

УДК 669.71:622.023

*ШЕПЕЛЕВ ИГОРЬ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, докт. техн. наук,  
ekoing@mail.ru*

*Научно-исследовательская организация ООО «ЭКО-Инжиниринг»,  
662150, г. Ачинск, Южная Промзона, квартал XII, стр. 1,*

*БОЧКОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ,*

*nbochkov@yandex.ru*

*ООО «Доломит»,*

*662153, г. Ачинск, Южная Промзона, квартал V, стр.12,*

*АЛГЕБРАИСТОВА НАТАЛЬЯ КОНСТАНТИНОВНА, канд. техн. наук,*

*algebraistova@mail.ru*

*Сибирский федеральный университет,*

*660025, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95,*

*ЖИЖАЕВ АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ, канд. техн. наук,*

*zhyzhaev@icct.ru*

*Институт химии и химической технологии СО РАН,*

*660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 24*

### **ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРОФОБНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ПРИ АКТИВАЦИИ ЕГО РАЗЛИЧНЫМИ РЕАГЕНТАМИ-ГИДРОФОБИЗАТОРАМИ**

На примере двух минеральных порошков различных производителей и четырех реагентов-гидрофобизаторов опробована методика определения степени гидрофобности минеральных порошков, основанная на пенной флотации. Методика позволяет получить за сравнительно короткое время количественный показатель гидрофобности поверхности минерального порошка, что может обеспечить более эффективное ее применение на практике для определения оптимального расхода реагента-гидрофобизатора.

**Ключевые слова:** минеральный порошок; активирующая смесь; пенная флотация; гидрофобность; пенообразователь; смесь жирных кислот.

*IGOR I. SHEPELEV, DSc.,*

*ekoing@mail.ru*

*ООО 'ECO-Engineering'*

*1, Yuzhnaya Promzona Str., 662150, Achinsk, Russia,*

*NIKOLAY N. BOCHKOV,*

*nbochkov@yandex.ru*

*ООО 'Dolomit'*

*12, Yuzhnaya Promzona Str., 662153, Achinsk, Russia,*

*NATALIA K. ALGEBRAISTOVA, PhD,*

*algebraistova@mail.ru*

*Siberian Federal University,*

*79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia,*

*ANATOLII M. ZHYZHAEV, PhD,*

*zhyzhaev@icct.ru*

*Institute of Chemistry and Chemical Engineering SB RAS,*

*50, Akademgorodok, 660036, Krasnoyarsk, Russia*

## WATER REPELLENCY OF MINERAL POWDER AT ITS ACTIVATION BY DIFFERENT WATER REPELLENTS

The paper presents the methodology of detection the degree of water repellency of two mineral powders of various manufacturers activated by four water repellents. This methodology is based on foamy flotation and allows obtaining a quantity indicator of water repellency on the mineral powder surface that can provide its more efficient practical application for the definition of the optimum use of water repellents.

**Keywords:** mineral powder; activating mixture; foam floatation; water repellence; foaming agent; fatty acid mixture.

Эффективность дорожного строительства зависит от качества асфальтобетона, одним из компонентов которого является минеральный порошок (МП). Активация минерального порошка влияет на структурообразование асфальтобетона, которое во многом обуславливает прочность асфальтобетона, его плотность, теплостойкость и долговечность. Улучшение структурно-механических свойств асфальтобетона может быть достигнуто в результате физико-химической активации минерального порошка с применением поверхностно-активных веществ (ПАВ), в том числе из полученных производственных отходов [1, 2].

Настоящие исследования были проведены с целью апробации новой методики определения гидрофобности активированного минерального порошка. Методика исследований предусматривала изучение гидрофобных свойств минеральных порошков, обработанных различными поверхностно-активными веществами, с применением пенной флотации.

