

## РАЗДЕЛ III

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 625.855.3

### ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДМИНЕРАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ АСФАЛЬТОБЕТОНА

В.Д. Галдина<sup>1</sup>, Е.В. Гурова<sup>1</sup>, О.И. Кривонос<sup>2</sup>, М.С. Черногородова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «СибАДИ» Россия, г. Омск.

<sup>2</sup>Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Россия, г. Омск.

***Аннотация.** Изучены физико-химические свойства горючего сланца Оленекского месторождения, физико-механические свойства щебня, песка и минерального порошка, полученных из углеродминеральных продуктов горючего сланца. Обоснована возможность использования углеродминеральных продуктов в качестве сырья для получения заполнителей и наполнителей асфальтобетонных смесей. Горячие плотные асфальтобетоны на основе щебня и минерального порошка из углеродминеральных продуктов характеризуются достаточно высокими показателями прочности, водостойкости, трещиностойкости и сдвигоустойчивости, соответствуя по комплексу физико-механических свойств техническим требованиям ГОСТ 9128.*

***Ключевые слова:** асфальтобетон, горючие сланцы, заполнители и минеральный порошок для асфальтобетона, углеродминеральные продукты.*

#### **Введение**

Месторождение кембрийских горючих сланцев, расположенное на севере Республики Саха (Якутия) в бассейне р. Лена, занимает площадь примерно 130 – 135 тыс. км<sup>2</sup> и имеет потенциальные запасы около 500 млрд т. Наибольший промышленный интерес представляют отложения куаномской свиты в бассейне р. Оленек с толщиной пласта от 8 до 12 м [1]. Горючий сланец – это комплексное горючее органоминеральное полезное ископаемое, используемое для получения химических продуктов путем термического разложения, производства тепло- и электроэнергии при сжигании (кероген) и строительных материалов (минеральная часть) [2].

Подробное изучение горючих сланцев Оленекского месторождения различными инструментальными методами для оценки их химико-технологических свойств выполнено в работе [3]. Показано, что исследуемые горючие сланцы являются малосернистыми, имеют среднее содержание органического вещества (керогена), по количественному выходу смолы относятся к группе смоляных, по теплоте сгорания – к среднекалорийному виду топлива. На основании проведенных исследований рекомендовано дальнейшее

проведение работ, направленных на решение проблемы технологического использования горючих сланцев как твердого топлива.

Однако современные подходы к переработке твердых горючих ископаемых основываются на комплексном использовании как органической, так и минеральной составляющих горючих сланцев. Для разработки эффективных методов комплексного использования горючих сланцев необходимы знания о количестве, химической природе и строении керогена, о составе минеральной части, а также сведения об изменениях, которые происходят в сланцах при термическом воздействии. При оценке возможности применения горючих сланцев и твердых продуктов их термической переработки для получения заполнителей и наполнителей асфальтобетонов существенное значение имеют содержание керогена, химический, минеральный составы и физико-механические свойства неорганической части. Горючие сланцы при невысоком содержании керогена целесообразно использовать для получения заполнителей и наполнителей асфальтобетонных смесей [4]. Исследованиями [5,6] установлено, что применение углеродсодержащего

минерального порошка взамен известнякового способствует повышению усталостной долговечности и коррозионной устойчивости асфальтобетона.

Учитывая значительные запасы и физико-химические свойства горючих сланцев Оленекского месторождения, весьма перспективным направлением является использование горючих сланцев и твердых продуктов их термической переработки в качестве сырья для получения минеральных компонентов асфальтобетонных смесей [7,8].

### Постановка задачи и ее решение

Цель работы – обоснование возможности применения углеродминеральных продуктов (УМП) горючих сланцев в качестве сырья для получения заполнителей и наполнителей асфальтобетонных смесей и изучение физико-механических свойств асфальтобетонов на их основе.

