

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**TECHNICAL SCIENCES**

УДК 622.363.2.031:622.831(476)(045)

<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-350-360>

Поступило в редакцию 16.01.2020

Received 16.01.2020

**А. Б. Петровский<sup>1</sup>, член-корреспондент В. Я. Прушак<sup>2</sup>, Е. А. Лутович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ОАО «Беларуськалий», Солигорск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Солигорский институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством,  
Солигорск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Институт горного дела, Солигорск, Республика Беларусь

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ  
ПРИ СЛОЕВОЙ БЕСЦЕЛИКОВОЙ ВЫЕМКЕ ТРЕТЬЕГО КАЛИЙНОГО ПЛАСТА  
НА СТАРОБИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

**Аннотация.** Выполнено исследование проявлений горного давления в подготовительных выработках и призабойном пространстве нижних лав при слоевой бесцеликовой выемке Третьего калийного пласта Старобинского месторождения калийных солей. Изучены устойчивость подготовительных выработок и призабойного пространства лав, а также характер взаимодействия забойной крепи с боковыми породами. Выполнена оценка интенсивности проявлений горного давления в лавах, характера опускания кровли призабойного пространства и ее обрушения за забойной крепью. Уточнен характер распределения скорости пригрузки забойной крепи за очистной цикл, при этом в качестве основных показателей нагруженности крепи приняты скорость изменения пригрузки до прохода и в момент прохода комбайна и скорость пригрузки забойной крепи за очистной цикл. Выявлена цикличность изменения величины этих показателей с шагом 10–12 очистных циклов. Показана их зависимость от упругих напряжений и ползучести пород кровли после формирования нового забоя. Установлено наличие динамической составляющей пригрузки забойной крепи, обусловленной фактором скорости подвигания забоя. Установлено влияние на пригрузку забойной крепи процессов деформирования пород в мульдах сдвижения, при этом показано, что при временном интервале более двух лет интенсивность деформирования пород существенно снижается. Показана возможность определения среднего шага вторичных осадок пород основной кровли и выявления аномалий, связанных с границами тектонических нарушений, разломов и мульд оседания, путем анализа динамики накопленных отклонений от среднего показателей нагруженности крепи. Разработаны рекомендации по рациональным и безопасным параметрам поддержания призабойного пространства и подготовительных выработок нижних лав при слоевой бесцеликовой выемке Третьего калийного пласта.

**Ключевые слова:** горное давление, забойная крепь, выработка, очистной забой, лава, целик

**Для цитирования:** Петровский, А. Б. Особенности проявлений горного давления при слоевой бесцеликовой выемке Третьего калийного пласта на Старобинском месторождении калийных солей / А. Б. Петровский, В. Я. Прушак, Е. А. Лутович // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 3. – С. 350–360. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-350-360>

**Andrey B. Petrovsky<sup>1</sup>, Corresponding Member Victor Ya. Prushak<sup>2</sup>, Evgeniy A. Lutovich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Belaruskali JSC, Soligorsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Soligorsk Institute of Resource Saving Problems with Pilot Production, Soligorsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Institute of Mining, Soligorsk, Republic of Belarus

**FEATURES OF ROCK PRESSURE MANIFESTATIONS WITH THE SLICE PILLARLESS EXTRACTION  
OF THE THIRD POTASH LAYER AT THE STAROBIN POTASH SALT DEPOSIT**

**Abstract.** Rock pressure manifestations in the development workings and the bottomhole region of the lower longwalls with the slice pillarless extraction of the Third potash layer of the Starobin potash salt deposit were studied. The stability of the development workings and the bottomhole space of the longwalls and the nature of interaction of the bottomhole lining

with the adjoining rocks were studied. The intensity of manifestations of rock pressure in the longwalls and the nature of roof subsidence of the bottomhole region and its fall behind the face support were assessed. The nature of the loading speed distribution of the bottomhole lining for the treatment cycle was clarified. The rate of change of the loading before the heading and during this process and the loading rate of the bottomhole lining are taken as the main load support indicators for the treatment cycle. The cyclical nature of the change in the magnitude of these indicators in the interval of 10–12 treatment cycles is revealed. Their dependence on elastic stresses and creep of roof rocks after the formation of a new face is shown. The presence of the dynamic component of the load of the bottomhole lining due to the factor of the speed of the bottomhole movement was established. The influence of the deformation of rocks in the troughs of displacement on the bottomhole lining has been established. At the same time, it is shown that over a time interval of more than 2 years, the intensity of deformation of the rocks is significantly reduced. The possibility is shown how to determine the mean spacing of the secondary rock subsidence of the main roof and to identify anomalies associated with the boundaries of tectonic dislocations, faults and subsidence troughs by analyzing the dynamics of the accumulated deviations from the average of load support indicators. Recommendations have been developed on rational and safe parameters for maintaining the bottomhole region and the development workings of the lower longwalls with the slice pillarless extraction of the Third potash layer.

**Keywords:** rock pressure, facesupport, mineworking, breakage face, longwall, pillar

**For citation:** Petrovsky A. B., Prushak V. Ya., Lutovich E. A. Features of rock pressure manifestations with the slice pillarless extraction of the Third potash layer at the Starobin potash salt deposit. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2020, vol. 64, no. 3, pp. 350–360 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-350-360>

**Введение.** Интенсивная разработка Старобинского месторождения калийных солей диктует необходимость более рационального использования недр, в том числе за счет снижения потерь полезного ископаемого, оставляемого в межстолбовых целиках. С этой целью разрабатываются технологические схемы очистной выемки калийных пластов без оставления межстолбовых целиков или уменьшения этих целиков до минимальных размеров<sup>1</sup> [1–3]. В результате выполненных исследований и экспериментальных работ на рудниках ОАО «Беларуськалий» уже освоены технологические схемы слоевой выемки Третьего калийного пласта с оставлением между верхними лавами целиков шириной 10 м, а между нижними лавами – целиков шириной 20 м. При данной технологии извлечение полезного ископаемого из недр достигает 80–85 %.

