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработанный алгоритм моделирования процесса комплексно-механизированной выемки угля, учитывает динамику изменения времени выполнения горнорабочими основных технологических операций в течение добычной смены в зависимости от уровня готовности горнорабочих к выполнению технологических операций и способности восстанавливать силы, и позволяет давать количественную оценку влияния на производительность комплексно-механизированных очистных забоев параметров, характеризующих квалификацию и усталость горнорабочих.

2. Производительность процесса комплексно-механизированной выемки угля Q монотонно снижается с уменьшением коэффициента r_y , характеризующего уровень готовности горнорабочих к выполнению технологических операций, и монотонно возрастает с ростом коэффициента r_g , характеризующего способность горнорабочих восстанавливать силы, отношение данных коэффициентов характеризует критерий рационального подбора рабочих комплексно-механизированного очистного забоя. Графики зависимостей $Q = f(r_y)$, $Q = f(r_g)$ имеют асимптоты, определяемые с одной стороны пределом человеческих возможностей, с другой – возможностями применяемой техники и технологии.

3. Сменная производительность процесса комплексно-механизированной выемки угля, определяемая коэффициентом готовности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс», находится в зависимости параболического вида от числа и продолжительности перерывов на отдых рабочих, при этом экстремальное значение производительности обуславливается соотношением интегральных коэффициентов, характеризующих готовность рабочих к выполнению технологических операций и способность рабочих восстанавливать силы.

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

5. Основные научно-технические и научно-организационные принципы совершенствования комплексно-механизированной техноло-

гии угледобычи заключаются в дифференцированном подборе кадров, основанном на выявлении «узких» мест в процессе добычи угля, описываемом как сложная человеко-машинная система, с учетом влияния параметров квалификации и усталости машинистов; усовершенствовании системы материального стимулирования, в которой тарифные ставки и размеры премий должны напрямую зависеть от степени влияния индивидуальных особенностей каждого из рабочих на эффективность процессов добычи; и в механизации основных процессов перемещения горнорабочих в пределах выемочного участка.

Разработан алгоритм моделирования процесса выемки угля комплексно-механизированным забоем с учетом параметров, характеризующих квалификацию и усталость горнорабочих. Установлены закономерности изменения показателей эффективности процесса выемки от уровня квалификации и усталости горнорабочих.

The algorithm of simulation of process of fully-mechanized mining with allowance for of parameters of proficiency and a fatigue of the colliers is designed. Are established of regularity of change of parameters of efficiency of process of coal winning from a state of proficiency and a fatigue of the colliers.

Библиографический список.

1. Сургай Н.С., Виноградов В.В., Кияшко Ю.И. О готовности шахт к применению оборудования нового технического уровня // Уголь Украины. – 2001. № 7. – С. 3-5.

2. Косарев В.В. Создание нового горно-шахтного оборудования для технического переоснащения угольных шахт // Уголь Украины. – 2006. № 1. – С. 28-29.

3. О необходимости реализации технологических резервов шахт / Н.С. Сургай, Ю.И. Кияшко, В.В. Косарев, А.И. Коваль // Уголь Украины. – 2005. № 2. – С. 9-10.

4. Шевченко В.Г. Разработка и реализация имитационной модели технологических процессов добычи угля из тонких пологих пластов // Науковий вісник Національного гірничого університету / НГУ. - Дніпропетровськ. - 2003. - № 7. – С. 6-10.