

**РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ ПОЛИМЕРБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ  
НЕИЗОЦИАНАТНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ**

**Барабаш Д.Е., д-р техн. наук, проф.,  
Боровлев Ю.А.**

*Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж)*

**Кузнецов Д.А., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В период с 1950 по 1970 гг. для решения задач по укрытию и защите персонала крупных предприятий и организаций от поражающих факторов ядерного взрыва были построены тысячи защищенных сооружений гражданской обороны (ЗСГО). Эти сооружения были предназначены для длительного пребывания людей и различной техники. Проводимый в настоящее время силами специализированных организаций мониторинг указанных сооружений показал, что подавляющее большинство из них находятся в аварийном состоянии. Основная причина аварийности – коррозионное разрушение бетона и развитие недопустимых деформаций (прогибов). В силу того, что реконструкция такого рода сооружений не предусматривается, а реалии современности требуют возобновления защитных мероприятий, возникает потребность в разработке конструкционных материалов, способных обеспечивать радиационную защиту длительное время с сохранением изначальных физико-механических характеристик.

При выборе строительного материала для сооружения защиты от излучений должны быть тщательно взвешены все технико-экономические преимущества и недостатки различных материалов. Предпочтение должно быть отдано материалам, обладающим свойствами, решающими для данной конструкции и условий строительства. Такими материалами являются бетоны на полимерной основе. В перечень дополнительных требований, предъявляемых к разрабатываемым материалам необходимо включить способность замедления и поглощения нейтронов различных энергий.

В связи с тем, что при замедлении быстрых нейтронов выделяется

тепло, необходимо дополнительно обеспечить теплостойкость материала. Как известно, наиболее интенсивно замедляют быстрые нейтроны высоких энергий до средних энергий элементы, которые обладают способностью неупругого рассеяния нейтронов – например, барий и железо [1]. Кроме того, необходимо наличие водорода в составе материала, который не только замедляет, но и захватывает медленные нейтроны. В связи с этим формализованная научная задача состоит в разработке эффективного радиационно-стойкого полимербетона состоящего из полимера холодного отверждения и радиационно-стойкого наполнителя в предположении проявления синергизма при совмещении базовой полимерной основы, обладающей достаточной радиационной стойкостью и высокоплотного наполнителя, размолотого до необходимого состояния. Для получения максимально плотного композита с заданной способностью ослаблять воздействие радиационных излучений необходимо установление рационального соотношения связующего и порошкообразного наполнителя.

Имеющийся опыт использования полимербетонных конструкций защитных сооружений показал их преимущества в сравнении с бетонами на основе минеральных вяжущих. Это обусловлено высокой трещиностойкостью, химической стойкостью отвержденных композитов и сокращенными сроками ввода в эксплуатацию. В большинстве применяемых полимербетонных основ традиционно служат эпоксидные или полиэфирные смолы. Также к числу эффективных полимерных связующих, обладающих совокупностью указанных свойств можно отнести полиуретаны.

Свойства полиуретанов обусловлены наличием взаимодействий специфического характера (водородные связи, связи ионного типа) и неспецифического (диполь-дипольных, ван-дер-ваальсовых взаимодействий, а также кристаллизацией), суммарный вклад которых в формирование комплекса свойств полиуретанов является определяющим.

При образовании водородных связей донорами протонов служат атомы  $H$  уретановых групп, в случае полиуретан-мочевин и полиамидоуретанов – атомы  $H$  соответствующих функциональных групп; акцепторами протонов являются карбонилы перечисленных групп, а также сложноэфирных групп в случае полиэфируретанов и простые эфирные связи в случае полиуретанов, полученных на основе полиоксиалкиленгликолей. Таким образом, полиуретаны имеют значительную массовую долю водородных связей, что способствует эффективному захвату нейтронов [1].

В результате проявления сил специфического межмолекулярного взаимодействия в структуре полиуретанов возникают ассоциаты, так называемые доменные образования, термодинамически не совместимые с массой основных цепей полимеров, но связанные с ними химически. Вследствие такой несовместимости происходит микрофазное расслоение (микросегрегация) на надмолекулярном уровне. При этом фаза, образованная ассоциатами, является своеобразным усиливающим «активным наполнителем» в полиуретанах. В частности, этим объясняется возможность получения на основе полиуретанов материалов, обладающих высокими конструкционными свойствами без введения активных наполнителей.

Доля полиуретана в мировом производстве пластмасс – 9,2%, в России этот показатель составляет около 5,5%. Объем российского рынка полиуретанов растет от 15 до 20% в год, приближаясь к 450 тысячам тонн. Вместе с тем, имеются и существенные недостатки, препятствующие повсеместному внедрению в практику строительства композитов на полиуретановой основе. Это высокая токсичность компонентов связующего, коррозия металлических закладных деталей и арматуры при использовании кислых катализаторов, усадка при твердении и достаточно высокая стоимость.

К числу инновационных разработок последних лет можно отнести экологически безопасный неизоцианатный полиуретан (НПУ). Указанный полимер и композиты на его основе определенно можно отнести к так называемым «зеленым» строительным материалам, не причиняющим вреда окружающей среде [2].

Традиционный метод производства линейных и сетчатых полиуретановых соединений основан на реакции между олигомерами с концевыми гидроксильными группами и олигомерами с концевыми изоцианатными группами. Метод опасен из-за токсичных изоцианатов, которые производятся из фосгена – боевого отравляющего вещества [2].

Еще одним недостатком полиуретана произведенного по традиционной технологии является высокая пористость. Поскольку реакция образования уретана проявляет высокую чувствительность к влаге, происходит нежелательная побочная реакция с водой, что в процессе производства приводит к образованию углекислого газа внутри материала.

В основе синтеза неизоцианатных полиуретанов лежат нетрадиционные реакции уретанообразования. Например, полиоксипропиленгидроксиуретаны получают из олигомеров пропиленоксида, содержащих концевые циклокарбонатные группы

(мол.м. 800-2000), и алифатических диаминов. Таким способом получают полиуретаны принципиально иного строения с новыми свойствами, чем традиционные полиуретаны на основе полиоксипропиленгликолей.

Исходными продуктами для получения неизоцианатных полиуретанов служат следующие наиболее апробированные компоненты:

– гидроксилсодержащие: 1) олигогликоли – продукты (молекулярной массой 1000-5000) гомо- и сополимеризации ТГФ, пропилен- и этиленоксидов (полиоксиалкиленгликоли), дивинила, изопрена (олигодиендиолы); 2) сложные полиэферы с концевыми группами ОН-линейные продукты поликонденсации адипиновой, фталевой и других дикарбоновых кислот с этилен-, пропилен-, бутилен- или другими низкомолекулярными гликолями; разветвленные продукты поликонденсации перечисленных кислот и гликолей с добавкой триолов (глицерина, триметил-пропана), продукты полимеризации *ε*-капролактона. Гидроксилсодержащий компонент определяет основной комплекс физико-механических свойств полиуретанов;

– агенты удлинения и структурирования цепей: 1) гидроксилсодержащие – вода, гликоли, оксиэтилированный дифенилол-пропан, моноаллиловый эфир глицерина, касторовое масло; 2) диамины-4,4'-метилена-*бис*-(*о*-хлоранилин), фенолен-диамины и др. Природой этих агентов определяются молекулярная масса линейных полиуретанов, густота вулканизационной сетки и строение поперечных химических связей, возможность образования доменных структур и, как следствие, комплекс свойств полиуретанов и их назначение;

– катализаторы реакций: 1) уретанообразования – третичные амины, хелатные соединения *Fe*, *Cu*, *Be*, *V*, нафтенаты *Pb* и *Sn*, октоат и лауринат *Sn*; 2) комплексы третичных аминов с эпоксидами [1].