В настоящее время в пределах Островского участка шахтного поля Второго рудника ведется слоевая бесцеликовая выемка Третьего калийного пласта по усовершенствованной технологии, основное отличие которой от применяемой ранее заключается в том, что между столбами нижних лав оставляется временный охранный целик, который погашается при ведении очистной выемки в отстающей смежной лаве с вырубкой очистного комбайна во вспомогательный транспортный штрек отработанной лавы. Таким образом, отработка слоев 2, 2–3 и 3 нижними лавами в пределах Островского участка ведется без оставления жесткого межстолбового охранный целика, что позволяет увеличить извлечение полезного ископаемого из недр до 90–95 %. Данная технология выемки полезного ископаемого ранее на Старобинском месторождении не применялась, в связи с чем возникла необходимость проведения исследований, направленных на разработку соответствующих рекомендаций по рациональным и безопасным параметрам поддержания призабойного пространства и подготовительных выработок нижних лав при применении указанной технологии выемки полезного ископаемого. Исследования были проведены в подготовительных выработках и очистных забоях лав № 44 (низ) и № 45 (низ) на Островском участке шахтного поля Второго рудника, на которых велись очистные работы с применением новой технологии выемки калийной руды. В процессе исследования решались задачи изучения горно-геологических и горнотехнических условий отработки выемочных столбов лавами; закономерности проявлений горного давления в призабойном пространстве лав и характер обрушения кровли за крепью при отработке выемочных столбов; характер деформирования подготовительных выработок лав в зоне и вне зоны влияния очистных работ. Полученные результаты могут быть использованы при дополнении нормативных документов, применяемых на Старобинском месторождении калийных солей при составлении проектов горных работ и паспортов крепления и управления кровлей.

<sup>1</sup> Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск, 2018. – 146 с.

**Характеристика горно-геологических и горнотехнических условий отработки слоев 2, 2–3, 3 лавами № 44 (низ) и № 45 (низ).** Выемочные столбы лав № 44 (низ) и № 45 (низ) расположены соответственно на 8-й и 7-й северо-западных панелях Островского участка горизонта –445 м рудника Второго рудоуправления (рис. 1). Дневная поверхность над 8-й и 7-й северо-западными панелями имеет абсолютные отметки высот 150–170 м, причем минимальная отметка соответствует средней части панелей. Залегание Третьего калийного пласта повторяет залегание поверхности, однако перепад глубин более четко выражен и составляет 50–70 м. Максимальная глубина залегания соответствует средней части панелей. Данная геологическая аномалия классифицируется как синклиналиная складка и была принята во внимание при проведении исследования, так как из ряда работ известно, что одновременное резкое изменение рельефа земной поверхности и гипсометрии пласта, также как и наличие геодинамически активных разломов, геологических складок, могут быть источником повышенной нагруженности механизированной крепи [4; 5].

Третий калийный горизонт в пределах 8-й и 7-й северо-западных панелей имеет повсеместное распространение и представлен тремя пластами: верхним сильвинитовым (забалансовый), средним глинисто-карналлитовым и нижним сильвинитовым (промышленный) [6]. Промышленный пласт состоит из чередующихся слоев сильвинита и каменной соли. В его разрезе выде-

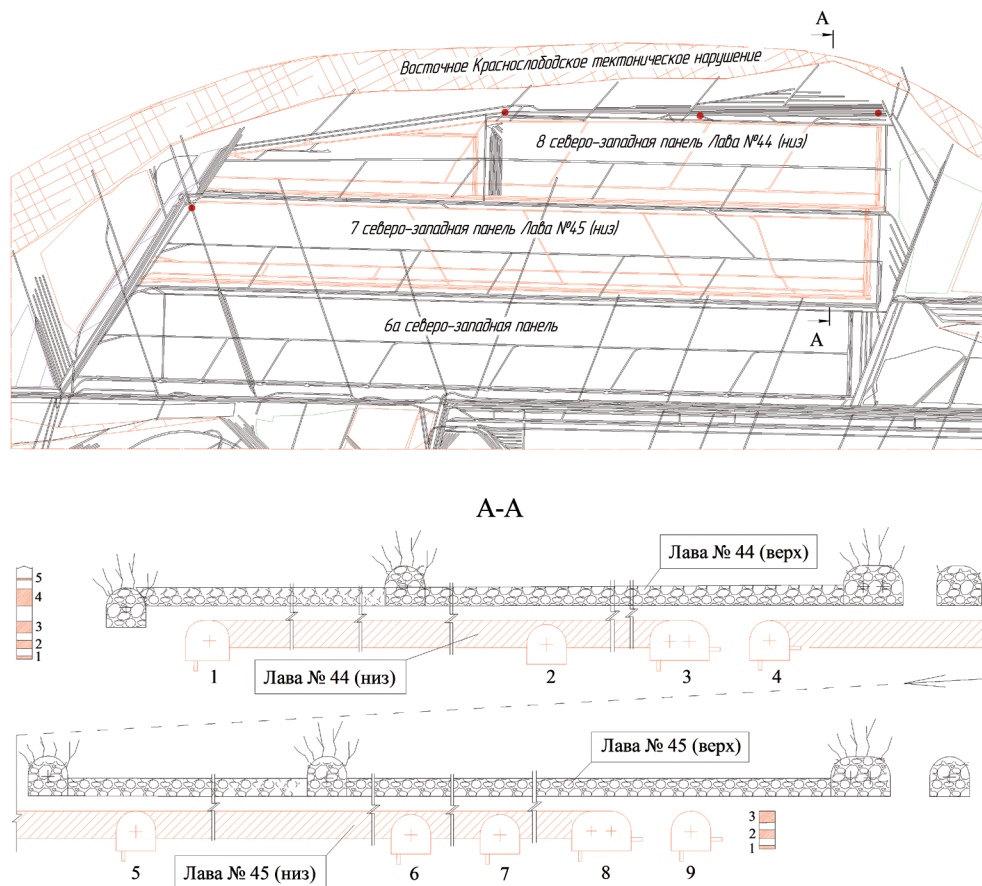


Рис. 1. Схема расположения выемочных столбов лав № 44 (низ) и № 45 (низ) на Островском участке рудника Второго рудоуправления: 1 – вентиляционный штрек лавы № 44 (низ); 2 – закладочный штрек лавы № 44 (низ); 3 – конвейерный штрек лавы № 44 (низ); 4 – вспомогательный транспортный штрек лавы № 44 (низ); 5 – вентиляционный штрек лавы № 45 (низ); 6 – закладочный штрек № 1 лавы № 45 (низ); 7 – закладочный штрек № 2 лавы № 45 (низ); 8 – конвейерный штрек лавы № 45 (низ); 9 – вспомогательный транспортный штрек лавы № 45 (низ)

