

А.А. Гуцин, А.Ю. Ермаков, А.М. Мирошников

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕРЗАЕМОСТИ УГЛЯ ПРИ СКЛАДИРОВАНИИ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ

Добыча, складирование и транспортирование угля входят составной частью в топливно-энергетический комплекс страны и требуют системного подхода к решению таких технических задач, как борьба со смерзанием угля и вскрышных пород при перевозках и перегрузках. Основным средством борьбы со смерзанием угольной массы, примерзанием ее к стенкам и днищу вагонов и самосвалов считается использование жидких профилактических средств. В результате аналитических исследований выявлено, что для промышленного производства профилактического средства против смерзания влажных углей (8–35)% может использоваться многотоннажный недорогой отход производства капролактама ЩКПК – щелочной концентрат производства капролактама (ЩКПК) по СТО 05761637-003-2012 с температурой застывания минус 37 °С. Добавки ПАВ позволяют регулировать смачивание, растекание, пенообразование и другие показатели реагента.

Ключевые слова: смерзаемость угля, прочность льда, ПАВ-поверхностно активные вещества, реагенты, антифризы, перевозка грузов, гидрофобные пленки, полимеры воды.

Добыча, складирование и транспортирование угля входят составной частью в топливно-энергетический комплекс страны и требуют системного подхода к решению таких технических задач, как борьба со смерзанием угля и вскрышных пород при перевозках и перегрузках. Основным средством борьбы со смерзанием угольной массы, примерзанием ее к стенкам и днищу вагонов и самосвалов считается использование жидких профилактических средств.

В результате аналитических исследований [8] выявлено, что для промышленного производства профилактического средства против смерзания влажных углей (8–35)% может использоваться многотоннажный недорогой отход производства капролактама ЩКПК, – щелочной концентрат производства капролактама (ЩКПК) по СТО 05761637-003-2012 с температурой застывания минус 37 °С. Добавки ПАВ позволяют регулировать

смачивание, растекание, пенообразование и другие показатели реагента.

Не только соли, но и кислоты (соляная), а также основания (аммиачная вода) активируют воду при низких температурах против смерзания. Считается, что чистая вода в порах цементных растворов размером менее 0,1 микрон начинает замерзать при минус 10 °С и только при минус 40 °С превращается в лед. Растворы электролитов в порах даже при минус 40 °С не замерзают.

Внутри мицелл вода также остается жидкой при минус 40 °С.

Идеология разработки профилактических средств включает:

1. Создание незамерзающих растворов.
2. Получение непрочного льда.
3. Образование гидрофобной пленки (парафины, силиконы) на поверхности частиц или на границе стенка вагона – минерал.

Большой объем добычи и перевозки увлажненных материалов (8–35 мас. % влаги) предполагает использование технологически доступных недорогих смесей, улучшенных за счет малых добавок и присадок. Влага углей и пород не может быть полностью переведена в состав низкотемпературных водных антифризов, так как для этого требуется слишком много реагентов: гликоли, глицерин, соли и др. Часть воды превращается в лед. Желательно, чтобы присадки ослабляли прочность льда и облегчали выгрузку угля, породы.

Смерзание частиц угля, породы между собой и с металлической стенкой происходит в слое жидкости (вода, растворы электролитов, неполярные органические соединения и др.). Между конденсированными фазами существует притяжение или отталкивание в зависимости от силы электрических зарядов и электромагнитных полей, а также от толщины слоя: электростатическая, электрокинетическая и структурная составляющие. Количественную оценку сил в тонких слоях проводят с помощью изотерм расклинивающего давления. Расклинивающее давление (в нашем случае притяжение) смачивающей пленки Π равно разнице давлений в пленке и в массе жидкости H [1].

$$\Pi = \rho g H,$$

где ρ – плотность; g – ускорение свободного падения; H – разность давлений в пленке и в массе жидкости.

Π пропорционально капиллярному давлению P .

$$\Pi = P = 2\sigma/r,$$

где σ — поверхностное натяжение; r — радиус капилляра. Чем больше σ , тем сильнее адгезия к стенке.

Установлена степенная зависимость: $P \sim h^{-n}$; h — толщина пленки; n — степень, изменяется в пределах 1,5–4 и зависит от соотношения электрических, электрокинетических и структурных составляющих.

Как для неполярных жидкостей (парафины), так и для электролитов P растет при утончении пленки. Для электролитов оно может приобрести отрицательное значение, вместо прилипания будет отталкивание.

