

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2023.02.05

УДК 665.775

**О.С. Едисеев, В.П. Друзянова**

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ СВИНОВОДСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

Аннотация: В настоящее время существует проблема по утилизации отходов свиноводства по всей территории Российской Федерации. В данной статье рассматривается применение переработанных твердых и жидких отходов свиноводства в качестве модификатора нефтяных дорожных битумов, эксплуатируемых в условиях геокриолитозоны России. В США и в Китае разработаны технологии по получению нефти из переработанных отходов свиноводства. В качестве исходного материала для получения модификатора битумов выступает твердый и жидкий отход переработки свиного навоза после анаэробного сбраживания на биогазовой установке. Выполнены работы по получению исходного сырья для модификации битума путем анаэробного сбраживания в лабораторной накопительной психрофильной анаэробной установке до полного разложения загруженного субстрата свиного навоза. Удаление влаги из переработанного отхода проводилось путем высушивания на сушильном шкафу и в естественных условиях. Измельчение полученной твердой фракции осуществлялось сначала с использованием ступки с пестиком, затем полученная масса загружалась в лабораторную шаровую мельницу, производилось добавление полученного сырья в дорожный нефтяной битум марки БНД 130/200 в разных пропорциях и перемешивание с использованием лабораторной мешалки МЛ-2С. Первичные лабораторные испытания проводились с целью определения изменения массы битума при старении от воздействия высоких температур. В результате испытаний было выявлено, что при добавлении сухого продукта переработки свиного навоза улучшаются показатели по старению для каждой пробы. Далее будут проведены работы по определению пенетрации, температуры размягчения, растяжимости, сцепления с мрамором и песком для битума и полученной битумной композиции.

**Ключевые слова:** свиной навоз, битум, биогазовая технология, модификаторы битума, старение битума, психрофильный режим, битумная композиция.

**O.S. Ediseev, V.P. Druzyanova**

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russian Federation

## **THE USE OF RECYCLED SOLID PIG WASTE FOR THE PREPARATION OF BITUMINOUS COMPOSITIONS**

Abstract: Currently, there is a problem with the disposal of pig waste throughout the Russian Federation. This article discusses the use of recycled solid and liquid pig waste as a modifier for oil road bitumen operated in the geopermafrost zone of Russia. In the United States and China, technologies have been developed to obtain oil from processed pig waste. As a starting material for obtaining a bitumen modifier, solid and liquid waste from the processing of pig manure after anaerobic digestion in a biogas plant is used. Works have been carried out to obtain feedstock for bitumen modification by anaerobic digestion in a laboratory accumulative psychrophilic anaerobic plant until complete decomposition of the loaded pig manure substrate, removal of moisture from the processed waste by drying in an oven and under natural conditions, grinding the resulting solid fraction first using a mortar and pestle, then loading the resulting mass into a laboratory ball mill, adding the resulting raw material to the BND 130/200 road oil bitumen in different proportions and mix using a laboratory mixer ML-2S, then we carry out primary laboratory tests in order to determine the change in the mass of bitumen during aging from exposure to high temperatures. As a result of the tests, it was found that when adding a dry pig manure processing product, the aging performance for each sample improves. Next, work will be carried out to determine the penetration, softening temperature, extensibility, adhesion to marble and sand for bitumen and the resulting bitumen composition.

**Keywords:** pig manure, bitumen, biogas technology, bitumen modifiers, bitumen aging, psychrophilic regime, bitumen composition.

## Введение

В настоящее время по всей территории Российской Федерации реализуется национальный проект «Безопасные качественные дороги» (БКД), который включает в себя повышение предъявляемых требований к качеству и надежности асфальтобетонных покрытий. Основным показателем является увеличение нормативного срока службы конструкции дорожных одежд и ужесточение транспортно-эксплуатационного состояния.

Республика Саха (Якутия) принимает участие в реализации национального проекта БКД с 2019 г., в рамках которого проведено много работ по капитальному ремонту автомобильных дорог и городских улиц.

Из-за существующих транспортно-логистических проблем доставки битумных материалов и высоких перепадов годовых температур в технические задания на выполнение капитального ремонта всегда включают асфальтобетонные смеси с применением битумов нефтяных дорожных марки БНД 100/130. Данное решение обусловлено тем, что в Якутии из-за высоких перепадов температур (летом  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зимой  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) высока вероятность образования трещин, так как у эксплуатируемого битума наивысшая температура хрупкости составляет всего лишь  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поэтому экономически нецелесообразно применение сложных полимерных битумных вяжущих.

