УДК
622.271.235

М.Д. Горшков, Вал.В. Сенкус, А.Ю. Ермаков

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПОРНОГО И БЕЗНАПОРНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ КАРТ РАЗРЕЗА

При гидравлической и механогидравлической рекультивации нарушенных земель основным технологическим звеном является напорный гидротранспорт, для которого в статье проводится методика обоснования технологических параметров для выбора используемого оборудования

Ключевые слова: методика, расчет, параметры, напорный, безнапорный, гидротранспорт, карты, разрез.

При гидравлической и механогидравлической рекультивации нарушенных земель основными видами транспорта являются напорный и безнапорный самотечный гидротранспорт, обеспечивающие высокую эффективность работы.

Консистенция пульпы при напорном гидротранспорте Т:Ж может достигать 1:1–1:1,35 [4], а диаметр кусков транспорти-

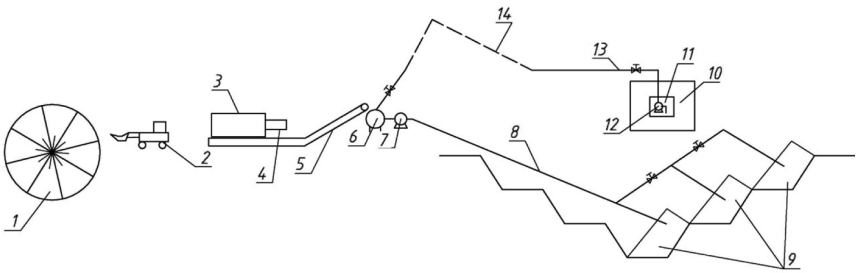

Рис. 1. Технологическая схема напорного гидротранспорта: 1 – отвал, 2 – погрузочная машина, 3 – валковая дробилка избирательного действия, 4 – конусная дробилка, 5 – конвейер, 6 – смеситель, 7 – углесос, 8 – став пульповода труб, 9 – приемная карта, 10 – водосборник разреза, 11 – понтон, 12 – насосная установка, 13 – став гибких труб с запорной арматурой, 14 – став стационарного водовода с запорной арматурой

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 388–394.
© 2017. М.Д. Горшков, Вал.В. Сенкус, А.Ю. Ермаков.

руемого материала определяется размерами выпускных окон углесоса. Для надежной работы напорного гидротранспорта рекомендуется соотношение Т:Ж = 1:2,5 [1–2].

Технологическая схема напорного гидротранспорта представлена на рис. 1.

Методы расчета гидротранспорта коренных пород базируются на расчете потери напора с определенным гранулометрическим составом при критической скорости, определяемый по номограммам [3] с учетом особенностей гидротранспорта разрыхленной неоднородной породы

$$i = \gamma_{п} B - 0{,}083 \lg D - 0{,}27,$$

где i – потери напора, м. вод. ст, $\gamma_{п}$ – плотность пульпы; D – диаметр трубопровода, мм; B – эмпирический коэффициент, $B = 0{,}5$.

Потери напора при любой скорости транспортирования определяются по формуле

$$i(n) = i_{о} + \Delta i,$$

где $i_{о}$ – потери напора для чистой воды; Δi – дополнительное сопротивление

$$\Delta i = \eta(\gamma_{п} - 1)(1{,}9 - D),$$

где $\eta = 0{,}31$ – эмпирический коэффициент.

Зависимости потерь напора от диаметра трубопровода при критической скорости транспортирования построены для различных значений плотности пульпы. Критическая скорость должна выбираться по условию максимально возможной консистенции пульпы.

Критический расход показывает минимальный расход, при котором может осуществляться транспортирование пульпы по трубопроводу данного диаметра. При меньшем расходе происходит забучивание трубопровода.

Процесс гидротранспорта кускового материала в водной среде характеризуется высокой энергоемкостью. Наличие глинистых наносов позволяет утяжелить несущую среду и снизить расход энергии.

