

УДК 621.86.063

DOI: 10.46960/1816-210X_2022_4_124

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЧЕРПЫВАНИЯ ГРЕЙФЕРА ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ СМЕРЗШЕГОСЯ ФЛОТАЦИОННОГО СЕРНОГО КОЛЧЕДАНА

А.Д. ШурашовORCID: 0000-0002-1330-7840 e-mail: ktmdpington@mail.ruНижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***А.Л. Малыгин**ORCID: 0000-0002-2429-0685 e-mail: al.malygin.dpi@yandex.ruНижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***И.С. Никандров**ORCID: 0000-0001-9502-0298 e-mail: mnnd@mail.ruНижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***Ю.В. Краснов**ORCID: 0000-0003-2941-2669 e-mail: krasnov1955@internet.ruНижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Изучено влияние вибровоздействия на челюсти грейфера и процесс зачерпывания грейфера при смыкании челюстей. Перегрузка колчедана осуществлялась в складских условиях с переносом материала из штабеля хранения. Определен гранулометрический состав образцов серного колчедана. Определены параметры смерзания колчедана в штабеле и изменение влажности смерзшейся массы материала. Модернизированный грейфер оборудован маховиком аккумуляции энергии, который соединялся с помощью обгонной муфты с шарниром вала при начале раскрытия челюстей и при опускании нижней траверсы. Определена величина заглубления режущих элементов в слой. Определены степень заполнения, моменты сил сопротивления зачерпыванию и энергетические затраты на зачерпывание. Рассматривается влияние глубины залегания смерзшегося слоя на производительность грейферного крана. Определено влияние температуры и толщины смерзшего слоя на степень заполнения. Определены удельные энергетические затраты на процесс перегрузки смерзшегося колчедана для серийного и модернизированного грейферов в зависимости от температуры материала.

Ключевые слова: колчедан, влажность, смерзание, грейфер, сопротивление, смыкание, челюсти, вибрация, производительность, перегрузка, зачерпывание, энергосбережение.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Шурашов, А.Д. Исследование зачерпывания грейфера при перегрузке смерзшегося флотационного серного колчедана / А.Д. Шурашов, А.Л. Малыгин, И.С. Никандров, Ю.В. Краснов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 4. С. 124-132. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_4_124

THE RESEARCH OF GRAB SCOOPING WHEN OFFLOADING FROZEN SULPHUR PYRITE FLOTATION

A.D. ShurashovORCID: 0000-0002-1330-7840 e-mail: ktmdpington@mail.ruNizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

A.L. MalyginORCID: 0000-0002-2429-0685 e-mail: al.malygin.dpi@yandex.ru

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

*Nizhny Novgorod, Russia***I.S. Nikandrov**ORCID: 0000-0001-9502-0298 e-mail: mnnd@mail.ru

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

*Nizhny Novgorod, Russia***Yu.V. Krasnov**ORCID: 0000-0003-2941-2669 e-mail: krasnov1955@internet.ru

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The effect of vibration on the grab jaws and the scooping process at jaw closure is researched. Pyrite offload is carried out in stock conditions and includes the transfer of the material from a stock pile. Grain-size distribution of pyrite samples is determined. The conditions for pyrite freezeup in a pile are determined and the humidity change of the frozen material mass is found. An upgraded grab is equipped with a flywheel energy storage. At the start of jaw opening and at the lower yoke lowering, it is connected to the shaft joint trough a free-wheel clutch. A magnitude of penetration of cutting elements into the layer is found. Also, the results obtained include a filling degree, torques exerted by resistance forces against scooping, and the power consumption at scooping. The effect of the depth of a frozen layer occurrence on a grab crane performance is considered. The filling degree is related to the temperature and thickness of the frozen layer. The specific energy consumption values for the process of the frozen pyrite offload for the standard and upgraded grabs are determined depending on the material temperature.

Key words: pyrite, humidity, freeze-up, grab, resistance, closure, jaws, vibration, performance, offload, scooping, energy efficiency.