Данная работа посвящена разработке рекомендаций по применению местных переработанных отходов свиноводства для повышения характеристик исходного битума без значительных капитальных вложений на переоборудование плавильного подразделения асфальтобетонного завода.

## Битумы

Битумы – это вяжущие вещества органического происхождения, черного или темного цвета, состоящие из смеси высокомолекулярных углеводородных соединений и их неметаллических производных. Битумы имеют хорошее сцепление с минеральными материалами, устойчивы к воздействию воды, растворам кислот и щелочей. При нагреве битум переходит в вязкотекучее состояние. Также битумы имеют возможность снижения вязкости от воздействия жидких органических растворителей и повышения вязкости при их испарении [1].

Битумы по происхождению делятся на нефтяные и природные. В строительной отрасли применяются нефтяные битумы, полученные путем искусственной перегонки нефтяных остатков. В зависимости от вязкости битумы подразделяются на твердые, вязкие и жидкие.

Химические элементы, которые входят в состав битумов: углерод (70–87 %), водород (8–12 %), сера (0,5–7 %), кислород (0,2–12 %), азот (0–2 %). Вещества, входящие в состав битума, можно разделить на следующие группы: масла, смолы, асфальтены, карбены, карбоиды, парафины.

Масло – это жидкая часть в составе битума, которая имеет вязкотекучие свойства, плотность ниже плотности воды, и является смесью ароматических, предельных и циклических углеводородов. Молекулярная масса находится в диапазоне от 300 до 600 а.е.м. Масла растворяются в ацетоне, эфире, бензине и бензоле и в составе битума придают подвижность и текучесть. Содержание масел составляет от 35 до 60 % от состава битума.

Смолы – это пластичные вещества, имеющие плотность почти как у воды, т.е. равной  $1\text{ г/см}^3$ , а молекулярная масса находится в диапазоне 600–1000 а.е.м, растворяются в бензине и бензоле. Смолы – это производные углеводородов: в состав их молекул входят активные функциональные группы:  $-\text{OH}$ ;  $-\text{NH}_2$ ;  $-\text{SH}$ ;  $-\text{COOH}$ . Благодаря этому они обеспечивают адгезию битума к различным материалам. Вяжущие свойства и пластичность битума обусловлены именно наличием смол, содержание которых находится в диапазоне от 20 до 40 от состава битума.

Асфальтены – это твердые хрупкие вещества с плотностью более  $1\text{ г/см}^3$ , молекулярной массой от 1200 до 1600 а.е.м. Асфальтены при нагреве не подвержены плавлению, не растворяются в бензине, а способны раствориться лишь в горячем бензоле. Они придают битумам устойчивость при воздействии высоких температур и твердость. Содержание асфальтенов находится в диапазоне от 10 до 40 % от состава битума.

Масла, смолы и асфальтены – это компоненты, от соотношения которых зависят физико-механические характеристики битума. Также в составе имеются карбены и карбоиды, которые составляют от 1 до 3 % от состава битума. Это углистые неплавкие и нерастворимые вещества, ухудшающие качество битума, поскольку снижается его пластичность. Также на качество влияет наличие парафинов, которые также снижают пластичность и адгезию битумов. Содержание парафинов может быть в составе битума от 6–8 %. По своей дисперсной структуре битумы представляют собой коллоидную систему, где в качестве дисперсионной среды выступают масла, дисперсной фазой – мельчайшие коллоидные частицы. Каждая коллоидная частица имеет ядро, состоящее из асфальтенов размером от 18–20 мкм, окруженное оболочкой смол. Коллоидные частицы взаимодействуют между собой через прослойку масел – чем толще эта прослойка, тем слабее это взаимодействие, что отражается в консистенции битумов [2].

От воздействия солнечной радиации, высоких температур, кислорода воздуха групповой состав битумов меняется за счет перехода масел в смолы, смол – в асфальтены, а асфальтенов в карбены. Основными характеристиками, определяющими качество битумов, является вязкость, пластичность, теплостойкость, пожароопасность, адгезионная способность. В зависимости от назначения битумы делятся на общестроительные, дорожные, кровельные, изоляционные.

### **Состояние вопроса по утилизации отходов свиноводства в Центральной Якутии**

В настоящее время на территории Центральной Якутии, в частности на территории городского округа «город Якутск», функционируют два свинокомплекс – ООО «Хатасский свинокомплекс» и ПТ КХ «Сибирь» (Мархинское).

