УДК 620.9.008

С. Д. Семенюк, д-р техн. наук, С. Н. Березовский, канд. техн. наук, доц., А. Н. Терещенко

РАЦИОНАЛЬНАЯ И ЭФФЕКТИВНАЯ РАЗРАБОТКА НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПЕСОК, ГРАВИЙ) В КАРЬЕРАХ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА АВТОДОРОГ

В статье рассмотрены вопросы ресурсо- и энергосбережения при добыче нерудных строительных материалов открытым способом. Карьеры, находящиеся на балансе дорожных организаций Могилевской области, предлагается разрабатывать с минимальными потерями. В статье показано, что отрабатывать обводненные запасы полезного ископаемого мощностью до 4 м в этих карьерах можно экскаваторами типа «драглайн». Также авторами исследована закономерность изменения содержания фракции гравия +5 мм в массиве, поскольку случайные изменения содержания гравия в массиве вызывают изменения угла откоса подводного забоя, что существенно влияет на производительность экскаватора и карьера в целом. Установлено влияние на угол откоса забоя и штабеля содержания гравия в массиве +5 мм, которое не противоречит SL-распределению Джонсона.

Могилёвское областное управление Госпромнадзора осуществляет контроль за ведением горных работ открытым способом на 38 предприятиях. Под надзором имеется 44 карьера нерудных строительных материалов. Из них на двух карьерах годовая производительность составляет более 1 млн м^3 в год, на трех – производительность от 50 до 300 тыс. м^3 в год, на остальных 39 карьерах – менее 50 тыс. м^3 в год. В Могилевской области песчано-гравийных карьеров всего 12, из них только два крупных: «Козуличи» Кировского района и «Дубровка» Шкловского района, которые находятся на балансе УТПК «Облдорстрой». Запасы песчано-гравийной смеси (ПГС) в карьере «Козуличи» в ближайшее время будут выработаны. На остальных 10 карьерах, которые занимают небольшую площадь, в основном от 5 до 15 га, качество песчано-гравийной смеси не всегда соответствует требованиям стандартов и нормативных актов. В основном, на качество ПГС оказывает влияние большое содержание глинистых частиц в смеси, а также большое содержание гравия в смеси мелких фракций 5…10 и 10…20 мм, что не устраивает дорожные предприятия, которые разрабатывают эти карьеры. Часто при разработке гравийных карьеров встречаются прослойки некондиционных пород, что говорит о низком качестве проведенных геологоразведочных работ. Особенно редко встречается песчано-гравийная смесь на востоке и юге Могилевской области. Многим предприятиям приходится возить автотранспортом гравийный материал с ближайших областей на расстояние до 80 км, что вызывает большие неоправданные расходы. Проблему дефицита песчано-гравийной смеси в Могилевской области можно решить, отрабатывая обводненные запасы нерудных строительных материалов.

Все дорожные предприятия Могилевской области заказывают геологоразведочные работы таким образом, чтобы запасы полезного ископаемого утверждались на 0,5…1 м выше уровня грунтовых вод. Обводненные запасы на глубину до 3 м без водопонижения можно отработать экскаваторами с емкостью ковша до 1 м^3 типа «драглайн» (Э–652, ЭО–5111, ЭО–4111) или экскаваторами типа «обратная лопата» (ЭО–4124, ЭО–4321), которые имеются на многих предприятиях. Нетрудно подсчитать,

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

что даже при площади месторождения в 10 га отработка обводненных запасов на глубину 3 м (а учитывая целик в 0,5…1 м, который оставляется до уровня грунтовых вод, – то на глубину 3,5…4 м) даст дополнительный объем полезного ископаемого в 350…400 тыс. м^3. В дорожно-ремонтно-строительных управлениях годовая производительность по песку и песчано-гравийной смеси в большинстве случаев составляет 15…20 тыс. м^3, следовательно, этот дополнительный объем в 350…400 тыс. м^3 продлит срок службы карьера до 20 лет.

Разработка обводнённых песчаных и гравийно-песчаных месторождений осуществляется экскаваторным и гидромеханизированным способами. Разработка месторождений гидромеханизированным способом выполняется с помощью земснарядов. Область их применения ограничивается глубиной отработки залежи до 10…15 м и содержанием каменистых включений (гравия и валунов) до 40 %. Недостатком данной технологии является зависимость от климатических условий и сезонный характер работы земснарядов.