FOR CITATION: A.D. Shurashov, A.L. Malygin, I.S. Nikandrov, Yu.V. Krasnov. The research of grab scooping when offloading frozen sulphur pyrite flotation. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. № 4. Pp. 124-132. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_4_124

Введение

Грейферы широко используются для перегрузки сыпучих материалов в речных портах, на рудниках и на складских площадках предприятий. Особенности их конструкции и технологии использования подробно рассмотрены в работе [1]. В связи с ростом объемов работ по погрузке материалов важное значение приобретают исследования по обеспечению энергосбережения при эксплуатации грейферов, особенно в зимний период при смерзании влагосодержащих сыпучих материалов.

Экспериментальная часть

Выполнено сравнительное исследование результатов перегрузки флотационного колчедана с помощью модернизированного грейфера вместимостью 3,2 м³, оснащенного вибратором, конструктивно описанным в работах [2,3] и серийно выпускаемым грейфером вместимостью 3,2 м³ (рис. 1) [4,5]. Колчедан перегружался в складских условиях с переносом материала из штабеля хранения в бункер подачи колчедана в печной цех. Завоз колчедана на склад осуществлялся в период с сентября по декабрь. Температура на складе в период проведения работ $t = -5-28$ °С; влажность поступающего колчедана 2-4 %. Толщина смерзшегося слоя колчедана в штабеле менялась от 0,6 м (декабрь) до 2,3 м (в конце марта), постоянно контролируясь по показаниям термометра. При оценке работы грейферов периодически проводились контрольные замеры зачерпнутого материала грейферами трех видов (табл. 1).



Рис. 1. Отгрузка рудного материала на автотранспорт

Fig. 1. Ore material offload to a motor vehicle

Таблица 1.

Характеристика использованных для перегрузки флотационного колчедана грейферов

Table 1.

Specifications of grabs used to offload pyrite flotation

Наименование параметра	Величина параметра для вида грейфера		
	модерни- зированный	грейфер Севастьянова	серийный грейфер
Собственная масса, кг	3980	3920	3800
Вместимость, м. куб	3,2	3,2	3,2
Размах челюстей, мм	13360	3440	3300
Длина режущих элементов, мм	180	180	-
Ширина режущих элементов, мм	120	120	-
Толщина РЭ, мм	60	60	-
Угол заточки резцов, град	40	40	-
Количество РЭ	5+6	5+6	-
Шаг расстановки РЭ, мм	300	300	-
Наличие аккумулятор энергии и вид	маховик	-	-
Наличие вибратора и его вид	эксцентрик	-	-

Модернизированный грейфер был оборудован маховиком аккумуляции энергии, который соединялся с помощью обгонной муфты с шарниром вала при начале раскрытия челюстей и при опускании нижней траверсы. Это обеспечивало максимальную утилизацию энергии. На грейфере был установлен эксцентрик вибратора, включаемый в вращение второй обгонной муфтой с вращающимся маховиком-аккумулятором энергии после постановки грейфера на штабель, в момент начала зачерпывания материала [2]. В процессе работы оценивали зачерпываемость колчедана и силу сопротивления зачерпывания.

Обсуждение результатов

Анализ образцов колчедана на влажность показал, что с погружением внутрь штабеля от поверхности на глубину 1 м доля влаги в колчедане увеличивается на 1-2 % абсолютной величины (рис. 2). На глубине 2 м влажность колчедана возрастает до 10-11 %, на глубине 2,5 м – до 12-14 %, достигая максимума.

