

## КАРЬЕРНЫЕ ВОДООТЛИВНЫЕ УСТАНОВКИ С ПУТЕВЫМ ОТБОРОМ ВОДЫ

А.С. Морин<sup>1</sup>, В.И. Мигунов<sup>1</sup>, К.А. Штреслер<sup>1</sup>, В.Т. Чесноков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия, e-mail: kshtrlesler@sfu-kras.ru

**Аннотация:** Дана общая характеристика методов, средств и схем осушения карьеров. Представлен комплекс мероприятий, направленных на предотвращение попадания в карьер грунтовых и поверхностных вод и удаление карьерных вод за границы объекта открытых горных работ. Приведены сведения о расходе электрической энергии на водоотлив. Отмечено, что затраты на удаление воды из карьера во многих случаях сопоставимы с затратами на транспортирование вскрышных пород и полезного ископаемого, а достижение минимума потребления электроэнергии водоотливным оборудованием обеспечивается при работе насоса с минимальным отношением полного напора к коэффициенту его полезного действия. Установлено, что зависимость величины этого отношения от подачи в пределах рабочего интервала напорной характеристики центробежного насоса имеет монотонно убывающий или экстремальный характер. Для снижения расхода энергии на водоотлив в теплое время года на 10÷50% предложено осуществлять путевой отбор воды из напорного трубопровода с последующим ее распылением над бортом карьера. Указаны условия безаварийного применения схем водоотлива с путевым отбором воды — использование электродвигателя с необходимым для увеличения подачи резервом мощности и наличие достаточного кавитационного запаса на входе в насос. Показано, что распыление значительной части откачиваемых вод над прогретыми солнечными лучами площадками и откосами уступов позволяет интенсифицировать воздухообмен, уменьшить сброс карьерных вод в водоемы и выброс пыли в атмосферу без переувлажнения горных пород в карьере.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, карьерные воды, нормальный водоприток, водоотливная установка, схемы водоотлива, насосы, трубопроводы, электропривод, подача, напор, коэффициент полезного действия, кавитационный запас, резерв мощности, гидромеханическая характеристика, расход энергии, режим работы, регулирование, энергетическая эффективность, путевой расход, оросительные устройства, воздухообмен.

**Для цитирования:** Морин А. С., Мигунов В. И., Штреслер К. А., Чесноков В. Т. Карьерные водоотливные установки с путевым отбором воды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 3. – С. 130–140. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_3\_0\_130.

### Drainage facilities with underway water intake in open pit mines

A.S. Morin<sup>1</sup>, V.I. Migunov<sup>1</sup>, K.A. Shtresler<sup>1</sup>, V.T. Chesnokov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: kshtrlesler@sfu-kras.ru

**Abstract:** The methods, means and circuits of drainage of open pit mines are characterized. The package of measures aimed to prevent flow of surface and ground water in open pits, and to remove water from open pits beyond the excavation boundaries is described. The information on

the power consumption by drainage facilities is given. It is emphasized that in many instances, the cost of dewatering in open pits is comparable with the cost of mineral and overburden haulage, and the minimum energy consumption by drainage facilities is ensured by pumping at the minimum ratio of the total pump head to the pump efficiency. It is found that the relationship between this ratio and delivery within the operational range of the head-capacity characteristic of a centrifugal pump has a gradually decreasing or extremal nature. For reducing energy spent for drainage in the warm season by 10–50%, it is proposed to perform underway water intake from the force main with the subsequent water spraying over pitwall. The accident-free operation conditions of the drainage circuits with the underway water intake are the use of motor drives with sufficient power reserve to increase the delivery and the presence of sufficient suction head at the pump inlet. Spraying of withdrawn water over benches and slopes heated by the sun allows intensification of air renewal and enables reduction of pit water discharge in water bodies and dust emission in atmosphere without overwetting of rocks in open pit mines.

**Key words:** open pit mining, pit water, normal water inflow, drainage facility, drainage circuits, pipelines, motor drive, delivery, head, efficiency, suction head, power reserves, hydro-mechanical property, power consumption, operating regime, adjustment, energy efficiency, underway flow rate, spraying systems, air renewal.

**For citation:** Morin A. S., Migunov V. I., Shtresler K. A., Chesnokov V. T. Drainage facilities with underway water intake in open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(3):130-140. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_3\_0\_130.

---

## Введение

Важнейшим вспомогательным процессом открытых горных работ, выполнение которого требовалось даже тогда, когда горные работы были слабо механизированы и в основном базировались на ручном труде, является осушение выработанного пространства карьера. Как правило, для реализации этого процесса необходимы комплексные мероприятия, направленные на предотвращение попадания в карьер грунтовых и поверхностных вод и на упорядоченное удаление карьерных вод за границы объекта открытых горных работ в специально обустроенное место, например, в открытое или подземное водохранилище, располагаемое вне зоны влияния водооградительных сооружений и устройств.