Образцы горючего сланца Оленекского месторождения куаномской свиты были отобраны в 4 км вверх по течению р. Чомордах и предоставлены для изучения Институтом проблем нефти и газа СО РАН г. Якутска. Исследования проводились ФГБОУ ВПО «СибАДИ» и ФГБУН ИППУ СО РАН в рамках междисциплинарного Интеграционного проекта СО РАН № 78 «Горючие сланцы: условия образования, состав и свойства наноструктурированных органических и минеральных компонентов, создание интегрированных процессов переработки». Физико-химические свойства горючих сланцев и их углеродминеральных продуктов определяли на приборах регионального центра коллективного пользования Омского научного центра СО РАН.

Фазовый состав минеральной части исследовали на дифрактометре D8 Advance фирмы «Bruker» в параллельном  $\text{Cu-K}_\alpha$  излучении с  $\beta$  - фильтром в интервале углов  $2\theta$  от 50 до 800 (шаг сканирования 0,1°, время интегрирования сигнала 7 sec/step). Расшифровку полученных данных осуществляли с использованием баз ICDD и PDF-2.

Элементный состав органического вещества определяли на CHNOS – элементном анализаторе Vario EL Cube фирмы «Elementar analysensysteme GmbH».

Термический анализ горючих сланцев проводили на приборе совмещенного термического анализа STA-449C фирмы «Netzsch».

Физико-механические свойства щебня, песка и минерального порошка из горючих сланцев и УМП определяли согласно ГОСТ

8269.1, ГОСТ 8735, ГОСТ Р 52129, удельную поверхность минерального порошка – на приборе ПСХ-12SP. Изготовление асфальтобетонных смесей, образцов из них и испытание асфальтобетонов проводили по ГОСТ 12801.

Горючие сланцы представляют собой осадочную породу слоистой текстуры, плотной структуры серого, серовато-коричневого, иногда черного цвета. Исследование физико-механических свойств горючих сланцев показало, что их средняя плотность составляет 2420 – 2460 кг/м<sup>3</sup>, пористость около 2 % об., твердость по шкале Мооса от 5 до 7 баллов, прочность при сжатии в направлении, перпендикулярном сланцеватости – от 30 до 40 МПа.

По данным [2] горючий сланец имеет следующий элементный состав, мас. %: С – 18,5; О – 48,4; Na – 0,4; Mg – 0,5; Al – 4,6; Si – 13,4; S – 3,5; K – 3,0; Fe – 7,7. Минеральная часть горючих сланцев состоит из алюмосиликатных минералов, кварца в смеси с алюмосиликатами, железо присутствует в виде пирита или сульфатов, в незначительном количестве присутствуют карбонаты магния.

Содержание керогена сапропелевой природы составляет в породе около 10 % мас. Кероген содержит, % мас.: С – 74,9; Н – 8,5; S – 2,4; (N + O) – 14,2. По сравнению с другими твердыми горючими ископаемыми органическое вещество горючих сланцев отличается повышенным содержанием водорода, более низким соотношением С/Н и лучшей способностью переходить в жидкие и газообразные продукты при термическом разложении. Водород – второй по важности после углерода теплотворный элемент, который играет существенную роль в энергетическом потенциале керогена. В жидкие и газообразные продукты при термической переработке переходят, в основном, кислород, сера и азот.

Термогравиметрические кривые горючего сланца представлены на рисунке 1. Потеря массы образца, наблюдающаяся при температуре до 200 °С, связана с испарением адсорбированной влаги. Наиболее значительная потеря массы образца 44 % происходит в интервале температур 300 – 550 °С. Это обусловлено деструкцией керогена с выделением летучих продуктов и формированием полукокса. На кривой ДТГ при температурах 400 – 460 °С отмечается резкое увеличение скорости потери массы. Повышение температуры до 550 °С приводит к резкому снижению скорости потери массы,

что связано с практически полным завершением деструкции керогена. Начальная температура разложения керогена составляет 405, конечная – 530 °С, температура максимальной скорости разложения равняется 464 °С. При повышении температуры выше 530 °С отмечается дальнейшая незначительная потеря массы сланца за счет диссоциации

карбоната магния при 540 – 710 °С, превращения кварца при переходе из  $\alpha$ - в  $\beta$ -модификацию, дегидратации алюмосиликатов. Изменение потери массы (2,8 %) и скорости потери массы при температурах 600 – 1000 °С указывает на термическую инертность минеральной части горючего сланца при этих температурах.