ООО «Хатасский свинокомплекс», расположенный между с. Хатассы и Автодорожным округом г. Якутска, сливает жидкие и твердые отходы свиней и поросят на открытом полигоне, расположенном на расстоянии 19 км от свинокомплекса, без предварительного обеззараживания и переработки, тем самым нанося огромный вред окружающей среде [3–7].

ПТ КХ «Сибирь» (Мархинское), расположенный на территории микрорайона Марха, производит разделение твердой и жидкой фракции свиного навоза с использованием сепаратора разделения на фракции (декантерной установки), дальнейшее компостирование и реализацию компоста населению.

Эти два способа не являются методами утилизации отходов, отрицательно влияют на экологию, поэтому назрела необходимость создания технологических линий по утилизации жидких и твердых отходов.

### **Опыт применения свиного навоза в качестве модификатора в других странах**

В 2011 г. ученый из США Элхам Х. Фини с коллегами опубликовала научную статью о возможности переработки свиного навоза для получения из него альтернативного топлива, близкого по свойствам к нефтяному. Полученное топливо разделяли на фракции для извлечения воды, твердого остатка и некоторых органических соединений. Липкий остаток после фракционирования использовали в качестве замены битумного вяжущего. Обосновали, что вяжущий материал из свиного навоза является перспективным вяжущим для частичной замены битума. Авторы констатировали, что исследования по получению вяжущего из отходов свиноводства дают уникальную возможность, которая одновременно направлена на решение проблем растущего истощения нефтяных ресурсов, загрязнения окружающей среды выбросами парниковых газов, а также на разработку устойчивой альтернативы нефтяному битумному вяжущему. Установлено, что использование вяжущего из отходов свиноводства улучшает низкотемпературные свойства нефтебитумного вяжущего при одновременном снижении затрат на устройство асфальтобетонного покрытия. Стоимость производства такого вяжущего оценивается в 0,13 доллара за литр (0,54 доллара за галлон), тогда как стоимость асфальтового вяжущего составляет 0,53 доллара за литр (2 доллара за галлон) [8–11]. Как видим, в условиях США стоимость удешевляется почти в 4 раза.

В 2017 г. Элхам Х. Фини зарегистрировала патент на приготовление и использование биоклеев. Бионефть из отходов животноводства получают термохимическим сжижением, при этом применяется процесс химического риформинга для разрушения длинноцепочечных органических соединений. Соединения молекул с короткой цепью и образуют бионефть. Обосновано, что свиной навоз можно преобразовать в бионефть с помощью термохимического сжижения при температуре при 305 °С и давлении 10,3 МПа в течении 80 мин [9; 10]. Однако данная технология переработки отходов – весьма энергозатратный и дорогой процесс. Поэтому, на наш взгляд, для переработки свиного навоза в условиях Якутии с дальнейшим получением модифицированного битума, наиболее подходит биогазовая технология [5].

### **Анаэробная утилизация сельскохозяйственных отходов в биогазовых установках**

Анаэробная утилизация жидких и твердых отходов животноводства осуществляется в анаэробных биогазовых установках. Биогазовые установки состоят из следующих базовых элементов: приемный бункер твердых и жидких отходов, насос, метантенк, газгольдер, хранилище для переработанного навоза.

Главным узлом биогазовой установки является метантенк, в котором происходит процесс разложения биомассы под действием метаногенных бактерий при соблюдении определенной температуры анаэробного сбраживания.

Согласно ГОСТ Р 52808-2007 для оптимизации процесса анаэробного сбраживания существует три режима функционирования биогазовой установки:

1. При психрофильном режиме оптимальная температура брожения составляет от 15 до 20°С, отходы перерабатываются в течение 30–40 дней.
2. При мезофильном режиме оптимальная температура брожения составляет от 30 до 40°С, отходы перерабатываются в течение 30–40 дней.
3. При термофильном режиме оптимальная температура брожения составляет от 52 до 56°С, отходы перерабатываются в течение 5–10 дней.