Разработка частично обводнённых и обводнённых месторождений экскаваторным способом осуществляется с полным или частичным осушением пород, нижним черпанием, в том числе из-под воды. Экскаваторы карьерно-строительного типа, получившие широкое применение на карьерах, допускают отработку обводнённой толщи без осушения на глубину до 4…5 м. При разработке без осушения или с частичным водопонижением драглайнами или обратными лопатами полезное ископаемое складируется в навал (штабель) на горизонте установки экскаватора для его естественного обезвоживания. Из навала полезное ископаемое вынимается и отгружается преимущественно в автомобильный транспорт одноковшовыми фронтальными погрузчиками и прямыми лопатами (реже драглайнами). При добыче полезного ископаемого из-под воды рабочие параметры экскаваторов с оборудованиями драглайна используются не полностью и забой не отрабатывается на глубину, соответствующую максимальной глубине черпания. Это связано с тем, что угол откоса обводнённого забоя является менее устойчивым и имеет более пологий откос. При разрыхлении породы ковшом она вблизи прохода ковша теряет устойчивость, размывается водой и нивелирует дно подводной выработки на уровне выше глубины черпания. Случайные изменения содержания гравия в массиве вызывают изменения угла откоса подводного забоя. В этой связи значительный интерес представляет собой исследование закономерностей изменения содержания фракции гравия +5 мм в массиве.

Увеличение содержания гравия в породе благоприятно сказывается на устойчивости откоса, что позволяет увеличить глубину выемки. С увеличением содержания гравия угол откоса подводного забоя возрастает (рис. 1) [1].

Для аналитического описания зависимости рассмотрим две произвольные точки на графике (см. рис. 1) (пусть это будут точки с координатами (50; 20) и (75; 28) соответственно).

Уравнение $\alpha_{ПЗ} = f(\beta)$ представим в виде определителя 2-го порядка:

$$\begin{vmatrix} \beta - 50 & \alpha_{ПЗ} - 20 \\ 25 & 8 \end{vmatrix} = 0. \qquad (1)$$

Из (1) следует,

$$(\beta - 50) \cdot 8 = 25(\alpha_{ПЗ} - 20),$$

откуда

$$\alpha_{ПЗ} = 0{,}32\beta + 4. \qquad (2)$$

Изменение содержания гравия +5 мм в залежи полезного ископаемого вызывает вариацию устойчивого угла откоса подводного забоя и, как следствие, максимальной глубины черпания, соответствующей ей высоты уступа и

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

ширины экскаваторной заходки. Содержание гравия фракции +5 мм на гравийно-песчаных месторождениях изучалось нами по результатам геологоразведочных работ [2]. Первичная обработка опытных данных предусматривала определение средней дисперсии и стандартного отклонения выборки, группирование элементов массива по классам (интервалам) с целью последующего их анализа.