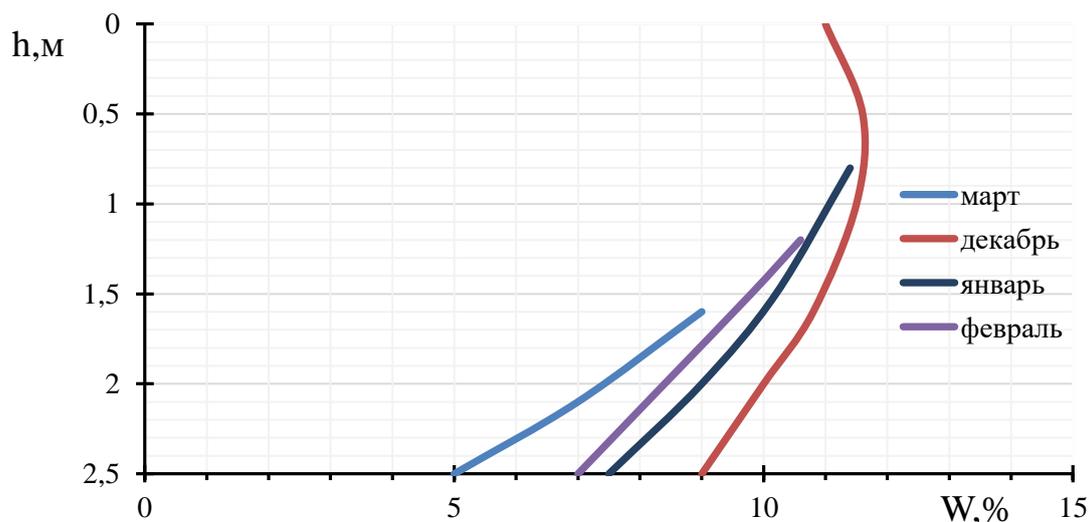


Рис. 2. Изменение влажности флотационного колчедана (W , %) с удалением от поверхности штабеля внутрь (h , м)

Fig. 2. Pyrite flotation humidity change (W , %) with distance inwards from a pile surface (h , m)

На глубине слоя колчедана 3 м его влажность уменьшается до 8 %, а на глубине 4 м – до 3 % и менее. Это свидетельствует о перераспределении воды в слое за счет миграции паров из глубинных слоев в зоны слоев материала с температурами ниже точки замерзания. Определение гранулометрического состава образцов серного колчедана показало, что доля частиц с размером менее 0,5 мм в нем составляет 90-94 % по массе. Остальная часть приходится на частицы размером 0,5-1 мм.

Как видно из рис. 2, влажность колчедана на глубинах залегания в штабеле более 2,5 м с увеличением периода хранения понижается. Это подтверждает наличие миграции паров воды из глубинных слоев в смерзшиеся слои материала. Температура колчедана на поверхности штабеля $t = -5-10$ °С (рис. 3). В декабре она достигает $t = -10$ °С, а толщина смерзшегося слоя возрастает до 1,2 м.

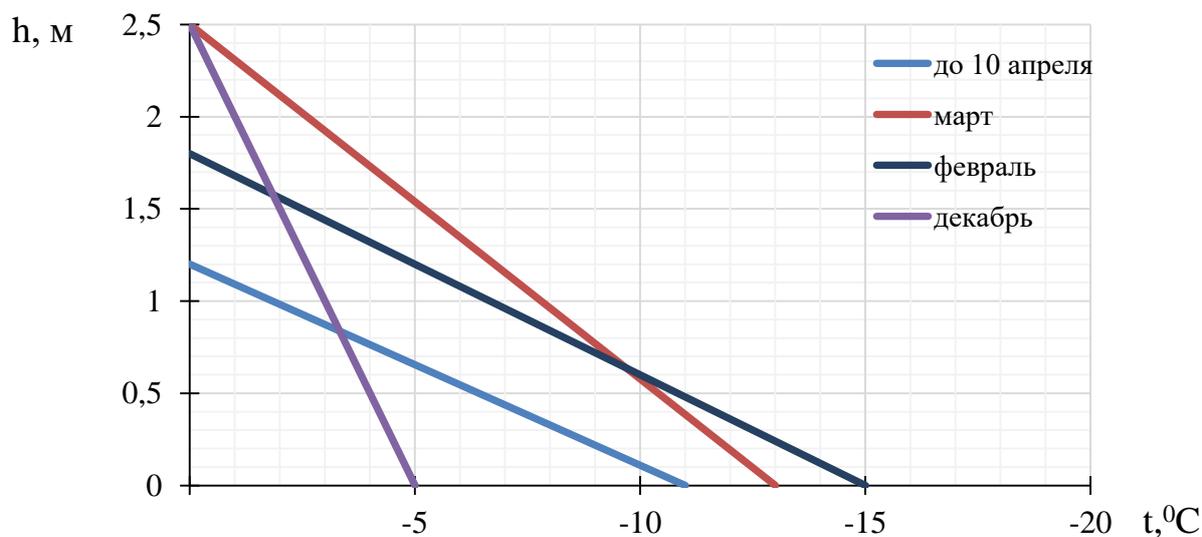


Рис. 3. Распределение температур в смерзшемся слое на глубине залегания в штабеле склада