Существующие биогазовые установки могут функционировать во всех трех режимах анаэробного сбраживания. В большинстве случаев применяется термофильный и мезофильный режимы. Однако при использовании термофильного режима время сбраживания уменьшается до 5–7 суток, что приводит к значительному снижению объема сооружений и увеличению объема выхода биогаза за счет высокой эффективности распада органических веществ. При психрофильных температурах скорость брожения биомассы компенсируется простотой конструкции метантенка и легкостью их использования [12]. В термофильных условиях анаэробного сбраживания семена сорняков теряют всхожесть, погибают яйца гельминтов и патогенная микрофлора, а также происходит накопление высокоактивных биологических соединений классов ауксинов – кинины, гибберелины, которые повышают образование зеленой массы растений. Перечисленные характеристики удобрений для остальных температур значительно ниже, это связано с тем, что на выходе из-за невысоких температур анаэробного сбраживания получают необеззараженные удобрения [13]. Традиционным сырьем для анаэробного сбраживания биомассы являются: помет животных, отходы сельского хозяйства и пищевой переработки, скотобоен, свалочные отходы, а также некоторые энергетические культуры и продукты. Расщепление органических веществ при метаногенезе происходит под воздействием различных групп микроорганизмов как многоступенчатый процесс [14].

Существуют следующие стадии анаэробного превращения сложного органического вещества в биогаз:

1. Стадия гидролиза биополимерных сложных молекул (полисахаридов, липидов, белков и т.д.).
2. Стадия брожения, при которой образовавшиеся мономеры расщепляются до более простых веществ, таких как низшие спирты и кислоты.

3. Ацетогенная стадия, на которой образуются: водород, углекислота, ацетат предшественники метана.

4. Метаногенная стадия, при которой образуется конечный продукт расщепления сложных органических веществ, метан.

На каждой фазе одновременно протекает несколько различных реакций, количественное соотношение которых находится в зависимости от участвующих на этом этапе бактерий и от вида перерабатываемого сырья, а также от большого количества иных факторов. В связи с этим практически невозможно точно предсказать и просчитать характер протекания реакции и количественные показатели на выходе. Главным продуктом анаэробного сбраживания являются органические удобрения. Такие удобрения могут быть использованы без какой-либо подготовки, они имеют большую ценность, чем вырабатываемый биогаз. Таким образом, правильное использование всех выходных продуктов анаэробного сбраживания, позволит уменьшить срок окупаемости биогазовой установки, по сравнению с другими устройствами альтернативной энергетики [12].

### **Объект и методы исследования**

Целью работы является получение и обоснование работоспособности модификатора битума, состоящего из продукта переработки после анаэробного сбраживания свиного навоза.

Объектом исследования является модификатор битума из продукта, полученного в результате анаэробного сбраживания свиного навоза, и его функционирование в составе битума.

### **Определение режима работы биогазовой установки**

Для получения исходного сырья применялась лабораторная биогазовая установка, перерабатывающая свиной навоз в психрофильном режиме.

### **Способы удаления влаги из переработанного свиного навоза**

Для удаления влаги применялись следующие способы:

1. Удаление влаги в сушильном шкафу при температуре +100 °С.

Для определения влажности и удаления воды из эффлюента применялся известный метод со следующим оборудованием: весы технические с точностью 0,01 г, металлический тигель, сушильный шкаф.

Процесс заключался в следующем: 1 кг жидкого сырья (эффлюента), полученного после анаэробного сбраживания, загружался в металлический тигель. Далее устанавливалась температура 105°С, и в сушильный шкаф для выпаривания помещался металлический тигель. Продолжительность сушки шла до тех пор, пока масса сырья не стала постоянной. После выключения сушильного шкафа металлический тигель с сухим сырьем оставался в нем до достижения комнатной температуры. После установления комнатной температуры производилось взвешивание сухого сырья в металлическом тигле.

2. Удаление влаги в естественных условиях.

Оборудование: весы технические с точностью 0,01 г и металлический тигель. Процесс заключался в следующем: 1 кг эффлюента, полученного после анаэробного сбраживания, загружался в металлический тигель. Сушка проводится в естественных условиях при температуре от + 15 до + 25 °С до тех пор, пока масса сырья не станет постоянной. Затем производится взвешивание образцов.

### **Способы измельчения полученного сырья**

Высушенный эффлюент подвергался предварительному измельчению с помощью фарфоровой ступки с пестиком.

Для дальнейшего измельчения высушенного сырья применялась механоактивирующая установка Retsch PM 200, которая перерабатывает сырье до состояния порошка. В качестве измельчителя выступают металлическая чаша и стальные шары. Измельчение производится при 600 об/мин в течение 10 мин.

### **Добавление сырья в битум и способы диспергирования битумной композиции**

Высушенное измельченное сырье для модификации добавляется в битум, и происходит его перемешивание мокрым способом в диапазоне температур, при которых битум находится в вязкотекучем состоянии.