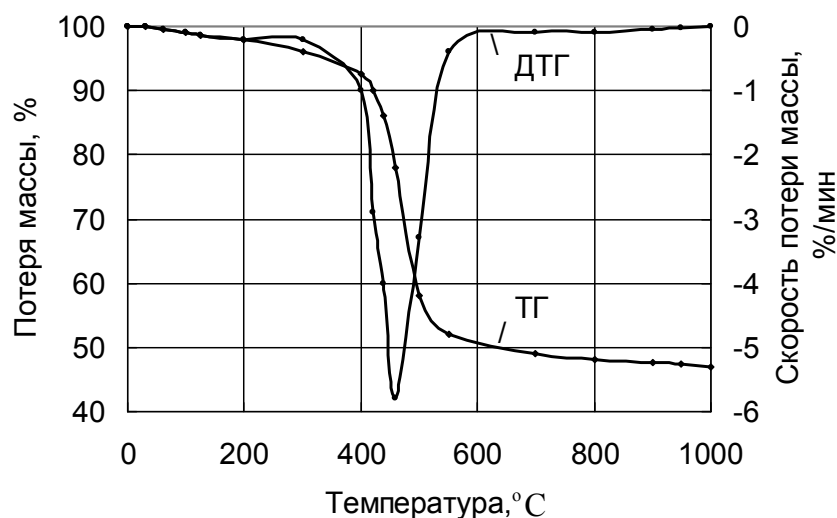


Рис. 1. Термогравиметрические кривые горючего сланца:  
ТГ – потеря массы; ДТГ – скорость потери массы

С учетом данных термического анализа УМП горючих сланцев получали из кусков породы крупностью 70 – 120 мм в реакторе с электрообогревом при температуре 400 – 500 °С. В процессе полукоксования выход смолы составил 5,6, твердых продуктов 74,9; газообразных продуктов – 19,5 % мас. на сухое вещество. Содержание углерода в УМП составило 8,96 % мас.

Из углеродминеральных продуктов на лабораторной щековой дробилке были получены щебень и отсев от дробления. В результате определения физико-механических свойств минеральных материалов из УМП, сравнения этих свойств с требованиями нормативных документов к щебню и песку для асфальтобетонных и органоминеральных смесей и со свойствами щебня и песка из исходной горной породы [7] установлено:

1) после термической обработки горючих сланцев истинная плотность щебня повысилась с 2490 до 2540 кг/м<sup>3</sup>, пористость увеличилась с 2,0 до 5,14 % об.,

водопоглощение – с 1,87 – 2,00 до 3,04 % об. Щебень фракций 10 – 20 мм и 5 – 10 мм имеет марки по дробимости соответственно М1000 и М1200, содержит незначительное количество пылевидных частиц. Однако щебень не соответствует требованиям ГОСТ 8267 и ГОСТ 9128 по содержанию зерен пластинчатой и игловатой формы (48,6 и 55 % мас.) вследствие сланцеватого строения исходной горной породы;

2) песок дробленый по всем показателям свойств удовлетворяет требованиям ГОСТ 31424 к песку повышенной крупности II класса.

Минеральный порошок получали из отсева в лабораторной планетарной мельнице при продолжительности измельчения до требуемой тонкости помола в течение 90 с. Свойства минерального порошка из УМП в сравнении со свойствами минеральных порошков из горючего сланца до термообработки и известнякового неактивированного марки МП-1 даны в таблице 1.

