© А.А. Гущин, А.Ю. Ермаков. А.М. Мирошников, 2016

УДК 622.7:
656.225.2:
551.342

А.А. Гущин, А.Ю. Ермаков. А.М. Мирошников

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СМЕРЗАНИЯ УГЛЯ

Проведено изучение водных эвтектик, а также растворов с низкими $T_{зам.}$ для солей: хлориды натрия и кальция, адипаты натрия; гликолей (ЭГ, ПГ, ДПГ); эфиров гликолей и их смесей. Рекомендовано основой для промышленного производства профилактического средства против смерзания влажных углей (8–35)% использовать многотонажный отход производства капролактама, хлорид кальция, антифризы на основе гликолей и их эфиров.

Ключевые слова: обзор, реагенты, предотвращение, смерзание, рекомендации.

Добыча и транспортирование угля входят составной частью в топливно-энергетический комплекс и требуют системного подхода в решении проблемы смерзания угля и вскрышных пород при перевозках и перегрузках [1].

Практикующаяся в настоящее время обработка жидкими реагентами горной массы не позволяет решить эту проблему по следующим причинам:

- станции обработки не унифицированы и не снабжены современным оборудованием, степень автоматизации зачастую недостаточна;
- реагенты для обработки многочисленны, но не всегда функциональны;
- теория смерзания грунта не дает ответа на многие практические вопросы.

В ходе научно-исследовательской работы, которая проводилась в СУЭК-Красноярск, на разрезе «Бородинский» им. М.И. Щадова, изучалось воздействие растворов многоатомных спиртов и их эфиров, кубовые остатки спиртов (КОС) и другие реагенты при обработке угля и вскрышных пород на смерзание. Обработке подвергались полувагоны для вскрышных пород и бурого угля с влажностью до 35%. На разрезе используются КОС, которые не стабильны по составу, дороги, имеют отрицательные органолептические показатели (запах, воздействие на кожу).

В то же время в Кузбассе имеется ресурс по щелочному концентрату производства капролактама (ЩКПК), который частично применяется, как профилактическое средство, вместо щелочного стока производства капролактама (ЩСПК). Основные исследования по изучению ЩСПК были проведены 10–20 лет назад, но в настоящее время изменилась технология выделения щелочного стока, повысилась концентрация органических веществ, поэтому механизм действия одноосновных и двухосновных солей в водных растворах изменился.

Учитывая сложность поставленных задач и разрозненные результаты (НИР и ОКР по теме исследований), нами сделана попытка системного синтеза «идеальной» технологической установки для обработки угля и вскрышных пород жидким реагентом против смерзания при транспортировании и хранении.

Основными критериями оценки установки являются:

- способность работать при температурах окружающей среды до 40–45 °С ниже нуля;
- обеспеченность и доступность сырья (реагента);
- надежность (безопасность, ремонтопригодность);
- возможность работы в автоматическом режиме;
- безопасность для персонала и окружающей среды;
- многофункциональность – обработка транспортных средств под уголь, породу для профилактики против смерзания.

Системообразующим ядром технологической установки является жидкий реагент, который:

- можно наносить распылением через форсунки;
- не разрушает (не коррозирует) оборудование;
- не влияет отрицательно на уголь при последующей обработке и сжигании;
- остается жидким в условиях окружающей среды (+40–45 °С);
- устраняет смерзание угля в массе;
- устраняет примерзание угля и вскрышных пород к металлическим стенкам транспортных средств;
- не токсичен для персонала и не наносит экологический ущерб.

Жидкое (текучее) состояние реагента достигается на основе воды как наиболее доступной жидкости при температурах окружающей среды от -40 до +40 °С.

Отказ от жидкого состояния реагента допускается, если:

- твердое состояние реагента является механически непрочным (усилие разрушения менее 0,25 кгс/см) и не вызывает затруднений при выгрузке;
- реагент находится в состоянии аэрозоля или тумана.

Работоспособность жидкого реагента обеспечивается образованием гидрофобной пленки на поверхности частиц угля, вскрышных пород, стенках вагонов, а вода вытесняется в отдельную фазу, которая не замерзает или образует непрочный лед.

Первичной структурной единицей реагента на основе воды являются кластеры жидкой воды $(H_2O)_5$ и $(H_2O)_6$, образующие равновесные и неравновесные водные пленки на поверхности твердых частиц (уголь, порода) и стенках вагонов совместно с растворенными в воде химическими соединениями.