Инновационные разработки отечественных и зарубежных исследователей в области синтеза неизоцианатных полиуретанов позволяют получать композиты с заранее заданными свойствами.

Так, например, в последние годы достаточно полно изучены реакции взаимодействия циклокарбонатов с аминами с образованием гидроксиуретанов. Применение гидроксиуретанов для модификации эпоксидных систем позволяет получить материалы с различными свойствами для устройства покрытий, производства клеев и пен [3].

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что эпоксиаминные композиции, модифицированные гидроксиалкилуретанами, обладают улучшенными физико-

механическими, физико-химическими и технологическими характеристиками по широкому комплексу свойств. В результате данной разработки создана общая концепция получения новых модификаторов многофункционального действия, которые, обладая широким спектром водородных связей, встраиваются в эпоксиполимерную сетку и придают ей определенные улучшенные качества [2]. Разработан целый ряд новых соединений олигоциклокарбонатов, реакционно-активный класс соединений олигомеров под торговыми марками Лапролат 803, Лапролат 301, Лапроксид 503М и другие. Лапролаты представляют собой продукты карбонизации эпоксидных производных полиоксипропиленов (лапролов) и имеют концевые циклокарбонатные группы. Лапролаты отверждаются по реакции уретанообразования циклокарбонат-амин с первичными алифатическими или циклоалифатическими аминами, образуя гидроксиуретановую структуру. Лапролаты широко используются для модификации существующих полимеров. Известно использование эпоксидных смол с лапролатами в композиции, отверждаемой аминами. Известны эпоксициклокарбонатные смолы – продукты частичной карбонизации эпоксидной смолы с переходом части эпоксидных групп в циклокарбонатные. Но главной заслугой циклокарбонатов является использование их в качестве основного компонента пленкообразующего для получения безизоцианатных полиуретанов, сочетающих хорошие прочностные свойства с высокой эластичностью.

В этой связи нами ранее были проведены пилотные исследования возможности использования НПУ в качестве связующего для конструкционных композитов [4]. Обобщенные результаты пилотных исследований позволяют сделать заключение о перспективности использования композитов на основе неизоцианатных полиуретанов в элементах защитных сооружений эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред.

Ключевыми положительными свойствами НПУ являются:

- безопасный и упрощенный процесс синтеза;
- повышенная гидролитическая устойчивость;
- усовершенствованная структура, практически не имеющая пор;
- нечувствительность к влаге на поверхностях и в наполнителях;
- сниженная проницаемость (в 3...5 раз);
- повышенная стойкость к химическому воздействию;
- исключительная адгезивность.

В результате обобщения результатов пилотных исследований

получена зависимость прочности при сжатии от количества связующего, адекватно описываемая уравнением вида:

$$\sigma_c = -0,6964x^2 + 18,667x - 55,514,$$

где  $\sigma_c$  – прочность при сжатии, МПа,  $x$  – концентрация НПУ.

Наполнители применяли в соответствии с данными таблицы 1 после установления степени их смачиваемости. По результатам испытания в условиях кратковременного нагружения установлено, что максимальной призмной прочностью до 70 МПа обладали образцы, содержащие 13% НПУ по массе. Для испытанных образцов полимербетона на основе НПУ (НПУБ) модуль упругости составил 18720 МПа. При меньшем количестве связующего наблюдалось снижение призмной прочности, вызванное недостаточным заполнением межкомпонентного пространства полимером. В свою очередь, снижение призмной прочности образцов при увеличении содержания НПУ происходило из-за образования излишне толстой пленки связующего в контактной зоне наполнителей и заполнителя.

Таблица 1 – Характеристики наполнителей

| Наименование | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Коэффициенты ослабления $\gamma$ -излучений с энергией 3 МэВ, см <sup>-1</sup> | $S_{\gamma 0}$ , м <sup>2</sup> /кг | Маслоемкость, г/100 г | pH водной вытяжки |
|--------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Серпентинит  | 2 800                                | 0,480  | 300                                 | 28...60               | 9,1...10,3        |
| Барит        | 4 350                                | 0,380  | 300                                 | 30...70               | 6...8             |
| Лимонит      | 5 300                                | 0,291  | 300                                 | 30...40               | 5...5,5           |
| Магнетит     | 5 000                                | 0,330  | 300                                 | 40...60               | 5,5...6,2         |

Для установления зависимости между действующими напряжениями и деформациями были проведены исследования процесса деформирования образцов НПУБ при кратковременном действии сжимающих нагрузок. Полученные зависимости изменения относительных продольных и поперечных деформаций от прикладываемой нагрузки коррелируют между собой, что свидетельствует о равнопрочности испытываемых образцов во взаимно перпендикулярных направлениях.

Указанные зависимости линейны вплоть до достижения напряжения 60 МПа. С увеличением нагрузки значения деформаций логарифмически возрастали, асимптотически приближаясь к пределу прочности при сжатии.

Полученные данные позволяют сделать заключение о

конструкционных свойствах НПУБ, и установить границы применения указанного материала, сообразуясь с уровнем предполагаемых допускаемых напряжений.

Принцип расчета защиты для ослабления и поглощения нейтронного излучения тот же, что и при защите от  $\gamma$  – излучения. Ослабление узкого пучка нейтронов материалом выражается уравнением:

$$N = N_0 \cdot e^{-\eta x} \quad (1)$$

где  $N_0$  – доза нейтронного излучения, полученная в данной точке при отсутствии защитного экрана;  $N$  – доза нейтронного излучения, полученная в данной точке после прохождения через защитный экран толщиной  $x$ , см;  $\eta$  – макроскопическое поперечное сечение захвата,  $\text{см}^{-1}$ .

На основании указанной формулы при помощи установки, подробно описанной Перекальским О.Е. [4] были получены значения линейного коэффициента ослабления НПУБ с различными наполнителями.

Указанные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты ослабления для НПУБ с различными наполнителями

| Наименование наполнителя | Средняя плотность НПУБ, $\text{кг}/\text{м}^3$ | Коэффициенты ослабления $\gamma$ -излучений с энергией 3 МэВ, $\text{см}^{-1}$ |
|--------------------------|--|--|
| Серпентинит              | 3800   | 0,580  |
| Барит                    | 3100   | 0,420  |
| Лимонит                  | 3120   | 0,341  |
| Магнетит                 | 3980   | 0,430  |

Обобщая результаты проведенных исследований установлено увеличение радиационной стойкости НПУБ в сравнении с радиационной стойкостью отвержденного связующего. Кроме того, полученные данные убедительно свидетельствуют о конструктивности полученного материала и перспективности его использования литьевым методом в конструкциях ЗСГО.