Fig. 1. The layout of the panels of longwalls no. 44 (bottom) and no. 45 (bottom) in the Ostrovsky district of the mine of the Second Mining Department: 1 – air roadway of longwall no. 44 (bottom); 2 – stowing drift of longwall no. 44 (bottom); 3 – belt entry of longwall no. 44 (bottom); 4 – auxiliary haulage roadway of longwall no. 44 (bottom); 5 – air roadway of longwall no. 45 (bottom); 6 – stowing drift no. 1 of the longwall no. 45 (bottom); 7 – stowing drift no. 2 of the longwall no. 45 (bottom); 8 – belt entry of longwall no. 45 (bottom); 9 – auxiliary haulage roadway of longwall no. 45 (bottom)

ляются шесть слоев сильвинита (1, 2, 3, 4, 5 и 6), разделенных слоями каменной соли (1–2, 2–3, 3–4, 4–5 и 5–6). Подлежащими отработке являются сильвинитовые слои 2, 3 и 4 с галитовыми слоями 2–3 и 3–4.

Для отработки Третьего калийного пласта в пределах Островского участка принята столбовая система разработки со слоевой бесцеликовой выемкой пласта, с отдельной подготовкой слоевых лав, последовательной отработкой верхнего и нижнего слоев и селективной выемкой нижнего слоя. Выемочные столбы лав в пределах верхнего и нижнего слоев также обрабатываются последовательно.

Верхний (4-й сильвинитовый) слой на 8-й, 7-й и 6а северо-западных панелях был отработан с оставлением десятиметровых межстолбовых охранных целиков в 2012–2016 гг. Нижний слой, состоящий из сильвинитовых слоев 2, 3 и промежуточного галитового слоя 2–3, как уже сказано выше, обрабатывается селективно с частичной закладкой выработанного пространства разрушенным слоем 2–3 в виде бутовых полос вдоль бортовых и выемочных штреков лав. Поскольку общая ширина бутовых полос в каждой лаве не превышает 60 м и их влияние на поддержание пород кровли за крепью незначительно, данный способ можно отнести к управлению кровлей полным обрушением.

Выемочные столбы лав № 44 (низ) и № 45 (низ) подготовлены прямым порядком. Очистная выемка ведется обратным порядком. Столб лавы № 44 (низ) был полностью отработан к октябрю 2017 г., столб лавы № 45 (низ) ко второй половине 2019 г. отработан примерно на 45 %.

Между столбами лав № 44 (низ) и № 45 (низ) оставлен временный охранный целик шириной 30 м, который погашается при ведении очистной выемки в лаве № 45 (низ) с вырубкой очистного комбайна во вспомогательный транспортный штрек отработанной лавы № 44 (низ). Аналогично предполагается обрабатывать выемочный столб проектируемой лавы № 46 (низ) на 6а северо-западной панели.

**Методика проведения исследований в подготовительных выработках и призабойном пространстве лав № 44 (низ) и № 45 (низ).** Методика исследований в подготовительных выработках лав включала в себя следующие инструментальные и визуальные наблюдения: фиксирование отметок отхода лавы по бортовым штрекам; измерение конвергенции «кровля–почва» и, при необходимости, сближения боков подготовительных выработок по наблюдательным станциям на базе контурных реперов в зоне и вне зоны временного опорного давления лавы; визуальная оценка общего состояния подготовительных выработок (схождение компенсационных щелей, состояние крепления, сопряжения со сбойками, расширения, пучение почвы, отслоение породных пачек и берм, геологические нарушения и пр.).

Методика исследований в призабойном пространстве лав № 44 (низ) и № 45 (низ) включала в себя следующие инструментальные и визуальные наблюдения: измерение конвергенции «кровля–почва» призабойного пространства лав в процессе очистной выемки; измерение давления в гидростойках забойной крепи и крепи сопряжений по штатным манометрам-индикаторам; измерение параметров призабойного пространства лав и величины зависания пород кровли за крепью; мониторинг пригрузок секций забойной крепи с помощью автоматизированной системы контроля горного давления «КоДаК» (далее – система «КоДаК») [7] и анализ полученных данных методами математической статистики; визуальная оценка общего состояния призабойного пространства лав и секций забойной крепи.

**Результаты исследований в подготовительных выработках лав.** В процессе исследования был изучен характер деформирования контура закладочного, конвейерного и вспомогательного транспортного штреков лавы № 44 (низ), а также вентиляционного, закладочных № 1 и № 2, конвейерного и вспомогательного транспортного штреков лавы № 45 (низ).

К моменту начала исследований лавой № 44 (низ) было отработано приблизительно 2/3 выемочного столба. Исследования в подготовительных выработках лавы № 44 (низ) проводились на участке выемочного столба между маркшейдерскими пикетами 605–978 м. Во вспомогательном транспортном, конвейерном и закладочном штреках лавы с интервалом 10 м было установлено

по 20 наблюдательных станций вне зоны временного опорного давления лавы, максимальная протяженность которой определялась по эмпирической формуле<sup>1</sup>

$$L = -66,3 + 0,345H - 0,0001H^2, \quad (1)$$

где  $H$  – глубина разработки, м.