Идеология создания организованных сред на поверхности твердых тел и в водной массе формируется в процессе анализа родственных или альтернативных систем.

1. Олигоорганоксилоксаны (кремнийорганические жидкости) с низкими температурами застывания.

2. Профилактические жидкости на нефтяной основе.

3. Профилактические средства и гидравлические жидкости на основе гидроксилсодержащих соединений: гликоли, простые эфиры гликолей, глицерин, спирты, вода. Осушители и ингибиторы гидратообразования природного газа.

4. Профилактические средства на основе солей неорганических и органических кислот.

Олигоорганосилоксаны (кремнийорганические жидкости) – неизвестные в природе синтетические соединения на основе связи кремний-кислород, при создании которых использованы достижения химической науки по регулированию физико-химических свойств веществ ($T_{пл}$, $T_{кип}$, вязкость и др.), в зависимости от строения молекул [6]. Преимущественно используются олигомеры линейного и разветвленного строения.

Наибольшее распространение получили метил (ПМС) и этил (ПЭС) силоксаны. Основным показателем, определяющим область применения, является кинематическая вязкость, величина которой входит в марку метилсилоксановых жидкостей (ПМС).

Например, ПМС-10 имеет при 20 °С вязкость 10 мм^2/с и температуру застывания минус 70 °С. Для ПМС-100 вязкость 100 и $T_{заст}$ – 40 °С.

Жидкости ПМС-1 и ПМС-2 используются в приборах до минус 60 °С. Жидкости ПМС-lр, ПМС-2р, ПМС-3р, имеющие разветвления в цепи, применяются в приборах до минус100 °С.

ПМС и ПЭС являются коррозионно-инертными веществами, их разложение в инертной среде начинается выше 250 °С, а термоокислительная деструкция выше 150–300 °С. Темпера-

тура вспышки кремнийорганических жидкостей, как правило, превышает 80 °С. ПЭС полностью совмещается с минеральными маслами и используется для производства гидравлических жидкостей.

Кремнийорганические жидкости в чистом виде, в составе углеводородных композиций испытаны в качестве профилактических средств, показали хорошие результаты, но их ресурсы ограничены, а цена высокая.

Профилактические жидкости на нефтяной основе известны давно, но связь состава и строения углеводородов с физико-химическими свойствами реагентов прослежена менее, чем для олигоорганоксиланов и причина кроется в использовании неоднородных технологических фракций перегонки сырой нефти, мазута, крекинг-остатков и т.д. [5].

Для профилактических целей против смерзания применяют: универсин – С (ТУ 38.1011142-88); универсин ПС-35 (ТУ 0258-001-22638602-2002); универсин ПС-45 (ТУ 0258-001-22638602-2002); ниогрин ПС-35 (ТУ 0258-001-22638602-2002); ниогрин С-45 (ТУ 0258-001-22638602-2002); северин – 50С; северин – 60С (ТУ 0258-002-22638602-2010).

Низкие температуры застывания средства типа ниогрин и северин не предотвращают примерзание угля к стенкам и смерзание его в массе при температурах ниже минус 25 °С. Реагенты не образуют устойчивой гидрофобной пленки на стенках вагонов и частицах угля и не достигают статуса твердого тела.

При отсутсвии парафинов углеводороды поглощаются макропорами угля или стекают вниз. Парафины или низкомолекулярный ПЭ (полиэтилен), имея $T_{пл}$ выше 0 °С, остаются на поверхности твердых тел, препятствуют их взаимодействию и смерзанию, как твердые тела.

До минус 40 °С работает 6% раствор парафина в керосине (КП-6), запатентованное средство с добавкой ПЭ, имеющее $T_{заСт}$ минус (40–45) °С Раствор парафина (10%) в дизельном топливе, нанесенный в горячем состоянии (50–80) °С с помощью распылителя на стенки полувагонов, обеспечивает хороший профилактический эффект на угле влажностью 8–10% при температуре минус (10–35) °С.

Рекомендуются многокомпонентные пленкообразующие средства: мазут – дизтопливо – парафин; мазут – дизтопливо – парафин – вода.

В производственной практике известно применение сырой нефти для профилактирования угля против смерзания, но это

противоречит правилам перевозки, т.к. нефть имеет $T_{всп}$ менее 0 °С, но парафинистые нефти и газовые конденсаты с высоким началом кипения имеют перспективы на включение в список профилактических средств, в частности для обработки угля подлежащего сжиганию или коксованию.

