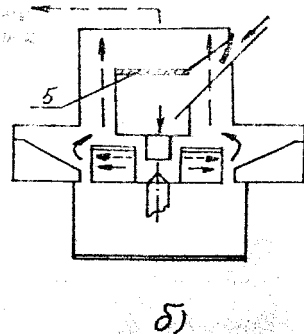


**Рис. 4** Аэродинамика центробежно-ударной дробилки (а – режим дробления), где: 1 – питающий желоб; 2 – лопатки направляющего аппарата; 3 – крышка корпуса; 4 – промежуточный бункер; 5 – крышка промежуточного бункера

Переоборудование для работы в режиме измельчения характерно для дробилок «БармакРотоактор» и «Дуоактор», «Давид», дробилок серии V фирмы SBM.

Украинскими учеными разработаны оригинальные конструкции центробежно-ударных дробилок ЦД-1, ЦД-10, ЦД-50 с демпфирующими подвесками рабочих органов (роторов), что позволило эффективно компенсировать конструктивные и технические дисбалансы роторов и за счет этого существенно повысить надежность и работоспособность этих дробилок [1,2]. Эти дробилки успешно прошли испытания и применяются для дробления руд и строительных материалов.

**Рис. 5** Аэродинамика центробежно-ударной дробилки (б – режим измельчения)



Выводы: таким образом, зарубежными фирмами и отечественными организациями в настоящее время производится широкий спектр центробежно-ударных дробилок номинальной производительностью от 30 до 450 т/ч. Удельная эффективность этих аппаратов по питанию находится в пределах: для дробилок «камень о металл» 1,00...1,2 кВтч/т, для дробилок «камень о камень» 1,1...1,9 кВтч/т, для «Дуоакторов» 0,7 – 0,8 кВтч/т. Удельная металлоемкость составляет 0,020 – 0,075 т ч/т, что, по крайней мере, на порядок ниже, чем в конусных дробилках мелкого дробления.

#### Список литературы

1. Н.И. Сокур, И.Н. Сокур, Л.М. Сокур. Центробежные дробилки: Монография. – Кременчуг, ЧП Щербатых А.В., 2009 – 240 с.
2. Harrods. Crusher Action Analyzed with High Spood Photography Pit and Quarry. – 1979. - №11. – р.р. 49-52, 65/
3. Н.И. Сокур, А.Д. Учитель, С.А. Учитель. Центробежная мельница// А.С. 1.325.129 СССР, МКИВО2С13/14, опубликовано 24.01.1988. Бюл. изобретений №3.

Рукопис подано до редакції 02.10.13

УДК 622.271.333:621.86.06

Ю.М. НИКОЛАШИН, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет,  
К.В. КОВАЛЕВ, Н.В. КОРЧАГИН, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

### УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ИЗ ОТХОДОВ СУХОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ

Выполнена оценка условий устойчивости насыпи высотой более 30 м из отходов переработки сырой руды для внутренних железнодорожных путей внешних отвалов ПАО «ИнГЮК» в сложных инженерно-геологических условиях.

**Ключевые слова:** устойчивость откосов, железнодорожная насыпь, переработка кварцитов, отходы сепарации, противооползневые мероприятия.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Среди отходов сухой магнитной сепарации железистых кварцитов значительную долю занимают объемы мелких фракций щебня с размером зерен до 10 мм, которые могут быть использованы для дорожно-строительных работ, в том числе насыпей.

Проблема использования мелкого щебня для строительства насыпей рассматривается редко.

В то же время строительными нормами и правилами (1992 г.) предусматривается возможность использования отходов горнорудного производства в конструкциях и элементах сооружений промышленного транспорта.

При этом возникает научно-практическая задача по строительству насыпей внутренних железнодорожных путей со сроком службы до трех лет в карьерах и на отвалах.

**Анализ исследований и публикаций.** Насыпи из отходов горнорудного производства высотой до 20 м осуществляют по типовым проектам с применением типовых поперечных сечений в соответствии со строительными нормами и правилами РФ (1992 г.) – Промышленный транспорт (2.05.07.91) и Украины (2008 г.) – Залізниця колії 1520 мм (ДБН В.23-19-2008). При этом профиль откоса имеет слабовогнутую поверхность, состоящую из трех частей: верхняя высотой 10 м с углом откоса  $38^\circ$  (1:1,3); средняя - 5 м с углом откоса  $33,5^\circ$  (1:1,5) и нижняя - 5 м с углом откоса  $30^\circ$  (1:1,75), а результирующий угол откоса насыпи равен  $34,5^\circ$ .