Исследования в подготовительных выработках лавы № 45 (низ) были начаты приблизительно за 7,5 месяцев до монтажа лавы и начала ведения очистных работ и закончились, когда лава отошла от монтажного штрека на 240 м. Таким образом, в начале исследований все наблюдательные станции находились вне зоны временного опорного давления лавы, максимальная протяженность которой согласно (1) составила 113 м. Во вспомогательном транспортном, конвейерном, вентиляционном и закладочных штреках лавы № 45 (низ) с интервалом 10–50 м было установлено от 35 до 54 наблюдательных станций. Станции устанавливались после нарезки компенсационных щелей.

Полученные данные характера деформирования подготовительных выработок (величины и скорости конвергенции «кровля–почва», величины и скорости сближения боков) были усреднены для всех станций по каждому соответствующему штреку. Максимальные значения параметров были получены по станциям, которые в момент последнего замера находились на расстоянии 1–15 м от забоя лавы, т. е. в зоне максимума опорного давления лавы.

В результате исследования установлено, что закладочный, конвейерный и вспомогательный транспортный штреки лавы № 44 (низ), а также вентиляционный, закладочные № 1 и № 2, конвейерный и вспомогательный транспортный штреки лавы № 45 (низ) в зоне временного опорного давления лав сохраняют устойчивое состояние. Зона активного деформирования контура всех исследуемых штреков, определенная графоаналитическим способом (рис. 2) практически соответствует расчетному значению протяженности зоны временного опорного давления лав, определенному по (1). Единственное исключение составили результаты оценки протяженности зоны опорного давления в вентиляционном штреке лавы № 45 (низ), расположенного со стороны лавы № 44 (низ), которая оказалась выше расчетного. Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что протяженность зоны временного опорного давления ( $L$ ) с достаточной точностью

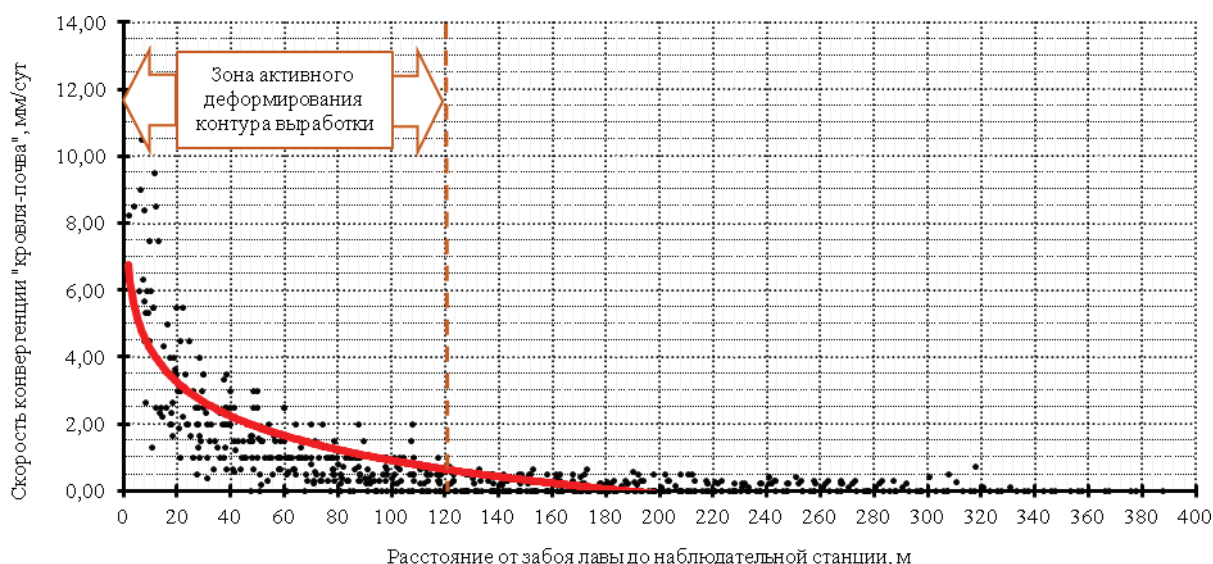


Рис. 2. Изменение скорости конвергенции «кровля–почва» конвейерного штрека лавы № 44 (низ) по мере приближения наблюдательных станций к забою лавы

Fig. 2. The change in the rate of “roof–bottom” convergence of belt entry of longwall no. 44 (bottom), as the observation stations approach the face of the longwall

<sup>1</sup> Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении. – Солигорск, 2018. – 194 с.

можно определять по (1), однако в подготовительных выработках, расположенных со стороны отработанного смежного выемочного столба, протяженность зоны временного опорного давления следует принимать увеличенной – не менее  $1,35L$ .

Визуальное обследование конвейерного и вспомогательного транспортного штреков лавы № 44 (верх) в начале панели показало, что целик шириной 2,5 м между ними и межстолбовой целик шириной 10 м не были разрушены полностью. Для оценки влияния целиков, оставшихся после отработки 4-го сильвинитового слоя, на ближайшие к ним подготовительные выработки нижних лав и временный охранный межстолбовой целик в технологической выработке № 2а, пройденной по слоям 2–3 под столбом лавы № 45 (верх), были установлены 13 наблюдательных станций для измерения конвергенции «кровля–почва». За 140 суток наблюдений величина конвергенции по всем станциям составила от 29 до 158 мм при среднем значении 57 мм. Максимальные значения конвергенции 158 и 100 мм были получены по станциям, установленным соответственно под целиками шириной 2,5 и 10 м. Сделан вывод о неблагоприятном влиянии целиков, оставшихся после отработки 4-го сильвинитового слоя, на временный охранный межстолбовой целик нижних лав, который подтверждают также и результаты измерения среднего и максимального значений скорости конвергенции «кровля–почва» вентиляционного штрека лавы № 45 (низ).