#### Список литературы:

1. Энциклопедия полимеров // под ред. В.А. Каргина. М.: Советская энциклопедия, 1972. Т.1. С. 634-636, 754-764.
2. Шаповалов Л.Д., Фиговский О.Л., Кудрявцев Б.Б. Неизоцианатные полиуретаны. Синтез и применение // Вопросы химии и химической технологии. 2004. №1. С. 232-236.

3. Барабаш Д.Е., Борисов Ю.М. Анисимов А.В. Неизоцианатные полиуретаны – основа конструкционных композитов // Строительные материалы. 2013. №5. С. 20-22.
4. Перекальский О.Е. Строительные композиты на основе полибутадиеновых олигомеров для защиты от радиации: дис... канд. техн. наук. Воронеж, 2006. 174 с.



# **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МНОГОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

**Высоцкая М.А., канд. техн. наук,  
Русина С.Ю., аспирант,  
Антонова А.О., студент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

На сегодняшний день модификация различных композитов строительного назначения наноструктурными модифицирующими добавками (наномодификаторами) весьма популярна. В том числе, это касается полимеров и материалов с их использованием.

Однако, при всем разнообразии и множестве исследований, посвященных модификации полимеров различными наночастицами, обобщающих данных, выявляющих закономерности, не существует. Различные работы, ведущиеся в этой области, как правило, направлены на выявление взаимосвязи состава (конкретный вид наночастиц и их количества) и свойств получаемого материала.

Рядом авторов [1,2 и др.] получены достаточно перспективные результаты: установлено, что малые добавки фуллеренов и нанотрубок существенно изменяют эксплуатационные характеристики материалов, повышая прочностные свойства, тепло – и термостойкость, электропроводность и др. показатели.

В представленной работе, в качестве наномодификатора использовался исходный материал многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ). Объектом исследования выступали – полимерно-битумные вяжущие (ПБВ 60).

Материал многостенных углеродных нанотрубок представляет собой одномерные наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита длиной более 2 мкм с наружными диаметрами от 15 до 40 нм в виде сыпучего порошка черного цвета. Гранулы МУНТ микрометрических размеров имеют структуру спутанных пучков многостенных трубок, их содержание варьировалось в интервале 0,005-0,006% от массы вяжущего.

Качество целевого продукта и равномерность распределения МУНТ в его объеме оценивались по величине погрешности параллельных испытаний одной пробы и результатам, полученным при

многократном воспроизведении опыта. Погрешность составляла не более 2%.

В таблице 1 представлено несколько составов разработанного полимерного компонента для вяжущего.

Таблица 1 – Состав полимерного компонента

| Наномодификатор МУНТ | Стирол-бутадиен-стирол ДСТ-30Р-01 |
|----------------------|-----------------------------------|
| $5 \cdot 10^{-3}$    | 2,0                               |
| $5 \cdot 10^{-3}$    | 3,0                               |
| $6 \cdot 10^{-3}$    | 3,0                               |

Физико-механические показатели образцов вяжущих, приготовленных с использованием модифицирующих компонентов с различным содержанием МУНТ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики образцов вяжущего

| Показатели                          | Образцы вяжущего (№)                                      |            |     | Вяжущ. 3% полим. 4,6% пластиф | Требования ГОСТ Р 52056-2003 ПБВ60 |
|-------------------------------------|---|------------|-----|-------------------------------|------------------------------------|
|                                     | 1   | 2          | 3   |                               |                                    |
| Пенетрация, 0,1 мм                  |   |            |     |                               |                                    |
| при 25°C                            | 66  | <b>65</b>  | 61  | 83                            | 60                                 |
| при 0°C                             | 40  | <b>40</b>  | 35  | 37                            | 32                                 |
| Температура размягчения, °C         | 53  | <b>63</b>  | 58  | 54                            | 54                                 |
| Температура хрупкости по Фраасу, °C | -24   | <b>-26</b> | -20 | -23                           | - 20                               |
| Сцепление с мрамором или песком*    | соот. образцу №1 с мрамором - 5 баллов с песком - 4 балла |            |     | соотв. обр.№2                 |                                    |
| Растяжимость, см                    |   |            |     |                               |                                    |
| при 25°C                            | 60  | <b>69</b>  | 60  | 69                            | 25                                 |
| при 0°C                             | 14  | <b>23</b>  | 20  | 16                            | 11                                 |

|                             |    |           |    |    |    |
|-----------------------------|----|-----------|----|----|----|
| Эластичность, см            |    |           |    |    |    |
| при 25°С                    | 87 | <b>91</b> | 88 | 81 | 80 |
| при 0°С                     | 76 | <b>75</b> | 65 | 70 | 70 |
| Когезия, кг/см <sup>2</sup> | 8  | <b>13</b> | 10 | 5  | -  |
| Интервал пластичности, °С   | 77 | <b>89</b> | 80 | 77 | -  |

В случае приготовления полимерно-битумного вяжущего, с содержанием МУНТ более 0,06% в полимерном компоненте, вязкость вяжущего нарастает. Это приводит к уменьшению его пластичности, а следовательно увеличению хрупких свойств, оказывающих негативное влияние на конечный продукт.

Как видно, полученное вяжущее превосходит требования ГОСТ Р 52056-2003 по показателям эластичности, адгезии, температуре хрупкости для всех составов вяжущего, модифицированных нанобъектами, при этом достигается однородность вяжущего и сокращение расхода полимера.

При приготовлении полимерно-битумного вяжущего с использованием модифицированного компонента с содержанием 0,05% МУНТ наблюдается следующее: содержание полимера в количестве 2% не позволяет получить вяжущее с показателями свойств, отвечающими требованиям ГОСТ. Как видно из таблицы, показатель температуры размягчения не соответствует нормативным требованиям. Остальные показатели отвечают требованиям, но являются пограничными. Увеличение количества полимера до 3%, состав №2, изменяет такие свойства вяжущего как температуру размягчения и хрупкости, растяжимость и эластичность в сторону увеличения.

Дальнейшее увеличение МУНТ не дает значимого технического результата, физико-механические показатели ухудшаются, что говорит о нецелесообразности увеличения наномодификатора в вяжущем.

Анализируя данные из таблицы, можно сделать вывод о том, что характеристики полимерно-битумного вяжущего, приготовленные с использованием МУНТ, превосходят нормативные требования, что позволяет сделать вывод о том, что полимернобитумное вяжущее, модифицированное МУНТ, обладает повышенным сопротивлением к деформациям и образованию трещин, а значит асфальтобетон с его использованием будет более морозо- и трещиностойким.

*Работа выполнялась в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ №1950, а также проекта стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.*

**Список литературы:**

1. Формирование научно-инновационной политики дорожного хозяйства / А.А. Сухов, С.В. Карпеев, А.В. Кочетков, С.П. Аржанухина // Инновационная деятельность. 2010. №3. С. 41-46.
2. Углеродный наноматериал «Таунит». <http://www.rusnanonet.ru/goods/20235/>.

## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНОГО НАГРУЖЕНИЯ НЕЖЁСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

**Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Барабаш Д.Е., д-р техн. наук, проф.,**

**Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.**

*Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж)*

**Волков В.В., аспирант**

*Воронежский государственный  
архитектурно-строительный университет*

Развитие технологии строительства дорог и получение новых материалов используемых для формирования верхнего слоя дорожных одежд, часто приводит к неоднозначности получаемых результатов при их приёме и последующей диагностике в процессе эксплуатации. Это обуславливает завышение показателя общего модуля упругости в тех случаях, когда слои основания обработаны вяжущим, особенно при тонких слоях асфальтобетона. В тоже время измеряемые прогибы при статическом нагружении, могут давать большие величины, при толщине асфальтобетона превышающей нормативную.

Это противоречие часто приводит к дискуссиям, а порой и спорам о том, что важнее – измерение несущих свойств основания или дорожной конструкции. Исторически сложилось, что в качестве основы для расчёта величины общего модуля упругости дорожной конструкции используется формула Буссинеска [1]. Простота её использования и главное – понимание значимости каждого коэффициента способствовало её широкому распространению в дорожной отрасли и использованию в нормативных документах. В первую очередь это связано с отсутствием необходимой и точной аппаратуры у органов технического надзора.

Тем не менее, последние теоретические и экспериментальные исследования наших соотечественников в области диагностики дорожных конструкций показал, что использование методов фото- и видеометрии обеспечивает измерение величины прогиба дорожной конструкции с расположением измерителя вне чаши прогиба, с точностью до микрометра [2]. Совершенствование методов контроля параметров построенной и эксплуатируемой конструкции на основе

измерения характеристик, полученных в результате неразрушающей диагностики конструкций автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием, позволяет выявить ослабленные участки дорог и назначить реконструкцию или ремонт на ранних этапах, что позволяет экономить материально-технические и финансовые ресурсы. Таким образом, выявление и определение этих характеристик на ранних этапах эксплуатации – актуально. Известно, что в основе большинства измерений характеризующих несущие свойства асфальтобетонного покрытия используются величины прогиба покрытия, возникающие при воздействии штамповой нагрузки имитирующей одиночное колесо с нормативной нагрузкой на ось. В основе этого лежит определение прочностных свойств, которые неразрывно связаны с модулем упругости материала из которого изготовлена конструкция и теми физическими законами, которые характеризуют поведение системы при воздействии транспортной нагрузки.

Известно множество способов штамповых испытаний, где используется как жёсткие, упруго-жёсткие, шаровые и другие штампы, для каждого из них существует методика, позволяющая измерять те или иные характеристики дорожной конструкции, но на сегодняшний день отсутствуют простые неразрушающие методики, которые позволяют определять несущий слой ответственный за деформацию [3].

Наиболее распространённым является метод штамповой нагрузки рассчитываемый по формуле Буссинеска [1]:

$$E_{\text{общ}} = \frac{\pi}{4} * D * P * (1 - \nu_{\text{общ}}^2) \frac{1}{\omega}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{общ}}$  – общий модуль упругости конструкции дорожной одежды, МПа;  $D$  – диаметр штампа;  $P$  – нагрузка, МПа;  $\nu_{\text{общ}}$  – коэффициент Пуассона;  $\omega$  – прогиб, м.

Основными характеристиками являются нагрузка, диаметр штампа, коэффициент Пуассона и общий прогиб конструкции. Анализ выражения (1) показывает, что существует решение при условии формирования многослойной конструкции, когда модули упругости покрытия и основания отличаются в несколько раз (70-3200 МПа). Указанное обстоятельство приводит к неоднозначности влияния модуля упругости основания на величины модулей конструкции и покрытия, ответственного за передачу основных нагрузок от колеса транспортного средства к дорожной конструкции. Необходимо отметить, что условия деформации конструкции рассматриваются как однородные, т.е. модуль упругости пропорционален прогибу, а при больших нагрузках не соответствует действительности, что в свою очередь приводит к

недооценке нагрузки от транспортных средств, превышающей расчётную. Для анализа влияния характеристик материалов и толщин слоёв конструкции в таблице приведены различные варианты конструкций дорожных одежд с одинаковым  $E_{\text{общ}}$  [5]. Анализ таблицы показывает, что при различных толщинах слоёв дорожной конструкции с различными модулями упругости слоёв, может получиться приблизительно одинаковый обобщённый модуль упругости конструкции. При различной стоимости материалов и сложности работ суммарная стоимость строительства дороги может различаться существенно.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики различных конструкций дорожных одежд с одинаковым обобщённым модулем упругости

| Материал слоя           | 1-ая конструкция |           | 2-ая конструкция |           | 3-я конструкция |           | 4-ая конструкция |           |
|-------------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
|                         | $h$ слоя, см     | $E$ , МПа | $h$ слоя, см     | $E$ , МПа | $h$ слоя, см    | $E$ , МПа | $h$ слоя, см     | $E$ , МПа |
| Асфальтобетон 1-го слоя | 4                | 3200      | 4                | 3200      | 6               | 3200      | 6                | 2800      |
| Асфальтобетон 2-го слоя | 8                | 2000      | 8                | 2000      | 10              | 2000      | 6                | 1800      |
| Асфальтобетон 3-го слоя | 22               | 2000      | 22               | 2000      | 18              | 2000      | 22               | 1600      |
| Щебень основания        | 35               | 420       | 14               | 400       | 25              | 320       | 40               | 600       |
| Грунт                   | 150              | 50        | 150              | 50        | 150             | 50        | 150              | 70        |
| $E_{\text{общ}}$ , МПа  | 434              |           | 434              |           | 434             |           | 434              |           |

Например, в 4-ой конструкции, при применении материалов с ненормативными характеристиками, но с более прочным основанием, получается такой же обобщённый модуль упругости конструкции. Следовательно, основание играет основополагающую роль для назначения конструкции дорожной одежды и выборе технологии производства работ. При контроле технологии работ используются различные методы определения упругой характеристики конструкции, и для устранения противоречия необходимо произвести моделирование системы покрытие – основание дорожной конструкции и выработать подход к использованию дополнительной измеряемой величины – модуля сдвига.

При моделировании выдвинуто предположение о том, что существует условный слой асфальтобетонного покрытия с величиной модуля упругости равной величине на поверхности.

Тогда можно предположить, что для двуслойной конструкции:

$$E_{\text{общ}} = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2}{h_1 + h_2}, \quad (2)$$

где  $E_1, E_2$  – модули упругости слоёв дорожной конструкции (в предположении, что слои основания работают как один единый слой);  $h_1, h_2$  – эквивалентные толщины асфальтобетонного и слоя основания.