Производительность, агрегатов, установок и машин участвующих в процессе гидротранспортирования и подготовке пульпы выбираются из решения системы неравенств:

$$П_{у} \geq \rho П_{п} + П_{нв};\ П_{д} \geq k П_{п};\ П_{нв} \geq \rho П_{п}/1{,}25,$$

где $П_{у}$ – производительность углесоса по пульпе, м^3/ч; ρ – удельная плотность горной массы, м^3/т; $П_{п}$ – производитель-

ность погрузчика, т/ч; 1,25 – соотношение Т:Ж; $П_{нв}$ – производительность насосной установки по воде, м^3/ч.

Объем смесителя V рекомендуется определять по формуле [4]

$$V = 0{,}5П_у + V_п,$$

где $0{,}5П_у$ – получасовая работа углесоса по пульпе, м^3;
$V_п = \pi D^2 L$ – объем пульпы в пульповоде до его наивысшей точки, м^3, где D, L – диаметр и длина пульповода до наивысшей точки, м.

Выбор углесоса от рода перекачиваемой гидросмеси и условий эксплуатации и его характеристикой является зависимость технических показателей от подачи при постоянных значениях частоты вращения и плотности гидросмеси. Статическая высота $H_с$ определяется по формуле

$$H_с = H_{вс} + H_г,$$

где $H_{вс}$ – высота всасывания, м, $H_{вс} = 0$, т.к. углесос расположен ниже уровня смесителя и находится под самозаливом; $H_г$ – геодезическая высота от уровня углесоса до наивысшей точки трассы пульповода, м. вод. ст.

Углесос выбирается из типового ряда с учетом максимальных размеров кусков скальных и полускальных пород, т.е. его пропускных зазоров, на основании которых выбирается размер шпальтовых сит валкового классификатора, который при работе свободно пропускает куски пород с меньшим размером и перемещает куски большего размера в конусную или другой тип дробилки, обеспечивающих их дробление. Для предотвращения попадания кусков больших размеров, чем размеры приемных окон дробилки, валковый классификатор закрывают предохранительной решеткой.

Производительность дробилки $П_д$ определяется по формуле

$$П_д = КП_п,$$

где K – коэффициент содержания ситового состава пород меньших размеров щели шпальтового сита валкового классификатора; $П_п$ – производительность пульповода.

Скребковый конвейер выбирается по суммарной производительности валкового классификатора и конусной дробилки, а его длина определяется удаленностью от отвала до смесителя. Производительность скребковых конвейеров в зависимости от скорости и типа колеблется от 60 до 500 т/ч и рассчитывается по типовой методике.

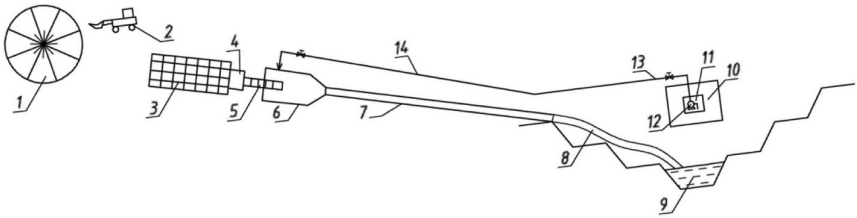

Рис. 2. Технологическая схема самотечного гидротранспорта: 1 – отвал, 2 – погрузочная машина, 3 – валковая дробилка избирательного действия, 4 – конусная дробилка, 5 – конвейер, 6 – смеситель, 7 – став желобов, 8 – став пульпоспускных труб, 9 – приемная карта, 10 – водосборник разреза, 11 – понтон, 12 – насосная установка, 13 – став гибких труб с запорной арматурой, 14 – став стационарного водовода с запорной арматурой

Самотечному безнапорному гидротранспорту предшествуют следующие процессы: подготовку сырья для транспортировки, его смешивание с водой и самотечный транспорт пульпы по почве, желобам или трубам большого диаметра.

При расположении внешних отвалов выше уровня карт и наличии уклона 0,03–0,04 возможно использование самотечного гидротранспорта пульпы по желобам или почве (рис. 2).

Расчет параметров ведется с учет производительности основного звена технологической схемы, которое регламентирует общую производительность гидротранспорта.