**Результаты исследований в призабойном пространстве лав № 44 (низ) и № 45 (низ).** Для оценки интенсивности проявлений горного давления в лавах № 44 (низ) и № 45 (низ), изучения характера взаимодействия забойной крепи с боковыми породами, характера опускания кровли призабойного пространства и ее обрушения за забойной крепью были проведены комплексные исследования, включающие визуальные и инструментальные наблюдения в призабойном пространстве лав и статистический анализ данных постоянно получаемых с помощью системы «Ко-ДаК». При проведении шахтных исследований в качестве основных показателей приняты: нагруженность забойной крепи в циклах очистных работ, периодичность обрушений кровли за крепью. Для оценки нагруженности крепи приняты скорости изменения пригрузки до прохода комбайна ( $V_{\text{док}}$ ), в момент прохода комбайна ( $V_{\text{к}}$ ), а также за очистной цикл ( $V_{\text{в}}$ ).

При обработке данных скорость пригрузки забойной крепи за цикл  $V_{\text{в}}$  рассчитывалась по формуле

$$V_{\text{в}} = \frac{P_{\text{в}} - P_{\text{н}}}{T_{\text{в}}} K_{\text{п}}, \text{ кН/мин},$$

где  $P_{\text{в}}$  – фактическое давление срабатывания клапана, бар;  $P_{\text{н}}$  – фактическое давление начального распора, бар;  $T_{\text{в}}$  – время выхода крепи на рабочее сопротивление (если крепь на рабочее сопротивление не выходит,  $T_{\text{в}}$  принимается равным продолжительности цикла  $T_{\text{ц}}$ ), мин;  $K_{\text{п}}$  – переводной коэффициент, зависящий от площади поршня гидростойки и применяющийся при расчете  $V_{\text{в}}$  в кН/мин (при расчете  $V_{\text{в}}$  в барах  $K_{\text{п}} = 1$ ).

Скорость пригрузки забойной крепи до начала влияния очистной выемки (или до момента прохода комбайна)  $V_{\text{док}}$  рассчитывалась по формуле

$$V_{\text{док}} = \frac{P_{\text{нк}} - P_{\text{н}}}{T_{\text{нк}} - T_{\text{н}}} K_{\text{п}}, \text{ кН/мин},$$

где  $P_{\text{нк}}$  – максимальное давление в крепи в момент прохода комбайна при снятии им стружки, бар;  $P_{\text{н}}$  – фактическое давление начального распора, бар;  $T_{\text{н}}$  – время регистрации параметра  $P_{\text{н}}$ , мин;  $T_{\text{нк}}$  – время регистрации параметра  $P_{\text{нк}}$ , мин.

Скорость пригрузки забойной крепи в период влияния очистной выемки (или в момент прохода комбайна при снятии стружки)  $V_{\text{к}}$  рассчитывалась по формуле

$$V_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}} - P_{\text{нк}}}{T_{\text{к}} - T_{\text{нк}}} K_{\text{п}}, \text{ кН/мин}.$$

где  $P_{\text{нк}}$  – давление в крепи, регистрирующее начало влияния прохода комбайна при снятии им стружки, бар;  $P_{\text{к}}$  – максимальное давление в крепи в момент прохода комбайна при снятии им стружки, бар;  $T_{\text{к}}$  – время регистрации параметра  $P_{\text{к}}$ , мин.