В качестве объектов исследований были опробованы минеральные порошки двух производителей: МП из вскрышных пород Мазульского известнякового рудника ОАО «РУСАЛ Ачинск» и МП из известняка Красноярского известнякового карьера. Известняк Мазульского известнякового рудника является горной породой мелкозернистой кристаллической структуры, серого и темно-серого цвета (встречается белого цвета). Согласно проведенному рентгенофазовому анализу основной минерал известняка Мазульского рудника – кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ). В подчиненных количествах, до 10 % от основной фазы, присутствуют кварц ( $\text{SiO}_2$ ), доломит ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) и каолин ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ). Отмечено также наличие небольших количеств пирротина ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ). На микрофотографиях минерального порошка из известняка Мазульского рудника ОАО «РУСАЛ Ачинск» производства ООО «ДПМК Ачинская» хорошо видны частицы кальцита (10–50 мкм, серые) и частицы пирротина (белые). В данной пробе также присутствуют большие агрегаты мелких частиц кальцита, сцементированных каолином (темно-серые). Отмечено наличие частиц кварца (темно-серые) в сростках со слюдой и кальцитом и сростки кальцита и доломита (рис. 1).

В качестве другого минерального порошка использовался измельченный известняк ОАО «Химико-металлургический завод». Согласно проведенному рентгенофазовому анализу, основной минерал известняка из Красноярского известнякового карьера, перерабатываемого на ОАО «Химико-металлургический завод» (ОАО «КХМЗ»), – кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ). Отмечено также присутствие кварца ( $\text{SiO}_2$ ), доломита ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) и небольших количеств кли-

нохлора  $(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  и пирротина  $(\text{Fe}_7\text{S}_8)$ . На микрофотографии минерального порошка, полученного из известняка Красноярского известнякового карьера, отчетливо видны вышеперечисленные минералы (рис. 2).

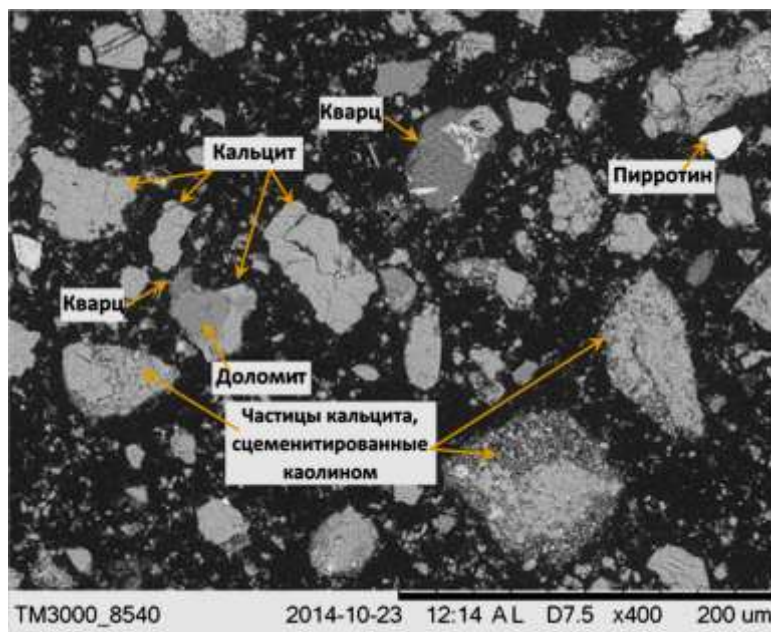


Рис. 1. Микроструктура частиц минерального порошка, полученного из вскрышных пород Мазульского известнякового рудника