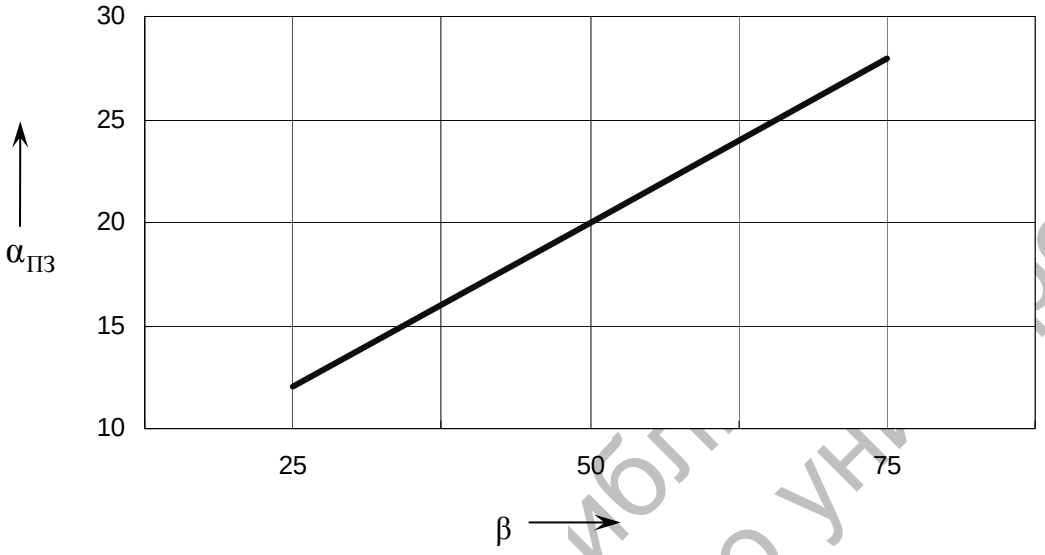

Рис. 1. Зависимость угла откоса подводного забоя $\alpha_{ПЗ}$ от содержания в массиве фракции +5 мм β

Определение длины интервалов $Z_1 \ldots Z_3$ выполнялось по известным формулам Брукса, Вайнберга, Стреджерса с последующим определением среднего значения Z_y [2]:

– по Бруксу

$$Z_1 = \frac{x_{max} - x_{min}}{5 \lg N}; \quad (3)$$

– по Вайнбергу

$$Z_2 = \frac{1}{9}(x_{max} - x_{min}); \quad (4)$$

– по Стреджерсу

$$Z_3 = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3{,}2 \lg N}, \quad (5)$$

где x_{max}, x_{min} – максимальное и минимальное значения элемента массива соответственно; N – число элементов массива.

Большой объём данных предопределил применение компьютеризированной их обработки, предусматривающей файловую организацию данных наблюдений с последующим определением необходимых параметров.

Номера классов, в которые попадает очередное наблюдение, считываемое из файла программой, определялись с помощью целочисленной функции

$$y = \mathrm{int}\left(\frac{x(i) - L}{Z_y}\right), \quad (6)$$

где Z_y – длина интервала; x(i) – очередное значение элемента массива; L – нижняя граница класса.

Число попаданий (частота) в класс Y определяли с помощью стандартной конструкции с накапливанием данных в переменной F(Y):

$$F(Y) = F(Y) + 1. \quad (7)$$

В табл. 1 приведено эмпирическое распределение содержания гравия +5 мм, полученное в результате обработки данных геологоразведочных работ.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Табл. 1. Эмпирическое распределение содержания гравия +5 мм

Номер класса *Y*	Класс	Центр	Частота *F*(*Y*)
1	11,98…18,78	15,4	13
2	18,78…25,57	22,2	30
3	25,57…32,37	29,0	69
4	32,37…39,16	35,8	45
5	39,16…45,96	42,6	18
6	45,96…52,75	49,4	11
7	52,75…59,55	56,2	3
8	59,55…66,34	62,9	1
9	66,34…73,14	69,7	1
10	73,14…79,93	76,5	1

При подборе теоретического распределения для содержания гравия +5 мм рассматривались альтернативные распределения, используемые для описания неотрицательных значений, из наиболее общих распределений семейства Пирсона (кривая III-типа, она же – гамма-распределение) и Джонсона (SL-распределение). Оценка приемлемости моделей осуществлялась по критерию χ^2-Пирсона [3].

Статистический анализ моделей показал, что наилучшей моделью распределения содержания гравия фракции +5 мм в массиве является SL-распределение Джонсона, которое удовлетворяет условию $\chi^2_{выч} \le \chi^2_{табл}$. При восьми степенях свободы вычисленное значение χ^2 составляет 12,26 против 15,5 допустимого для 5-процентного уровня значимости. Для гамма-распределения вычисленное значение χ^2 превышает табличное значение критерия Пирсона (19,6 > 15,5).

Таким образом, распределение гравия +5 мм в массиве не противоречит SL-распределению Джонсона и функцию плотности вероятности для содержания гравия можно представить уравнением (рис. 2)

$$y = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}\beta}\exp\left[-\frac{1}{2}\eta^2\left(\frac{\gamma^*}{\eta}+\ln\beta\right)^2\right], \quad (8)$$

где η, γ* – параметры формы SL-распределения Джонсона; β – содержание в массиве гравия +5 мм.