При самотечном гидротранспорте перемещение гидросмеси происходит за счет разности отметок между начальной и конечной точками, при этом гидросмесь перемещается по руслу с твердыми стенками и свободной поверхностью. Самотечный гидротранспорт имеет ряд преимуществ перед напорным и низкую энергоемкость.

В основе расчетов самотечного транспорта лежат уравнения неразрывности и Шези

$$Q = VS,$$

где Q – расход жидкости; V – средняя скорость потока, м/с, S – площадь сечения потока, м^2.

$$V = C\sqrt{Ri},$$

где C – коэффициент Шези; $R = S/p$ – гидравлический радиус потока гидросмеси; i – гидравлический уклон, p – периметр смачивания.

Для определения коэффициента Шези известно много эмпирических формул, но рекомендуется использовать формулу Н.Н. Павловского [5]

$$C = \frac{1}{n} R^{y},$$

где n – коэффициент шероховатости русла; y – показатель степени ($y = 1{,}5\sqrt{n}$ при $R < 1$ м; $y = 1{,}3\sqrt{n}$ при $R > 1$ м).

Для металлических желобов укладываемых в стык остается постоянным, при укладке желобов в нахлест коэффициент шероховатости уменьшается на 10–15%, а для эмалированных желобов увеличивается на 10–20% из-за повреждения эмали.

При самотечном гидротранспорте по грунтовым канавам в расчетах необходимо учитывать потери воды на фильтрацию, форму сечения русла, гранулометрический состав пород и в каждом конкретном случае вводятся поправочные коэффициенты, исследованиями которых занимался А.И. Куприн [6].

На практике решается две задачи.

1. При заданном расходе и уклоне русла, определить размеры поперечного сечения.

2. При заданном расходе Q и размерах поперечного сечения, определить необходимый уклон русла.

В задаче первого типа по формулам:

- для трапецеидального сечения канала

$$Q = h^2 C \left(2\sqrt{1 + ctg^2\alpha} - ctg\alpha\right)\left(\sqrt{\frac{hi}{2}}\right),$$

- для прямоугольного сечения канала

$$Q = 2h^2 C\sqrt{\frac{hi}{2}},$$

где h – глубина потока, м; C – Коэффициент Шези; α – угол наклона бортов канала; i – уклон русла.

Затем по формулам:

- для трапецеидального сечения канала

$$\frac{b_c}{h} = 2^{\sqrt{1+ctg^2\alpha} - ctg\alpha},$$

- для прямоугольного сечения канала

$$\frac{b}{R} = 2,$$

где b_c, b – средняя и полная ширина канала; R – гидравлический радиус потока.

Для задачи второго типа уклон определяется по формуле

$$i = \frac{Q^2}{S^2 C^2 R}.$$

Существующие методы расчета самотечного гидротранспорта не отличаются достаточной точностью. Формулы получены без учета влияния на транспортирующую способность формы и размеров кусков перемещаемых частиц, конструкции лотков и формы потока.

Гидротранспорт твердого материала может происходить во взвешенном состоянии и донным волочением. Мелкие частицы передвигаются в потоке во взвешенном состоянии, а кусковый материал движется в придонной части короткими скачками перекатыванием или скольжением.

Для практического применения самотечного гидротранспорта в условиях неопределенности состава следует на 15–20% иметь запас увеличения расхода воды для гидротранспорта и размывки забученных желобов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агудалин Б. П.*, *Пирожков П. Г.* Шахта ОАО «Разрез Сибиргинский». Освоение производственной мощности в первый год после пуска // Уголь. – 2003. – № 8. – С. 22–24.

2. *Методические* указания по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности. Вниииосугодь. – Пермь, 1991. – 290 с.

3. *Методические* указания по разработке проектов рекультивации нарушенных земель, снятая и использования плодородного слоя почв на горнорудных предприятиях Минчермета СССР. – М.: Минчермет – Институт горного дела, 1985. – 56 с.

4. *Гусаров И. А.*, *Лырченков О. Г.*, *Ермаков В. А.* Опыт отработки пласта «Полысаевский-II» подземным способом на горном отводе ОАО «Разрез Моховский» // Уголь. – 2003. – № 8. – С. 20–21.