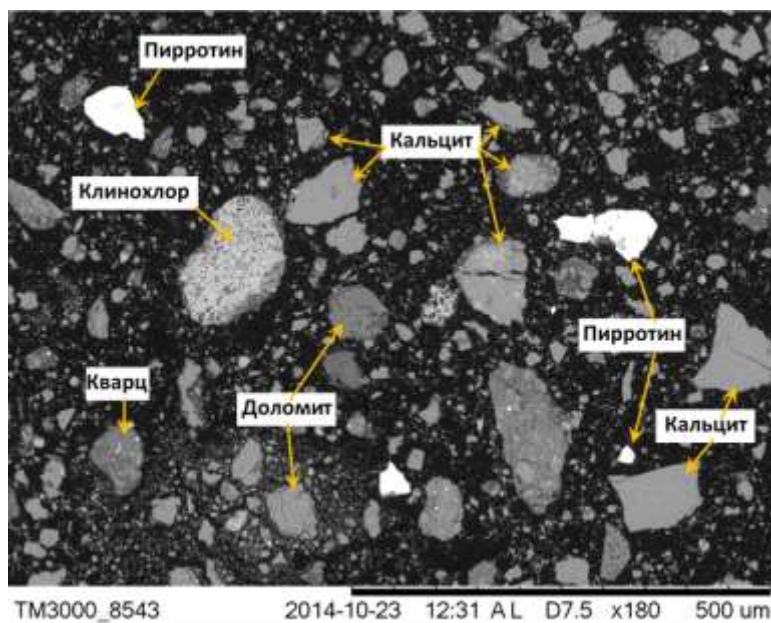


Рис. 2. Микроструктура частиц минерального порошка, полученного из известняка Красноярского карьера производства ОАО «КХМЗ»

Большое значение при изучении гидрофобных свойств минеральных порошков имеет зерновой состав, который показывает относительное содержание в них частиц различных размеров. Зерновой состав минерального порошка из известняка представлен в табл. 1. Анализ показал, что по зерновому составу данные пробы МП соответствуют нормативным требованиям ГОСТ Р 52129–2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия».

Таблица 1

**Зерновой состав минерального порошка из известняков  
разных производителей**

Определяемый класс зернового состава	Нормативный показатель, % масс.	Результаты испытаний, % масс. (для МП ООО ДПМК «Ачинская»)	Результаты испытаний, % масс. (для МП ОАО «КХМЗ»)
Мельче 1,25 мм	Не менее 100	100	100
Мельче 0,315 мм	Не менее 90	93	92
Мельче 0,071 мм	Не менее 65	71,4	76

В связи с тем, что в настоящее время определение гидрофобности минерального порошка на практике занимает длительное время (24 ч) и определяется только качественно (ГОСТ Р 52129–2003), без получения количественного показателя степени гидрофобности активированного минерального порошка нами была опробована методика определения степени гидрофобности с применением пенной флотации [3].

Для изучения гидрофобных свойств с применением пенной флотации были исследованы две пробы минерального порошка разных производителей. Пробы массой 50 г отбирались от общей массы изучаемых продуктов методом квартования [3]. Технологические исследования выполняли на флотомашине МФ 189 ФЛ с объемом камеры 0,3 л\*. Количество активирующей смеси во флотомашину подавали с шагом 0,5 до 2,5 % от массы порошка. Эффективность того или иного реагента оценивали по выходу гидрофобной фракции (пенного продукта). В качестве ПАВ использовали различные отходы промышленного производства – реагенты-гидрофобизаторы: погоны дезодорации (смесь жирных кислот) марки ЖК-1, пенообразователь ПО-1, олеат натрия, фосфатид). Флотацию неактивированного и активированного минерального порошка вели до истощения пены. Отношение твердого к жидкому в пульпе при флотации составляло Т : Ж = 1:4. Температуру пульпы поддерживали около 20 °С.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что гидрофобность поверхности активированного минерального порошка влияет на выход пенного продукта при флотации. При этом время флотации минерального порошка для каждого исследуемого реагента было разным. Флотация активиро-

\* Технологические исследования по флотации выполнялись с участием студента кафедры «Обогащение полезных ископаемых» М.А. Филиппова.

ванного минерального порошка с применением реагентов-гидрофобизаторов (ЖК-1 и ПО-1) осуществлялась в среднем от 0,2 до 0,5 ч, общее время определения степени гидрофобности минерального порошка с учетом флотации, сушки пенного продукта и выполнения расчетов составило от 0,6 до 0,9 ч.