Поверхностно-активные вещества приводят к снижению P и тем больше, чем тоньше водная пленка. Вероятно, снижение величины P достигается за счет уменьшения σ в соответствии с формулой: $P = 2\sigma/r$.

Лед образуется из воды, вытесненной в пространство между частицами угля, породы, стенкой вагона. Если это не чистая вода, а коллоидный адгезив, в котором распределены тонкодисперсные глинистые частицы, то его прочность в мерзлом состоянии в 6 раз больше прочности льда из дистиллированной воды. На 85% прочность такого льда набирается в интервале температур 0 — минус 5 °С. Если вода (межчастичная) вместе с солями и гликолями образует антифриз с температурой замерзания меньше температуры окружающей среды, то замерзание не происходит. Но как отмечено, смерзание не происходит и в том случае, если поверхность стенки вагона обработана водным раствором ПАВ — смесь этиловых эфиров ди-, три- и тетраэтиленгликолей с одноименными гликолями. Такой прием снижения прочности льда использован и нами. В качестве неионогенного ПАВ взят ОПСБ — смесь бутиловых эфиров пропиленгликолей.

Многие антифризы, используемые в технике и быту, готовятся на основе водных растворов солей неорганических и органических кислот, спиртов, гликолей, глицерина, кислот и оснований. Часто используют водные эвтектики, хотя природа их образования до конца не изучена. Напомним, что эвтектиками являются бинарные и многокомпонентные микрогетерогенные системы с минимумом температуры плавления, составы жидкой и твердой фаз которых совпадают.

Образование растворов является самопроизвольным диффузионным процессом, протекающим за счет теплового движения составляющих частиц. Силу взаимодействия в растворе оценивают по величине осмотического давления Π , которое зависит от концентрации растворенного вещества [2].

$$\Pi = \frac{RT}{V_1} \ln(1 - x)$$

или после упрощения $\Pi = R \cdot T \cdot c$,

где V_1 – молярный объем растворителя, $V_1 = M/\rho$; M – молекулярная масса, ρ – плотность, x и c – молярная доля растворенного вещества.

Это уравнение характеризует идеальные, т.е. очень разбавленные растворы ($10^{-6} - 10^{-2}$ моль/дм³), в которых осмотическое давление не зависит от природы растворителя и растворенного вещества и определяется только числом взаимодействующих частиц. Осмотическое давление связано со среднечисленной молекулярной массой растворенного вещества:

$$M = RT \frac{m}{n},$$

где m – концентрация (моляльность).

К осмотическим свойствам растворов относится понижение температуры замерзания растворителя (вода), вызываемое добавкой.

$$\Delta T_{\text{зам.}} = K \cdot m,$$

где K – криоскопическая постоянная растворителя или молярное понижение температуры затвердевания раствора. Показатель K характеризует растворитель и от природы растворимого вещества (твердое тело, жидкость, газ) не зависит. Для воды $K = 1,86$ °С/моль.

В квантовой химии для оценки процесса растворения и образования ассоциатов используют потенциалы парного взаимодействия частиц в системе и их знак. Если знак отрицательный, то частицы не взаимодействуют, раствор стремится к идеальному и описывается законами физической химии. Если знак положительный, то в системе возможны коллоидные явления во всем многообразии [3]. Оценка идет по температуре. Верхним пределом температуры является температура начала химических превращений, а нижним – образование твердой фазы. В теме нашей работы для системы вода–этиленгликоль особыми точками будут: 0 °С ($T_{\text{зам.}}$ воды); минус 13 °С ($T_{\text{зам.}}$ этиленгликоля); минус 70 °С ($T_{\text{эвтск.}}$) и 100 °С ($T_{\text{кип.}}$ воды). В интервале минус 70 – плюс 100 °С сохраняется жидкое состояние в системе этиленгликоль – вода.

Большинство изучаемых нами соединений: вода, спирты, гликоли, соли моно и дикарбоновых кислот являются кислородсодержащими соединениями, способными через атом кислоро-

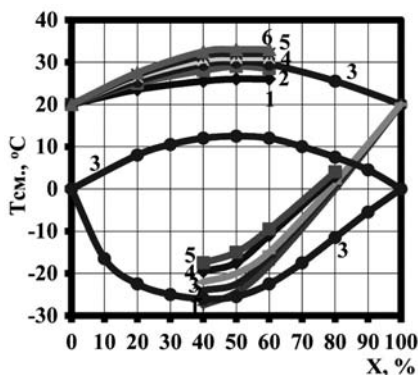


Рис. 1. Изменение температуры раствора от концентрации компонента при смешении со льдом и водой: 1 – этиленгликоль; 2 – диэтиленгликоль; 3 – этиловый эфир этиленгликоля; 4 – этиловый эфир диэтиленгликоля; 5 – этиловый эфир триэтиленгликоля; 6 – этиловый эфир тетраэтиленгликоля

структурных цепочек. Возможно образование связи [Н-О-Н ... Н-О-Н] через два атома Н (длинная Н-связь), которая преобладает во льду [5].