Профилактические средства и гидравлические жидкости на основе гидроксилсодержащих соединений: гликоли, простые эфиры гликолей, глицерин, спирты, вода. Традиционно антифризы готовят на основе гликолей, спиртов и глицерина [8]. Наибольшее распространение имеют антифризы на базе этилен- и пропиленгликолей: тосол – 40, тосол – 65, охлаждающие жидкости ОЖ-25, ОЖ-35 и др.

Гликоли и их простые моноэфиры повсеместно применяются как противоводокристаллизационные присадки к моторному и реактивному топливу. Добавка 0,2–0,3% этилцеллозольва в авиационный керосин предотвращает образование ледяных кристаллов при температуре до минус 60 °С.

Алкилзамещенные гликоли, простые метиловые или этиловые эфиры гликолей и их смеси образуют антифизы с низкими температурами замерзания, используются при осушке и ингибировании гидратообразования природного газа. В промышленности выпускаются антифризы на основе этилкарбитола: «Экосол-20», «Экосол-30», «Экосол-40», «Экосол-65» (ТУ 2422-001-18823587-01), а также антифриз карбитольный марки 40 (ТУ 6-00-5757616-88-89).

Кубовые остатки от производства эфиров гликолей – «Полигликоли» ТУ 6-01-26-12-80 оказались в числе лучших реагентов для обработки транспортерных лент в условиях Якутии.

Основу полигликолей по ТУ 6-01-26-12-80 составляют моноэтиловый эфир триэтиленгликоля и диэтиленгликоль. Водные растворы этих соединений не застывают при минус (40–50) °С в широком интервале концентраций. В настоящее указание полигликоли перерабатываются в осушитель-сырец по ТУ 2422-099-05766801-2000 (Нижнекаменскнефтехим), его ресурсы ограничены.

По токсичности и экологическому воздействию лучшим из гликолей является пропиленгликоль. Пропиленгликоль имеет температуру замерзания минус 60 °С, вязкость при 20 °С – 56 МПа·с. Водные растворы пропиленгликоля застывают до минус 70 °С (табл. 1).

Средство для борьбы со смерзанием (Патент РФ № 2380390, МПК С 09 К 3/18) содержит глицерин (45–90 мас.%), воду (5–

Таблица 1

Температура замерзания водного раствора пропиленгликоля

Концентрация, % (об.)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Температура замерзания, °С	-3	-8	-13	-25	-42	-69	-66	-63	-61	-59

50 мас.%), растворимые в воде соли (2–15 мас.%), температура замерзания до минус 35 °С, вызывает коррозию.

«Налко-компания» имеет патент РФ № 2440396, МПК С 09 К 3/18, С 09 К 3/22. «Способы и композиции для борьбы со смерзанием». Предотвращение агломерации сыпучего материала (в частности угля) и его прилипания к поверхностям под воздействием минусовой температуры достигаются использованием содержащего глицерин технического продукта от переработки масел в биодизельное топливо. Отмечается, что содержащиеся в техническом глицерине соли неорганических и органических кислот способствуют «улучшению режима замерзания», т.е. ослаблению связей между образующимися кристаллами льда. Например, уголь с 8 мас.% воды не смерзся до температуры минус 31,7 °С при расходе 0,91–1,36 кг/т. Следует отметить, что композиция содержит некоторое количество токсичного метанола (0,01–5,00 мас.%).

В России переработка масел в биодизель не развита и не может обеспечить ресурс реагента против смерзания и примерзания для угледобычи.

В качестве профилактических средств на основе солей неорганических и органических кислот применяют хлориды кальция, магния, натрия, водные эвтектики которых замерзают при отрицательных температурах (табл. 2). Показатели плавкости систем: $HCl–H_2O$, $NaCl–H_2O$, $CaC1_2–H_2O$, $NH_3–H_2O$, H_2O_2-

Таблица 2

Физико-химические характеристики

Показатели	$T_{пл}$, **°С**	ρ, **г/см³**	**Водная эвтектика**	
			концентрация, %	$T_{пл}$, **°С**
$CaC1_2$	772	2,512	29,9	-55
$MgCl_2$	714	2,316	21,6	-33,6
NaCl	800	2,165	23	-21

Таблица 3

Зависимость температуры замерзания от концентрации хлорида кальция

Концентрация, % мас.	**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**29,87**	**30**
Плотность при 15,5 °С, г/см^3	1	1,044	1,087	1,133	1,182	1,233	1,290	1,295
Температура замерзания, °С	0	-2,4	-5,4	-10,3	-18	-29,4	-55	-46

H_2O, спирты-вода, этиленгликоль-вода взяты из литературы [6, 7].