## СТРОИТЕЛЬСТВО. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Таблица 1 – Свойства минерального порошка

Показатель	Минеральный порошок			Требования ГОСТ Р 52129 – 2003 к минеральному порошку марки	
	из УМП	из горючих сланцев до термообработки	известня- ковый	МП-1 неактивированному	МП-2
Зерновой состав, % по массе: мельче 1,25 мм мельче 0,315 мм мельче 0,071 мм	100 96,4 89,6	100 93,7 81,4	100,0 99,7 80,3	He < 100 He < 90 70 – 80	He < 95 80 – 95 He < 60
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	445	420	407	He нормируется	
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2540	2490	2740	То же	
Средняя плотность при уплотнении под нагрузкой 40 МПа, кг/м <sup>3</sup>	1680	1690	1868	То же	
Пористость, % по объему	33,9	32,1	31,8	He > 35	He > 40
Показатель битумоёмкости, г/100 см <sup>3</sup>	62,3	50,5	61,8	He нормируется	
Набухание, % по объему	1,62	2,05	1,92	He > 2,5	He > 3,0
Коэффициент водостойкости	1,0	1,14	0,76	He нормируется	He < 0,7

Из данных таблицы 1 следует, что показатели дисперсности минерального порошка из УМП несколько выше, чем у минерального порошка из горючего сланца и известнякового. Пористости минеральных порошков отличается незначительно. Показатели битумоёмкости у минеральных порошков из УМП и известнякового практически одинаковы и выше, чем у минерального порошка из горючих сланцев до термообработки. Это обусловлено большей удельной поверхностью и содержанием в составе порошка из УМП дисперсных частиц углерода. По сравнению с известняковым минеральным порошком минеральный порошок из УМП характеризуется меньшим показателем набухания и более высокими коэффициентами водостойкости. Минеральный порошок из УМП по комплексу свойств отвечает требованиям ГОСТ Р 52129 к маркам МП-1 (минеральные порошки неактивированные из карбонатных горных пород и из битуминозных пород) и МП-2 (минеральные порошки из некарбонатных горных пород и техногенных отходов) и может быть использован в горячих и холодных плотных и пористых асфальтобетонах и органоминеральных смесях.

Свойства асфальтобетона, как многокомпонентного материала с коагуляционными микроструктурными

связями, в значительной степени зависят от характера взаимодействия минеральных материалов с битумом. Взаимодействие вяжущего и минеральных материалов проявляется в адсорбционных процессах, протекающих на границе их раздела. Эти процессы включают: физическую и химическую адсорбции, которые имеют место на границе раздела фаз «минеральный материал – битум»; избирательную диффузию компонентов битума в минеральный материал, что может вызвать существенное изменение свойств адсорбированного битума; изменение свойств минеральных материалов в результате их взаимодействия с битумом.

Минеральный порошок совместно с битумом образует структурированную дисперсную систему, которая выполняет функции вяжущего вещества в асфальтобетоне. Поэтому процессы взаимодействия битума с поверхностью порошка являются определяющими в формировании физико-механических свойств асфальтобетона. Структурирующее действие минерального порошка зависит от его минерального состава, пористости и тонкости помола, а также от свойств битума [9]. Адгезия битума к поверхности минеральных материалов из кислых пород обусловлена физической адсорбцией, которая обратима. Под действием воды битумная пленка

отслаивается с поверхности кислых материалов и асфальтобетоны на их основе, как правило, обладают низкой водостойкостью. При химической адсорбции, затрагивающей поверхностный мономолекулярный слой, компоненты битума вступают с поверхностью минерального материала в химическое взаимодействие с образованием нерастворимых в воде соединений. Поэтому минеральный порошок из карбонатных пород взаимодействует с анионами битума с образованием устойчивых адгезионных связей. Аналогичные процессы протекают и при взаимодействии битума с поверхностью щебня, полученного из кислых или карбонатных горных пород.