Fig. 3. Temperature distribution in a frozen layer at a depth of occurrence in a stock pile

К концу марта за счет передачи тепла из нижних несмерзшихся слоев из-за повышения температуры окружающей среды в атмосфере температура колчедана на поверхности штабеля повышается и достигает до $t = -8-9^{\circ}\text{C}$ и до $t = -4-5^{\circ}\text{C}$ до 10 апреля. Как показывает практика эксплуатации серийных грейферов, их производительность с появлением корки смерзшегося колчедана более 0,3 м понижается вплоть до остановки. Для ее разрушения необходимо использовать в качестве рыхлителя ударные клин-бабы. После образования проломов в корке грейфером вычерпывается несмерзшийся материал. В результате наработка серийного канатного грейфера до капитального ремонта снижается в 10-15 раз. Отказ в работе грейфера происходит через 5-6 тыс. т перегрузки. По этой причине на складе перед зимой создается запас грейферных устройств для грейферного крана в количестве 10-15 единиц. За сезон все они полностью выводятся из строя.

При работе грейфера с ровной заостренной шиной режущей кромки челюстей практически при всех температурах смерзшегося слоя флотационного колчедана глубина силового внедрения шин челюстей в смерзшегося материала составляла от 30 до 60 мм (линия 1, рис. 4). В результате степень зачерпывания ковша грейфера не превышает 23 % (линия 1, рис. 5). При использовании грейфера-рыхлителя Севастьянова, с режущими элементами, глубина силового внедрения составила до 130-190 мм, с одновременным увеличением степени зачерпывания ковшей до 50-60 % (линия 2, рис. 4). Как видно из рис. 4, заглубление режущих органов грейфера в слой минимально при температурах смерзшегося слоя $t = -5-10^{\circ}\text{C}$.

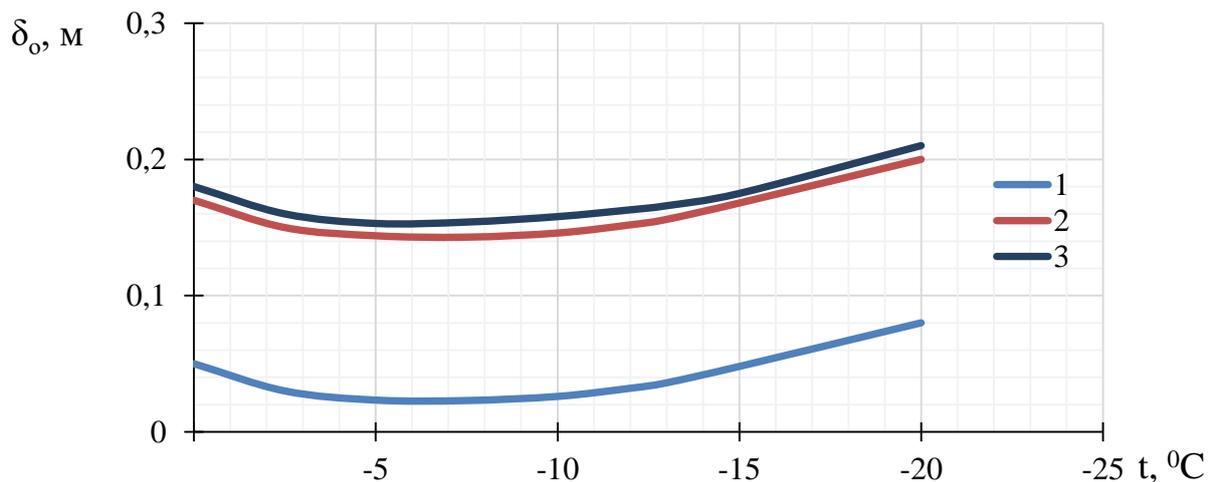


Рис. 4. Влияние температуры смерзшегося слоя флотационного колчедана (t) на величину заглубления режущих шин челюстей грейфера в смерзшийся слой

Fig. 4. The effect of pyrite flotation temperature at the frozen layer (t) on the magnitude of penetration of cutting elements of the grab into the frozen layer