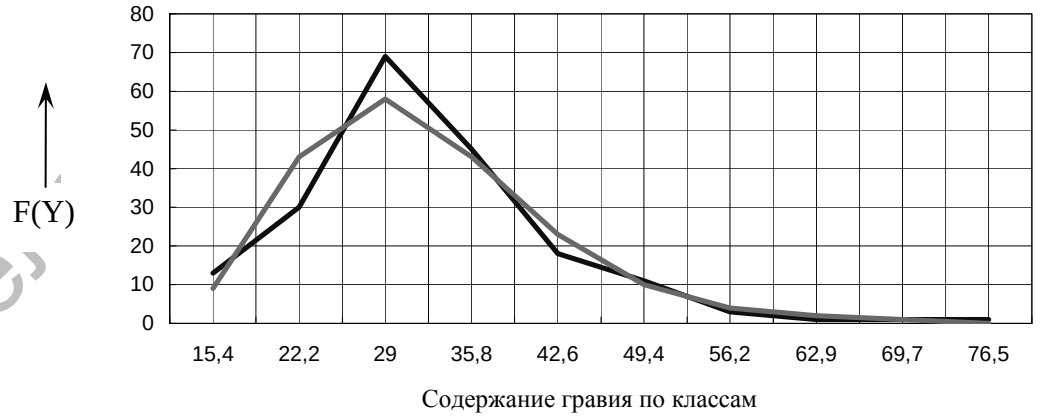

Рис. 2. Сравнение эмпирического и теоретического распределения фракции гравия +5 мм: 1 – эмпирическое распределение; 2 – SL-распределение Джонсона

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Для определения наиболее вероятного значения содержания гравия +5 мм в массиве выполним дифференцирование (8) по β:

$$\frac{dy}{d\beta}=\frac{\eta}{\sqrt{2\pi}}\left\{-\beta^2\exp\left[-\frac{1}{2}\eta^2\left(\frac{\gamma^*}{\eta}+\ln\beta\right)^2\right]+\right.$$
$$\left.+\exp\left[-\frac{1}{2}\eta^2\left(\frac{\gamma^*}{\eta}+\ln\beta\right)^2\right]\times\right.$$
$$\left.\times\left(-\frac{1}{2}\eta^2\right)2\left(\frac{\gamma^*}{\eta}+\ln\beta\right)\frac{1}{\beta^2}.\right\} \quad (9)$$

Преобразовав выражение в фигурных скобках, получим

$$\frac{dy}{d\beta}=\frac{\eta}{\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\eta^2\left(\frac{\gamma^*}{\eta}+\ln\beta\right)^2\right]\times$$
$$\times\left[-\frac{1}{\beta^2}-\frac{\eta^2}{\beta^2}\left(\frac{\gamma^*}{\eta}+\ln\beta\right)\right]. \quad (10)$$

Из уравнения видно, что производная обращается в нуль, если

$$-\frac{1}{\beta^2}-\frac{\eta^2}{\beta^2}\left(\frac{\gamma^*}{\eta}+\ln\beta\right)=0;$$

тогда

$$\ln\beta+\frac{1}{\eta^2}=-\frac{\gamma^*}{\eta}.$$

Приведем последнее выражение к виду

$$\ln\left(\beta\cdot\exp\left(\eta^{-2}\right)\right)=\ln\left(\exp(-\gamma^*/\eta)\right),$$

откуда

$$\beta=\exp\left(-\gamma^*/\eta\right)\cdot\exp\left(-\frac{1}{\eta^2}\right). \quad (11)$$

Подставляя полученное выражение в формулу (2), получим соотношение для определения наиболее вероятного значения угла откоса подводного забоя драглайна

$$\alpha_{ПЗ}=0,32\exp\left(\frac{-\gamma^*}{\eta}\right)\cdot\exp\left(-\frac{1}{\eta^2}\right)+4. \quad (12)$$

Высота уступа, отрабатываемого драглайном, определяется по формуле

$$H=\left(R_ч-\frac{b}{2}-l_п\right)tg\gamma, \quad (13)$$

где $R_ч$ – радиус черпания драглайна; b – длина хода драглайна; $l_п$ – длина шага передвижки; γ – угол устойчивого откоса.