Инженерная защита карьеров от проникновения в них воды основана на создании протяженных фильтрационных завес, нагорных канав, предохранитель-

ных валов и дамб и непрерывном откачивании дренажных вод из водопонижающих колодцев и скважин. Указанный комплекс мер позволяет исключить свободный сток в карьер поверхностных вод и снизить нормальные водопритоки в горные выработки на 70÷80%. Вместе с тем длительный интенсивный дренаж водоносных горизонтов способен вызывать фильтрационные деформации вмещающих пород, что осложняет ведение горных работ и приводит к серьезным экологическим проблемам. Поэтому показатель перехвата подземных вод на практике редко превышает 40÷50%.

Основная нагрузка при борьбе с ливневыми, тальми, подземными и техническими водами, поступающими в чашу карьера, приходится на механизированный водоподъемный комплекс, включающий систему регулирования стока карьерных вод и насосные установки. Схема водоотлива, регламентирующая распо-

ложение и порядок действия насосных установок, может быть открытой или подземной, центральной (главной) или участковой (вспомогательной), одноступенчатой или многоступенчатой, с индивидуальной или совместной работой насосных агрегатов, с промежуточным водосборником или без него, с подпором или без подпора насосов, с путевым отбором воды или без ее путевого отбора. Выбор энерго- и ресурсосберегающих схем и технических средств, а также использование на их основе наиболее рациональных способов подъема карьерных вод существенно расширяет возможности открытой разработки месторождений со сложными гидрогеологическими условиями, где стоимость выполнения всех видов дренажных работ составляет 15÷20% от общих вложений на строительство и эксплуатацию карьера.

### Основная часть

На многих объектах открытых горных работ затраты на удаление карьерных вод сопоставимы с затратами на транспортирование вскрышных пород и полезного ископаемого. На протяжении 15 календарных лет (с перерывами) объем подземных вод и атмосферных осадков, поступавший в крупнейший алмазодобывающий карьер «Удачный», был в среднем равен объему извлекаемых из недр пород и составлял около 5 млн м<sup>3</sup> в год [1]. В период строительства и работы карьера кимберлитовой трубки «Мир» (1957 — 2001) было отгружено и вывезено 169 млн м<sup>3</sup> горной массы (в том числе 68 млн т руды) и откачано 191 млн м<sup>3</sup> воды [2]. В отдельные годы на угольных и сланцевых разрезах нашей страны на одну тонну добываемого полезного ископаемого приходилось до 28 м<sup>3</sup> подлежащей удалению воды, а на железорудных карьерах — до 13 м<sup>3</sup>/т [3].

В ближайшей перспективе в малоосвоенной восточной части Российской

Федерации в одновременной отработке будут находиться не менее 20 карьеров глубиной 500÷750 м. Удельный расход электрической энергии на подъем воды с этих глубин составляет 2,5÷5,0 кВт·ч/м<sup>3</sup>, а годовые затраты энергии на водоотлив для отдельных карьеров — многие десятки ГВт·ч, что весьма существенно для горнодобывающих предприятий, расположенных в районах с ограниченными возможностями энергоснабжения. Снижение расхода энергии на удаление карьерных вод на таком предприятии всего на 1% может приводить к экономии от нескольких сотен тысяч до миллионов рублей в год [4].

При выборе центробежных насосов для водоотливных установок основным критерием их экономичной работы является выполнение условия [5]

$$\eta / \eta_{\max} \geq 0,9, \quad (1)$$

где  $\eta$  — КПД насоса при ожидаемом эксплуатационном режиме;  $\eta_{\max}$  — максимальный КПД насоса, отмеченный на графике его индивидуальной гидромеханической характеристики  $\eta - Q$ .

Условие (1) определяет режимы эксплуатации насоса с относительно высоким качеством преобразования энергии и выполняется во всех точках рабочего интервала его напорной характеристики  $H - Q$ . При оценке эффективности водоотлива следует также принимать во внимание то, что номинальный режим работы центробежных насосов с максимальным КПД  $\eta_{\max}$  не соответствует режиму работы с минимальным удельным расходом энергии [6].

Для выработки рекомендаций, направленных на достижение оптимальных по расходу электроэнергии режимов работы водоотливной установки был проведен анализ энергетических показателей современных центробежных насосов при их эксплуатации в пределах рабочего интервала 1 — 3 (рис. 1), где подача и мощность насосов растут, соответствен-