Заглубление модернизированного грейфера в смерзшийся слой колчедана близко к заглублению грейфера Севастьянова и составляет 140-210 мм (линия 3, рис. 4). Это указывает на преимущественное влияние на глубину внедрения наличия на челюстях режущих клинов-резцов и их геометрических параметров. Вибрация челюсти практически мало сказалась на глубине внедрения элементов грейфера в твердый слой, но вибровоздействие существенно повысило зачерпывающую способность. Степень заполнения ковшей для модернизированного грейфера с воздействием вибрации на зачерпываемый слой существенно возрастает до 85-105 % (линия 3, рис. 5). С понижением температуры колчедана от $t = 0$ до -10°C степень заполнения челюстей возрастает. Последующее понижение температуры снижает степень заполнения грейферов.

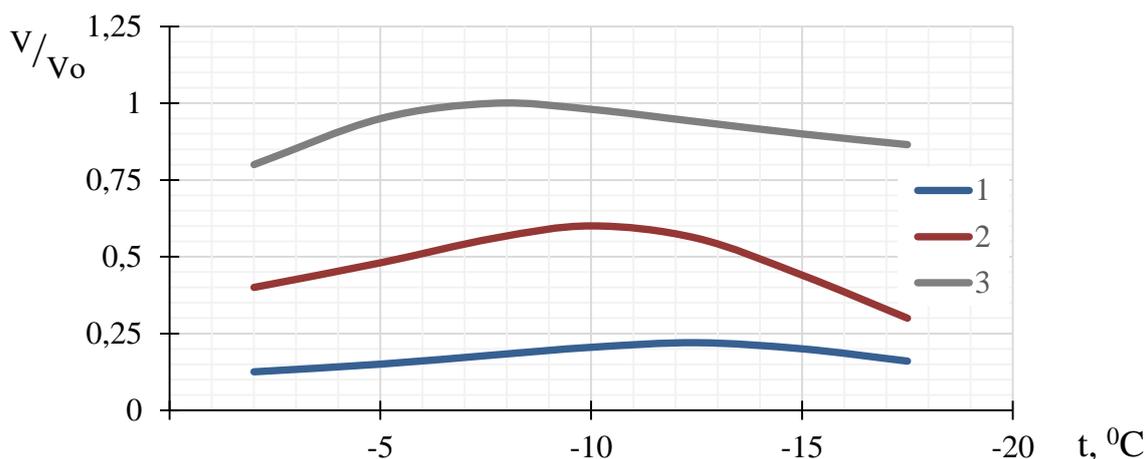


Рис. 5. Влияние температуры измельченного колчедана (t , °C) на степень заполнения камеры челюстей грейфера в долях от объема стандартного грейфера (V_0 , м³)

Fig. 5. The effect of crushed pyrite temperature (t , °C) on the filling degree of the jaw bucket of the grab in fractions of a standard grab volume (V_v , м³).

Общие энергетические затраты E_{Σ} на перегрузку материала грейфером складываются из следующих затрат:

- затраты на подъем и перенос грейфера от точки выгрузки измельченной массы до точки опускания грейфера на штабель хранения (E_1);
- затраты на резание и измельчение массы колчедана (E_p);
- затраты на смыкание челюстей и зачерпывание измельченной массы ($E_{см}$);
- затраты на подъем загруженного грейфера ($E_{п}$);
- затраты на переноску грейфера с грузом в точку выгрузки (E_2).

$$E_{\Sigma} = E_1 + E_p + E_{см} + E_{п} + E_2.$$

При расстоянии от точки выгрузки грейфера (L_m) высота подъема пустого грейфера (H_m)

$$E_1 = G_{гр} \cdot (L + gH);$$

$$E_p = F_p \cdot V_p;$$

$$E_{см} = F_3 \cdot V_p;$$

$$E_{п} = (G_{гр} + G_m) \cdot H;$$

$$E_2 = (G_{гр} + G_m) \cdot L,$$

$G_{гр}$ и G_m – масса грейфера и переносимого груза соответственно.