В качестве перемешивающего устройства применена мешалка лабораторная МЛ-2С для полимерно-битумных вяжущих.

### **Определение старения битумной композиции**

После получения битумной композиции с добавлением переработанного свиного навоза в качестве модификатора выполняется определение процесса старения по ГОСТ 18180. Метод заключается в определении изменения массы после прогрева, являющегося результатом уменьшения его массы вследствие испарения летучих компонентов или ее увеличения за счет окисления воздухом. Данный метод используется для определения стабильности битумов при продолжительном хранении при повышенных температурах, оценивается по изменению их качественных показателей.

Применяемое оборудование: чашки стеклянные типа ЧБН, шкаф сушильный с терморегулятором, сито металлическое, термометр лабораторный ТЛ-2, эксикатор и лабораторные весы технические.

Перед испытанием битум обезвоживают, нагревая до температуры размягчения на 80–100 °С, но не ниже 125 °С и не выше 180 °С, перемешивают стеклянной палочкой, чтобы не было перегрева. Обезвоженный и расплавленный битум процеживают через металлическое сито и перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха. Затем вымытые чашки помещают не менее чем на 30 мин в сушильный шкаф при температуре 105 °С. Далее чашки охлаждаются в эксикаторе до комнатной температуры и взвешиваются.

Испытания: битум загружается в две чашки – для каждого образца массой 28 г. Сырье осторожно распределяется толщиной 4 мм по дну чашек и ставится в эксикатор. После охлаждения в эксикаторе до комнатной температуры чашки с битумными композициями взвешиваются с точностью до 0,01 г. Взвешенные пробы с чашкой устанавливаются на горизонтальную решетку сушильного шкафа, предварительно разогретого до 163 °С. Температура контролируется с помощью термодатчика сушильного шкафа. Прогрев битума производится в течение 5 ч, а отсчет 5 ч начинают после установления температуры 163 °С. Время достижения температуры не должно быть выше 15 мин, и во время испытания нельзя открывать сушильный шкаф. После прохождения 5 ч после старения чашки с пробами битума вынимаются из сушильного шкафа, устанавливаются в эксикатор и после охлаждения до комнатной температуры взвешиваются с точностью до 0,01 г. После старения с целью выявления изменения показателей битума после прогрева содержимое чашек расплавляют в сушильном шкафу при температуре 163 °С, и после перемешивания определяют контрольные показатели: температуру размягчения и пенетрации битума, растяжимость. Возможно одновременное испытание различных проб битума, если масса изменяется одинаково.

### **Процесс анаэробного сбраживания и режим работы биогазовой установки**

Процесс анаэробного сбраживания свиного навоза проводился на лабораторной накопительной психрофильной анаэробной установке (ЛНПАУ). Предварительно полученный свиной навоз доводился до влажности 96–98 %, температура прохождения процесса анаэробного сбраживания составляет 15–18 °С в помещении после завершения отопительного сезона в весенне-летний период. После загрузки установки навозом в объеме 2/3 части метантенка, происходит процесс анаэробного сбраживания с выделением газов – углекислого газа, затем выделением биогаза. Срок полного анаэробного сбраживания – 43 суток. После завершения анаэробного сбраживания производился слив переработанного свиного навоза из лабораторной психрофильной анаэробной установки.

Для достоверности правильного прохождения процесса анаэробного сбраживания проводилась проверка в виде сжигания выделенного биогаза, так как основной задачей является получение переработанного эффлюента после переработки свиного навоза. Анаэробное сбраживание считается завершенным при условии замедления выделения метана в метантенк.

### Высушивание переработанного свиного навоза в сушильном шкафу

Обработка результатов после просушивания переработанного отхода в сушильном шкафу. Результаты испытания по определению влажности субстрата переработанного сырья после прогрева в сушильном шкафу ( $W_{\text{эщ}}$ ) вычисляются в процентах по следующей формуле:

$$W_{\text{эщ}} = \frac{(m - m_1)}{m - m_0} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $m$  – масса влажного субстрата с металлическим тигелем, г;

$m_1$  – масса сухого субстрата с металлическим тигелем после высушивания в сушильном шкафу;

$m_0$  – масса металлического тигеля, г.

В табл. 1 представлены данные по изменению влажности переработанного свиного навоза после просушивания в сушильном шкафу.