Минеральная основа горючих сланцев и УМП алюмосиликатная и кремнеземистая, что характеризует их как материалы кислой природы. Однако взаимодействие минеральных материалов с битумом в асфальтобетоне зависит не только от химического и минерального составов сырья, но и от наличия адсорбционных центров, которые определяют активность минеральной

поверхности по отношению к битуму и влияют на процессы структурообразования [10]. Наличие в составе горючих сланцев и УМП оксидов алюминия, сульфатов и сульфидов железа значительно повышает адсорбционную и химическую активность минеральной поверхности и приводит к возникновению на такой поверхности активных мест для адсорбции анионоактивных органических соединений битума, повышению структурирующей способности минерального порошка и физико-механических свойств асфальтобетона.

Составы горячих плотных мелкозернистых асфальтобетонных смесей типа Б прерывистой гранулометрии (табл. 2) были запроектированы с использованием щебня и минерального порошка из УМП горючих сланцев (составы 1 и 4). Асфальтобетоны контрольных составов включали щебень из сланцев до термообработки (состав 2) и гранитный щебень (состав 3). В качестве мелкого заполнителя использован природный песок с модулем крупности 2,1.

Таблица 2 – Составы горячих плотных асфальтобетонных смесей типа Б

Компонент	Содержание компонента, % мас., в составе			
	1	2	3	4
Щебень из твердых углеродминеральных продуктов горючих сланцев фракции 5 – 20 мм	45	-	-	-
Щебень из горючего сланца до термообработки фракции 5 – 20 мм	-	45	-	-
Щебень гранитный фракции 5 – 20 мм	-	-	45	-
Щебень известняковый фракции 5 – 20 мм	-	-	-	45
Песок природный	45	45	45	45
Минеральный порошок неактивированный марки МП-1	10	10	10	-
Минеральный порошок из твердых углеродминеральных продуктов горючих сланцев	-	-	-	10
Битум марки БНД 90/130	5,5	5	5	5

Асфальтобетонные смеси и образцы из них готовили при дозировании минерального порошка в смеситель после битума. Результаты испытания асфальтобетонов (табл. 3) показывают, что асфальтобетоны составов 1 – 3, изготовленные с известняковым минеральным порошком, имеют близкие показатели физико-механических свойств и соответствуют требованиям ГОСТ 9128 к III марке асфальтобетона типа Б для I дорожно-климатической зоны и ко II марке для II, III дорожно-климатических зон. Более высокие

показатели прочности и водостойкости имеет асфальтобетон на основе щебня из горючих сланцев до их термообработки. Следовательно, кероген улучшает смачиваемость и адгезию битумной пленки к зернам щебня из сланца, повышая прочность и водостойкость асфальтобетона. Относительно невысокие пределы прочности при сжатии и на растяжение при расколе, определенные при температуре 0 °С, указывают на достаточно высокую трещиностойкость исследованных асфальтобетонов.

Таблица 3 – Физико-механические свойства асфальтобетонов типа Б

Показатель	Состав асфальтобетона				Требования ГОСТ 9128-2013 к асфальтобетону типа Б для I / II, III дорожно-климатических зон	
	1	2	3	4	марки II	марки III
Пористость минеральной части, % об.	14,06	14,8	14,40	14,56	Не более 19,0	
Остаточная пористость, % об.	3,43	3,34	3,83	2,92	2,5 – 5,0	
Водонасыщение, % об.	2,41	2,85	2,73	1,56	1,5 – 4,0	
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2250	2260	2380	2403	Не нормируется	
Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре: 50 °С	0,95	1,05	0,95	1,35	Не менее	
					0,9 / 1,0	0,8 / 0,9
20 °С	2,25	2,45	2,20	2,60	Не менее	
					2,2	2,0
0 °С	5,50	7,55	6,50	7,10	Не более 10,0 / 12,0	
Сцепление при сдвиге, МПа	0,40	0,41	0,39	0,43	Не менее	
					0,31 / 0,35	0,29 / 0,34
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин, МПа	3,25	3,66	3,38	3,75	2,5 – 6,0 / 3,0 – 6,5	2,0 – 6,5 / 2,5 – 7,0
Коэффициент водостойкости	0,96	1,0	0,95	1,0	Не менее	
					0,90 / 0,85	0,85 / 0,75
Коэффициент длительной водостойкости	0,77	0,78	0,75	0,83	Не менее	
					0,85 / 0,75	0,75 / 0,65