В условиях Сибири в основном используют хлористый кальций $CaC1_2$, который внесен в список реагентов для обработки угля, минералов, стенок и днища вагонов при перевозке железнодорожным транспортом. Температура замерзания водного раствора хлорида кальция зависит от концентрации кальция (табл. 3), минус (30–50) °С достигается в узком интервале концентрации (25–30) %мас.

Хлорид кальция гигроскопичен и поглощает водяные пары, образуя твердые гидраты, а затем расплавляется в жидкость. Он образует ряд кристаллогидратов, а при охлаждении концентрированных растворов выпадает в осадок в виде $CaC1_2 \times 6H_2O$, который при 30,1 °С плавится в кристаллизационной воде и переходит в $CaC1_2 \times 4H_2O$, затем в $CaC1_2 \times 2H_2O$ (при 45,1 °С) и в $CaC1_2 \times H_2O$ (при 175,5 °С). Полностью хлорид кальция обезвоживается при температуре выше 250 °С. При обезвоживании он частично гидролизуется с образованием СаО и НС1, а смешении $CaC1_2 \times 6H_2O$ (58,8%) со снегом или мелко истолченным льдом (41,2%) температура понижается до минус 55 °С (криогид-

Таблица 4

Зависимость температуры замерзания от концентрации хлорида натрия

Концентрация, % мас.	**1**	**3**	**5**	**7**	**9**	**10**	**15**	**20**	**23**	**25**
Плотность при 20 °С, г/см^3	1,005	1,020	1,034	1,049	1,064	1,071	1,109	1,148	1,172	1,189
Температура замерзания, °С	-0,6	-1,8	-3,1	-4,4	-5,9	-6,7	-11,0	-16,5	-21,2	-8,8

Таблица 5

Зависимость температуры замерзания от концентрации хлорида магния

Концентрация, % мас.	1,4	3,7	6,1	8,3	10,5	12,7	14,9	17,0	19,1	20,6
Плотность при 15 °С, г/см^3	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,17	1,184
Температура замерзания, °С	-0,7	-2,2	-4,0	-6,0	-8,7	-12,3	-17,1	-22,9	-29,1	-33,6

ратная точка). Безводный хлорид кальция растворяется в воде со значительным выделением тепла, а $CaC1_2 \times 6H_2O$ – с поглощением тепла.

Растворы хлорида натрия применяются для обработки вскрышных неустойчивых глинистых пород их температура замерзания представлена в табл. 4, эвтектика имеет $T_{плавл.}$ минус 21,2 °С.

Температура замерзания водных растворов хлорида магния представлена в табл. 5, эвтектика плавится при минус 33,6 °С.

В строительстве в условиях отрицательных температур используют противоморозные добавки, которые ускоряют схватывание и твердение бетона.

Наиболее популярная противоморозная добавка – хлорид кальция ($CaC1_2$). Обычно в техническом продукте присутствуют другие хлориды: натрия, магния, алюминия, что не приводит к ухудшению противоморозных свойств хлорида кальция.

До минус 10 °С хорошо работают: хлорид натрия (NaCl) – техническая соль; поташ K_2CO_3; нитрит натрия ($NaNO_2$); нитрат кальция ($Ca(NO_3)_2$); сульфат натрия (Na_2SO_4); смесь солей (нитрат, нитрит, хлорид кальция); тиосульфат и роданид натрия; комплексы электролитов, модифицированные мочевиной.

Нитрат кальция входит в состав композиции для обработки аэродромных полос против обледенения.

Из органических соединений для борьбы с гололедом успешно используют мочевину – карбамид или амид карбаминовой кислоты $CO(NH_2)_2$. Эвтектика карбамид – вода плавится при минус 12 °С, и содержит 32% органического вещества. Перспективными считаются ацетаты и формиаты калия, натрия и аммония, водные растворы которых не кристаллизуются до минус (60–70) °С (табл. 6).