Знак (температура) парного взаимодействия в системе лед (снег)—компонент антифриза и возможность образования растворов с $T_{зам} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ определяли при смешении снега и воды со вторым компонентом антифриза в сосуде Дьюара. Результаты приведены на рис. 1. Для этиленгликоля и снега знак минус достигает $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, что ниже температуры плавления воды и этиленгликоля. Взаимодействие кластеров гликоля и воды в таком растворе ослаблено, а «идеальность» возросла.

В солевой системе NaCl—вода прослежено влияние третьего компонента на эвтектическую температуру. Сначала был приготовлен раствор NaCl в воде концентрацией 23,1 %мас. Замер Тпл. дал величину минус 21,2 $^{\circ}\text{C}$, что соответствует эвтектике. Добавка твердой мочевины к солевой эвтектике сопровождалась понижением температуры. Ниже приведены $T_{пл.}$ тройных смесей:

добавка %мас.	0	2,94	5,61	7,94	9,76	10,52	12,5
$T_{пл.}$, минус $^{\circ}\text{C}$	21,2	22,0	24,0	24,5	25,3	25,0	21,5

да участвовать в образовании Н-связей. В то же время другие компоненты антифризов (эвтектик): CaCl_2 , NaCl , HCl , NH_3 не содержат атомы О и формально Н-связь через кислород у них отсутствует, хотя известны многочисленные гидраты: $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др.

В работе принято:

- основными структурными компонентами жидкой воды являются циклические пента (H_2O)₅ и гекса (H_2O)₆ меры, построенные за счет Н-связей [4];
- Н-связь образуется за счет переключения валентных электронов у атома О, обмена атомов Н между молекулами воды с образованием циклов или

Эти результаты также свидетельствуют об увеличении «идеальности» водного раствора при добавке до 12,5% мочевины (органического вещества).

Энергию взаимодействия HCl, солей CaCl₂, NaCl с водой оценивали по теплоте смешения, взятой из [6]. Энтальпия образования гидратов CaCl₂ и HCl, содержащих 5–15 молекул воды, практически совпадает (рис. 2).

Показатели для построения диаграмм плавкости систем: HCl-H₂O, NaCl-H₂O, CaCl₂-H₂O, NH₃-H₂O, H₂O₂-H₂O, спирты-вода, этиленгликоль-вода взяты из литературы [7]. Для этилцеллозольва, этилкарбитола, адипата натрия фазовое равновесие водных растворов изучены с использованием метода визуального политермического анализа. Адипат натрия синтезировали из адипиновой кислоты и едкого натрия реактивной чистоты. Построены графики зависимости $T_{\text{зам}}$ от мольной и массовой доли добавки. На рис. 3, 4 приведены примеры эвтектик с низким и высоким содержанием второго компонента.

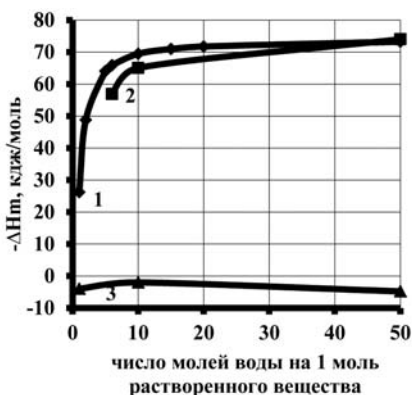


Рис. 2. Теплота растворения ($-\Delta H_m$) в воде: 1 – хлористый водород; 2 – хлорид кальция; 3 – хлорид натрия