Таблица 1

Влажность ПСН после сушки в сушильном шкафу

№ п/п	Масса влажного субстрата с металлическим тигелем, г	Масса сухого субстрата с металлическим тигелем, г	Масса металлического тигеля	$W_{\text{э}}, \%$
1	1627,89	718,73	627,89	90,916
2	1627,89	712,86	627,89	91,503
3	1627,89	695,78	627,89	93,211

### Определение влажности после высушивания в естественных условиях до воздушно-сухого состояния

Обработка результатов после просушивания переработанного отхода в естественных условиях. Результаты испытания по определению влажности переработанного свиного навоза после прогрева в сушильном шкафу ( $W_{\text{е.у.}}$ ) вычисляются в процентах по следующей формуле:

$$W_{\text{е.у.}} = \frac{(m - m_2)}{m - m_m} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $m$  – масса влажного субстрата с металлическим тигелем, г;

$m_2$  – масса сухого субстрата с металлическим тигелем после высушивания до воздушно-сухого состояния, г;

$m_m$  – масса металлического тигеля, г.

В табл. 2 представлены данные по изменению влажности переработанного свиного навоза после испарения воды в естественных условиях до воздушно-сухого состояния.

Таблица 2

Влажность ПСН после сушки в естественных условиях

№ п/п	Масса влажного субстрата с металлическим тигелем, г	Масса сухого субстрата с металлическим тигелем, г	Масса металлического тигеля	$W_{\text{э}}, \%$
1	1681,74	782,58	681,74	89,916
2	1681,74	786,71	681,74	89,503
3	1681,74	785,63	681,74	89,611

На основании результатов испытаний получены значения влажностей эффлюента при обработке в сушильном шкафу и естественных условиях.

### Добавление переработанного свиного навоза в битум и определение старения битума

Для выполнения данного испытания были подобраны четыре состава битумных композиций с добавлением переработанного свиного навоза (ПСН) и один битум марки БНД 130/200.

Каждая проба была промаркирована следующим образом:

- 1) БНД 130/200 + 0 % ПСН;
- 2) БНД 130/200 + 1 % ПСН;
- 3) БНД 130/200+2,5 % ПСН;
- 4) БНД 130/200+5 % ПСН;
- 5) БНД 130/200 + 10 ПСН.

Результаты определения изменения массы битума после прогрева ( $X$ ) вычисляют в процентах по следующей формуле:

$$X = \frac{(m - m_1)}{m} \cdot 100, \tag{3}$$

где  $m$  – масса битума до прогрева, г;

$m_1$  – масса битума после прогрева, г.

Результаты испытания усреднялись, и строили график среднеарифметического значения изменения массы битума от содержания порошка ПСН (рисунок).

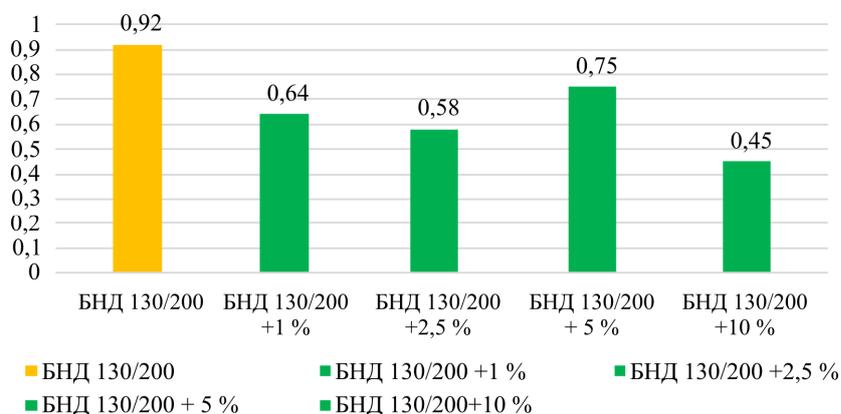


Рис. График среднеарифметического значения изменения массы битума от содержания порошка ПСН

Из данных рисунка можно сделать вывод, что при введении порошка из переработанного свиного навоза происходят изменения в составе битума, в частности замедляется процесс старения битума. Далее необходимо провести испытания с добавлением поверхностно-активного вещества (ПАВ), который будет совместно работать с порошком из переработанного свиного навоза, так как известно, что при добавлении ПАВ стабилизируется структура битума [15].

### Заключение

В ходе исследовательской работы выявлено, что применение переработанного свиного навоза может замедлить процесс старения битума. С целью полного изучения его физических характеристик в дальнейшем будут выполнены работы по определению основных характеристик битума. В качестве исходного сырья будут взяты битумы, которые применяются для приготовления асфальтобетонных смесей, используемые в первой дорожно-климатической зоне.