Проектирование земляного полотна внутренних железнодорожных путей высотой более 20 м осуществляют по индивидуальным проектам на основании исследований инженерно-геологических условий трассы, плана развития горных работ по годам до конца их завершения, внутриплощадочного водоотвода поверхностного стока и противооползневых мероприятий насыпи.

Расчеты на прочность земляного полотна должны учитывать нагрузки на ось думпкара и погонную нагрузку от подвижного состава.

Оценка устойчивости насыпи выполняется с применением отраслевых методик и правил [1-3] и исследований [4-6].

**Постановка задачи.** В условиях расширения отвала № 2 ПАО «ИнГОК» в сторону водоохранной зоны р. Ингулец на участке примыкания к хвостохранилищу запроектировано строительство временной насыпи с двухпутным железнодорожным движением. В качестве материалов тела насыпи предполагается мелкий щебень сухой магнитной сепарации (СМС) [7] и скальную вскрышу Ингулецкого карьера. Для обоснования конструкции насыпи по условию ее устойчивости необходимо использовать результаты инженерно-геологических изысканий и графо-аналитические расчеты устойчивости откосов насыпи.

**Изложение материала и результаты.** Объектом исследований являлось двухпутное земляное полотно, выполняемое с использованием отходов СМС и скальных вскрышных пород.

Исследования состояли в анализе инженерно-геологических условий строительства железнодорожной насыпи и физико-механических свойств отходов СМС; выборе расчетной схемы устойчивости насыпи; оценки степени устойчивости насыпи нормативными методами; разработке противооползневых мероприятий.

В геологическом строении до глубины 30 м участок примыкания проектируемой насыпи к хвостохранилищу и отвалу № 2 представлен [8]: палеоаллювиальными песками, глинами, супесями; средне- и верхнечетвертичными суглинками; техногенными насыпными грунтами.

Литологические слои не выдержаны по простиранию и глубине, наблюдается их выклинивание и изменение мощности.

Грунты обладают просадочными свойствами с относительной просадочностью при  $P=0,3$  МПа от 0,014 до 0,42.

Основным неблагоприятным фактором для строительства по условиям устойчивости насыпи является просадочность суглинков, супесей и глин.

В периоды интенсивных дождей и снеготаяния основание насыпи будет замачиваться, поскольку она препятствует поверхностному стоку в сторону р. Ингулец.

Грунтовые воды встречены при бурении скважин на глубинах от 1,3 до 11,6 м при мощности водоносного горизонта от 6,4 до 18,1 м, их водупором служат глины залегающие на глубинах от 8,7 до 24,5 м.

В основании данных о геологическом строении, гидрогеологических условиях и физико-механических свойствах пород основания насыпи относится к «слабым».

Поэтому расчетные схемы устойчивости насыпи рассматривались с поверхностями скольжения, формирующиеся ниже ее подошвы.

Физико-механические свойства щебня характеризуются [9]: по прочности - очень прочный; по содержанию слабых зерен, пылевидных и глинистых частиц - низкое.

Нормативные значения плотности щебня и зернового состава определены при влажности 1,5% (табл. 1,2).

Графо-аналитические расчеты устойчивости насыпи железнодорожного полотна выполнены при следующих исходных данных: план-схема ведения горных работ на отвале № 2 и на участке примыкания ж.д. насыпи к телу плотины хвостохранилища; объемы скальной вскрыши (300 тыс. м<sup>3</sup>) и отходов сухой магнитной сепарации (1600 тыс. м<sup>3</sup>); длина насыпи 1200 м, высо-

та (максимальная) - от 20 до 31 м, ширина поверху - 30 м, ширина подошвы до 50 м, длина откоса плотины (вкост простиранія) хвостохранилища - 60 м; угол откоса плотины на участке примыкания насыпи от 23 до 27°; угол естественного откоса - не менее 35° (в сухом состоянии), 30° (при насыщении водой), 45° - при уплотнении; сопротивление скальных пород на сжатие не менее 91.0 МПа, угол естественного откоса - 35°; статистическая нагрузка на пог.м от массы тягового агрегата - не более 30 т.