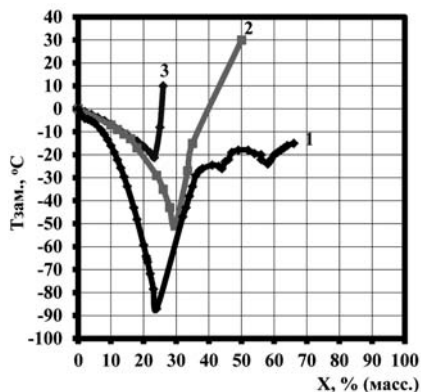


Рис. 3. Диаграмма плавления систем: 1 – HCl-H₂O; 2 – CaCl₂-H₂O; 3 – NaCl – H₂O

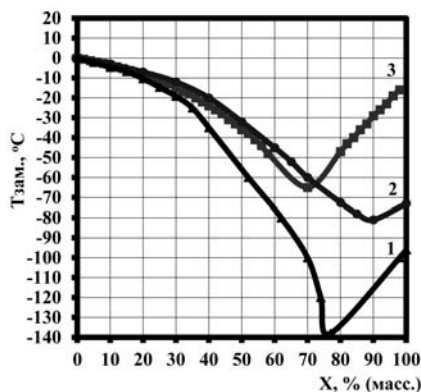


Рис. 4. Диаграмма плавления систем: 1 – CH₃OH-H₂O; 2 – C₂H₅(OCH₂CH₂)OH-H₂O; 3 – C₂H₄(OH)₂-H₂O

Температуру кристаллизации или застывания определяли по ГОСТ 5066-91 и ГОСТ 20287-91 в пробирках из термостойкого стекла, цена деления термометра 1 °С. Базовые диаграммы плавления NaCl, CaCl₂, HCl рассмотрены ранее (рис. 3.) также как и диаграммы ЭГ (этиленгликоля), этилцеллозольва и метанола (рис. 4).

На основании представленной информации можно сделать выводы о возможности использования смесей, в том числе ЩКПК, в качестве реагентов против смерзания:

1. Анализ эвтектик и диаграмм плавкости водных растворов на основе солей неорганических и органических кислот, спиртов, этиленгликоля и его простых эфиров методом сравнения с идеальным раствором воды по криоскопической постоянной позволил выявить циклические кластеры воды (H₂O)₅ и (H₂O)₆, которые переходят в эвтектики как мономеры или олигомеры со степенью сшивки 2–4. При этом образуются растворы с $T_{пл}$ до минус 100 °С.

2. Для создания эффективных антифризов важно исключить разрушение циклических кластеров воды и последующую полимеризацию воды в лед, желательно иметь, как в случае с этиленгликолем, второй компонент водного антифриза также в циклической форме.

3. Циклические кластеры воды взаимодействуют с компонентами антифризов (соли, кислоты, основания, нейтральные молекулы) по типу краун-эфиров, поэтому необходимо учитывать соразмерность применяемых химических соединений.

4. Перспективными являются антифризы на основе смесей неорганических и органических соединений, энергия (температура) взаимодействие которых имеет знак минус, что свидетельствует об увеличении идеальности системы и снижении температуры плавления.

5. Адипаты натрия в чистом виде и как компоненты технологических отходов (ЩКПК) пригодны для получения низкозамерзающих водных растворов и профилактических реагентов.

Продолжая изучение ЩКПК в качестве профилактического средства, мы знаем, что щелочной концентрат производства капролактама содержит натриевые соли карбоновых и дикарбоновых кислот, сложные эфиры спиртов и органических кислот, соду и едкий натр.

ЩКПК по СТО 05761637-003-2012 характеризуется рядом показателей:

Внешний вид	жидкость коричневого цвета, без механических примесей
Плотность при 20 °С	1,180 – 1,215
Массовая доля сухого вещества, %	39,5 – 47,0
Массовая доля адипатов натрия, %	18,0 – 36,0
pH раствора, ед.рН	10,0 – 14,0

У производителя ЩКПК (Кемеровский ОАО «Азот») определены физико-химические показатели технологического продукта с разным содержанием сухого остатка или адипата натрия. Результаты приведены в табл. 1 и 2. Концентрация всех растворенных в воде химических соединений обуславливает плотность ЩКПК. Этот показатель легко определяется и принят нами наряду с $T_{\text{заст.}}$ за основной при оценке реагента (табл. 1, 2).