Лучшее взаимодействие с битумом показывают карбонатные и основные горные породы за счет более интенсивных процессов физической и химической адсорбции на границе их раздела, а также избирательной фильтрации компонентов битума в поры минеральных зерен. Поэтому прочность и водостойкость асфальтобетона с известняковым щебнем и минеральным порошком из УМП горючих сланцев выше, чем у асфальтобетонов составов 1 – 3 (см. табл. 3). Такой асфальтобетон удовлетворяет требованиям ГОСТ 9128 к III марке асфальтобетона типа Б для I дорожно-климатической зоны и ко II марке для II, III дорожно-климатических зон.

**Заключение**

Горючие сланцы Оленекского месторождения относятся к плотной и прочной осадочной органоминеральной горной породе слоистой текстуры с бедным содержанием керогена и минеральной частью алюмосиликатного и кремнеземистого состава, по выходу смолы – к среднесмоляным. Углеродминеральные продукты горючих сланцев могут быть использованы для производства щебня,

песка и минерального порошка для асфальтобетонных смесей. Щебень из УМП имеет высокие марки по дробимости, но содержит повышенное количество (по сравнению с нормативными требованиями) зерен пластинчатой и игловатой формы вследствие сланцеватого строения исходной горной породы.

Минеральный порошок из УМП отвечает требованиям ГОСТ Р 52129 к маркам МП-1 (минеральные порошки неактивированные из карбонатных горных пород и из битуминозных пород) и МП-2 (минеральные порошки из некарбонатных горных пород и техногенных отходов).

Асфальтобетоны на основе щебня и минерального порошка из УМП горючих сланцев по комплексу физико-механических свойств соответствуют требованиям ГОСТ 9128 к III марке асфальтобетона типа Б для I дорожно-климатической зоны и ко II марке для II, III дорожно-климатических зон. Горячие плотные асфальтобетоны на основе заполнителей и наполнителей из УМП могут быть рекомендованы для строительства верхнего слоя асфальтобетонных покрытий на дорогах III технической категории (II марка)

и IV технической категории (III марка). Использование заполнителей и наполнителей из горючих сланцев и УМП в асфальтобетонах может дать значительный экономический эффект за счет замены кондиционных привозных каменных материалов местными материалами.

### Библиографический список

1. Стрижакова, Ю.А. Горючие сланцы. Генезис, составы, ресурсы / Ю.А. Стрижакова. – М.: Недра, 2008. – 192 с.
2. Зеленин, Н.И. Справочник по горючим сланцам / Н.Н. Зеленин, И.М. Озеров И.М. – Л.: Недра, 1983. – 248 с.
3. Патраков, Ю.В. Характеристика горючего сланца и богхеда Оленекского района Ленского бассейна / Ю.В. Патраков, Н.И. Федорова // Химия твердого топлива. – 2009. – № 3. – С. 3 – 8.
4. Руденская, И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1984. – 229 с.
5. Ковалев, Н.С. Исследование усталостной долговечности асфальтобетона с углеродсодержащим материалом при циклическом и динамическом нагружении / Н.С. Ковалев, Я.А. Быкова, Э.В. Труфанов. – Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит, 2008. – Вып. 12 (31). – С. 62-66.
6. Подольский, Вл.П. Коррозионная устойчивость асфальтобетонов с использованием минерального порошка из углеродсодержащих материалов / Вл. П. Подольский, А.В. Ерохин // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2008. – Вып. № 1 (9). – С. 149 – 152.
7. Галдина, В.Д. Пути использования горючих сланцев Оленекского месторождения в дорожном строительстве / В.Д. Галдина и др. – Архитектура. Строительство. Транспорт. Инновации: м-лы международного конгресса. – Омск: СибАДИ, 2013. – С. 40 – 44.
8. Галдина, В.Д. Исследование горючих сланцев как сырья для производства минеральных порошков / В.Д. Галдина, Е.В. Гурова // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки: материалы Международной научно-практической конференции. [Электронный ресурс] Электр. дан. – Омск: СибАДИ, 2014. – Кн.3. – С. 17 – 21. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/EPD994.pdf>
9. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горельшев, А.Я. Богуславский, И.В. Королев; под ред. Л.Б. Гезенцева. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
10. Ядыкина, В.В. Влияние активных поверхностных центров кремнеземсодержащих минеральных компонентов на взаимодействие с битумом / В.В. Ядыкина // Известия вузов. Стр-во. – 2003. – № 9. – С. 75 – 79.