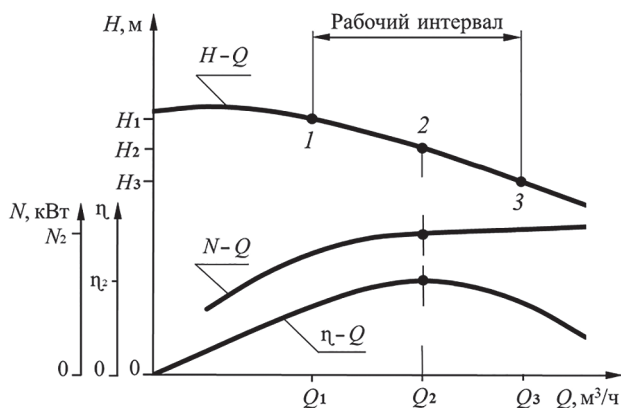


Рис. 1. Рабочие характеристики центробежного насоса:  $H-Q$  – напорная характеристика;  $\eta-Q$  – характеристика КПД;  $N-Q$  – характеристика мощности

Fig. 1. Operating characteristics of a centrifugal pump:  $H-Q$  – pressure characteristic;  $\eta-Q$  – efficiency characteristic;  $N-Q$  – power characteristic

но, с  $Q_1$  до  $Q_3$  и с  $N_1$  до  $N_3$ , напор снижается с  $H_1$  до  $H_3$ , а КПД увеличивается с  $\eta_1$  до  $\eta_2 = \eta_{\max}$  и уменьшается с  $\eta_2$  до  $\eta_3$ .

Эффективность водоотливной установки оценивали исходя из того, что используемый насосный агрегат должен обеспечивать откачку суточных притоков воды в водосборник не более чем за 20 ч и, независимо от часовой производительности  $Q$ , выполнять за сутки одну и ту же полезную работу [6]

$$A_n = \rho \cdot g \cdot H_r \cdot V_{\text{сут}} \text{ Дж}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность карьерных вод,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $H_r$  – геометрическая высота водоотливной установки, м;  $V_{\text{сут}} = Q \cdot T$  – объем воды, поступающий в водосборник водоотливной установки в течение суток,  $\text{м}^3$  (здесь  $T$  – продолжительность работы водоотливной установки при откачивании из карьера воды объемом  $V_{\text{сут}}$ , ч).

Количество электрической энергии, затрачиваемое на эту работу, принято рассчитывать по уравнению [5]

$$E = 1,05 \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot T / (3600 \cdot 1000 \cdot \eta \cdot \eta_d \cdot \eta_c) \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (3)$$

где 1,05 – нормативный коэффициент, учитывающий дополнительный расход

электроэнергии вспомогательным оборудованием;  $H$  – напор насоса, м;  $\eta_d$  – КПД электропривода насоса;  $\eta_c$  – КПД электросети.

Не сложно заметить, что при регулировании рабочего режима водоотливной установки изменяются четыре параметра, входящие в правую часть уравнения (3): подача  $Q$ , напор  $H$  и КПД  $\eta$  насоса, а также продолжительность его работы  $T$ . Произведение первого и последнего из перечисленных параметров образует постоянную величину  $V_{\text{сут}}$ . Данный факт указывает на то, что достижение минимума потребления электроэнергии в течение суток обеспечивается при работе насоса с минимальным отношением  $H/\eta$  [7], а сравнение суточных затрат энергии на водоотлив при работе насоса в заданных точках  $A$  и  $B$  рабочего интервала напорной характеристики  $H-Q$  (рис. 2) целесообразно выполнять по формуле

$$E_A / E_B = U_A / U_B \quad (4)$$

где  $E_A, E_B$  – расход электроэнергии при работе насоса, соответственно, в точках  $A$  и  $B$  напорной характеристики  $H-Q$ ;  $U_A = H_A / \eta_A, U_B = H_B / \eta_B$  – удельная механическая энергия приводного вала

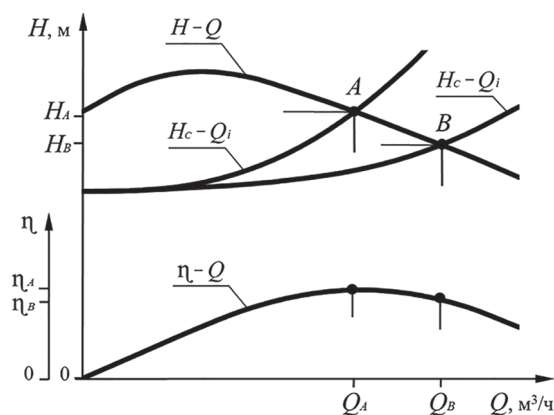


Рис. 2. Регулирование режима работы центробежного насоса за счет путевого отбора воды из напорного трубопровода

Fig. 2. Regulation of the operating mode of a centrifugal pump due to on-line water withdrawal from a pressure pipeline

(механическая энергия приводного вала, отнесенная к весу перемещаемой жидкости) при работе насоса в точках  $A$  и  $B$ ;  $H_A$ ,  $H_B$  — напор насоса при работе в точках  $A$  и  $B$ ;  $\eta_A$ ,  $\eta_B$  — КПД насоса при работе в точках  $A$  и  $B$ .