Состав и температуры эвтектик в тройных карбоксилатных водно-солевых системах приведены в табл. 7.

Таблица 6

Характеристики эвтектик соль-вода

№	Системы	Характеристики эвтектик соль-вода	
		концентрация соли,% (мас.)	**температура эвтектики, °С**
1	$NaCH_3COO–H_2O$ (ацетат натрия)	23	-18
2	$KCH_3COO–H_2O$ (ацетат калия)	50	-62
3	$NH4CH_3COO–H_2O$ (ацетат аммония)	53	-70
4	$Mg(CH_3COO)_2–H_2O$ (ацетат магния)	34,5	-29
5	$Ca(CH_3COO)_2–H_2O$ (ацетат кальция)	29,5	-13
6	$NaHCOO–H_2O$ (формиат натрия)	25	-17
7	$KHCOO–H_2O$ (формиат калия)	50	-55
8	$NH_4HCOO–H_2O$ (формиат аммония)	40	-33

Применение тройных водно-солевых систем (содержащих катионы Na, K, NH_4) приводит к улучшению показателя температуры застывания.

Отмечены отдельные случаи применения в зимнем строительстве натриевых солей жирных кислот (подмыльный щелок) и натриевых солей адипиновой кислоты.

Таблица 7

Характеристики эвтектик солевая композиция-вода

№	Системы	Характеристики эвтектик солевая композиция-вода	
		концентрация соли,% (мас.)	**температура эвтектики, °С**
1	Ацетат калия–ацетат аммония (1:1)– вода	50	-63
2	Ацетат калия–формиат калия (1:1)– вода	50	-66
3	Формиат калия–ацетат аммония (1:1)– вода	50	-60
4	Ацетат калия–ацетат магния (4:1) – вода	50	-62
5	Ацетат калия–ацетат магния (2:1) – вода	50	-51
6	Ацетат калия–ацетат магния (1:1) – вода	40	-36
7	Ацетат калия–ацетат магния (1:2) – вода	35	-32
8	Ацетат калия–ацетат магния (1:4) – вода	40	-30

Профилактическое средство от выдувания и смерзания твердых топлив при транспортировании включает щелочной и кислый стоки производства капролактама (Патент РФ 1680750 С 09 К 3/22). Средство (водный раствор) в своем составе содержит натриевые соли одноосновных (2–35 мас.%) и двухосновных (14,6–26 мас.%) карбоновых кислот, сложные эфиры спиртов и органических кислот, циклогексанол. Профилактическое средство содержит 15–30 мас.% сухого вещества и имеет температуру замерзания до минус 34 °С, вязкость 17–19 МПа·с. Содержит ряд токсичных соединений, в частности циклогексанол. Расход профилактического средства в количестве 1,5% от массы угля не предотвращает смерзания угля повышенной влажности.

На основе щелочного стока производства капролактама было разработано несколько промышленных реагентов для обработки угля от смерзания и примерзания: Куйбышевазот – ТУ 113-03-488-84 (ЩСПК – щелочной сток производства капролактама); РЕАТЭК-УПС – ТУ 2414-007-72274795-2009; Кемеровский АЗОТ – СТО 05761637-003-2008 (ЩСПК – щелочной сток производства капролактама); СТО 05761637-003-2012 (ЩКПК – щелочной концентрат производства капролактама).

ЩСПК и ЩКПК применяются в угольной промышленности для обработки ж/д вагонов или других транспортных средств для предотвращения примерзания угля к металлическим поверхностям, а также для обработки угля в массе против смерзания, но интервал рабочих температур в ТУ не указан, не нормирован расход реагента, сведения по расходу у потребителей значительно разнятся. Замену ЩСПК на ЩКПК по показателям ТУ трудно оценить:

1. Доля адипата натрия не изменилась (18–36)%.

2. Интервал концентраций сухого остатка сужен с (25–53)% до (39,5–47)%.

3. Изменение интервала плотности, уменьшение с (1,100–1,250) г/см^3 до (1,180–1,215) г/см^3 также указывает на выработку более однородного продукта.

4. Только увеличение верхнего предела pH до 14 указывает на концентрирование (упаривание) стока. Слово концентрирование перешло в название реагента. По-видимому, необходим набор статистики по изменению физико-химических показателей реагента.