Анализ влияния изменения величин входящих в уравнение (2) показал, что очень важно знать величину модуля упругости 1-го слоя дорожной конструкции, которую можно узнать только прямым способом при послойном вскрытии всей конструкции или её бурении и в последующем подвергая нагружению эквивалентной нагрузкой. Однако, возможно определение модуля упругости 1-го слоя асфальтобетонного покрытия в предположении анизотропного полупространства уплотнённого материала асфальтобетона при определении касательных деформаций в поле сил приложения нагрузки. Тем не менее, данный метод не позволяет определять абсолютную деформацию асфальтобетонного покрытия, так как касательное нагружение приложено ко всей конструкции [4]. Развитие теории вычисления пространственного распределения напряжений в анизотропных средах и методов с использованием вычислительных систем показали возможность разрешения главного противоречия в измерении характеристик слоёв дорожной конструкции – отсутствие учёта сдвиговых деформаций при оценке модуля упругости конструкции. Это противоречие может быть решено использованием приборов осуществляющих комплексное – сложное нагружение, связанное единым процессом деформации конструкции.



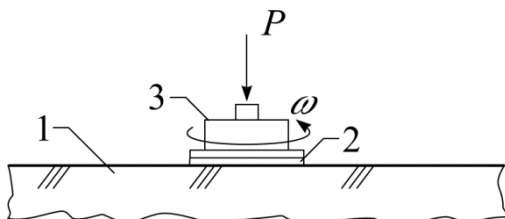


Рисунок 1 – Схема нагружения дорожного покрытия: 1 – покрытие дорожной одежды; 2 – резиновая прокладка имитирующая контакт колеса с поверхностью дороги; 3 – штамп устройства;  $P$  – нагрузка эквивалентная нормативной величине воздействующей на ось;  $\omega$  – угловая скорость вращения

Для этих целей разработано устройство (рис.) осуществляющее сложное нагружение и измеряющее деформации конструкции при воздействии статической штамповой нагрузки, а также вращательный сдвиг верхнего слоя покрытия. Используя сложное нагружение штамповой нагрузки на покрытие можно определить величину деформации сдвига верхнего слоя покрытия  $G$ , а используя выражение (3) можно установить модуль упругости асфальтобетона  $E$ :

$$E = 2(1 + \nu_{\text{общ}})G. \quad (3)$$

В полупространстве, где воздействие нагрузки вызывает деформацию вокруг центра вращения, действует обобщающий модуль упругости, характеризующий сдвиг асфальтобетона.

В соответствии с теорией упругости, проекции перемещения определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} u &= -\frac{1}{4\pi G} \left( z \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{m-2}{m} \frac{\partial \omega_1}{\partial x} \right); \\ v &= -\frac{1}{4\pi G} \left( z \frac{\partial \omega}{\partial y} + \frac{m-2}{m} \frac{\partial \omega_1}{\partial y} \right); \\ \omega &= -\frac{m-1}{2\pi m G} \omega - \frac{1}{4\pi G} z \frac{\partial \omega}{\partial z}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $G$  – модуль сдвига;  $m$  – число Пуассона.

Модуль сдвига с модулем упругости связан соотношением (5):

$$G = \frac{E_m}{2(m+1)} = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (5)$$

В области соприкосновения штампа поверхность вращения ограничена площадью соприкосновения штампа и эквивалентна

площади пневматика. Это способствует приведению системы к цилиндрическим координатам. При моделировании вводятся допущения: величина напряжения на поверхности покрытия не превышает предельную величину образования необратимых деформаций вызывающих разрушения; нормальное давление вызывает нормальные напряжения конструкции и покрытия не выше ограничений, при которых происходит разрушение дорожных конструкций.

Принимаем, что модуль упругости изменяется в диапазоне измерения указанной установки до глубины не менее 2 см, при этом напряжение соответствует  $0,3-0,4 \sigma_{\max}$ , а касательное напряжение в результате вращения  $0,6-0,7 \sigma_{\max}$ .

Штамп перемещается на чрезвычайно малое расстояние, упругость его не изменяется во времени и край штампа не вызывает деформаций.

При рассмотрении штампа площадью  $S$  на поверхности  $R$  покрытия подверженного сложному нагружению воздействием нагрузки 110 кН и 50 кН вращательного воздействия, получаем следующие граничные условия. Краевыми точками деформации является область воздействия подошвы штампа, при этом величина касательного воздействия при вращательном нагружении эквивалентна воздействию пневматика на поверхность дорожного покрытия.

Необходимо отметить, что условия равновесия штампа могут быть описаны простыми соотношениями, при этом многослойная конструкция характеризуется функциями свойств каждого слоя, что позволяет оценить их расчётные свойства при проектировании и оценке в процессе эксплуатации.

Установлено, что модуль упругости основания дорожной конструкции равен:

$$E_{\text{осн}} = \frac{\pi}{2} * \frac{D * P * G_a(1 + \nu) * (1 - \nu_{\text{осн}}^2)}{2 * \omega * G_a(1 + \nu) - \frac{\pi}{4} * D * P * (1 - \nu^2)} \quad (6)$$

Определяемый модуль упругости верхнего слоя покрытия свидетельствует о влиянии толщины сформированного асфальтобетонного покрытия на характеристики всей конструкции. Следует отметить, что существует компромиссное решение, при котором эквивалентная толщина покрытия при соизмеримых толщинах основания даёт общий вклад, соответствующий воздействию транспортной нагрузки в условиях «идеального» воздействия. Это даёт возможность использовать новую методику определения модуля

упругости покрытия и основания повышающую точность измерений на 15...20%.

#### **Список литературы:**

1. Конструирование и расчёт нежестких дорожных одежд / под ред. Н.Н. Иванова. М.: Транспорт, 1973. 328 с.
2. Прогнозирование величины необратимой деформации дорожной конструкции от воздействия транспортного потока / В.В. Волков, Ф.В. Матвиенко, А.Н. Канищев, В.Н. Мелькумов // Научный вестник ВГАСУ Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2010. Вып. 3(19). С. 81-92.
3. ОДН 218.0.006-2002 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог» (Взамен ВСН 6-90) / Росавтодор. М.: Информавтодор, 2002.
4. ОДН 218.1.052-2002 «Оценка прочности нежестких дорожных одежд» (утв. Распоряжением Минтранса РФ от 19.11.2002 № ОС-1040-р.).
5. ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» (утв. Распоряжением Минтранса РФ от 20.12.2000 N ОС-35-р).

## **УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Гнездилова С.А., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

В современных условиях постоянно возрастающей протяженности автодорог, интенсивности движения, стратегической задачей современной дорожной науки является увеличение сроков службы дорожного полотна при обязательном учете региональных природно-климатических факторов.

Основоположником существующего дорожно-климатического районирования был А.В. Гербурт-Гейбович, разработавший в 1941 г. первую картосхему дорожно-климатических зон, которая явилась отправным пунктом для дальнейших исследований влияния природно-климатических факторов разных районов нашей страны на выбор оптимальных проектных решений и соответственно на надежность и долговечность работы инженерных сооружений дорожного комплекса.

Опыт эксплуатации существующих дорог во многих регионах страны свидетельствует о наличии специфических особенностей их водно-теплового режима, обуславливающих развитие таких негативных процессов, как пучинообразование, неровности покрытия, что отражается в сокращении срока службы, как дорог, так и автотранспорта, и наносит существенный экономический ущерб регионам.