5. *Нурок Г. А.* Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. – М.: Недра, 1979. – 549 с.

6. *Куприн А. И.* Безнапорный гидротранспорт. – М.: Недра, 1980. – 246 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Горшков Михаил Дмитриевич[1] – кандидат технических наук, технический директор, e-mail: gorschkovmd@suek.ru,
Сенкус Валентин Витаутасович – кандидат технических наук, начальник горного отдела, ООО «Проектгидроуголь-Н», e-mail: senkus@yandex.ru,
Ермаков Анатолий Юрьевич[1] – кандидат технических наук, генеральный директор, e-mail: ermakovay@suek.ru,
[1] ООО «Сибнииуглеобогащение».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 388–394.

UDC
622.271.235

M.D. Gorshkov, Val.V. Senkus, A.Yu. Ermakov

SUBSTANTIATION OF PRESSURIZED AND FREE-FLOW HYDROTRANSPORT FOR BACKFILLING IN OPEN PIT MINES

The main component in the hydraulic and mechanical–hydraulic reclamation of mining-disturbed lands is the pressurized hydrotransport, for which the article gives the procedure to substantiate the process variables when selecting the equipment. The hydrotransport procedure for parent rocks is based on the assessment of pressure loss at the certain grain-size composition and under critical velocity determined by nomograms with regard to the features of hydrotransport of loose nonuniform rocks. For the hydrotransport by gravity in soil trenches, the calculation should account for water loss on seepage, form of section of the trench bed and grain-size composition of rocks, and should introduce specific correction factors for each particular case. The current procedures for calculating parameters of hydrotransport by gravity are insufficiently accurate, the involved relations are derived without regard to the influence exerted on the transport competency by the shape and size of particles, by the design of pans and by the form of the flow. The curves of the pressure loss and the pipeline diameters at the critical transport velocity are constructed for different values of density of slime pulp. The critical velocity is selected based on the condition of maximum possible solid-to-liquid ratio of the slime pulp. In case of the application of the hydrotransport by gravity under uncertainty, it is required to have water margin for the hydrotransport and washout of packed conduits.

Key words: methodology, calculation, parameters, pressure, gravity, hydraulic transport, voids, open cut.

AUTHORS

Gorshkov M.D.[1], Candidate of Technical Sciences,
Technical Director, e-mail: gorschkovmd@suek.ru,
Senkus V.V., Candidate of Technical Sciences,
Head of Mining Department, LLC «Proektgidrougol-H»,
654001, Novokuznetsk, Russia, e-mail: senkus@yandex.ru,
Ermakov A.Yu.[1], Candidate of Technical Sciences,
General Director, e-mail: ermakovay@suek.ru,
[1] LLC «Sibniiugleobogaschenie», 653000, Prokopyevsk, Russia.

REFERENCES

1. Agudalin B. P., Pirozhkov P. G. *Ugol'*. 2003, no 8, pp. 22–24.

2. *Metodicheskie ukazaniya po proektirovaniyu rekul'tivatsii narushennykh zemel' na deystvuyushchikh i proektiruemykh predpriyatiyakh ugol'noy promyshlennosti* (Guidelines for the design of land reclamation on the existing and planned coal companies), Perm, 1991, 290 p.

3. *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke proektov rekul'tivatsii narushennykh zemel', snyataya i ispol'zovaniya plodorodnogo sloya pochv na gornorudnykh predpriyatiyakh Minchermeta SSSR* (Guidelines for the development of land reclamation projects, removal and use of topsoil in mining enterprises of Minchermet USSR), Moscow, Minchermet Institut gornogo dela, 1985, 56 p.

4. Gusarov I. A., Lyrchenkov O. G., Ermakov V. A. *Ugol'*. 2003, no 8, pp. 20–21.

5. Nurok G. A. *Protsessy i tekhnologiya gidromekhanizatsii otkrytykh gornykh rabot* (Processes and technology of hydraulic mining at open mining), Moscow, Nedra, 1979, 549 p.

6. Kuprin A. I. *Beznapornyy gidrotransport* (Gravity hydraulic transport), Moscow, Nedra, 1980, 246 p.