На рис. 2 приведен пример энергетически эффективного регулирования режима работы насоса ЦНС 500-480 из исходного положения  $A$  с максимальным значением КПД. Увеличение подачи с  $Q_A = 500$  м³/ч (при  $H_A = 640$  м и  $\eta_A = 0,72$ ) до  $Q_B = 600$  м³/ч (при  $H_B = 580$  м и  $\eta_B = 0,70$ ) позволяет снизить суточный расход электроэнергии на 7% при росте мощности на 12%.

Для реализации рабочих режимов  $A$  и  $B$  необходим электродвигатель мощностью 1600 кВт.

Избыток энергии для повышения подачи насоса в рассматриваемом примере получают за счет организации путевого отбора воды  $Q_n = 155$  м³/ч из напорного трубопровода водоотливной установки. Для предотвращения рециркуляции этой воды далее ее направляют в присоединенные к напорному трубопроводу стационарные оросительные устройства, а также к пункту заполнения водяных баков самоходных поливооросительных

машин. Под действием сил статического давления водоотливной установки стационарные оросительные системы распыляют воду над северным бортом карьера на высоте 225, 315 и 405 м от его дна с расходом, соответственно,  $Q_{n1} = 25$  м³/ч,  $Q_{n2} = 40$  м³/ч и  $Q_{n3} = 45$  м³/ч [8–11]. При хорошо развитом воздухообмене конвективные воздушные потоки переносят в зоны действия оросительных систем большое количество тепла и способны каждую секунду выносить из карьера сотни килограммов воды в парообразном состоянии, предупреждая переувлажнение поверхности вмещающих горных пород.

Расчет удельной механической энергии приводного вала  $U$ , выполненный для 32 типоразмеров отечественных насосных агрегатов марок К, Д, ЦН и ЦНС, показал, что зависимость  $U-Q$  в пределах рабочего интервала подач у 26 из них имеет монотонно убывающий характер (рис. 3, а), а у 6 агрегатов — экстремальный (рис. 3, б). Работа насоса с минимальным значением удельного расхода энергии  $U_{\text{опт}}$  при  $U_1 / U_{\text{опт}} = 1,15 \div 2,03$  и  $U_2 / U_{\text{опт}} = 1,02 \div 1,23$  обеспечивается при подаче  $Q_{\text{опт}}$  на 5÷40% большей номинальной подачи  $Q_2$ . Отмеченное повы-

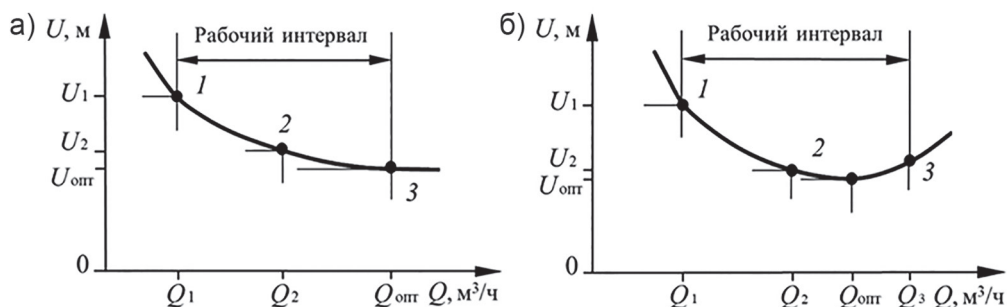


Рис. 3. Графики зависимости  $U-Q$  для центробежных насосов марок К, Д, ЦН и ЦНС при отсутствии (а) или наличии (б) экстремума на рабочем интервале подач

Fig. 3. Graphs of dependence  $U-Q$  for centrifugal pumps of grades K, D, CN and CNS in the absence (a) (presence (b)) extremum on the working interval of feeds

шение энергетической эффективности насоса, как правило, сопровождается ростом мощности  $N_{\text{опт}}$  относительно номинального значения  $N_2$  на  $5 \div 25\%$ , хотя у отдельных типоразмеров насосных агрегатов отношение  $(N_{\text{опт}} - N_2) / N_2$  увеличивается не более чем на  $2 \div 3\%$ , а у насосов К290/30 и ЦНС 850-720... 960 мощность даже понижается на  $1\%$ .

Очевидно, что максимальный эффект от подключения оросительных устройств к напорному трубопроводу водоотливной установки может быть получен тогда, когда исходный режим ее работы находится в левой части рабочего интервала подач. Увеличение подачи насоса с  $Q_1$  до  $Q_{\text{опт}}$  позволяет уменьшить затраты энергии на водоотлив на  $10 \div 50\%$ . Относительное повышение подачи в этом случае достигает  $45 \div 190\%$ , а рост мощности —  $10 \div 65\%$ . Указанные изменения эксплуатационных параметров водоотливной установки становятся возможны при использовании электродвигателя с необходимым резервом мощности и наличии достаточного кавитационного запаса на входе в насос.