Таблица 1

Насыпная плотность щебня из отходов СМС и скальных пород при влажности 1,5% [6]

Наименование фракций	Фракции СМС от...до..., мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
1. Отходы СМС:		
общая масса	исходная	1510
щебень мелкий	3-10	1530
щебень крупный	10-40	1560
2. Дробленые скальные породы:		
общая масса	исходная	1490
щебень	5-20	1400
щебень	20-70	1420
песок	0-5	1470

Таблица 2

Остатки на ситах, %		Зерновой состав отходов СМС											
		Диаметр отверстий контрольных сит, мм											
Размер фракций, от...до, мм		50	40	25	20	15	12.5	10	7.5	5	3	2,5	1,25
3-10		-	-	-	-	-	0	2,6	63,0	12,5	19,7	1,05	1,15
Частный	5-20	-	-	0	7,5	43,5	21,5	7,5	9,0	9,6	0	0,28	0,11
	10-40	0	3,1	79,6	4,6	6,4	3,0	4,8	0	0	0	1,19	0,1
	3-10	-	-	-	-	-	0	2,6	65,6	78,1	97,8	98,85	100
Полный	5-20	-	-	0	7,5	51,0	72,5	80,0	89,0	98,6	-	98,88	98,99
	10-40	0	3,1	80,0	84,6	91,0	94,0	98,8	-	-	-	99,99	100

Физико-механические свойства грунтов основания по лабораторным испытаниям изменяются в следующих пределах: плотность водонасыщенных – 1830-2010 кг/м<sup>3</sup>; углы внутреннего трения (с 0,95 обеспеченностью надежности): суглинок – 17,4-23,8; супесь – 22,6-24,6; песок – 20-34,6; глина – 21,1-24,6. Удельное сцепление: суглинок – 0,005-0,015 МПа, супесь – 0,013-0,016 МПа, глина – 0,028-0,068 МПа.

Требования СНиПа 2.05.07.91 (Промышленный транспорт) к обеспечению устойчивости насыпи следующие: при отсыпки насыпей железных дорог и проведения укрепительных работ необходимо, чтобы щебень СМС не ухудшал физико-механические свойства материала; земляное полотно внутренних железнодорожных путей следует рассчитывать на прочность при движении составов (тяговый агрегат и до восьми думпкаров).

При проектировании земляного полотна следует предусматривать уплотнение грунтов, отвод поверхностного стока атмосферных осадков в подошве насыпи, возможность залегания уровня грунтовых вод в основании на глубине менее 5 м в просадочных породах, учитывать величину осадки пород основания в процессе их консолидации и земляного полотна в период эксплуатации железной дороги.

Расчеты выполнены следующими методами оценки устойчивости насыпных откосов с коэффициентом запаса учитывающем время стояния земляного полотна до трех лет, равного 1,1: с использованием графиков зависимости углов откосов от высоты насыпи, физико-механических свойств основания и тела насыпи; алгебраического сложения сил, касательных напряжений и векторного сложения сил при максимальной высоте насыпи 31 м с углом откоса, равного 35°.

При использовании решений, полученных с помощью номограмм получены следующие результаты: по графикам  $H'$  ( $\Gamma'$ ) и  $\varphi_n$  – расчетный угол откоса насыпи равен 37° и превышает проектный на 2° [2]; по графикам при  $N_s$ ,  $N_f$  и 32° - расчетный угол запаса устойчивости насыпи, примыкающей к дамбе хвостохранилища, равен более нормативного и составляет 1,5 [9]; по графику  $A > 20$  и 32° - расчетный угол откоса насыпи превышает проектный на 4° [2].

Графо-аналитические расчеты устойчивости насыпи из отходов СМС показали следующее: при круглоцилиндрической поверхности скольжения ширина призмы возможного оползания составляет 3 м (при расчете методом алгебраического суммирования сил без учета статической нагрузки от тягового агрегата); при круглоцилиндрической поверхности скольжения с заглублением в слабое основание до 2 м ширина призмы возможного оползания составляет 7 м (от верхней бровки насыпи до верхнего строения железнодорожного пути), при которой коэффициент запаса устойчивости нагруженного откоса, рассчитанный методом касательных напряжений, превышает нормативное значение на 7%; выполненная контрольная оценка нормативной устойчивости насыпи методом векторного сложения сил при ее высоте, равной 33 м, и угле откоса равного  $35^\circ$ , подтвердила возможность использования расчетных параметров при проектировании защиты откосов от размыва атмосферными осадками.