Многими учёными неоднократно отмечалось, что существующее дорожно-климатическое районирование не в полной мере учитывает природно-климатические и фенологические особенности отдельных территорий России и многие др., что непосредственно влияет на эксплуатационную надежность транспортных сооружений еще на стадии проектирования.

Исследования по уточнению существующего дорожно-климатического районирования выполнены для многих регионов России и стран СНГ. Например, В.М. Сиденко выполнено районирование территории Украины, засушливой зоны бывшего СССР, включающей Туркменистан, Узбекистан, Казахстан, и Таджикистан, А.И. Ярмолинским – территории Дальнего Востока и о. Сахалин, специалистами ТГАСУ (под руководством профессора В.Н. Ефименко) – территории Западной Сибири, М.М. Девятовым, С.В. Алексиковым и

др. выполнено районирование нижеволжского региона, О.Н. Гулько – территории Крайнего Севера, М.С. Барышниковым – территории Тюменской области, В.С. Боровиком, А.Г. Кругловым выполнено районирование территории Астраханской области.

Многие авторы дорожно-климатическое районирование выполняют на основе анализа комплекса групп факторов: зональных, интразональных и региональных.

Существующее зональное деление относит территорию Белгородской области к III и IV дорожно-климатическим зонам. Граница III и IV дорожно-климатических зон, соответствующая линии перехода лесостепной зоны со значительным увлажнением грунтов в отдельные годы к степной с недостаточным увлажнением грунтов [1], проходит через областной центр Белгородской области г. Белгород и простирается в направлении на юго-восток (рис.1).

Анализ комплекса факторов зонального, интразонального регионального характера позволили выделить в пределах существующих III и IV дорожно-климатических зон 4 дорожных района (рис.2). За основу разделения изучаемой территории при дорожно-климатическом районировании принята таксономическая система: зона – подзона – район. При этом дорожный район представляет собой генетически однородную территорию, характеризующуюся типичными, свойственными только ей климатом, геологией, рельефом местности и другими физическими условиями. Внутри дорожного района однотипные дорожные конструкции (земляное полотно и дорожные одежды) должны характеризоваться однородной прочностью (способностью выдержать нагрузки без нарушения их сплошности) и устойчивостью (способностью изменять свое состояние так, чтобы связанные с этими изменениями деформации не превышали допустимые).

В пределах III дорожно-климатической зоны выделено 3 дорожных района, в пределах IV дорожно-климатической зоны – 1 дорожный район, характеристика которых приведена в таблице 1.

Дорожный район III.Р.1 соответствует бассейнам рек Ворскла и Псел. Граница с районом III.Р.2 проходит вблизи населенных пунктов Борисовка, Томаровка, Яковлево, Строитель, Прохоровка (см. рис.2). Характеризуется увлажненностью (ГТК Селянинова 1.23-1.33), почти полным отсутствием выходов меловых пород на склонах речных долин, оврагов, балок. В почвенном покрове преобладают ареалы черноземов типичных, выщелоченных и оподзоленных, которые чередуются с ареалами темно-серых лесных почв. Характеризуется островным

распространением широколиственных лесов и дубрав среди открытых степных пространств, в прошлом покрытых лугово-разнотравной растительностью.

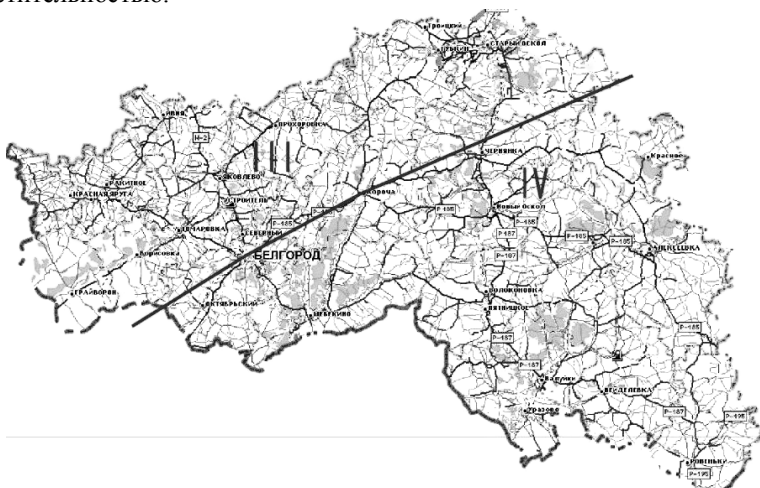


Рисунок 1 – Схема дорожно-климатического районирования территории Белгородской области по СНиП 2.05.02-85



Рисунок 2 – Схема дорожно-климатического районирования территории Белгородской области: III, IV – дорожно-климатические зоны; P – подзона по типу рельефа (равнинный); 1 – 3 – номера дорожных районов

Таблица 1 – Характеристика основных геокомплексов дорожных районов на территории Белгородской области

| Индекс дорож-ного района | Климатическая зона  | Населенные пункты                     | Характеристика дорожного района |   |                                |                                   |
|--------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|
|                          |   |                                       | тип рельефа                     | грунты  | Увлажненность (ГТК Селянинова) | Среднегодовая температура воздуха |
| Ш.Р.1                    | Зона лесостепи со значительным увлажнением в отдельные годы | Грайворон<br>Ивня<br>Красная<br>Яруга | равнинный                       | Суглинки лёгкие, лессовидные суглинки, глина песчанистая  | 1,23-1,33                      | +5,9°С                            |
| Ш.Р.2                    | Зона лесостепи со значительным увлажнением в отдельные годы | Белгород<br>Губкин<br>Старый<br>Оскол | равнинный                       | Лесс и лессовидные суглинки, суглинки легкие пылеватые и суглинки легкие пылеватые высокопористые, мел трещиноватый белый | 1,03-1,16                      | +6,0°С                            |
| Ш.Р.3                    | Зона лесостепи со значительным увлажнением в отдельные годы | Алексеевка<br>Красное                 | равнинный                       | Мело-мергельные породы, лесс и лессовидные суглинки, суглинки карбонатные, легкие и тяжелые                               | 1,00-1,04                      | +6,3°С                            |
| IV.Р.1                   | Степная зона с незначительным увлажнением                   | Вейделевка<br>Ровеньки<br>Валуйки     | равнинный                       | Мело-мергельные породы, лессовидные суглинки, суглинки тяжелые пылеватые, суглинки легкие                                 | 0,93-1,02                      | +6,6°С                            |

Дорожный район IV.Р.1 на юго-востоке Белгородской области в геологическом отношении соответствует острогожскому поднятию свода воронежской антеклизы. Четвертичные покровные отложения суглинисто-глинистого механического состава. Увлажненность этой территории, оцениваемая гидрометрическим коэффициентом Селянинова, составляет 0,93... 1,02.

Основной фон почвенного покрова составляют черноземы обыкновенные, кроме них распространены черноземы солонцеватые и на больших площадях – смытые черноземы. Ареалы засоленных почв генетически связаны с соленосными породами палеогена.