При исходной подаче насоса  $Q_A \approx Q_2$  эффективность регулирования режима работы предложенным способом можно обосновать, сопоставляя затраты на регулирование с величиной предотвращен-

ного ущерба окружающей среде, достигаемого за счет сокращения объема карьерных вод, подлежащих сбросу в природные водоемы [12–14], а также уменьшения вредных пылегазовых выбросов в атмосферу [15–17]. Кроме того, увлажнение воздуха способствует интенсификации естественного проветривания карьера, что повышает безопасность персонала, трудящегося в нем [18–20]. Наличие экономического эффекта от энергосбережения в этом случае определить сложнее. Проблема состоит в том, что параметры оптимального по расходу энергии режима работы мало отличаются от параметров исходного рабочего режима, а характеристики насосных агрегатов, трубопровода и электросети предприятия в процессе эксплуатации водоотливной установки подвержены неконтролируемым изменениям. Для обеспечения оптимального по расходу энергии режима работы, отличающегося по показателю  $(U_2 - U_{\text{опт}}) / U_2$  от исходного рабочего режима не более чем на  $20\%$  (а в большинстве случаев на  $2 \div 10\%$ ), требуется применение поисковой экстремальной системы управления водоотливной установкой [6], действующей на основании оперативной и достоверной информации о текущем значении удельной

механической энергии приводного вала или удельного расхода электроэнергии в двигателе насоса. Разработка и промышленное внедрение таких систем управления для карьерных водоотливных установок является сложной, но технически решаемой задачей.

Для предупреждения перегрузки электродвигателей, предотвращения кавитации во всасывающем тракте центробежных насосов и снижения удельного расхода распыляемой воды на единицу смачиваемой площади при больших путевых расходах водоотливной установки целесообразно особым способом регулировать ее рабочий режим [21]. Сущность

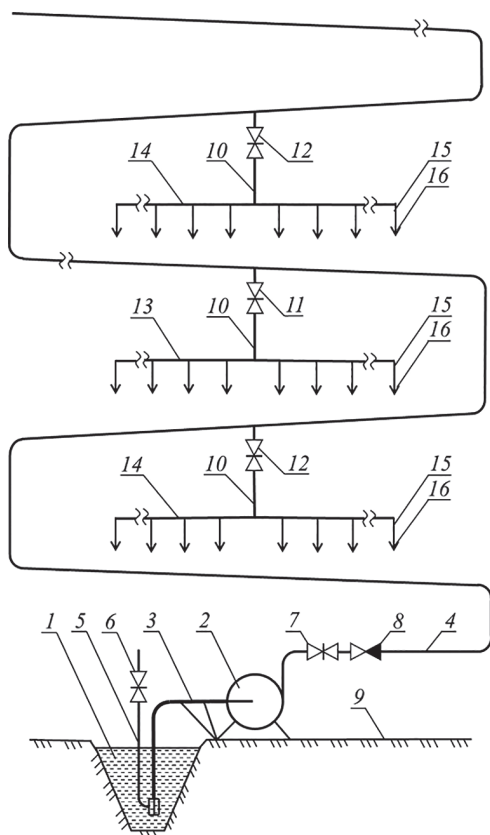


Рис. 4. Схема регулирования рабочего режима водоотливной установки с путевым отбором воды  
Fig. 4. Working mode control scheme dewatering plant with on-line water sampling

предлагаемого способа поясняет схема на рис. 4. Водоотливная установка на этой схеме содержит размещаемые возле водосборника 1 насосные агрегаты 2 с всасывающими 3 и нагнетательными 4 трубопроводами, образующими рабочую и резервную магистрали трубопроводной сети. К всасывающим трубопроводам ниже уровня откачиваемой воды присоединены воздухопроводы 5 с кранами 6. На выходе насосов установлены пусковая задвижка 7 и обратный клапан 8. На участках примыкания трубопроводной сети к площадкам 9 уступов северного борта карьера к нагнетательным трубопроводам 4 присоединено оросительное устройство, состоящее из патрубков 10 с регулирующими клапанами 11 или 12 и распределительных каналов 13 и 14, снабженных стволами 15 для формирования водяных струй с соплами 16.

В теплое время года в периоды отсутствия дождей в водосборник 1 поступают нормальные притоки карьерных вод, которые откачивают одним насосным агрегатом 2 через один трубный став с расчетной подачей  $Q$  на левом участке рабочего интервала напорной характеристики  $H-Q$  насоса.

Для орошения внутрикарьерного пространства с целью подавления пыли и интенсификации естественного воздухообмена атмосферы карьера с внешней средой за счет весовой разности сухого и влажного воздуха открывают клапан 11, обеспечивая выпуск  $3 \div 5\%$  общего расхода воды через патрубок 10, основной распределительный канал 13 и стволы 15 с соплами 16 в окружающую атмосферу. Высоконапорные водяные струи образуют облако мелкодисперсных капель, значительная часть которых испаряется при свободном падении и выносится в виде водяного пара восходящими потоками воздуха за пределы карьера, а меньшая часть, оседа-

ющая на борт карьера, испаряется за счет тепловой энергии горных пород и воздуха. При этом отмечается незначительное увеличение подачи  $Q$  насоса 2, вызванное уменьшением потерь напора в трубопроводной сети, и соответствующее снижение удельных затрат энергии на водоотлив (см. рис. 3).