## Список литературы

1. Гасанов Алекпер, Шыхалиев Керем Исследования процесса получения покрытий различного назначения на основе нефтяного битума: монография. – М.: НИЦ МИСИ, 2018. – 64 с.
2. Беляев К.В., Серебренников В.С. Производство, транспортирование и применение вяжущих в строительстве [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2015.
3. Варламов Т.П. Механизация удаления и использования навоза. – М.: Колос, 1969. – 199 с.
4. Докучаев Н.А., Стома Л.А., Гогин В.М. Удаление и использование навоза. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 53 с.
5. Долгов В.С. Гигиена уборки и утилизации навоза. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 175 с.
6. Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды / Ю.И. Ворошилов, С.Д. Дурдыбаев, Л.Н. Ербанова [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1991. – 107 с.
7. Едисеев О.С., Друзьянова В.П., Технология получения исходного сырья для модификации дорожных битумов из эфлюента анаэробного сбраживания // Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – М.: Знание-М, 2022. – 1250 с.
8. Chemical Characterization of Biobinder from Swine Manure: Sustainable Modifier for Asphalt Binder / E.H. Fini, E.W. Kalberer, A. Shahbazi, M. Basti, Z. You, H. Ozer, Q. Aurangzeb // J. Mater. Civ. Eng. – 2011. – Vol. 23. – P 1506–1513.
9. Окфемия К. Гидротермальный процесс превращения свиного навоза в масло. Использование системы реактора непрерывного действия: дис. – Университет Иллинойса в Урбана-Шампейн, ААТ 3202149, 2005.
10. Пат. США, № US011155696B2, 2017. Фини, приготовление и использование биоклеев / Эльхам Х.
11. A Review of Characteristics of Bio-Oils and Their Utilization as Additives of Asphalts / R. Zhang, Z. You, J. Ji, Q. Shi, Z. Suo // Molecules. – 2021. – Vol. 26. – P. 5049.
12. Асипкина Л.А., Биогазовые технологии переработки сельскохозяйственных отходов III и IV классов опасности в биоудобрения: Магистерская диссертация – Томск: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2017. – С. 158.
13. Маккинерни М., Брайант М. Основные принципы анаэробной ферментации с образованием метана // Биомасса как источник энергии. – М.: Мир, 1985. – С. 244–249.
14. Курис Ю.В., Майстренко А.Ю., Ткаченко С.И. Определение технологических возможностей энергетического использования биомассы // Энергетика и электрификация. – 2008. – № 7. – С. 35–40.
15. Горельшева Л.А., Теоретические аспекты систематизации добавок, улучшающих свойства битумного вяжущего и асфальтобетонной смеси // Дороги и мосты. – 2019. – № 2. – С. 203–236.

## References

1. Gasanov Alekper, Shykhaliyev Kerem Issledovaniia protsessa polucheniia pokrytii razlichnogo naznacheniiia na osnove neftianogo bituma [Studies of the process of obtaining coatings for various purposes based on petroleum bitumen]. Moscow: NITs MISI, 2018, 64 p.
2. Beliaev K.V., Serebrennikov V.S. Proizvodstvo, transportirovanie i primenenie viazhushchikh v stroitel'stve [Production, transportation and application of binders in construction]. Omsk: SibADI, 2015.
3. Varlamov T.P. Mexanizatsiia ydaleniiia i icpol'zovaniia navoza [Mechanization of removal and use of manure], Moscow: Kolos, 1969, 199 p.
4. Dokuchaev N.A., Stoma L.A., Gogin V.M. Udalenie i icpol'zovanie navoza [Removal and use of manure]. Moscow: Rosselkhozizdat, 1976, 53 p.
5. Dolgov V.S. Gigiena ybopki i ytilizatsii navoza [Hygiene of cleaning and disposal of manure]. Moscow: Pokselkhozizdat, 1984, 175 p.
6. Boroshilov Yu.I., Durdybaev S.D., Epbanova L.N. [et. al.] Zhivotnovodcheckie komplekcy i oxpana okpyzhaiushchei spedy [Animal breeding complexes and environmental protection], Moscow: Agropromizdat, 1991, 107 p.