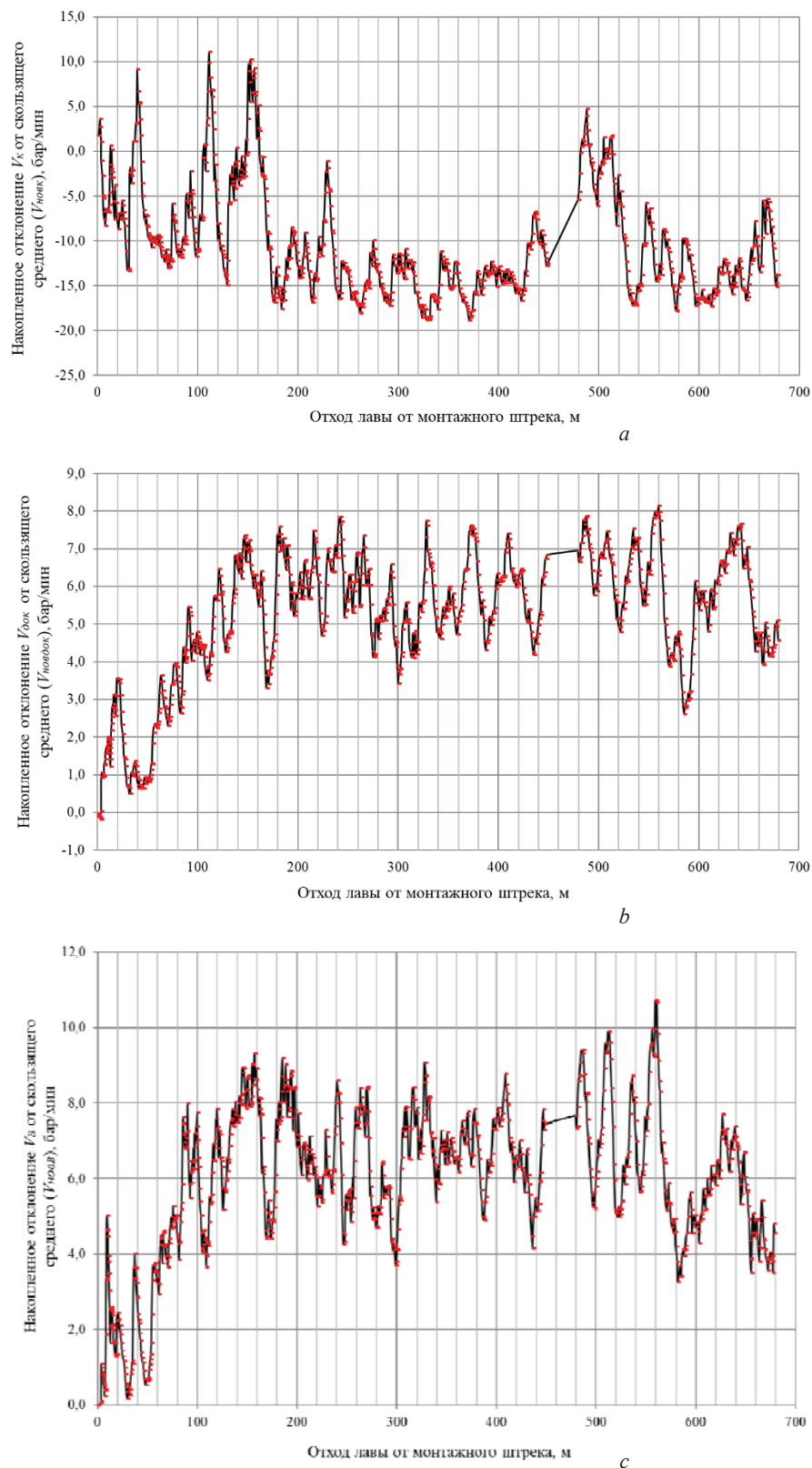


Рис. 3. Динамика тренда накопленного отклонения от среднего скорости пригрузки крепи для лавы № 45 (низ):  
*a* – за цикл  $V_K$  от скользящего среднего ( $V_{новK}$ ); *b* – за цикл  $V_{ДОК}$  от скользящего среднего ( $V_{новДОК}$ );  
*c* – за цикл  $V_B$  от скользящего среднего ( $V_{новB}$ )

Fig. 3. Trend dynamics of the accumulated deviation from the average of loading speed of the support for longwall no. 45 (bottom):  
*a* – per cycle  $V_K$  from the moving average ( $V_{новK}$ ); *b* – for the cycle  $V_{ДОК}$  from the moving average ( $V_{новДОК}$ );  
*c* – per cycle  $V_B$  from the moving average ( $V_{новB}$ )

Всего за весь период исследований (при отходе лавы от монтажного штрека на расстояние до 680 м) были обработаны данные замеров 925 очистных циклов. При этом установлено наличие динамической составляющей пригрузки забойной крепи, которая свидетельствует о существенном влиянии на анализируемые показатели фактора скорости продвижения забоя  $V_{Д}$ . Согласно выполненным расчетам, при возрастании скорости продвижения забоя по сравнению со средней в 2 раза скорость пригрузки крепи может возрасти в 2–3 раза.

Результаты измерения параметров нагруженности забойной крепи в циклах очистных работ позволили сделать вывод, что все контролируемые по методике исследований параметры  $V_{В}$ ,  $V_{ДОК}$ ,  $V_{К}$  имеют некоторую цикличность изменения, которую можно было выявить, используя современные средства промышленной статистики. В работе для анализа цикличности использовали метод кумулятивных (накопленных) отклонений от среднего, автокорреляционных и кросс-корреляционных функций. Анализ трендов усредненных по лаве показателей  $V_{В}$ ,  $V_{ДОК}$ ,  $V_{К}$  (рис. 3) показал, что они имеют цикличность с шагом 10–12 очистных циклов.

Также установлено, что коэффициент корреляции между показателями  $V_{В}$  и  $V_{ДОК}$  составляет 0,39, что указывает на весьма тесную связь между ними. Отметим, что теснота связи между двумя парами показателей ( $V_{В}$  и  $V_{К}$ ), ( $V_{ДОК}$  и  $V_{К}$ ) не превышает 0,15. Весьма вероятно, что на показатель  $V_{К}$  влияют в первую очередь упругие напряжения, в том числе «снимаемые с забоя» при очередной стружке, на показатель  $V_{ДОК}$  влияет ползучесть пород кровли после формирования нового забоя. Показатель  $V_{В}$  учитывает как первый, так и второй факторы. Именно этот показатель наиболее чувствителен к таким факторам, как скорость продвижения забоя, влияние внешних влияющих факторов, в том числе горно-геологических. Анализируя тренды накопленных отклонений от среднего показателей  $V_{В}$ ,  $V_{ДОК}$ ,  $V_{К}$  можно определить средний шаг вторичных осадок (обрушений) пород основной кровли. Подобным образом также можно выявлять аномалии, связанные с границами тектонических нарушений, разломов, мульд оседания. В качестве примера выявления аномалии на рис. 4 приведен график изменения параметра  $V_{новВ}$  в интервале отхода лавы от монтажного штрека от 590 до 1000 м, на котором четко выделяется аномальная зона, связанная с присутствием синклинали складки с центром 750–850 м.

Установлено влияние на пригрузку забойных крепей процессов деформирования пород в мульдах сдвижения в зависимости от временного интервала между отработкой соседних выемочных столбов. При временном интервале более двух лет процессы деформирования пород

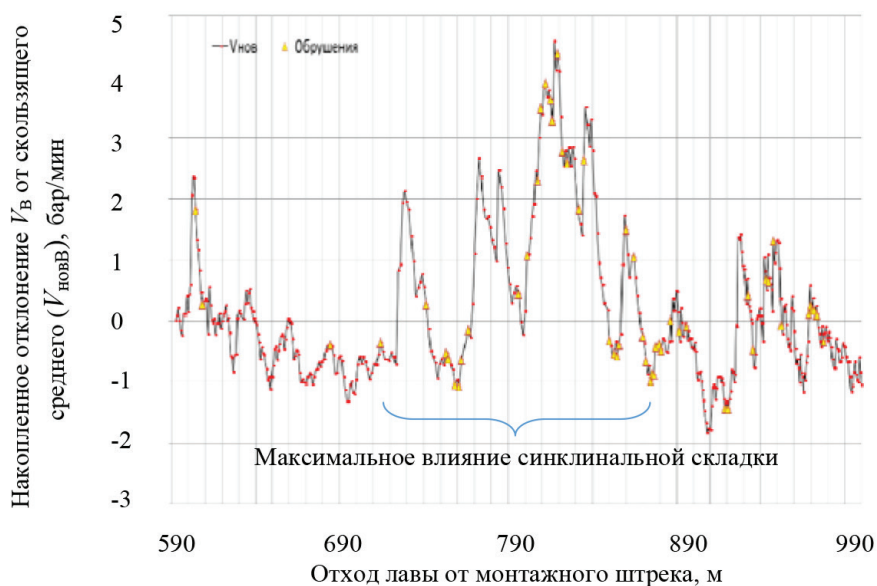


Рис. 4. Динамика тренда  $V_{новВ}$  – накопленного отклонения от среднего скорости пригрузки крепи за цикл ( $V_{В}$ ) для лавы № 44 (низ)