Масса пенного продукта при использовании исследуемых реагентов-гидрофобизаторов имела наибольшие значения при расходе ПАВ 1,0–2,5 % от массы МП. Вместе с тем отмечено, что неактивированный порошок был частично гидрофобизирован и при его флотации без дозирования ПАВ масса пенного продукта имела начальное значение, причем различное для исследуемых проб МП. Проведенные исследования по флотации минерального порошка помогли выявить взаимосвязь гидрофобности минеральной поверхности с выходом пенного продукта при последующей флотации.

Для определения количественного показателя степени гидрофобности активированного минерального порошка использовали следующее выражение [1]:

$$\Gamma = M_1/M, \quad (1)$$

где  $M_1$  – масса сфлотированного минерального порошка, г;  $M$  – общая масса исследуемого минерального порошка, направляемого во флотокамеру, г.

Полученные значения степени гидрофобности минерального порошка, рассчитанные с помощью выражения (1), подтверждаются показателями флотации при различном расходе реагента-гидрофобизатора.

График зависимости степени гидрофобности минерального порошка из вскрышных пород Мазульского известнякового рудника от расхода гидрофобизатора представлен на рис. 3.

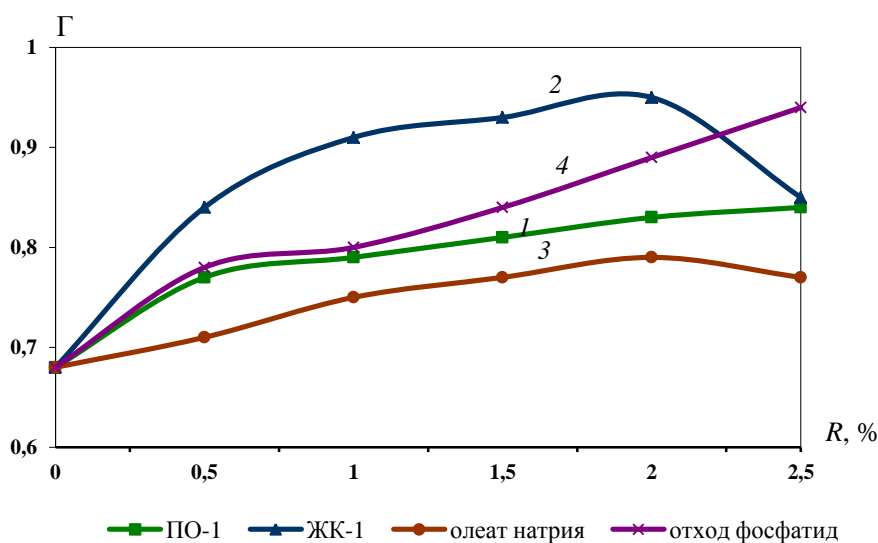


Рис. 3. Изменение степени гидрофобности МП из известняка Мазульского рудника в зависимости от расхода ПАВ

Как видно из полученных данных, характер зависимостей выхода от используемых реагентов идентичен: увеличение расхода реагентов способствует

увеличению выхода пенного продукта флотации. Наиболее эффективно применение реагента марки ЖК-1. Расход этого реагента до 0,5 % обеспечил увеличение выхода пенного продукта на ~15,5 % (с 68,2 до 83,8 %). При этом была достигнута степень гидрофобности МП 0,96 ед. при расходе реагента ЖК-1 от 1 до 1,5 %.