Подставляя в формулу (13) вместо угла устойчивого откоса угол подводного откоса забоя, получим

$$H=\left(R_ч-\frac{b}{2}-l_п\right)tg\left[\begin{array}{l}0,32\exp\left(-\gamma^*/\eta\right)\times\\ \times\exp\left(-\frac{1}{\eta^2}\right)+4\end{array}\right]. \quad (14)$$

При добыче ПГС из-под воды полезное ископаемое размещается на рабочей площадке в штабель для обезвоживания. Поэтому при определении ширины рабочей площадки необходимо учитывать параметры штабеля и, в частности, ширину его основания, которая зависит от его высоты и угла откоса штабеля. Согласно [1], угол откоса штабеля зависит от содержания гравия +5 мм в массиве (рис. 3).

Для аналитического описания приведенной зависимости выберем две произвольные точки на графике с координатами (25; 36) и (50; 26) соответственно и представим функцию $\alpha_ш=f(\beta)$ в виде определителя 2-го порядка:

$$\begin{vmatrix}\beta-25 & \alpha_ш-36\\ 25 & 10\end{vmatrix}=0. \quad (15)$$

Из (15) следует,

$$-10(\beta-25)=25(\alpha_ш-36),$$

откуда

$$\alpha_ш=-0,4\beta+46. \quad (16)$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

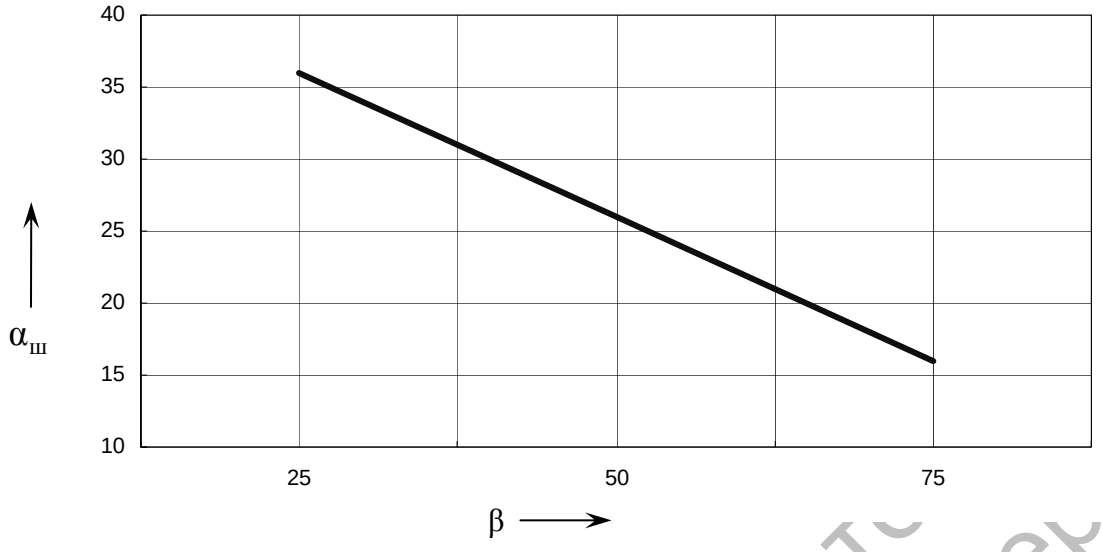

Рис. 3. График зависимости угла откоса штабеля $\alpha_Ш$ от содержания гравия +5 мм β

Подставляя в полученную формулу выражение для определения выхода фракции +5 мм, получим, что наиболее вероятный угол откоса штабеля

$$\alpha_ш = -0,4\exp\left(\frac{-\gamma^*}{\eta}\right)\times$$
$$\times\exp\left(-\frac{1}{\eta^2}\right)+46. \qquad (17)$$

Рассмотрим влияние содержания гравия +5 мм на ширину экскаваторной заходки при отработке обводнённого забоя с промежуточным складированием добываемого сырья в штабель. Так как вся вынимаемая из заходки порода предварительно размещается в штабель, должно соблюдаться равенство удельной ёмкости экскаваторной и отвальной заходки. Под удельной ёмкостью заходки здесь понимается её объём, приходящийся на 1 м длины заходки, т. е. можно записать

$$S_о = S_э \cdot К_{ро}, \qquad (18)$$

где $S_о$ и $S_э$ – удельные ёмкости отвальной и экскаваторной заходки соответственно; $К_{ро}$ – коэффициент разрыхления породы в отвале (штабеле).