Расширение зоны орошения достигается включением в работу вспомогательных распределительных каналов 14, для чего открывают клапаны 12. Рост путевого расхода воды вызывает дополнительное повышение подачи  $Q$  насоса 2 с угрозой перегрузки двигателя и возникновения кавитации. Для снижения подачи  $Q$  на  $5 \pm 10\%$  открывают кран 6, обеспечивая подвод воздуха по воздухопроводу 5 в насос за счет разности давлений  $\Delta p$  на поверхности воды и во всасывающем трубопроводе 3. Если снижение подачи за счет введения воздуха оказывается недостаточным для восстановления безопасной работы насоса 2, прикрывают задвижку 7, увеличивая сопротивление нагнетательного трубопровода 4 до достижения допустимого расхода  $Q$ .

При поступлении в оросительное устройство и перемещении по стволам 15 с большой скоростью смесь воздуха с водой теряет статическое давление, которое снижается до величины давления окружающей среды. Пузырьки воздуха при этом расширяются в объеме смеси и ускоряют выпускаемые в атмосферу карьера струи воды. Расширение воздуха увеличивает факел выброса распыляемой воды и повышает ее дисперсность, что способствует наиболее интенсивному испарению воды и снижает ее удельный расход на единицу смачиваемой площади.

### **Заключение**

При осушении карьеров насосы водоотливных установок эксплуатируют,

как правило, в режиме постоянной подачи, а потребность в ее изменении реализуют с помощью разнообразных технических средств.

Например, в зимнее время года для исключения опасности замерзания водоводов при остановке водоотлива в связи с опустошением водосборника принято регулировать подачу насосов по притоку, поддерживая уровень воды в водосборнике на максимально допустимом уровне. Задача снижения подачи насосов в этом случае быстро решается с помощью запорно-регулирующей арматуры. В итоге обеспечивается круглосуточный режим работы водоотливной установки, уменьшается геометрическая высота трубопроводной сети, снижается вероятность возникновения критической кавитации.

Значительная часть годового объема карьерных вод откачивается при теплой погоде. В это время периодически возникает потребность в увеличении индивидуальной подачи рабочих насосов, чаще всего — при существенном возрастании водоприток в карьер. Дополнительные материальные затраты на удовлетворение этой потребности при традиционных схемах водоотлива трудно обосновать, тем более, когда есть возможность подключить к работе насосы «горячего» резерва, присоединенные к резервному трубопроводу.