В процессе исследований установлено, что при анализе геокомплексов, характерных для изучаемой территории, границы дорожно-климатических зон могут существенно смещаться относительно отраженных в СНиП 2.05.02-85.

Сравнивая результаты уточнения границы III и IV дорожно-климатических зон с ее дислокацией по СНиП 2.05.02-85 (см.п.6.3. приложение 1) [1], можно отметить, совпадение на западе и существенное отклонение в Восточной части Белгородской области.

Таким образом, выделение дорожных районов с определением их границ в пределах существующих дорожно-климатических зон и уточнением границ последних позволит добиться повышения надежности и долговечности конструктивных элементов дороги и дорожных сооружений, повысить эффективность их эксплуатации в конкретных климатических условиях данного региона.

#### **Список литературы:**

1. СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. М.: ЦНТП Госстроя СССР, 1985. 56 с.



## ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВОЙ ГОНОЧНОЙ ТРАССЫ В АСК «ВИРАЖ» В БЕЛГОРОДЕ

Горшкова Н.Г., канд. техн. наук, доц.,

Антонова Р.О., студент

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Испытание бездорожьем автогонщики проходят на грунтовых трассах, насыщенных крутыми поворотами и трамплинами. На территории г. Белгорода в автотранспортном комплексе АСК «Вираж» имеется открытый трек протяженностью 1800 м (рис. 1), крытый картодром с асфальтированной площадкой площадью 3600 м<sup>2</sup> и грунтовая трасса (рис. 2) длиной 4900 м, с шириной от 6 м на прямых участках до 9 м на поворотах с движением в обоих направлениях (по часовой и против часовой стрелки), с четырьмя трамплинами и перепадами высот до 17 м.



Рисунок 1 – Участок открытого трека



Рисунок 2 – Схема грунтовой гоночной трассы

На трассе проходили соревнования всероссийского и международного уровня: Чемпионат России по ралли-рейдам «Баха Белогорье», кандидатская гонка на Кубок мира по ралли-рейдам, спецучасток ретро-ралли «Пекин-Париж 2013» и др. Также, здесь проводятся кроссовые соревнования.

Движение по открытой трассе может осуществляться лишь в сухую погоду, во время дождя потренировать навыки вождения можно лишь на внедорожнике или квадроцикле [1].

Для увеличения периода эксплуатации открытой трассы администрация АСК «Виразж» обратилась за помощью в БГТУ им. В.Г. Шухова. Основная цель, поставленная заказчиком – улучшить возможность движения в непогоду с наименьшими материальными затратами, но не делать твердое покрытие на трассе для возможности отработки навыков вождения при заносах, при плохом сцеплении и т.д. Гоночная трасса, хотя и напоминает обычную дорогу, но проектируется и строится совершенно по другим принципам [2]. Результаты инженерно-геологических изысканий на данной трассе [3], а так же ее визуальный осмотр позволили сделать выводы, что физико-геологических явлений и процессов, способных оказать влияние на линейное сооружение, не выявлено, за исключением наличия очень сложных грунтов – просадочных суглинков. Фотографии некоторых участков трассы представлены на рис. 3.

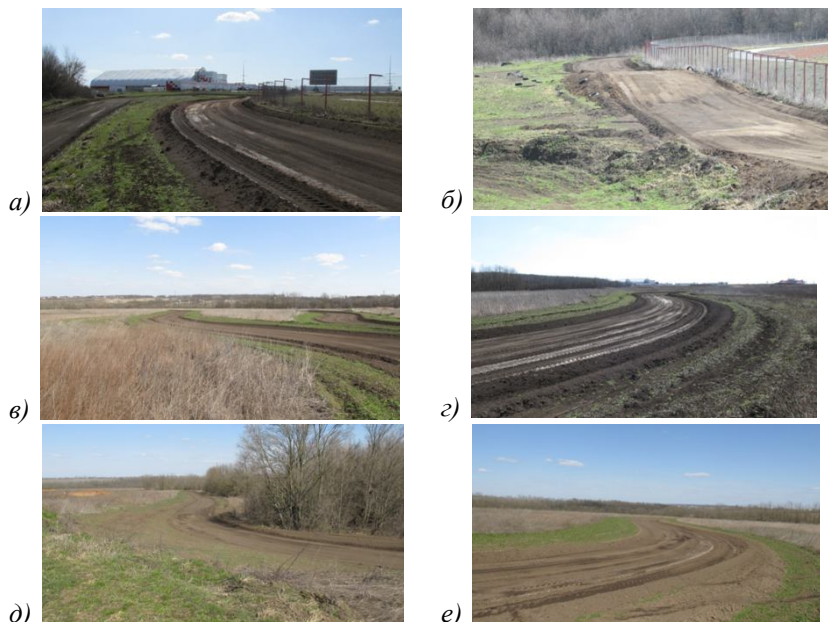


Рисунок 3 – Фотографии трассы: *а* – зона старта; *б* – двойной трамплин; *в* – зона сближения; *г* – S-образный участок; *д* – первый поворот; *е* – дуга

На основе анализа имеющихся данных разработаны следующие рекомендации. Учитывая, что поверхность, по которой движутся автомобили, состоит из смеси растительного слоя (чернозема) и суглинки [4], причем неравномерно перемешанными, было принято решение усилить основание и "закрепить" трассу на прежнем месте. Для закрепления гоночной трассы и усиления основания предлагается 2 варианта.

**1 вариант.** Снятие растительного слоя на всю толщину по ширине трассы, который, согласно результатам геологических изысканий, имеет толщину от 0,5 до 0,6 м. В образовавшийся корытный профиль уложить дорожную конструкцию, представленную на рис. 4.

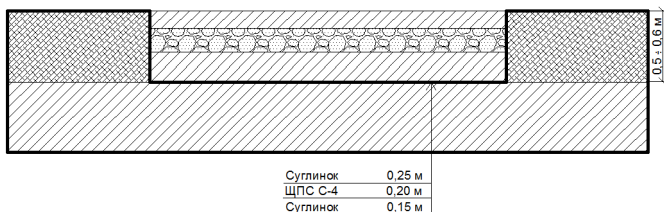


Рисунок 4 – Первый вариант конструкции укрепления гоночной трассы

В целях экономии затрат основная часть конструкции представлена местным грунтом. Для укрепления конструкции и уменьшения просадки рекомендуется использовать щебеночно-песчаную смесь (подобранного гранулометрического состава (ЩПС С-4) из Лебединского ГОКа). В качестве покрытия, в данном случае для уменьшения сцепления с колесом автомобиля, может быть использован местный грунт – суглинок легкий, добываемый из притрассового карьера АСК "Виразж".

На основании проведенных расчетов объем снимаемого растительного грунта составит 21300 м<sup>3</sup>. Для засыпки корытного профиля, с учетом поправочных коэффициентов на уплотнение, перемещение и транспортировку потребуется местный грунт (суглинок) в объеме 16000 м<sup>3</sup> и ЩПС, без учета поправочных коэффициентов, в объеме 7100 м<sup>3</sup>.