7. Ediseev O.S., Druz'ianova V.P. Tekhnologiya polucheniia iskhodnogo syr'ia dlia modifikatsii dorozhnykh bitumov iz effluenta anaerobnogo sbrachivaniia [Technology for obtaining raw materials for the modification of road bitumen from the effluent of anaerobic digestion]. *Strategiia i perspektivy razvitiia agrotekhnologii i lesnogo kompleksa Iakutii do 2050 goda: sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow, Znanie-M, 2022, 1250 p.
8. Fini E.H., Kalberer E.W., Shahbazi A., Basti M., You Z., Ozer H., Aurangzeb Q. Chemical Characterization of Biobinder from Swine Manure: Sustainable Modifier for Asphalt Binder. *J. Mater. Civ. Eng.*, 2011, 23, pp. 1506–1513.
9. Okfemiia K. Gidrotermal'nyi protsess prevrashcheniia svinogo navoza v maslo. Ispol'zovanie sistemy reaktora nepreryvnogo deistviia [The hydrothermal process of turning pig manure into oil. Use of a continuous reactor system]. Ph. D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, AAT 3202149, 2005.
10. El'kham Kh. Fini, prigotovlenie i ispol'zovanie biokleev [Preparation and use of bioadhesives], US Patent No. US011155696B2, 2017.
11. Zhang R., You Z., Ji J., Shi Q., Suo Z.A. Review of Characteristics of Bio-Oils and Their Utilization as Additives of Asphalts, *Molecules*, 2021, 26, 5049.
12. Asipkina L.A. Biogazovye tekhnologii pererabotki sel'skokhoziaistvennykh otkhodov III i IV klassov opasnosti v bioudobreniia [Biogas technologies for processing agricultural waste of III and IV hazard classes into biofertilizers]. Master's thesis, Tomsk, FGAOU VO «Natsional'nyi issledovatel'skii Tomskii politekhnicheskii universitet», 2017, 158 p.
13. McKinerney M., Bryant M. Osnovnye printsipy anaerobnoi fermentatsii s obrazovaniem metana [Basic principles of anaerobic fermentation with the formation of methane]. *Biomass as a source of energy*. Moscow: Mir, 1985, pp. 244–249.
14. Kuris Yu. V., Maistrenko A. Yu., Tkachenko S.I. Opredelenie tekhnologicheskikh vozmozhnostei energeticheskogo ispol'zovaniia biomassy [Determining the technological possibilities of the energy use of biomass]. *Energetika i elektrifikatsiia*, 2008, no. 7, pp. 35–40.
15. Gorelysheva L.A. Teoreticheskie aspekty sistematzatsii dobavok, uluchshaiushchikh svoistva bitumnogo viazhushchego i asfal'tobetonnoi smesi [Theoretical aspects of the systematization of additives that improve the properties of bituminous binder and asphalt concrete mixture]. *Dorogi i mosty*, 2019, no. 2, pp. 203–236.

#### Об авторах

**Едисеев Олег Сергеевич** (Якутск, Россия) – аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервиса» автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (Россия, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, e-mail: olegediseev@yandex.ru).

**Друзьянова Варвара Петровна** (Якутск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервиса» автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (Россия, 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, e-mail: druzvar@mail.ru)

#### About the authors

**Oleg S. Ediseev** (Yakutsk, Russian Federation) – Post-Graduate Student of the Department "Operation of road transport and car service" of the Road Faculty of the North-Eastern Federal University. M.K. Ammosova (58, Belinsky str., Yakutsk, 677000, Russian Federation, e-mail: olegediseev@yandex.ru)

**Varvara P. Druzyanova** (Yakutsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the department "Operation of road transport and car service" of the Road Faculty of the North-Eastern Federal University. M.K. Ammosova (58, Belinsky str., Yakutsk, 677000, Russian Federation, e-mail: druzvar@mail.ru)

**Финансирование.** Статья подготовлена на основе данных, полученных авторами с использованием лабораторного оборудования ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Вклад авторов равноценен.

Поступила: 03.02.2023

Одобрена: 17.02.2023

Принята к публикации: 20.04.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Едисеев, О.С. Применение переработанных твердых отходов свиноводства для приготовления битумных композиций / О.С. Едисеев, В.П. Друзьянова // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология.* – 2023. – № 2. – С. 46–55. DOI: 10.15593/24111678/2023.02.05

Please cite this article in English as: Ediseev O.S., Druzyanova V.P. The use of recycled solid pig waste for the preparation of bituminous compositions. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 2, pp. 46-55. DOI: 10.15593/24111678/2023.02.05