В результате аналитического анализа можно сделать вывод, что основой для промышленного производства профилактического средства против смерзания влажных углей (8–35)% могут быть:

• многотонажный недорогой отход производства капролактама ЩКПК, в состав которого входят соли карбоновых кислот. Имеет температуру застывания до минус 35 °С и вязкость при 20 °С до 22 мм^2/с;

• хлорид кальция, который производится в России и в Сибирском регионе в достаточном количестве. Температура застывания до минус 55 °С, вязкость 4,0 мм^2/с. Имеет высокую коррозионную активность, взаимодействует с минералами, содержащими кальций;

• антифризы на основе гликолей и их эфиров, изготовленные с использованием отходов и полупродуктов химической промышленности. Температура застывания до минус 60 °С, вязкость при 20 °С (4,5–56,0) мм^2/с.

Необходимо теоретическое обоснование возможности использования водных растворов, содержащих смеси солей органических, неорганических кислот, гликолей. В работе проведено изучение водных эвтектик, а также растворов с низкими Тзам для солей: хлориды натрия и кальция, адипаты натрия; гликолей (ЭГ, ПГ, ДПГ); эфиров гликолей и их смесей. При низких температурах важнейшими технологическими показателями становятся вязкость и смачиваемость (растекаемость). На примере ЩКПК в дальнейшем будет рассмотрен метод управления этими показателями с помощью добавок ПАВ. Вода между твердыми частицами должна образовывать антифриз или непрочный лед.

Антифризы на основе смесей неорганических и органических соединений являются перспективными [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы смерзания и липкости минерального сырья. Материалы Российского заочного семинара. Выпуск 1. – Якутск: Якутский научный центр СО РАН, 1994.

2. *Мирошников А. М.*, *Гущин А. А.*, *Иванов Г. В.*, *Ушакова Н. Н.* Водные кластеры в составе антифризов // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 3. – С. 114–120.

3. *Ощепков И. А.*, *Худоносова З. А.* Химическая обработка вагонов и угля против примерзания, смерзания и выдувания при перевозках / XV международная научно-практическая конференция «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» 8–11 октября 2013 г., г. Кемерово. – Кемерово, 2013. – С. 19–20.

4. *Ощепков И. А.* Химическая обработка твердых топлив на стадиях подготовки и переработки // Уголь. – 2002. – № 12. – С. 49–50.

5. *Унгер Ф. Г.* Фундаментальные и прикладные результаты исследований нефтяных дисперсных систем. – Уфа: Изд. ГУП ИНХП РБ, 2011.

6. *Краткая* химическая энциклопедия в 5 томах. – М.: Советская энциклопедия, 1961–1967.
7. *Залкин В. М.* О микрогетерогенном строении эвтектических сплавов (растворов) в жидком состоянии // Журнал физической химии. – 2005. – т. 70. – № 4. – С. 763–765.
8. *Краткий* справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко и А. А. Равделя. – Л.: Химия, 1972. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Гущин Алексей Алексеевич,
Ермаков Анатолий Юрьевич – кандидат технических наук, исполнительный директор,
Мирошников Александр Михайлович,
ООО «Сибнииуглеобогащения», г. Прокопьевск.

UDC 622.7:
656.225.2:
551.342

A.A. Gushchin, A.Y. Ermakov, A.M. Miroshnikov

ANALYTICAL REVIEW OF THE REACTANTS IN ORDER TO PREVENT FREEZING OF COAL

The study of water eutectics, as well as solutions with low Tsam for salts: chlorides of sodium and calcium, sodium adipate; glycols (EG, PG, line); esters of glycols and their mixtures.

Recommended basis for the industrial production of a prophylactic against freezing wet coals (8 to 35 VDC)% use mnogotonnaya waste production of caprolactam, calcium chloride, antifreeze based on glycol and their ethers.

Key words: review, reagents, prevention, freezing together, recommendations

AUTHORS

Gushchin A.A.[1],
Ermakov A.Yu.[1], Candidate of Technical Sciences, Executive Director,
Miroshnikov A.M.[1],
[1] LLC Sibniiugleobogascheniya», Prokopevsk, Russia.