Массу груза определяли взвешиванием автомобиля с грузом и пустого. Воздействие вибрации на среду погрузки материала может снизить энергетические затраты на резание смерзшейся массы колчедана E_p , затраты на смыкание челюстей, связанные с трением боковых стенок и днища челюстей и затраты на зачерпывание материала, связанные с внутренним трением частиц груза в слое измельченного материала. Расчетный анализ энергозатрат показывает, что доля энергетических затрат на подъем и транспортирование грейфера и груза составляет в зависимости от расстояния и высоты подъема грейфера 50-65 % от суммарных энергетических затрат. Для грейфера Севастьянова сила в замыкающем канате в процессе захвата в разрушенном смерзшемся слое флотационного колчедана на первых 6-9 ° смыкания челюстей уменьшается с 15 до 9 кН (линия 1, рис. 6). При дальнейшем смыкании челюстей сила начинает возрастать и достигает 37 кН при завершении смыкания.

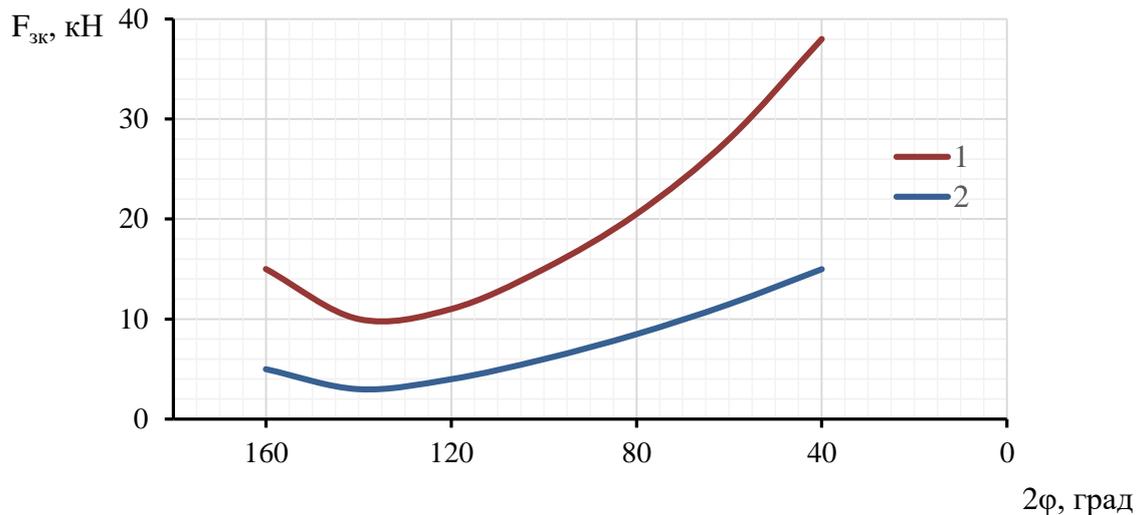


Рис. 6. Изменение силы в замыкающем канате в процессе смыкания челюстей при зачерпывании колчедана грейфером Севастьянова 1 и модернизированным грейфером 2

Fig. 6. Variation of force in the closing rope during jaw closing in the process of pyrite scooping by Sevastyanov grab 1 and an upgraded grab 2

В результате положительного воздействия вибрации усилие в замыкающем канате модернизированного грейфера с вибратором в 2,5-5 раз меньше и не превышает 15 кН к моменту завершения смыкания. Производительность грейферного крана при разработке смерзшегося слоя колчедана не превышает 18-19 т/ч (линия 1, рис. 7). Производительность грейфера Севастьянова в 2,1 раза выше, чем серийного, а производительность грейфера, оснащенного вибратором, в 2,8 раз выше, чем у серийного. Несмотря на наличие разницы влияния температуры измельченной массы на степень заполнения грейфера (рис. 5), производительность грейферного крана остается практически постоянной при перегрузке колчедана с различных глубин залегания в штабеле. Это указывает на отличие уплотнения материала в процессе зачерпывания грейфера.