### RESEARCH OF CARBON OF THE MINERAL PRODUCTS COMBUSTIBLE SLATES AS RAW MATERIALS FOR RECEPTION OF THE MINERAL COMPONENTS ASPHALT CONCRETE

V.D.Galdina, E.V. Gurova,  
O.I. Krivonos, M.S.Chernogorodova

**Abstract.** Physical and chemical properties of oil shale of the Oleneksky deposit, physicomachanical properties of rubble, sand and the mineral powder, received of carbon of the mineral products of oil shale are studied. Possibility of use of carbon of the mineral products as raw materials for reception of fillers and mineral powder asphalt concrete mixes is proved. Hot dense asphalt concrete on the basis of rubble and a mineral powder from of carbon of the mineral products are characterised by high enough indicators of durability, water resistance, firmness crack and stability shift, corresponding on a complex of physicomachanical properties to technical requirements of GOST 9128.

**Keywords:** asphalt concrete, combustibile slates, fillers and mineral powder for asphalt concrete, carbon of the mineral products.

### References

1. Strizhakova Yu.A. *Gorjuchie slantsi. Genesis, sostavy, resursy* [Oil shale. Genesis, composition, resources]. Moscow, Nedra, 2008. 192 p.
2. Zelenin N.I., Ozerov I.M. *Spravochnik po goruchim slantsam* [Director on oil shale]. Leningrad, Nedra, 1983. 248 p.
3. Patrakov Yu.F., Fedorova N.I. *Characteristica gorjuchikh slantsev i bogchedov Olenekskogo raiona Lenskogo basseina* [Characteristic of oil shales and bogched Oleneksky area of Lensky pool]. *Khimija tverdogo topliva*. 2009, no. 3, pp. 3 – 8.
4. Rudensky, I.M., Rudensky A.V. *Organicheskie vjazhushchie dlja dorozhnogo stroitel'stva* [Organic knitting for road building]. Moscow, Transport, 1984. 229 p.
5. Kovalev N.S., Bykova A.A., Trufanov E.V. *Issledovanie ustalostnoi dolgovechnosti asfal'tobetona s uglerodsoderzhshchim materialom pri tsiklicheskom i dinamichestkom nagruzhenii* [Study fatigue endurance asphalt carbon-based material for cyclic and dynamic loading]. *Vestnik VolgGASU. Serija Stroitel'stvo i architektura*, 2008, no. 12 (31), pp. 62 – 66.
6. Podolsky V.P., Erochin A.V. *Corrosionnaja ustoichivost' asfal'tobetona s ispol'zovaniem mineral'nogo poroshka iz uglerodsoderzhshchikh materialov* [Corrosion resistance of asphalt concrete with the use of mineral dust from carbon materials]. *Nauchny Vestnik VGASU. Serija Stroitel'stvo i architektura*, 2008, no. 1 (9), pp. 149 – 152.
7. Galdina V.D., Gurova E.V., Krivonos O.I., Plaksin G.V. *Puti ispol'zovaniya gorjuchikh slantsev Olenekskogo mestorozhdenija v dorozhnom stroitel'stve* [Ways of use of oil shales of the Oleneksky deposit to road building]. *Architektura. Stroitel'stvo. Transport. Innovatsii. Materially mezhdunarodnogo kongressa* [Architecture. Building. Transport. Innovations. Materials the international congress]. Omsk, SibADI, 2013. pp. 40 – 44.