В качестве расчетных показателей ( $\gamma, \varphi, c$ ) с учетом нормативного значения коэффициента запаса устойчивости откосов приняты их средневзвешенные значения величин: насыпи  $\gamma_{\text{СМС}} = 1560 \text{ кг/м}^3$ ;  $\gamma_{\text{СК}} = 2100 \text{ кг/м}^3$ ;  $\varphi_{\text{СМС}} = \varphi_{\text{СК}} = 32,3^\circ (\text{tg } \varphi = 0,6317)$ ; основание насыпи:  $\gamma_0 = 21,4^\circ (0,3908)$ ,  $c = 0,4 - 1,0 \text{ т/м}^2$ .

Кроме того, в призме возможного оползания учтена нагрузка от тягового агрегата и грузовых думпкартов, равная 30 т на пог.м в пределах «длины поезда».

**Выводы.** Выполненные исследования позволяют рекомендовать к использованию при проектировании следующее: строительство земляного полотна двухпутной железной дороги из щебня сухой магнитной сепарации обеспечиваются по условиям устойчивости насыпи на высоту 31 м и результирующим углом откоса равным  $35^\circ$ .

Конструкция насыпи состоит из верхней части высотой 20 м и нижней части высотой 11 м; укладку в земляное полотно щебня СМС фракции от 3 до 10 мм производить в объеме до 50% одновременно с фракциями от 10 до 50 мм в любом соотношении, но не менее 10-15% каждой из них.

Кроме этого могут быть использованы дробленые скальные породы с фракцией щебня от 5 до 70 мм и песка с фракцией от 0 до 5 мм в объеме до 25%.

Укладку щебня и песка в тело земляного полотна необходимо производить с укаткой слоев мощностью до 0, 5 м, а укрепление поверхностей откосов насыпи скальными породами (с кусками не более 400-500 мм) выполнять в пределах укатываемых слоев [10] в виде треугольных призм высотой до 2 м в пределах укатываемых слоев.

При этом расширение отвала №2 к границе водоохранной зоны р. Ингулец на участке временной железнодорожной насыпи не окажет влияния на дренаж основания отвала и общую устойчивость его борта.

#### Список литературы

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – Спб., 1998. – 208 с. (Минтопэнерго РФ РАН Гос. НИИ горн, геомех. и маркшейд. дела).
2. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. - К.: Мінпромполітики України, 2007. - 134 с.
3. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. — Л.: ВНИМИ, 1971. - 187 с.
4. **Мироненко В.А.** Основы гидромеханики / **В.А. Мироненко, В.М. Шестаков.** – М.: Недра, 1974. – с. 193-212.
5. **Кузькин В.Н.** Инженерно-геологические и геоэкологические исследования при разведке и эксплуатации рудных месторождений//В.И. Кузькин, Б.Г. Самсонов, Г.И. Росман, Н.В. Петров. – М.:РИЦ ВИМСа, 2002. – 119с.
6. Гидротехника в горном деле и строительстве/ Пер.с нем. – М.: Недра, 1978. – с. 365-375.
7. ТУ У В.2.7-14.2-00190905-007:2010. Щебінь сухого магнітного збагачення ВАТ «ІнГЗК» для будівельних робіт. - Кривий Ріг: ВАТ «ІнГЗК», 2010. - 17 с.
8. Расширение отвала № 2. Инженерно-геологические изыскания. Рабочий проект: Отчет/Кривбасспроект; ПЗ-04237. Автор **Л.В. Петрова.** - Том 1. - Кривой Рог. 2005. - 61 с.
9. **Хуан Я.Х.** Устойчивость земляных откосов /пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1988. – 240 с.: ил. – перевод изд: Stability analysis of earth slopes/Yand H. Huang. ISBN 5-274-00224-2.
10. Методические рекомендации по укреплению откосов на карьерах пригрузкой скальных пород. – Белгород: 1981.-28 с. (Препр./Минчермет СССР. ВЮГЕМ; 442).

Рукопись поступила в редакцию 07.03.14