Fig. 4. Trend dynamics  $V_{новВ}$  – accumulated deviation from the average of loading speed of the support per cycle ( $V_{В}$ ) for longwall no. 44 (bottom)



и очередное возмущение пород в мульде сдвижения протекают менее интенсивно чем в первые два года. Так, при анализе данных мониторинга пригрузки крепи в лавах в течение длительного времени (более года наблюдений или более 1000 м подвигания забоя) неоднократно наблюдалось помимо цикличности обрушения пород основной кровли с шагом 25–45 м цикличность более высшего порядка (70–140 м), наличие которой отождествлялось нами как процессы, происходящие в мульдах сдвижения. При этом представляют интерес результаты сравнительного анализа показателей  $V_K$ ,  $V_{\text{ДОК}}$ ,  $V_B$  лавы № 44 (низ) и лавы № 45 (низ). Так, средняя скорость пригрузки крепи при проходе комбайна во время очистной выемки  $V_K$  в лаве № 44 (низ) составляет 5,59 бар/мин, а в лаве № 45 (низ) – 4,78 бар/мин. Уменьшение данного показателя для лавы № 45 (низ) почти на 20 % свидетельствует о снижении напряженного состояния слоев 2–3 в районе забоя лавы. Наиболее достоверной причиной этого является то, что отработанный на Островском участке первым выемочный столб лавы № 44 (низ) стал выполнять функцию разгрузки от горизонтальных напряжений слоев 2–3 в лаве № 45 (низ). Вероятно, также сказывается влияние накопленного пролета отработки (двух выемочных столбов). Последний фактор может оказывать влияние в случае наличия активных деформационных процессов в мульдах сдвижения, при которых нагрузка на забой еще не восстановилась. При этом значения показателей  $V_{\text{ДОК}}$  и  $V_B$ , характеризующие пригрузку крепи в очистном цикле от передвижки крепи до прохода комбайна и до следующей передвижки (либо выхода на рабочее сопротивление) в лаве № 45 (низ), выше, чем в лаве № 44 (низ) соответственно на 65 и 80 %. Эти показатели отражают поведение пород кровли после снятия очередной стружки и учитывают ее колебания в закрепном пространстве. Очевидно, что их рост однозначно связан с влиянием накопленного пролета отработки.

**Рекомендации по рациональным и безопасным параметрам поддержания призабойного пространства и подготовительных выработок нижних лав.** На основании результатов исследования разработаны рекомендации по рациональным и безопасным параметрам поддержания призабойного пространства и подготовительных выработок нижних лав, выемочные столбы которых находятся в горно-геологических и горнотехнических условиях, сходных с условиями лав № 44 (низ) и № 45 (низ), которые характеризуются следующими параметрами: непосредственная кровля труднообрушаемая; раздельная подготовка лав по верхнему и нижнему слоям; порядок подготовки прямой, порядок отработки обратный; селективная выемка слоев 2, 2–3 и 3 с частичной закладкой выработанного пространства слоем 2–3; последовательная отработка верхнего и нижнего слоев и последовательная отработка выемочных столбов лав в пределах каждого слоя.

Для указанных горно-геологических и горнотехнических условий при расчете устойчивости, выборе необходимых способов охраны и крепления подготовительных выработок нижних лав ширину временного охранного целика на границе с ранее отработанным выемочным столбом принимать не менее 30 м; протяженность зоны временного опорного давления определять по (1), при этом в подготовительных выработках, расположенных со стороны отработанного смежного выемочного столба, протяженность зоны временного опорного давления принимать увеличенной не менее чем в 1,35 раза по сравнению с величиной, рассчитанной по (1).

Временной интервал отработки нижних слоевых лав в соседних столбах должен составлять не менее двух лет. Длину лав принимать не более 230 м (оптимально 190–200 м), чтобы повысить возможности ухода из-под опасной зоны с большей скоростью. При этом необходимо поддерживать скорость подвигания забоя не более 4–5 очистных циклов подряд с последующим технологическим перерывом не менее 6 ч, который целесообразно использовать для обслуживания забойного оборудования.

Кроме реализованного на Островском участке шахтного поля Второго рудника варианта последовательной отработки выемочных столбов, представляется перспективным вариант извлечения запасов по бесцеликовой технологии с чередованием отработанных и неотработанных выемочных столбов. Ожидаемый эффект от такой технологии выемки полезного ископаемого состоит в том, что для формирования полной мульды сдвижения необходимо время. После того как процессы оседания земной поверхности в течение нескольких лет стабилизируются (при реализации до 95 % всех возможных деформаций), амплитуда гармонических колебаний при объединении мульд сдвижения в одну будет несколько меньшей. Подобный подход исключает необ-

ходимость трудоемких мероприятий по снижению интенсивных проявлений горного давления в лавах.

**Заключение.** Выполнено исследование проявлений горного давления в подготовительных выработках и призабойном пространстве нижних лав при слоевой бесцеликовой выемке Третьего калийного пласта Старобинского месторождения калийных солей по усовершенствованной технологии, предусматривающей извлечение полезного ископаемого до 95 %. Установлено, что подготовительные выработки обеих лав в зоне временного опорного давления сохраняют устойчивое состояние. Уточнена методика расчета протяженности зоны временного опорного давления подготовительных выработок и значений их конвергенции в зоне и вне зоны временного опорного давления лавы, согласно которой величину протяженности зоны временного опорного давления в подготовительных выработках, расположенных со стороны отработанного смежного выемочного столба, следует принимать увеличенной не менее чем в 1,35 раза по сравнению с величиной, рассчитанной по известной методике, изложенной в действующих нормативных документах по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении.