В качестве другого объекта исследований по гидрофобности был изучен минеральный порошок ОАО «Красноярский химико-металлургический завод» (ОАО «КХМЗ»). Характер изменения технологических показателей флотации известняка Красноярского химико-металлургического завода аналогичен зависимостям, полученным при флотации минерального порошка Мазульского известнякового рудника ОАО «РУСАЛ Ачинск». На основании полученных результатов по пенной флотации минерального порошка ОАО «КХМЗ» была определена степень гидрофобности данного объекта исследований и построен график зависимости изменения степени гидрофобности минерального порошка известняка ОАО «Красноярского химико-металлургического завода» от расхода гидрофобизатора, представленный на рис. 4. Результаты экспериментов по пенной флотации активированного минерального порошка ОАО «КХМЗ» свидетельствуют о том, что выход пенного продукта увеличивается с повышением расхода гидрофобизатора.

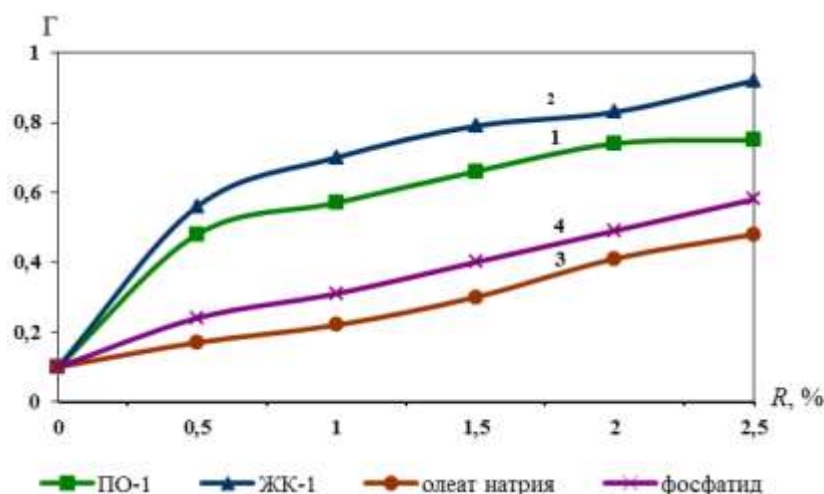


Рис. 4. Изменение степени гидрофобности МП из известняка ОАО «КХМЗ» в зависимости от расхода ПАВ

У минерального порошка из известняка Красноярского химико-металлургического завода флотационные свойства ниже: максимальный выход пенного продукта имеет величину ~91,0 % при дозировке реагента ЖК-1 до 2,5 %. При этом степень гидрофобности данной пробы МП составила 0,78 ед.

Природно-гидрофобные свойства у минерального порошка из вскрышных пород Мазульского известнякового рудника выше, чем у известняка Красноярского химико-металлургического завода. Так, выход при флотации минерального порошка из вскрышных пород Мазульского известнякового

рудника без реагента составил 68,3 %, а при флотации минерального порошка Красноярского химико-металлургического завода соответственно 10,3 %.

Из исследованных реагентов наиболее эффективным ПАВ показал себя отход масложирового производства – погоны дезодорации марки ЖК-1. Максимальный выход пенного продукта, а следовательно и максимальная гидрофобизация минерального порошка, достигается при использовании минерального порошка из вскрышных пород Мазульского известнякового рудника и ПАВ марки ЖК-1.

Результаты проведенных исследований позволили ООО «ДПМК «Ачинская» обеспечить выпуск промышленных партий активированного минерального порошка, полученного из вскрышных пород Мазульского известнякового рудника с применением в качестве активатора отходов масложирового производства – погонов дезодорации марки ЖК-1. Испытания, проведенные в строительной лаборатории данного предприятия, показали, что этот минеральный порошок может эффективно применяться для приготовления асфальтобетонной смеси. Физико-механические свойства плотной мелкозернистой асфальтобетонной смеси тип А марка 1 с активированным минеральным порошком приведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси тип А марка 1