При организации путевого раздачи воды из напорного трубопровода задача повышения подачи насоса решается автоматически. Применение схем водоотлива с путевым расходом при теплой и сухой погоде позволяет экономить электрическую энергию и предотвращать часть наносимого горными работами ущерба окружающей среде при условии, что насосы обладают достаточным для увеличения подачи кавитационным запасом, а электропривод насосов имеет необходимый резерв мощности.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рассудов А. В.* Опыт открытой разработки месторождения трубки «Удачная» / Труды Международного симпозиума «Мирный-91»: Проблемы разработки глубоких карьеров. — Удачный: НИЦ «Мастер», 1991. — С. 8–14.
2. *Вигандт В. А.* Гидрогеологические проблемы отработки алмазных месторождений // Горный журнал. — 2005. — № 7. — С. 83–87.
3. *Абрамов С. К., Газизов М. С., Костенко В. И.* Защита карьеров от воды. — М.: Недра, 1976. — 230 с.
4. *Морин А. С., Мигунов В. И., Шульгина К. А.* Анализ амплитудно-частотных характеристик виброакустических сигналов при мониторинге технического состояния карьерной водоотливной установки // Уголь. — 2022. — № 10(1159). — С. 33–39. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-33-39.
5. *Гришко А. П., Шелоганов В. И.* Стационарные машины и установки. 2-е изд., стер. — М.: Изд-во «Горная книга», 2007. — 325 с.
6. *Сташинов Ю. П., Боченков Д. А., Волков В. В.* Технические и энергетические аспекты применения регулируемого электропривода на главных водоотливных установках шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 58. — С. 202–209.
7. *Морин А. С., Мигунов В. И., Савельев Н. О.* Патент на изобретение № 2791201, F04D 15/00; E02D 19/00 (РФ). Способ регулирования режима работы водоотливной установки. № 2022121299; заявл. 03.08.2022; опубл. 06.03.2023. Бюл. № 7.
8. *Морин А. С., Бровина Т. А., Борисов Ф. И., Демченко И. И.* Патент на изобретение № 2572100, E21F 5/04 (РФ). Способ предупреждения и подавления пылегазовых выбросов в карьере. № 2014151813; заявл. 19.12.2014; опубл. 27.12.2015. Бюл. № 36.
9. *Морин А. С., Борисов Ф. И., Бровина Т. А.* Патент на изобретение № 2580329, E02D 19/10 (РФ). Способ регулирования режима работы карьерной водоотливной установки. № 2014146140; заявл. 17.11.2014; опубл. 10.04.2016. Бюл. № 10.
10. *Борисов Ф. И., Морин А. С., Бровина Т. А.* Карьерные водоотливные установки с путевым расходом в зонах орошения автодорог // Известия вузов. Горный журнал. — 2017. — № 3. — С. 65–72.
11. *Морин А. С., Мигунов В. И.* Патент на изобретение № 2738515, E02D 19/00 (РФ). Способ осушения карьера. № 2020117070; заявл. 12.05.2020; опубл. 14.12.2020. Бюл. № 35.
12. *Ковшов С. В., Кулецкий К. В., Летуев К. В., Навицкайте Э. А.* Потенциал сточных и дренажных вод для снижения запыленности рабочего пространства угольных разрезов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 56. — С. 104–111. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-104-111.
13. *Летуев К. В., Ковшов С. В., Гридина Е. Б.* Технология гидрообеспыливания автомобильных дорог угольных разрезов с применением очищенных сточных и дренажных вод // Экология и промышленность России. — 2020. — Т. 24. — № 1. — С. 30–33. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-1-30-33.
14. *Ogbonnaya J. E., Phil-Eze P. O.* Challenges of quarrying activities for sustainable quality water resources in abakaliki and environs // Journal of Geography, Meteorology and Environment. 2020, vol. 3, no. 1, pp. 61–83.
15. *Huang Z., Ge S., Jing D., Yang L.* Numerical simulation of blasting dust pollution in open-pit mines // Applied Ecology and Environmental Research. 2019, vol. 17, no. 5, pp. 10313–10333. DOI: 10.15666/aeer/1705\_1031310333.
16. *Wang Z., Zhou W., Jiskani I. M., Ding X., Luo H.* Dust pollution in cold region Surface Mines and its prevention and control // Environmental Pollution. 2022, vol. 292, article 118293. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118293.
17. *Boente C., Millan-Martinez M., de la Campa A. M. S., Sanchez-Rodas D., de la Rosa J. D.* Physicochemical assessment of atmospheric particulate matter emissions during open-pit mining operations in a massive sulphide ore exploitation // Atmospheric Pollution Research. 2022, vol. 13, no. 4, article 101391. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101391.
18. *Драгунский О. Н.* О разрушении внутрикарьерных инверсий средствами искусственной вентиляции // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 5. — С. 13–21. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-13-21.

19. Kia S., Flesch T. K., Freeman B. S., Aliabadi A. A. Atmospheric transport over open-pit mines: The effects of thermal stability and mine depth // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2021, vol. 214, article 104677.

20. Ковлеков И. И. Интенсификация проветривания глубоких алмазных карьеров смерчеобразными вихрями // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5-2. — С. 124–135. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_52\_0\_124.

21. Морин А. С., Бровина Т. А., Мигунов В. И., Нюхневич А. С. Патент на изобретение № 2798172, E02D 19/00 (РФ). Способ осушения карьера. № 2023100951; заявл. 17.01.2023; опубл. 16.06.2023. Бюл. № 17. **MIAB**

## REFERENCES

1. Rassudov A. V. Experience of open field development tube «Udachnay». *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Mirnyy-91»: Problemy razrabotki glubokikh kar'erov* [Proceedings International Symposium on Surface Mining «Mirny-91»: The Problems of Mining in the Deep Open Pit Mines], Udachnyy, NITS «Master», 1991, pp. 8–14. [In Russ].

2. Vigandt V. A. Hydro-geological problems of the development of diamond deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2005, no. 7, pp. 83–87. [In Russ].

3. Abramov S. K., Gazizov M. S., Kostenko V. I. *Zashchita kar'erov ot vody* [Protection of quarries from water], Moscow, Nedra, 1976, 230 p.

4. Morin A. S., Migunov V. I., Shulgina K. A. Analysis of the amplitude versus frequency response characteristic of vibroacoustic signals in monitoring the technical condition of an open-pit dewatering plant. *Ugol'*. 2022, no. 10(1159), pp. 33–39. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-33-39.

5. Grishko A. P., Sheloganov V. I. *Statsionarnye mashiny i ustanovki*. 2-e izd. [Fixed machines and installations. 2nd edition], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2007, 325 p.

6. Stashinov Y. P., Bochenkov D. A., Volkov V. V. Technical and power aspects of application of the adjustable electric drive on the main spillway mine installations. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. S8, pp. 202–209. [In Russ].