Таблица 1

Показатели ЩКПК

№ п/п	М. д. адипата, %	М.д. сух. ост., %	Плотность, г/см ³	$T_{\text{заст.}}$, °С
1	14,8	24,0	1,106	-10
2	21,1	33,4	1,152	-20
3	24,8	37,0	1,170	-22
4	26,9	39,5	1,180	-26
5	27,3	40,0	1,182	-26
6	28,9	42,0	1,190	-28
7	29,3	42,4	1,192	-32
8	30,4	43,4	1,197	-36
9	31,0	44,0	1,200	-38
10	31,4	44,4	1,202	-39
11	32,4	45,4	1,207	-42
12	33,0	46,0	1,210	-45
13	34,1	47,0	1,215	-46
14	35,1	48,0	1,220	-45
15	35,5	48,4	1,222	-43
16	38,6	51,8	1,237	-39

Таблица 2

Физико-химические показатели ЩКПК

ЩКПК	Масс.д. сух. остатка, %	Плотность, г/см ³	Рефракция	Вязкость, 20 °С, мм ² /с	T _{заст.} , °С
1	19,8	1,089	—	2,90	-9
2	23	1,102	—	4,12	-11
3	36,2	1,166	1,3950	8,64	-28
4	40,8	1,185	1,4015	11,46	-31
5	41,3	1,187	1,4035	13,51	-34
6	42,4	1,192	1,4050	14,30	-40
7	44,4	1,202	1,4095	18,91	-40
8	45,9	1,209	1,4105	21,68	-44
9	46	1,210	1,4115	24,49	-49
10	47,4	1,217	1,4145	25,15	-46
11	46,4	1,212	1,41	25,06	

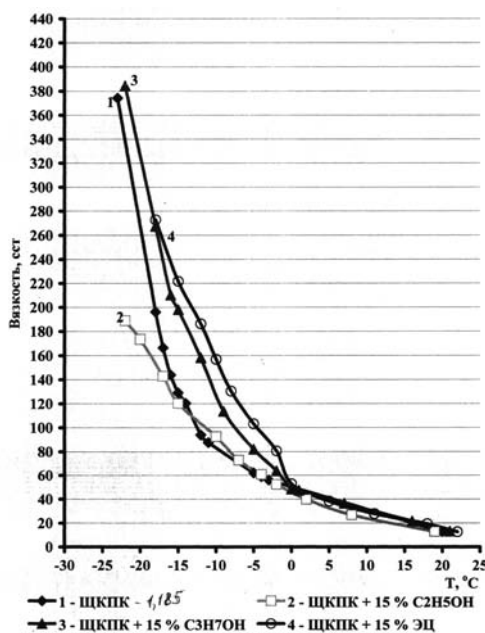


Рис. 5. Зависимость вязкости растворов ЩКПК от температуры

Корреляция состава и $T_{\text{заст.}}$ в программе «Microsoft Office Excel» приводит к эвтектической температуре минус 47 °С и содержанию адипата натрия 33,9%.

Вязкость ЩКПК при понижении температуры возрастает (рис. 5). Добавки спиртов и этилцеллозольва в количестве до 15% не вносят принципиального изменения в кривые вязкости.

Поверхностное натяжение ЩКПК значительно ниже, чем у воды и составляет $(35-40) \times 10^3$ Н/м. Добавка к ЩКПК неионогенного ПАВ—ОПСБ в количестве до 1 % масс. при-

Таблица 3

Поверхностное натяжение растворов

Реагент	Коэффициент поверхностного натяжения, $10^{-3} \times \text{Н/м}$
Вода	72,75
Вода + 1% ЩКПК	67,91
Вода + 1% (ЩКПК + 1% ОПСБ)	64,27
Вода + 10% ЩКПК	59,99
Вода + 10% (ЩКПК + 1% ОПСБ)	42,73
ЩКПК ($\rho = 1,185$)	37,98
ЩКПК ($\rho = 1,186$) нейтральный	36,99
ЩКПК ($\rho = 1,210$)	35,59
ЩКПК + 1% ОПСБ	31,03
ЩКПК + 1% нефть	35,96
ЩКПК + 0,5% ОПСБ + 0,5% нефть	32,19

водит к снижению σ до 31–32 ед. Нефть в смеси с ОПСБ также проявляет поверхностную активность (табл. 3).

Анализ данных табл. 3 показывает, что ОПСБ снижает поверхностное натяжение водных растворов ЩКПК и должен способствовать растеканию реагента и дроблению его в форсунках. При смешении ЩКПК с водно-гликолевой смесью поверхностное натяжение остается низким. Зависимость концентрации водно-гликолевой смеси и поверхностного натяжения водных растворов показана в табл. 4.

Растекание ЩКПК по твердой поверхности. Удерживание профилактического средства на поверхности металла определяли весовым способом, предварительно погружая металлический стержень в раствор реагента. Проведен расчет реагента на 1 м^2 поверхности (табл. 5) и на вагон.