Принимая во внимание незначительную величину коэффициента разрыхления породы в отвале ($К_{ро}$ = 1,02), можно вышеприведенное равенство записать в виде

$$\frac{A_0}{2}\cdot H_0 = A\cdot H, \qquad (19)$$

где A_0, A – ширина основания штабеля и экскаваторной заходки соответственно; H_0, H – высота отвала и уступа соответственно.

Следовательно,

$$A = \frac{A_0 H_0}{2H}. \qquad (20)$$

Исследуем основные факторы, влияющие на ширину и высоту отвальной заходки. Наиболее часто выемку породы из отвальной заходки осуществляют прямой лопатой или погрузчиком. Во всех случаях высота отвала не должна превышать значений, установленных правилами безопасности.

Определим предельную высоту отвала через максимальную высоту черпания из соотношения $H_0 \le H_{чmax}$. Тогда ширина экскаваторной заходки по данному условию составит:

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

$$A \le \frac{A_0 \cdot H_{ч\,max}}{2H}. \qquad (21)$$

Допустимая высота штабеля по условию черпания влияет на ширину отвальной заходки. Для отвала с треугольной формой сечения можно записать, что

$$\frac{A_0}{2} = H_{ч\,max} \cdot ctg\alpha_ш, \qquad (22)$$

откуда

$$A_0 = 2H_{ч\,max} \cdot ctg\alpha_ш, \qquad (23)$$

или с учётом (22) и (23)

$$A_o = 2H_{ч\,max} \times$$

$$\times\, ctg\left\{-0,4\left[\begin{array}{l}\exp\left(\frac{-\gamma^*}{\eta}\right)\times\\ \times\exp\left(-\frac{1}{\eta^2}\right)\end{array}\right]+46\right\}, \qquad (24)$$

и ширина экскаваторной заходки

$$A \le \frac{H^2_{ч\,max} ctg\left\{-0,4\left[\begin{array}{l}\exp\left(\frac{-\gamma^*}{\eta}\right)\times\\ \times\exp\left(-\frac{1}{\eta^2}\right)\end{array}\right]+46\right\}}{H}. \qquad (25)$$

Значение ширины штабеля (отвальной заходки) следует дополнительно проверять по условию максимального радиуса разгрузки. Это легко сделать с помощью графических построений с учётом места расположения оси вращения драглайна, размеров ограждающего вала и ширины бермы безопасности.

Выводы

При определении параметров системы разработки с использованием драглайнов в обводненных условиях необходимо учитывать влияние на угол откоса забоя и штабеля содержания гравия в массиве +5 мм, которое не противоречит SL-распределению Джонсона. Полученные зависимости позволяют определить основные параметры системы разработки драглайнами, работающими нижним черпанием, наиболее вероятные значения высоты уступа, ширину штабеля и экскаваторной заходки при добыче гравийно-песчаной породы из обводненного забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Малышева, Н. А.** Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов / Н. А. Малышева, В. Н. Сиренко. – М. : Недра, 1977. – 392 с.

2. Отчет о детальной разведке месторождения ГПС «Бестреньское – южный участок» Дрибинского района Могилевской области / С. Н. Березовский. – Могилев : Могилевоблдорстрой, 2006. – 55 с.

3. **Гофман, В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гофман. – М. : Высш. шк., 1977. – 479 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 24.01.2011

S. D. Semenuk, S. N. Berezovsky, A. N. Tereshchenko

Rational and effective working out of nonmetallic building materials (sand, gravel) for building and repair of motorways in open-cast mines of the Mogilev area

In the article questions of resource - and energy-consumption at opencast extraction of nonmetallic building materials are considered. The open-cast mines which are on balance of the road organizations of the Mogilev area are offered to be developed with minimum losses. The article shows that flooded mineral stocks with the capacity up to 4 m in the open-cast mines can be developed by «dragline» excavators. The authors have also studied laws of change of the gravel fraction content of +5 mm in a file as accidental variations of gravel fraction content in a file cause the change of an angle of slope of an underwater face, which essentially influences the productivity of the excavator and the open-cast mine in general. Influence of +5 mm gravel content in the file on the angle of a slope of the face and the stack, which does not contradict to Johnson's SL of distribution has been established.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета