

УДК 624.131

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ РАДИОИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ В ПАСТАХ И ШЛАМАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д.

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Томск,  
e-mail: odluk@yandex.ru

Актуальность работы связана с имеющимися затруднениями в использовании отдельных многотоннажных отходов и побочных продуктов промышленности в виде паст, шламов, мастик в дорожном строительстве, обусловленными нестабильностью их состава. Целью исследования являлась разработка метода оперативного контроля содержания минеральной составляющей в пастах, шламах, мастиках для мгновенного реагирования на процесс дозирования этих материалов, что очень важно в связи с их нестабильным составом. Изложены результаты работ по определению возможности контроля концентрации минеральных примесей в пастах и шламах с использованием радиоизотопного метода. Приведена принципиальная схема устройства для контроля зольности паст и шламов радиоизотопным методом. Экспериментальные исследования выполнены с использованием пастообразного вещества – сланцевых фусов, содержащих различное количество минеральных примесей. Получен график зависимости скорости регистрируемых импульсов от содержания минеральных примесей в пастообразном веществе – сланцевых фусах. Проведено сравнение точности определения содержания минеральных примесей в фусах методом радиоизотопного контроля и традиционным методом. Результаты исследования показали, что радиоизотопный метод обеспечивает необходимую для практических целей степень точности определения содержания минеральной составляющей в пастах и шламах при их использовании в дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** радиоизотопы,  $\gamma$ -излучение, шламы, пасты, фусы, минеральные примеси, горючие сланцы, асфальтобетонная смесь, органоминеральные смеси

## MINERAL IMPURITY CONTENT DETECTED BY RADIOISOTOPIC METHOD IN PASTES AND SLIMES APPLIED IN ROAD CONSTRUCTION

Lukashevich V.N., Lukashevich O.D.

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, e-mail: odluk@yandex.ru

The relevance of this paper is connected with difficulties in utilization of large tonnage industrial wastes and byproducts due to their unstable composition. These wastes represent pastes, slimes and resins applied in the road construction field. This paper aims to design a method of operational control for the concentration of mineral impurities in these wastes for the immediate response to their batching which is very important in the case of unstable composition. The paper demonstrates the detection of the impurity concentration in pastes and slimes using the radioisotopic method. The block diagram is suggested for the radioisotopic control device used for measuring the ash content in pastes and slimes. The presented experiments utilize a pasty substance, namely shale-based sludge comprising different content of mineral impurities. The dependence is plotted for the count rate and the content of mineral impurities in a pasty substance or shale-based sludge. Traditional and radioisotopic methods were used to compare accuracy of mineral components and oil shale concentration. Research results show that the radioisotopic method provides the appropriate accuracy level for measuring the concentration of the mineral component in pastes and slimes. The proposed approach can be successfully used in the road-building industry.

**Keywords:** radioisotope,  $\gamma$ -radiation, slime, paste, sludge, oil shale, bituminous concrete mixture, organo-mineral admixture

Использование твердых промышленных отходов в дорожно-строительной отрасли – актуальная проблема современности. Вместе с тем к строительным материалам и конструкциям предъявляются все более жесткие требования по качеству, по эксплуатационным свойствам, по долговечности. Отходы и побочные продукты промышленности являются преимущественно неоднородными и многокомпонентными системами, применение которых в строительстве может повлечь за собой изменения показателей технологических и физико-механических свойств материалов, изготавливаемых с их применением. Для исключения отклонений показателей технологических и фи-

зико-механических свойств строительных материалов от заданных значений необходимо знать точный состав используемого отхода или побочного продукта и обеспечить его дозирование в соответствии с этим составом.

Исследования проводились на высокотоннажных отходах сланцеперерабатывающей промышленности – сланцевых фусах. Сланцы – горная порода осадочного (аквагенного) происхождения, представляющая уплотненную смесь органических (50–60%) и минеральных (50–40% кварца, кальцита, доломита и др.) компонентов сложного состава. Процесс формирования этой горной породы связан с метаморфизмом ила (са-

пропеля). Горючие сланцы распространены достаточно широко, самыми значительными (70%) запасами обладает Северная Америка [1]. Запасы горючих сланцев в России превышают 1 914 880 млн тонн, в которых содержится более 167 830 млн тонн сланцевой смолы [2].

При переработке сланцев в газ и сланцевую смолу [3] образуются отходы – пастообразная смесь, содержащая сланцевую смолу, 15–80% минеральных примесей, 5–10% (мас.) воды. Ранее была показана перспективность их использования в качестве наполнителя в сырьевой смеси для получения материалов дорожных покрытий [2, 3]. В данной работе приведены результаты исследования возможности экспресс-анализа содержания минеральных примесей в отходах и побочных продуктах, образующихся в результате переработки нефти, каменных углей, горючих сланцев (в нефтяных шламах, пастах, сланцевых, каменноугольных и битумных фусах). Поскольку эти материалы содержат масла, смолы, битумы, они могут успешно применяться в строительной отрасли для модифицирования поверхностей минеральных материалов, снижения пористости и битумоемкости порошкообразных отходов промышленности и для других целей.

**Цель исследования** – разработка метода оперативного контроля содержания минеральной составляющей в пастах, шламах, мастиках для быстрого реагирования на процесс дозирования этих материалов, что очень важно в связи с их нестабильным составом.

**Материалы и методы исследования**

В экспериментах использовали фусы сланцеперерабатывающего завода «Сланцы».

Исследовались образцы фусов с разными концентрациями минеральных примесей: легкие, средние, тяжелые фусы (5–20%; 21–59%; 60–85% минеральных примесей соответственно).

Усредненные значения состава фусов показаны в таблице.

Представленные в таблице данные показывают, что сланцевые фусы представляют собой смеси из ор-

ганических соединений и диспергированных в их среде минеральных частиц, размер которых варьируется в широких пределах. Наиболее высокое содержание минеральных примесей характерно для тяжелых сланцевых фусов. Их состав соответствует требованиям, предъявляемым к порошкообразным отходам промышленности, используемым в качестве минерального порошка для приготовления асфальтобетонных смесей.

Для разработки методики радиоизотопного контроля содержания минеральных примесей в сланцевых фусах был использован метод прямого просвечивания объекта узким пучком гамма-излучения. При прохождении через материал образца часть гамма-квантов взаимодействует с этим материалом. В результате взаимодействия происходит поглощение либо рассеивание гамма-квантов средой. Зная интенсивность первичного излучения и интенсивность пучка, прошедшего через материал, можно судить о вещественном составе материала. Для определения зольности сланцевых фусов строят график зависимости скорости счета импульсов от содержания минеральных частиц.

Схема устройства для проведения эксперимента приведена на рис. 1.

В качестве источника излучения был взят Цезий-137, который широко используется в гамма-дефектоскопии, в радиационной технологии, в радиобиологических экспериментах. Его основные виды излучения – β-бета ( $E_{\beta}^{max} = 1173$  кэВ) и γ-гамма ( $E_{\gamma} = 661$  кэВ). По сравнению с Кобальтом-60 его использование предпочтительнее в связи с более длительным периодом полураспада и менее жестким гамма-излучением. Этим объясняется, что приборы на основе Цезия-137 долговечнее, а обеспечение защиты от излучения не слишком громоздкое по техническим средствам. Активность источника с Цезием-137 составляла  $10^8$  Бк. Детектором служил газоразрядный счетчик СТС-6. Устройством для регистрации служил счетный прибор одноканальный ПСО-4, укомплектованный устройством для печати БЗ-15. В качестве объектов исследования использовали сланцевые фусы с разным содержанием минеральных примесей, предоставленные ОАО «Завод «Сланцы»». Исследуемые образцы фусов закладывали в кювету из инертного материала кубической формы (со стороной 70 мм). Пропускание гамма-излучения через образцы проводили в геометрическом центре куба с двух установок (по четыре измерения на каждую установку) так, чтобы был произведен контроль в двух направлениях. Количество импульсов, прошедших через материал, суммировали за 100 секунд.

Состав и свойства сланцевых фусов

Показатели состава фусов	Средние значения показателей состава фусов (% мас.)		
	легких	средних	тяжелых
Содержание минеральных веществ, в том числе: – с размером частиц 0,070–1,000 мм – с размером частиц менее 0,070 мм	5 ± 1	10 ± 2	13 ± 2
	5 ± 1	17 ± 3	40 ± 7
Содержание смолы	75 ± 5	50 ± 5	20 ± 5
Содержание воды	5 ± 1	7 ± 2	10 ± 2
Количество органических соединений, адсорбированных минеральными веществами фусов	10 ± 1	18 ± 2	17 ± 2

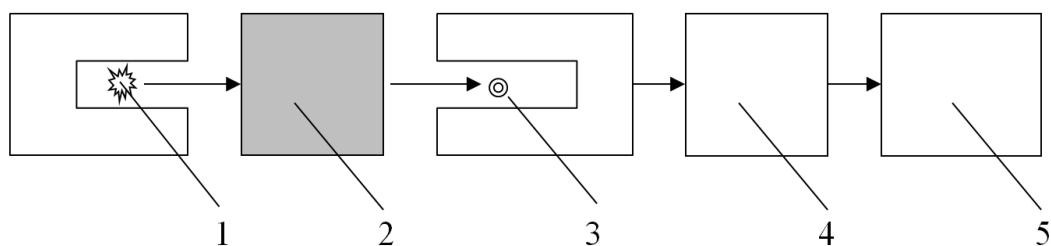


Рис. 1. Схема устройства для определения зольности (содержания минеральных веществ) в сланцевых фусах: 1 – источник излучения; 2 – кювета с образцом; 3 – детектор; 4 – регистратор; 5 – устройство для печати БЗ-15

### Результаты исследования и их обсуждение

Главными компонентами сланцевых фусов являются сланцевая смола, минеральные примеси и вода. Для определения количества сланцевой смолы в фусах достаточно знать содержание в них минеральных примесей (зольность сланцевых фусов), поскольку они содержат лишь незначительное количество воды. Для оценивания количества минеральных примесей в шламах, пастах, фусах могут быть использованы несколько физических либо физико-химических методов и способов их реализации [4, 5]. Чаще всего определение концентрации минеральных примесей в фусах производится путем их рассеивания в среде растворителя. Однако для того, чтобы определить содержание минеральных примесей этим методом, требуется довольно много времени. Это неприемлемо, поскольку, например, при приготовлении асфальтобетонных смесей необходимо четко знать зольность именно той порции сланцевых фусов, которая подается в данный момент в смесительную установку. Следовательно, основным требованием, предъявляемым к методу контроля концентрации минеральных примесей в фусах, является то, что этот показатель должен быть оценен предельно быстро. Радиоизотопный метод контроля является одним из методов, отвечающих этому требованию. Кроме соответствия данному требованию, этот метод имеет еще ряд преимуществ, к которым можно отнести возможность дистанционного контроля, быстродействие регистрирующих устройств, высокую точность, возможность подключения к автоматизированным системам управления и др. [6–8].

В результате проведенных экспериментальных исследований была получена зависимость скорости счета регистрируемых импульсов от концентрации минеральных

примесей в сланцевых фусах, представленная на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что, в зависимости от содержания неорганических веществ (зольности), образцы фусов проявляют способность отражать и пропускать разное количество гамма-квантов за одинаковое время. Это позволяет с довольно высокой точностью определять зольность фусов. Как показано в диссертационном исследовании [3], относительная погрешность калибровочной зависимости включает статистическую, методическую и приборную компоненты. В данном эксперименте статистическая и приборная погрешности были менее 3%. Это достигалось благодаря учету геометрических характеристик при размещении кюветы с исследуемым образцом и подбором активности источника.

Так, изменение скорости счета происходило от 100 до 150 имп/с, что обеспечивало относительную статистическую погрешность, не превышающую 1%. Наблюдался небольшой разброс экспериментальных точек. Это связано с такими факторами, как различия в структурных особенностях исследуемых образцов при пропускании гамма-лучей в разных направлениях, отклонения в толщине стенок кювет и др.

Проведено сравнение точности определения содержания минеральных примесей в фусах методом радиоизотопного контроля и известным методом. Для этого точные навески образцов фусов сначала анализировали с использованием радиоизотопного метода на описанном выше устройстве (рис. 1) для определения зольности. Затем их обрабатывали растворителями в отдельных емкостях, чтобы отделить органические вещества от неорганических. Полученный минеральный порошок после этого просушивали и взвешивали на аналитических весах. Установлена высокая сходимость результатов.

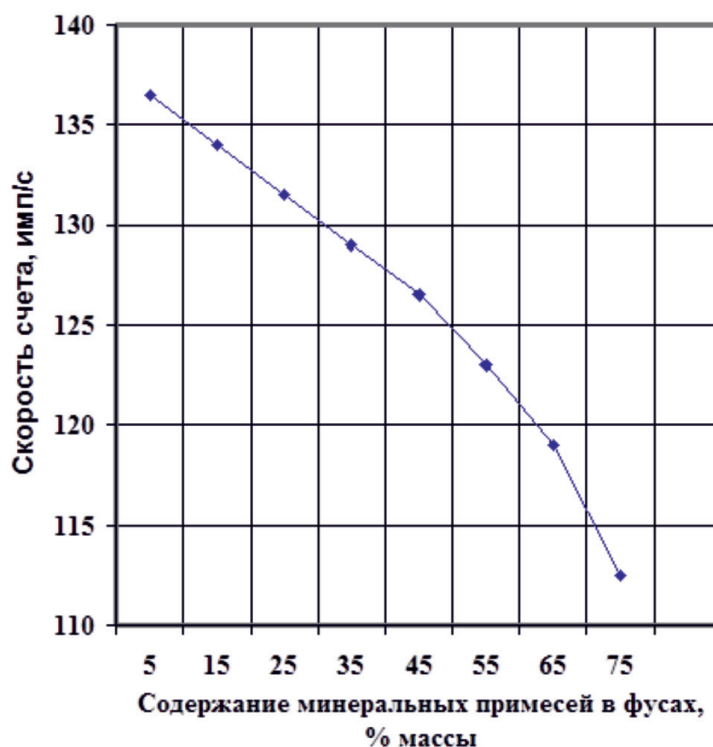


Рис. 2. Зависимость счета регистрируемых импульсов от содержания минеральных примесей в фусах

На основе разработанной методики экспресс-анализа определения зольности сланцевых фусов была проведена серия экспериментов с целью разработки технологии приготовления асфальтобетонных смесей с использованием техногенного и природного сырья [2, 3, 9]. Показано, что при прочих идентичных технологических условиях использование именно тяжелых фусов при их точном дозировании позволяет получить наилучший результат.

Показано, что сланцевые фусы могут быть успешно использованы как альтернатива минеральному порошку в битумо-минеральных смесях [3], однако при этом необходимо очень точно контролировать содержание их компонентов, поскольку избыточное количество в фусах сланцевой смолы снижает вязкость нефтяного битума, что отрицательно скажется на водостойкости асфальтобетонного покрытия, приведет к уменьшению его сдвигоустойчивости.

Использование сланцевых фусов в качестве активных компонентов асфальтобетонных смесей позволяет интенсифицировать адгезию нефтяного битума к поверхности минеральных материалов, ингибировать процессы старения асфаль-

тобетонных покрытий, повышает эластичность покрытия при низких температурах, а также уменьшает процесс растрескивания, что обеспечивает долговечность эксплуатации дороги.

#### Выводы

Экспериментальные исследования, проведенные на примере сланцевых фусов, подтвердили, что радиоизотопный метод обеспечивает необходимую для практических целей точности определения содержания минеральных примесей в пастах и шламах. Показана возможность его использования для осуществления оперативного контроля зольности этих материалов при их утилизации в строительстве, например при приготовлении асфальтобетонных смесей, различных антикоррозийных покрытий. Метод прост, не требует громоздкого и сложного оборудования, позволяет автоматизировать процесс контроля содержания минеральных примесей и связать его с процессом подачи и дозирования. Апробация предложенной методики проведена в рамках комплексного исследования, направленного на усовершенствование технологии приготовления асфальтобетонных

смесей, показавшего целесообразность применения сланцевых фусов для комплексного модифицирования поверхности минеральных материалов при подготовке битумоминеральных смесей для дорожных покрытий.

#### Список литературы

1. Oil Shale Reserves – The Daily Reckoning. URL: <https://dailyreckoning.com/oil-shale-reserves> (accessed 20.12.2017).
2. Лукашевич В.Н., Ефанов И.Н. Адгезия вяжущего при строительстве асфальтобетонных покрытий, дисперсно армированных волокнами из отработанных сорбентов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 221–230.
3. Лукашевич В.Н. Технология производства асфальтобетонных смесей, оптимизированная по критерию прочностных свойств асфальтобетона: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Томск, 2001. – 315 с.
4. Назаренко М.Ю., Бажин В.Ю., Салтыкова С.Н., Коновалов Г.В. Изучение физико-химических свойств горючих сланцев // Кокс и химия. – 2014. – № 3. – С. 44–49.
5. Назаренко М.Ю., Кондрашова Н.К., Салтыкова С.Н. Исследование продуктов пиролиза горючих сланцев // Кокс и химия. – 2015. – № 4. – С. 38–42.
6. Identification of radioactive sources and devices: technical guidance, reference manual // Vienna: International Atomic Energy Agency. – 2006. – 154 p.
7. Regimand A. A nuclear density gauge for overlays of asphalt concrete // Transportation research record 1126. URL: <http://worldcat.org/isbn/0309045177> (accessed 20.12.2017).
8. Suvorova D., Khudonogova E., Revenko A. X-Ray fluorescence determination of Cs, Ba, La, Ce, Nd and Ta concentration in rocks of various composition // X-Ray Spectrometry. – 2017. – Т. 46, № 3. – P. 200–208.
9. Лукашевич В.Н., Погорелый А.В. Увеличение срока службы дорожных покрытий за счет дисперсного армирования и двухстадийной технологии приготовления асфальтобетонных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2001. – № 2. – С. 45–51.