Экономия в присутствии ОПСБ достигается 34%. Введение ПАВ делает покрытие более равномерным не только по метал-

Таблица 4

Зависимость концентрации водногликолевой смеси и поверхностного натяжения

ВГС%	10	20	30	40
$\sigma_{\text{дин.}}$	37,88	38,56	39,70	41,33

Таблица 5

Расчет реагента

Образец	Внешний вид	Расход на 1 м ² , г/м ²	Вагон, кг
ЩКПК 1 ($\rho - 1,190 \text{ г/см}^3$)	неравномерное покрытие	70	9,5
ЩКПК 1 + + 1% ОПСБ	равномерное покрытие	46	6,3
ЩКПК 2 ($\rho - 1,209 \text{ г/см}^3$)	неравномерное покрытие	76	10,3
ЩКПК 2 + + 1% ОПСБ	равномерное покрытие	63	8,6

лу, но и по стеклу, пластику (ПЭТ) и силуфольной пластинке. Качество покрытия оценивали визуально и с помощью фото (рис. 6).

На стальной поверхности распределение ЩКПК в присутствии ПАВ также является более равномерным.

Плавающая способность реагентов по отношению ко льду. Метод определения плавающей способности реагентов основан на определении массы льда, расплавленного 1 г химического противогололедного материала за определенный интервал времени при заданном температурном режиме. Температура испытания минус 2 ± 1 °С. Время испытания – 2 часа.

Реагенты: ЩКПК с плотностью $1,210 \text{ г/см}^3$, ЩКПК + 1% ОПСБ, адипат натрия.

Проведение эксперимента: для приготовления льда использовали дистиллированную воду в количестве 65 мл, которую замораживали в чашке Петри, на поверхность льда распределяли ровным слоем навеску реагента в количестве $2 \pm 0,02$ г. Оставля-

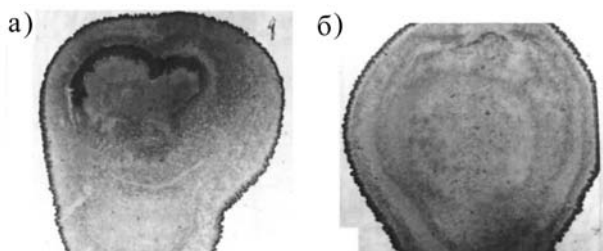


Рис. 6. Распределение профилактического средства по силуфольной (SiO_2) пластинке: а) ЩКПК 2, б) ЩКПК 2 + 1% ПАВ

Таблица 6

Плавающая способность реагентов по отношению ко льду

№	Реагент	Плавающая способность, г/г
1	дистиллированная вода	0
2	ЩКПК	5,00
3	ЩКПК + 1% ОПСБ	6,40
4	адипат натрия	8,00

ли образцы в морозильной камере при температуре минус 2 ± 1 °С на 2 часа. По окончании испытания талую воду, образовавшуюся на поверхности льда, сливают и остатки нерасплавленного льда взвешивают.

Плавающую способность реагента или количество расплавленного льда M , г/г, одним граммом реагента вычисляют по формуле:

$$M = m_{\text{л}}/m_{\text{р}},$$

где $m_{\text{л}}$, $m_{\text{р}}$ – масса расплавленного льда, реагента г.

Результаты приведены в табл. 6. Для сравнения указана плавающая способность CaCl_2 .

В присутствии ОПСБ увеличивается плавающая способность реагента.

На основании представленной информации сделаны заключения:

1. Изучены низкотемпературные эвтектики на основе водных растворов солей неорганических и органических кислот, гликолей и их смесей. Дано обоснование для продолжения использования в качестве реагента против смерзания адипата натрия или технологического отхода на его основе – ЩКПК (щелочной концентрат производства капролактама) При температуре ниже минус 30 °С ЩКПК загустевает, неравномерно распределяется по поверхности вагонов и частиц угля.

2. Для уменьшения $T_{\text{заст.}}$, вязкости и поверхностного натяжения ЩКПК предложено:

- снизить концентрацию сухого остатка;
- ввести добавку неионогенного ПАВ в количестве до 1%;
- использовать смешение с ВГС (водно-гликолевая смесь) в количестве до 30% мас.;
- понизить рН.

В присутствии неионогенного ПАВ на поверхности металла образуется однородная гидрофобная пленка.