Выполнена оценка интенсивности проявлений горного давления в нижних лавах, характера взаимодействия забойной крепи с боковыми породами, характера опускания кровли призабойного пространства и ее обрушения за забойной крепью. Уточнен характер распределения скорости пригрузки забойной крепи за очистной цикл, при этом в качестве основных показателей нагруженности крепи приняты скорость изменения пригрузки до прохода и в момент прохода комбайна и скорость пригрузки забойной крепи за очистной цикл. Выявлена цикличность изменения величины этих показателей с шагом 10–12 очистных циклов. Показана их зависимость от упругих напряжений и ползучести пород кровли после формирования нового забоя. Установлено наличие динамической составляющей пригрузки забойной крепи, обусловленной фактором скорости подвигания забоя. Установлено влияние на пригрузку забойной крепи процессов деформирования пород в мульдах сдвижения, при этом временной интервал отработки нижних слоевых лав в соседних столбах должен составлять не менее двух лет. Показана возможность определения среднего шага вторичных осадков пород основной кровли и выявления аномалий, связанных с границами тектонических нарушений, разломов и мульд оседания, путем анализа динамики накопленных отклонений от среднего показателей нагруженности крепи.

Разработана технология слоевой бесцеликовой выемки Третьего калийного пласта нижними лавами с чередованием отработанных и неотработанных выемочных столбов, исключая необходимость трудоемких мероприятий по снижению интенсивных проявлений горного давления в лавах.

### Список использованных источников

1. Технология слоевой выемки при разработке пласта третьего калийного горизонта Старобинского месторождения / И. А. Подлесный [др.] // Горный журн. – 2018. – № 8. – С. 59–64. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.08>
2. Сокол, Д. Г. Направления совершенствования бесцеликовых технологических схем отработки калийных пластов / Д. Г. Сокол // Вестн. Кузбасского госуд. техн. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 93–98. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-4-93-98>
3. Зубов, В. П. Совершенствования систем разработки Третьего калийного пласта на рудниках ПО «Беларуськалий» / В. П. Зубов, А. Д. Смычник, В. М. Кириенко // Зап. Горного ин-та. – 2006. – Т. 168. – С. 15–18.
4. Имитация отработки угольного пласта с наличием синклинали складки на модели из эквивалентных материалов / С. Г. Костюк [и др.] // Вестн. Кузбасского госуд. техн. ун-та. – 2014. – № 5. – С. 67–70.
5. Бедарев, Н. Т. Новые средства для реализации моделей из эквивалентных материалов для исследования напряженно-деформированного состояния горного массива при имитации отработки синклинали складок с наличием геологических нарушений / Н. Т. Бедарев, О. В. Любимов // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2018. – Кемерово, 2018. – С. 104.1–104.7
6. Поляков, А. Л. Анализ геологического строения кровли третьего калийного пласта на Старобинском месторождении калийных солей / А. Л. Поляков // Горная механика. – 2002. – № 2. – С. 30–36.
7. Петровский, Б. И. Прогноз опасных обрушений кровли при слоевой отработке пласта третьего калийного горизонта / Б. И. Петровский, А. А. Гарнишевский, О. М. Чечуха // Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 76–81. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.11>

## References

1. Podlesnyi I. A., Getmanov V. N., Petrovskiy B. I., Nosulya I. E. Multi-slice mining technology for potash seam III at the Starobink deposit. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 8, pp. 59–64. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.08>
2. Sokol D. G. Principal directions of the development of mining methods for potash seams. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2018, no. 4, pp. 93–98. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-4-93-98>
3. Zubov V. P., Smychnik A. D., Kirienko V. M. Improvement of mining methods for the Third potash layer in the mines of Belaruskali. *Zapiski Gornogo Instituta = Journal of Mining Institute*, 2006, vol. 168, pp. 15–18 (in Russian).
4. Kostyuk S. G., Kovalyov N. B., Bedarev N. T., Lyubimov O. V., Sementsov V. V., Sitnikov G. A. Imitation of mining coal seam with the presence of synclinal folds in the models of equivalent materials. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2014, no. 5, pp. 67–70 (in Russian).
5. Bedarev N. T., Lyubimov O. V. New tools for the implementation of models of equivalent materials for studying the stress-strain state of a rock mass while simulating the working synclinal folds with geological dislocations. *Prirodnye i intelektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2018* [Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresource 2018]. Kemerovo, 2018, pp. 104.1–104.7 (in Russian).
6. Polyakov A. L. Analysis of the geological structure of the roof of the third potash layer at the Starobin potassium salt deposit. *Gornaya mekhanika* [Mining mechanical engineering], 2002, no. 2, pp. 30–36 (in Russian).
7. Petrovskiy B. I., Garnishevskiy A. A., Chechukha O. M. Prediction of hazardous roof falls in slice mining of potash seam III. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 8, pp. 76–81. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.11>

## Информация об авторах

*Петровский Андрей Борисович* – заместитель главного инженера. ОАО «Беларуськалий» (ул. Коржа, 5, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: belaruskali.office@kali.by.

*Прушак Виктор Яковлевич* – член-корреспондент, д-р техн. наук, профессор, директор. Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством (ул. Козлова, 69, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: ipr@sipr.by.

*Лутович Евгений Анатольевич* – магистр техн. наук, заведующий отделом. Институт горного дела (ул. Козлова, 69, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: sigd@list.ru.

## Information about the authors

*Petrovskiy Andrey B.* – Deputy Chief Engineer. JSC “Belaruskali” (5, Korzh Str., 223710, Soligorsk, Minsk region, Republic of Belarus). E-mail: belaruskali.office@kali.by.

*Prushak Victor Ya.* – Corresponding Member, D. Sc. (Engineering), Professor, Director. Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production (69, Kozlov Str., 223710, Soligorsk, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: ipr@sipr.by.

*Lutovich Evgeniy A.* – Master (Engineering), Head of the Department. Institute of Mining (69, Kozlov Str., 223710, Soligorsk, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: sigd@list.ru.