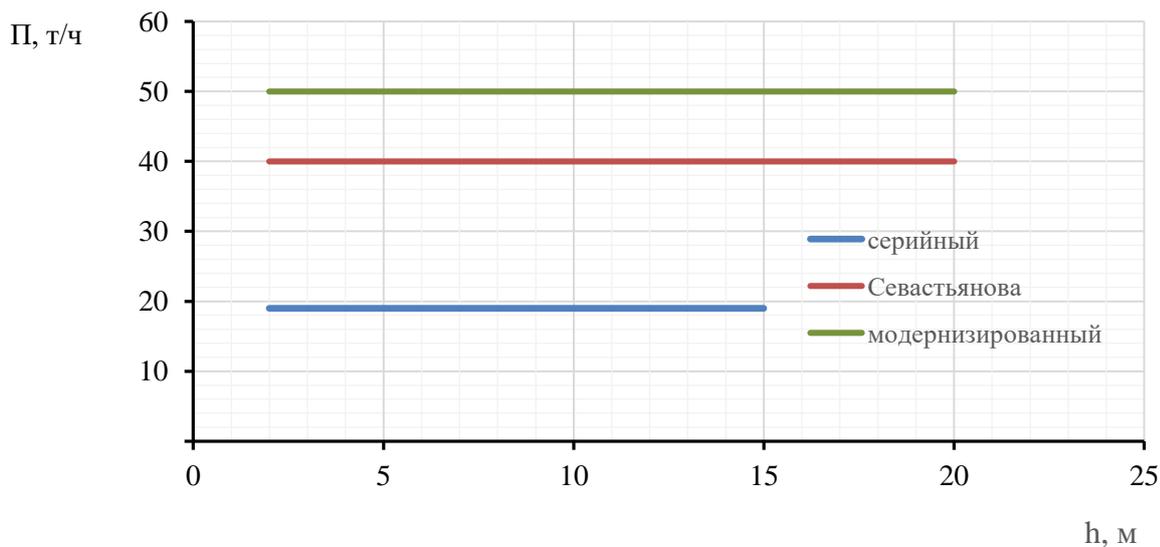


Рис. 7. Влияние глубины залегания смерзшегося слоя (h) на производительность грейферного крана (Π)

Fig. 7. The effect of the depth of a frozen layer occurrence (h) on a grab crane performance (Π)

Аналитический расчет суммарного момента сил сопротивления зачерпыванию показал (линия 1, рис. 8), что с повышением температуры материала средний момент сил сопротивления зачерпывания повышается с 3,8 кН м при $t = -13^{\circ}\text{C}$ до 49,5 кН м при $t = +3^{\circ}\text{C}$.

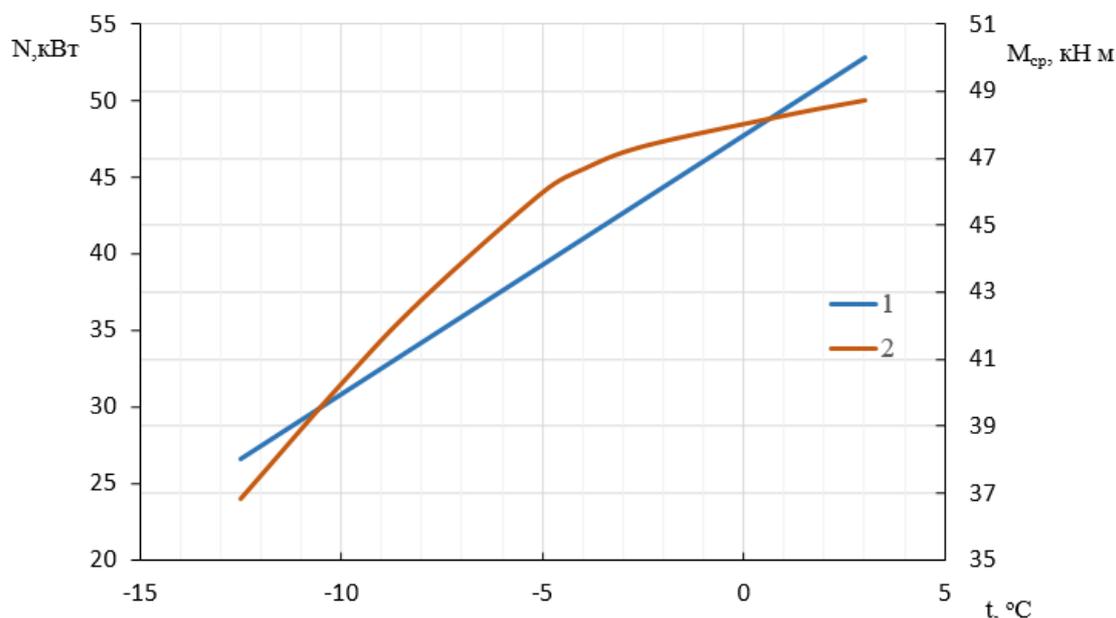


Рис. 8. Влияние температуры (t) смерзшегося слоя колчедана на величину среднего момента сил сопротивления зачерпыванию колчедана ($M_{ср}$) модернизированным грейфером и мощностью (N), необходимой для зачерпывания