3. Разработан реагент против смерзания РПС-2 по ТУ, в котором используется сочетание указанных факторов. РПС-2 марка А имеет плотность 1,152–1,185 и $T_{\text{заст.}}$ минус 30–35 °С. РПС-2 марка Б имеет плотность 1,070–1,120 и $T_{\text{заст.}}$ минус 40–45 °С.

5. Реагент РПС-2 испытан в лаборатории и частично в промышленных условиях (разрез Бородинский – работа на ЩКПК + + 0,08 ПАВ) Показал хорошее диспергирование с помощью фосунок.

6. Реагент РПС-2 имеет преимущества перед ЩКПК по расходу реагента на м² поверхности и по снижению прочности льда (в случае его образования).

7. Выявлена плавящая по отношению ко льду способность ЩКПК и ее возрастание в присутствии неионогенного ПАВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чураев Н. В.* Развитие исследований поверхностных сил // Коллоидный журнал. – 2000. – т. 62. – № 5. – С. 581–589.

2. *Физическая химия / Под ред. К. С. Краснова.* – М.: Высшая школа, 1982.

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

4. *Кириш Ю. Э., Калинин К. К.* Особенности ассоциаций молекул воды в водно-солевых и водно-органических растворах // Журнал прикладной химии. – 1999.- Т. 72. – Вып. 8. – С. 1233 – 1246.

5. *Гришаев А. А.* / <http://www.o8ode.ru/article/learn/newstructure.htm>

6. *Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко, А. А. Равделя.* – Л.: Химия, 1972.

7. *Краткая химическая энциклопедия в 5 томах.* – М.: Советская энциклопедия, 1961–1967.

8. *Гущин А. А., Ермаков А. Ю., Мирошников А. М.* Аналитический обзор реагентов для предотвращения смерзания угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 182–191.

9. *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.

10. *Ощепков И. А., Худносова 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.

11. *Залкин В. М.* О микрогетерогенном строении эвтектических сплавов (растворов) в жидком состоянии // Журнал физической химии. – 2005. – т. 70. – № 4. – С. 763–765.

12. *Эннан А. А., Лапшин В. А.* О связи температур замерзания со строением водных растворов // Журнал физической химии. – 1975. – № 9. – С. 2295 – 2301.

13. Полинг Л., Полинг П. Химия. — М.: Мир, 1978.
14. *Окись этилена* / Под ред. П. В. Зимакова и О. Н. Дымента. — М.: Химия, 1967.
15. *Шахпаронов М. И.* Механизмы быстрых процессов в жидкостях. — М.: Высшая школа, 1980.
16. *Esina Z. N.* Enthalpy of phase transition and prediction of phase equilibria in systems of glycols and glycol ethers // Miroshnikov A. M., Korchuganova M. R. *Foodsand Raw Materials*. — 2014. — Vol. 2. — no 1. — pp. 86–90.
17. *Мирошников А. М., Ушакова Н. Н.* Технология пищевой добавки Е 1520 — пропиленгликоль / Теоретические основы пищевых технологий. — М.: Колос С, 2009. — С. 1341 — 1351.
18. *Воронков М. Г., Кнутов В. И.* Макрогетероциклы. — М.: Знание, 1988.
19. *Проблемы смерзания и липкости минерального сырья.* Материалы Российского заочного семинара. Выпуск 1. — Якутск: Якутский научный центр СО РАН, 1994. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Гущин Алексей Алексеевич*¹ — заместитель исполнительного директора по производству и экспертизе, e-mail: GuschinAA@suek.ru,
*Ермаков Анатолий Юрьевич*¹ — кандидат технических наук, исполнительный директор, e-mail: ermakovay@suek.ru,
Мирошников Александр Михайлович — доктор технических наук, профессор, e-mail: alexandrmirosh@mail.ru,
 Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет),
¹ ООО «Сибниуглеобогащение».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 4, pp. 140–154.

UDC 622.7:
656.225.2

A.A. Gushchin, A.Yu. Ermakov, A.M. Miroshnikov

THE STUDY OF COAL CONGEALING DURING STORAGE AND TRANSPORTATION

A booty, warehousing and portage of coal, enter component part in the fuel and energy complex of country and require approach of the systems to the decision of such technical tasks, as a fight against the adfreezing of coal and stripping breeds at transportations and overloads. By the basic means of fight against the adfreezing of coal mass, freezing of her to the walls and bottom of carriages and tippers the use of liquid preventives is considered.