8. Galdina V.D., Gurova E.V. Issledovanie gorjuchikh slantsev kak syr'ja dlja proizvodstva mineral'nykh poroshkov [Study of oil shale as raw materials for manufacture of mineral powders]. *Razvitie dopozhno-transportnogo i stroitel'nogo kompleksov v osvoenii strategicheskii vazhnykh territorii Sibiri i Arktiki* [Development of road and transport both building complexes and development of strategically important territories of Siberia and Arctic regions: the science contribution. Materials of the International scientifically-practical conference]. [An electronic resource] Elektr. It is given. Omsk, SibADI, 2014, Kn.3, pp. 17 – 21. an access mode: <http://bek.sibadi.org/fulltext/EPD994.pdf>

9. Gezentsvej L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavsky A.JA., Korolev I.V. *Dorozhnyi asfal'tobeton* [Road асфальтобетон]. Moscow, Transport, 1985. 350 p.

10. Jadykina V.V. Vlijanie aktivnykh poverkhnostnykh tseftrov kremnezemsoderzhashchikh mineral'nykh komponentov na vzaimodeistvie s bitumom [Of the active superficial centres silikat mineral components on interaction with bitumen]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*, 2003, no. 9, pp. 75 – 79.

*Галдина Вера Дмитриевна (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и специальные технологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: galdin\_ns@sibadi.org).*

*Гурова Елена Викторовна (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и специальные технологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: gurova-ev@mail.ru).*

*Кривонос Оксана Ивановна (Омск, Россия) – кандидат химических наук, научный сотрудник ФГБУН Института проблем переработки углеводородов СО РАН (644040, г. Омск, ул. Нефтезаводская, 54, e-mail: oksana@ihcp.ru).*

*Черногородова Мария Сергеевна (Омск, Россия) – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: www.mamarya@mail.ru).*

*Vera Dmitrievna Galdina (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, the associate professor of Department «Constructions materials and special technologies» of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Avenue, 5, e-mail: galdin\_ns@sibadi.org).*

*Elena Viktorovna Gurova (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, the associate professor of Department «Konstrukcion materials and special technologies» of The Siberian automobile and highwau academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Avenue, 5, e-mail: gurova-ev@mail.ru).*

*Oksana Ivanovna Krivonos (Omsk, Russian Federation) – candidate of chemistry sciences, research worker Institute of Hydrocarbon Processing, The Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IHCP SB RAS) (Omsk, 644040, 54 Neftezavodskaya st., e-mail: oksana@ihcp.ru).*

*Marija Sergeevna Chernogorodova (Omsk, Russian Federation) – The post-graduate student of Department «Hoisting-and-transport, Traction Cars and Hydraulik Aktuator» of The Siberian automobile and highwau academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Avenue, 5, e-mail: www.mamarya@mail.ru).*

УДК 69.055.004.3

### МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ

О.В. Демиденко<sup>1,2</sup>, В.А. Казаков<sup>2</sup>, С.М. Кузнецов<sup>1,2</sup>, Н.Е. Алексеев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НОУ ВПО Омская гуманитарная академия, Россия, г. Омск;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

<sup>3</sup>Сибирский государственный университет путей сообщения, Россия, г. Новосибирск.

**Аннотация.** В данной статье вопросы управления строительными потоками представлены с помощью формализованных модельных методов. Проанализированы особенности основного структурного элемента строительной производственной системы - специализированного потока. Выявлена и обоснована необходимость совместного планирования объемов поставки и потребления строительных материальных ресурсов. На основе проведенного исследования авторами разработана дискретная по времени вероятностная модель взаимодействия строительных потоков и транспортно-технологического процесса. Предложенные рекомендации по проектированию транспортно-технологического обеспечения строительных потоков материальными ресурсами позволят обеспечить непрерывность и равномерность производства работ и потребления материалов, повысить организационный уровень строительного производства.

**Ключевые слова:** строительный поток, транспортно-технологический процесс, моделирование, планирование, управление, организация и технология строительства.