Fig. 8. The effect of the temperature (t) of the pyrite frozen layer on the average torque exerted by resistance forces against pyrite scooping (τ_{avg}) by the upgraded grab at an output (N) required for scooping

С понижением температуры смерзшегося материала необходимая для зачерпывания мощность уменьшается. Так, для $t = -13^{\circ}\text{C}$ (линия 2, рис. 8) она составляет 24 кВт, а при $t = -5^{\circ}\text{C}$ 44 кВт. При температуре смерзания колчедана она уже составляет 50,5 кВт. Уменьшение усилия в замыкающем канате, а, следовательно, и необходимой мощности на зачерпывание при уменьшении температуры смерзшегося флотационного колчедана объясняется тем, что при более низких температурах в точках контакта частиц материала поверхность покрыта льдом. Поэтому при трении элементов на поверхности образуется пленка воды, снижающая трение частиц друг о друга, о боковую поверхность и днище челюсти. Это и объясняет факт меньших энергозатрат на перегрузке материала, повышение коэффициентов заполнения челюстей до 0,9-1,0 и рост производительности при зачерпывании грейфера.

Удельные энергозатраты на процесс перегрузки смерзшегося колчедана модернизированным грейфером из штабеля хранения в приемный бункер питающего транспортера, подающего серный колчедан в печное отделение, при температуре материала минус 10°C составляют 0,67 кВт ч/т, а при $t = 0^{\circ}\text{C}$ падают до 0,53 кВт ч/т. При использовании серийного грейфера энергозатраты в тех же условиях они в 1,75 раза выше и составляют 1-1,15 кВт ч/т. Нарботка модернизированного грейфера до первого капитального ремонта в 12-14 раз больше, чем для серийного грейфера равной вместимости. Пробег до капитального ремонта составит 1300 часов, что в 2,1 раза выше серийного. Срок эксплуатации опытного образца модернизированного грейфера на 16.02.09 превысил 16 000 часов. За последующие два года эксплуатации он не достиг предельного значения.

Заключение

1. Удельные энергозатраты на перегрузку колчедана модернизированным грейфером с вибровоздействием на зачерпываемый смерзшийся слой в 1,75 раза ниже, чем у серийного грейфера и составляют 0,53-0,97 кВт/ч.
2. Межремонтный период модернизированного грейфера в 2,1 раза больше и составляет 1300 часов.

Библиографический список

1. **Никандров, И.С.** Перегрузка смерзшихся сыпучих материалов грейферами / И.С. Никандров, Т.Ю. Суwegeина, М.И. Никандров – Саар Брюкен: Изд. LAP, 2013. – 116 с.
2. **Никандров, И.С.** Разработка аккумулятора энергии раскрытия челюстей при перегрузке смерзшегося флотационного колчедана / И.С. Никандров, Т.Ю. Суwegeина // Современные проблемы наук и образования. 2013.
3. Патент 2356825 RU, МПК В66С 3/16 С1 Грейфер / В.А. Севастьянов, И.С. Никандров, А.Д. Шурашов, Т.Ю. Суwegeина и др. Заявл.17.08.2007, опубл.27.05.2009, Бюл. №15. – 5 с.
4. **Севастьянов, В.А.** Разработка методики расчета и создание рациональной конструкции грейферных рыхлителя для смерзшихся сыпучих материалов. Дисс. канд. техн. наук 05.05.04. НГТУ. Н. Новгород. 2006. – 187 с.
5. **Слюсарев, А.С.** Разработка основ расчета и конструирование рабочих органов подъемно-транспортных машин, подвергающих сыпучий материал объемному сжатию. Дисс. докт. техн. наук 05.05.04. – Н. Новгород. 1991. – 391 с.

*Дата поступления
в редакцию: 21.03.2022*

*Дата принятия
к публикации: 17.11.2022*