It is educed as a result of analytical researches, that for the industrial production of preventive against the adfreezing of moist coals (8–35)% multitonnage inexpensive departure of production of kaprolactam of can be used, is an alkaline concentrate of production of kaprolactam on the Standard of Organization 05761637-003-2012 with the temperature of hardening minus of 37 °C. Additives surfactants allow to regulate moistening, spreading, foaming and other indexes of reagent.

Key words: congealing of coal, strikingtoughness, strength office, SAW surfactants, reagents, freight, hydrophobic membranes, polymersof water.

AUTHORS

Gushchin A.A.¹, Deputy of Chief Executive on a Production and Examination,
e-mail: GuschinAA@suek.ru,

Ermakov A. Yu.¹, Candidate of Technical Sciences, Executive Director,
e-mail: ermakovay@suek.ru,

Miroshnikov A. M., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kemerovo Technological Institute of Food Industry (University),

650056, Kemerovo, Russia, e-mail: alexandrmirosh@mail.ru,

¹ LLC Sibniugleobogashchenie, 653000, Prokopevsk, Russia.

REFERENCES

1. Churaev N. V. *Kolloidnyy zhurnal*. 2000, vol. 62, no 5, pp. 581–589.
2. *Fizicheskaya khimiya*. Pod red. K. S. Krasnova (Physical chemistry. Krasnov K. S. (Ed.)), Moscow, Vysshaya shkola, 1982.
3. Unger F. G. *Fundamental'nye i prikladnye rezul'taty issledovaniy neftyanykh dispersnykh sistem* (Basic and applied research results of oil disperse systems), Ufa, Izd. GUP INKhP RB, 2011.
4. Kirsh Yu. E., Kalnin'sh K. K. *Zhurnal prikladnoy khimii*. 1999, vol. 72, issue 8, pp. 1233–1246.
5. Grishaev A. A. <http://www.o8ode.ru/article/learn/newstructure.htm>
6. *Kratkiy spravochnik fiziko-khimicheskikh velichin*. Pod red. K. P. Mishchenko, A. A. Ravidelya (Quick reference of physics-chemical variables. Mishchenko K. P., Ravidel A. A. (Eds.)), Leningrad, Khimiya, 1972.
7. *Kratkaya khimicheskaya entsiklopediya v 5 tomakh* (Short Chemical encyclopedia in 5 volumes), Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1961–1967.
8. Gushchin A. A., Ermakov A. Yu., Miroshnikov A. M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 182–191.
9. Miroshnikov A. M., Gushchin A. A., Ivanov G. V., Ushakova N. N. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2014, no 3, pp. 114–120.
10. 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., Kemerovo (XV International Scientific Conference. Energy Security of Russia. New approaches to development of the coal industry, October 8–11, 2013, Kemerovo), Kemerovo, 2013, pp. 19–20.
11. Zalkin V. M. *Zhurnal fizicheskoy khimii*. 2005, vol. 70, no 4, pp. 763–765.
12. Ennan A. A., Lapshin V. A. *Zhurnal fizicheskoy khimii*. 1975, no 9, pp. 2295–2301.
13. Poling L., Poling P. *Khimiya* (Chemistry), Moscow, Mir, 1978.
14. Okis' etilena. Pod red. P. V. Zimakova, O. N. Dymenta (Ethylene oxide. Zimakov P. V., Dyment O. N. (Eds.)), Moscow, Khimiya, 1967.
15. Shakhparonov M. I. *Mekhanizmy bystrykh protsessov v zhidkostyakh* (Mechanisms of fast processes in liquids), Moscow, Vysshaya shkola, 1980.
16. Esina Z. N. Enthalpy of phase transition and prediction of phase equilibria in systems of glycols and glycol ethers. Miroshnikov A. M., Korchuganova M. R. *Food and Raw Materials*. 2014. Vol. 2. no 1. pp. 86–90.
17. Miroshnikov A. M., Ushakova N. N. *Teoreticheskie osnovy pishchevykh tekhnologiy* (Theoretical bases of food technologies), Moscow, Kolos S, 2009, pp. 1341–1351.
18. Voronkov M. G., Knutov V. I. *Makroheterotsikly* (Macroheterocycles), Moscow, Znanie, 1988.
19. Problemy smerzaniya i lipkosti mineral'nogo syr'ya. Materialy Rossiyskogo zaochnogo seminar. Vypusk 1 (Problems of congealing and stickiness of minerals. Proceedings of the seminar of Russian correspondence, issue 1), Yakutsk, Yakutskiy nauchnyy tsentr SO RAN, 1994.