№ п/п	Наименование показателей	Требования ГОСТ 9128–09	Фактические показатели
1	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Не нормируется	2,57
2	Пористость минерального остова, % об.	14–19	18,8
3	Остаточная пористость, % об.	2,5–5,0	4,3
4	Водонасыщение, % об.	2,0–5,0	2,1
5	Прочность при сжатии, МПа, не менее: при 20 °С при 50 °С	2,5	2,74
		1,0	1,53
6	Водостойкость, не менее	0,9	0,94
7	Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,85	0,89
8	Сдвигоустойчивость: коэффициент внутреннего трения, не менее сцепление при сдвиге при 50 °С, МПа, не менее	0,87	0,93
		0,25	0,29
9	Трещиностойкость при 0 °С, МПа	3,5–6,0	3,62

Анализ результатов испытаний образцов минерального порошка и мелкозернистой асфальтобетонной смеси, взятых из асфальтобетонного покрытия, показал, что активированный минеральный порошок по своим показателям соответствует требованиям ГОСТ Р 52129–2003.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Известные методы определения гидрофобности минерального порошка по ГОСТ Р 52129–2003 в отличие от предлагаемой методики не могут

оценить количественный показатель степени гидрофобности и сильно зависят от субъективного фактора. При этом определение гидрофобности методом свободного флотирования осуществляется в течение длительного времени. Применение предлагаемой методики определения степени гидрофобности минерального порошка с использованием пенной флотации достаточно легко осуществимо в лаборатории и сокращает время определения гидрофобности с 24 до 0,25–0,5 ч.

2. Изменение гидрофобных свойств минерального порошка может быть достигнуто в результате его физико-химической активации ПАВ, приготовленными из отходов производства. Получение количественного показателя степени гидрофобности минерального порошка на основании результатов его пенной флотации обеспечивает возможность определения оптимальной дозировки активирующего реагента на практике. Исследованиями установлено, что оптимальная степень гидрофобности для изучаемых проб минерального порошка из вскрышных пород Мазульского известнякового рудника обеспечивается при расходе реагента на основе отходов масложирового производства марки ЖК-1 от 1 до 1,5 %.

3. Исследования физико-механических свойств асфальтовяжущего на минеральном порошке, активированном погонями дезодорации марки ЖК-1, показали изменение в структурообразовании асфальтовяжущего, выразившееся в более длительной водостойкости асфальтобетона на минеральном порошке, активированном погонями дезодорации марки ЖК-1. Кроме того, применение дорожной одежды из щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием активированного минерального порошка позволило улучшить шероховатость покрытия и обеспечить требуемые значения коэффициента сцепления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Исследование гидрофобности активированного минерального порошка с применением пенной флотации* / Н.Н. Бочков, Н.К. Алгебраистова, И.И. Шепелев, А.М. Жижаев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 2. – С. 194–203.
2. *Шепелев, И.И.* Применение отходов глиноземного производства с целью улучшения эксплуатационных свойств дорожных смесей / И.И. Шепелев, А.М. Жижаев, Н.Н. Бочков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 1. – С. 182–193.
3. *Абрамов, А.А.* Флотационные методы обогащения / А.А. Абрамов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГГУ «Горная книга», 2008. – 710 с.

#### REFERENCES

1. *Bochkov N.N., Algebraistova N.K., Shepelev I.I., Zhyzhaev A.M.* Issledovanie gidrofobnosti aktivirovannogo mineral'nogo poroshka s primeneniem pennoi flotatsii [Hydrophobic behavior of activated mineral powder with foam flotation]. *Vestnik TSUAB*. 2015. No. 2. Pp. 194–203. (rus)
2. *Shepelev I.I., Zhyzhaev A.M., Bochkov N.N.* Primenenie otkhodov glinozemnogo proizvodstva s tsel'yu uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv dorozhnykh smesei [Alumina production waste used to improve inorganic cement service properties]. *Vestnik TSUAB*. 2015. No. 1. Pp. 182–193 (rus)
3. *Abramov A.A.* Flotatsionnye metody obogashcheniya [Flotation methods of processing]. Moscow : Sholokhov Moscow State University for Humanities Publ., 2008. 710 p. (rus)