7. Morin A. S., Migunov V. I., Saveliev N. O. *Patent RU 2791201*, F04D 15/00; E02D 19/00. 06.03.2023. [In Russ].

8. Morin A. S., Brovina T. A., Borisov F. I., Demchenko I. I. *Patent RU 2572100*, E21F 5/04. 27.12.2015. [In Russ].

9. Morin A. S., Borisov F. I., Brovina T. A. *Patent RU 2580329*, E02D 19/10. 10.04.2016. [In Russ].

10. Borisov F. I., Morin A. S., Brovina T. A. Open pit water drainage facilities with «along the line» track consumption water flow rate in the areas of automobile roads moistening. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2017, no. 3, pp. 65–72.

11. Morin A. S., Migunov V. I. *Patent RU 2738515*, E02D 19/00. 12.05.2020. 14.12.2020. [In Russ].

12. Kovshov S. V., Kuletsky K. V., Letuev K. V., Navitskaite E. A. Dustiness reduction on working space of coal open pit with the sewage and drainage water help. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. S6, pp. 104–111. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-104-111.

13. Letuyev K. V., Kovshov S. V., Gridina E. B. The technology of hydrodedusting of coal pits' auto roads using purified wastewater and drainage water. *Ecology & Industry of Russia*. 2020, vol. 24, no. 1, pp. 30–33. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-1-30-33.

14. Ogbonnaya J. E., Phil-Eze P. O. Challenges of quarrying activities for sustainable quality water resources in abakaliki and environs. *Journal of Geography, Meteorology and Environment*. 2020, vol. 3, no. 1, pp. 61–83.

15. Huang Z., Ge S., Jing D., Yang L. Numerical simulation of blasting dust pollution in open-pit mines. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019, vol. 17, no. 5, pp. 10313–10333. DOI: 10.15666/aer/1705\_1031310333.

16. Wang Z., Zhou W., Jiskani I. M., Ding X., Luo H. Dust pollution in cold region Surface Mines and its prevention and control. *Environmental Pollution*. 2022, vol. 292, article 118293. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118293.

17. Boente C., Millan-Martinez M., de la Campa A. M. S., Sanchez-Rodas D., de la Rosa J. D. Physicochemical assessment of atmospheric particulate matter emissions during open-pit mining operations in a massive sulphide ore exploitation. *Atmospheric Pollution Research*. 2022, vol. 13, no. 4, article 101391. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101391.

18. Dragunskiy O.N. Breaking inversions in open pit mines using induced ventilation facilities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 5, pp. 13–21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-13-21.

19. Kia S., Flesch T. K., Freeman B. S., Aliabadi A. A. Atmospheric transport over open-pit mines: The effects of thermal stability and mine depth. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2021, vol. 214, article 104677.

20 Kovlekov I. I. Intensification of airing of deep open-pit diamond mine by tornado-like vortices. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5-2, pp. 124–135. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_52\_0\_124.

21. Morin A. S., Brovina T. A., Migunov V. I., Nuyhnevich A. S. *Patent RU 2798172*, E02D 19/00. 16.06.2023. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Морин Андрей Степанович*<sup>1</sup> — д-р техн. наук,  
доцент, зав. кафедрой, e-mail: amorin@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0009-0008-0440-3241,

*Мигунов Виталий Иванович*<sup>1</sup> — аспирант,  
старший преподаватель,  
e-mail: vi\_migunov@inbox.ru, vmigunov@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0009-0004-7303-9579,

*Штреслер Кристина Александровна*<sup>1</sup> — аспирант,  
старший преподаватель, Институт управления  
бизнес-процессов, e-mail: kshtresler@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-0659-1302,

*Чесноков Валерий Тимофеевич*<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: vchesnokov@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0009-0005-7201-8749,

<sup>1</sup> Институт цветных металлов, Сибирский федеральный университет.

**Для контактов:** Штреслер К.А., e-mail: kshtresler@sfu-kras.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.S. Morin<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
Head of Chair, e-mail: amorin@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0009-0008-0440-3241,

V.I. Migunov<sup>1</sup>, Graduate Student,  
Senior Lecturer, e-mail: vi\_migunov@inbox.ru,  
vmigunov@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0009-0004-7303-9579,

K.A. Shtresler<sup>1</sup>, Graduate Student, Senior Lecturer,  
Institute of Business Process Management,  
e-mail: kshtresler@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-0659-1302,

V.T. Chesnokov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
e-mail: vchesnokov@sfu-kras.ru,  
ORCID ID: 0009-0005-7201-8749,

<sup>1</sup> Institute of Nonferrous Metals,  
Siberian Federal University,  
660025, Krasnoyarsk, Russia.

**Corresponding author:** K.A. Shtresler, e-mail: kshtresler@sfu-kras.ru.

Получена редакцией 03.07.2023; получена после рецензии 01.08.2023; принята к печати 10.01.2024.

Received by the editors 03.07.2023; received after the review 01.08.2023; accepted for printing 10.01.2024.