REFERENCES

1. *Problemy smerzaniya i lipkosti mineral'nogo syr'ya. Materialy Rossiyskogo zaochnogo seminara*. Vypusk 1. (Problems of Freezing and Adhesiveness of Minerals: Russian Extramural Conference Proceedings. Issue 1), Yakutsk, Yakutskiy nauchnyy tsentr SO RAN, 1994.
2. Miroshnikov A. M., Gushchin A. A., Ivanov G. V., Ushakova N. N. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2014, no 3, pp. 114–120.
3. Oshchepkov I. A., Khudonosova Z. A. *XV mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novye podkhody k razvitiyu ugol'noy promyshlennosti»* 8–11 oktyabrya 2013 g., g. Kemerovo (Energy Security of Russia. New Approaches to the Development in Coal Industry: The 15th International Scientific–Practical Conference Proceedings, 8–11 October 2013, Kemerovo), Kemerovo, 2013, pp. 19–20.
4. Oshchepkov I. A. *Ugol'*. 2002, no 12, pp. 49–50.
5. Unger F. G. *Fundamental'nye i prikladnye rezul'taty issledovaniy neftyanykh dispersnykh sistem* (Basic and applied research findings on oil dispersion systems), Ufa, Izd. GUP INKhP RB, 2011.

6. *Kratkaya khimicheskaya entsiklopediya* v 5 tomakh (A shorter chemical encyclopedia in 5 volumes), Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1961–1967.
7. Zalkin V. M. *Zhurnal fizicheskoy khimii*. 2005, vol. 70, no 4, pp. 763–765.
8. *Kratkiy spravochnik fiziko-khimicheskikh velichin*. Pod red. K. P. Mishchenko, A. A. Ravdelya (Quick-reference book of physicochemical values. Mishchenko K. P., Ravdel' A. A. (Eds.)), Leningrad, Khimiya, 1972.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ

Александров Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, e-mail: alexvict@spmi.ru, *Егоров Илья Викторович* – аспирант, e-mail: egorov_iv@bk.ru,
Ганиев Ильсур Ильгизович – аспирант, *Васильев Артем Леонидович* – аспирант,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Приведены результаты исследования процессов, проходящих при вертикальном гидравлическом транспортировании твердых полезных ископаемых. Среднее относительное отклонение экспериментальных данных от теоретических составило 2,6%. При проведении регрессионного анализа абсолютных отклонений относительно основных параметров гидравлического транспортирования выявлена определенная закономерность их изменения, характеризующаяся уменьшением влияния гидростатической составляющей в трубопроводе под действием увеличивающихся турбулентных пульсаций, которые ранее не учитывались. Введен коэффициент корреляции, который выражается линейной зависимостью относительно скорости гидросмеси в трубопроводе.

Ключевые слова: подводная добыча, подводные производственные системы, железомарганцевые конкреции, экспериментальные исследования гидротранспорта, вертикальная гидравлическая подача, гидравлический подъем, гидравлические потери, концентрация композиции гидравлической жидкости, регрессионный анализ.

EXPERIMENTAL RESULTS OF VERTICAL HYDRAULIC TRANSPORTATION OF FERROMANGANESE NODULES

Aleksandrov V.I.[1], *Egorov I.V.*[1], *Ganiev I.I.*[1], *Vasil'ev A.L*[1].,
[1] National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

The article studies the processes existent in vertical hydraulic transportation of solid mineral resources. These studies were conducted on the basis of experimental design theory and were consisted in laboratory tests, simulating the process of shelf ferromanganese nodule hydraulic lifting to a height of 12 meters with the measuring of all input and output parameters to find out the correspondence between theoretical and experimental results. 48 laboratory tests, lasting approximately 2 minutes, were performed. During these tests the pressure loss in pipeline was measured. Based on statistical processing of obtained results the average relative deviation of experimental data from theoretical ones is 2.6% that indicates the high quality of performed tests and reflects the high level of this problem study. In regression analysis of the absolute deviations relative to the main parameters of hydraulic transportation, a certain pattern of its change, characterized by the decrease of hydrostatic component influence in pipeline under the increasing turbulent fluctuations that were not considered earlier, was revealed. To clarify the calculation method of the vertical hydraulic transportation, the correlation coefficient, which is expressed by a linear dependence relative to the Reynolds number, was introduced. As a result, the average relative deviation of experimental data from theoretical ones is 1.4% that reflects the importance of the performed work in the study of the processes in hydraulic lifting of solid minerals.

Key words: subsea production, subsea production systems, ferromanganese nodules, experimental studies of hydraulic transport, vertical hydraulic transport, hydraulic lifting, hydraulic losses, concentration of hydraulic fluid composition, turbulent flustuations in the pipeline, regression analysis.