**2 вариант.** Снятие растительного слоя на глубину 0,15 м. В образовавшийся корытный профиль уложить ЩПС толщиной 0,1 м (методом втапливания), а затем смесь ЩПС С-4, перемешанную с суглинком в соотношении 50:50% (рис. 5).



Рисунок 5 – Второй вариант конструкции укрепления гоночной трассы

Объем снимаемого растительного грунта составит 5300 м<sup>3</sup>. Для засыпки корытного профиля с учетом поправочных коэффициентов потребуется местный грунт в объеме 6000 м<sup>3</sup> и ЩПС, без учета поправочных коэффициентов, в объеме 5400 м<sup>3</sup>.

Таким образом, можно констатировать, что первый вариант является более предпочтительным, хотя и более дорогостоящим, т.к. подстилающий грунт – суглинок высокопористый просадочный, является просадочным, малопрочным, подверженным пучению и гарантировать более или менее стабильное основание невозможно.

Кроме предложенных вариантов, на основании опыта эксплуатации других грунтовых трасс, есть достаточно простой, но менее долговечный "рецепт": смесь из 75% суглинка, 15% глины и 10% песка. Если поверхность трассы не остается влажной, ее можно полить моющим средством, смешанным с водой, или с большим количеством гипса.

На основании проведенных геологических и гидрологических изысканий [3], визуального осмотра и существующего рельефа на протяжении всей трассы в пониженных местах, где застаивается вода, необходимо сделать поперечные водоотводные каналы с отводом поверхностной воды в пониженные места рельефа. Каналы должны иметь трапециевидное очертание с размерами: глубиной не менее 30 см, размером по дну не менее 40 см.

#### **Список литературы:**

1. АСК «Виразж» // Грунтовая трасса [сайт]. URL: <http://ask-virazh.ru//data/2014/0421/21.html> (дата обращения: 21.04.2014)
2. Все о гоночных трассах. 2014: [Электронный ресурс]. URL [www.drive-class.ru.htm](http://www.drive-class.ru.htm). (дата обращения: 21.04.2014).
3. Автоспортивный комплекс, расположенный вдоль автодороги Студенческая–кольцевая развязка Воронеж–Белгород. Отчет об инженерно-геологических изысканиях. Белгород, 2010.
4. Корсаков А.К. Структурная геология: учеб. пособие. М: Книжный дом, 2009.

## **ВЛИЯНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ И СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ПЕРЛИТА НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА**

**Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,  
Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Как известно минеральный порошок является основным структурообразующим компонентом асфальтобетона. При этом, плотные и пористые порошки по-разному ведут себя в отношении органических адсорбатов. Принят считать, что при использовании образцов плотного строения битум не проникает в тело материала. Заметно лишь его проникновение по микротрещинам и плоскостям спайности кристаллов. Поэтому такие порошки сорбируют битум без заметного изменения его свойств. В тонкопористых материалах (трепел, опока, известняк) наблюдается избирательная диффузия компонентов битума. Вследствие этого тонкопористые минеральные порошки существенно изменяют свойства битумных слоёв.

Таким образом, при применении пористых минеральных материалов адсорбционные слои битума на поверхности минеральных частиц несколько обедняются смолами и маслами. Вследствие увеличения концентрации асфальтенов вязкость поверхностных слоев битума возрастает и связи между минеральными частицами, обусловленные контактами поверхностных оболочек более вязкого битума, становятся менее эластичными, более жесткими. При этом, микропоры отличаются весьма высоким адсорбционным потенциалом, благодаря чему в них сорбируется значительная часть поверхностно-активных компонентов битума.

В представленной работе в качестве объектов исследования использовались Старо Оскольский вспученный перлитовый порошок, образующийся при производстве перлитового песка. Для сравнения использовался минеральный порошок из известняка Елецкого месторождения. В качестве вяжущего использовался битум марки БНД 60/90 Новокуйбышевского НПЗ, соответствующий требованиям ГОСТ 22245-90.

Исследованиями выполненными ранее [1,2] была установлена возможность использования перлита в качестве наполнителя для приготовления асфальтобетонных смесей.

Было получено, что такие важные показатели минерального порошка из перлита как битумоемкость, зерновой состав, а также водостойкость и набухание образцов из смеси наполнителя с битумом соответствуют требованиям стандарта к минеральным порошкам МП-2. Более высокая битумоемкость наполнителя из перлита по сравнению с традиционным известняком, по-видимому, является следствием его высокой пористости и удельной поверхности.

Предварительно удельная поверхность наполнителей подбиралась одинаковой, на приборе ПСХ по воздухопроницаемости без учета пор. При использовании метода БЭТ установлено, что наполнитель из перлитовой пыли имеет фактическую удельную поверхность в 3,4 раза большую, чем известняковый (табл.1). Объем наноразмерных пор в его составе более чем в 2 раза превышает эту величину для традиционного наполнителя из известняка.

Таблица 1 – Показатели свойств наполнителей

| Наименование показателей   | Минеральный порошок |        |
|--|---------------------|--------|
|  | известняк           | перлит |
| Удельная поверхность по ПСХ-2, м <sup>2</sup> /кг                                    | 350                 | 350    |
| Удельная поверхность на приборе Сорби-М (4-х точечный метод БЭТ), м <sup>2</sup> /кг | 877                 | 2973   |
| Объем пор с R меньшим 19,4 нм, см <sup>3</sup> /г                                    | 0,037               | 0,078  |

Оценка поверхности исследуемых наполнителей проводилась по микрофотографиям, которые подтвердили данные табл. 1, о наличии на поверхности дисперсного перлита разветвленной системы микропор.

Это особенно важно, т.к. установлена особая роль микрогеометрии поверхности частиц твердой фазы в структурообразовании контактных слоев. Отмечается, что для протекания хемосорбционных процессов более благоприятным является наличие на поверхности минеральных частиц ребер, пиков, острых граней, а для физической адсорбции – углублений и микротрещин. В соответствии с классической теорией взаимодействия минерального материала с вяжущим большое значение оказывает знак заряда поверхности минерала.

Принято считать [3], что пленки из органического вяжущего более интенсивно притягиваются к поверхности минеральных частиц с большим количеством положительных электрических центров. При

этом, чем сильнее выражены положительные заряды на поверхности минерала, тем выше адгезия к ним органических вяжущих.

Однако ряд работ [4,5] противоречит существующим представлениям о взаимодействии битума с кислыми минеральными материалами. Поэтому для прогнозирования активности процессов взаимодействия пористого тонкодисперсного сырья с органическим вяжущим был определен минералогический состав перлита. Использовался метод рентгенофазового анализа.

Исследованиями было установлено наличие в составе перлита минерала аморфного кремнезема – опала ( $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ) и минералов кристаллического строения тридимита ( $\text{SiO}_2$ ) и кристобалита ( $\text{SiO}_2$ ).

Однако на взаимодействие минеральных материалов с вяжущим в асфальтобетоне также оказывает существенное влияние состояние их поверхности, на которой имеются активные центры, обусловленные наличием гидроксильных групп и примесных центров, которые определяют активность подложки по отношению к вяжущему, влияют на процессы структурообразования и способны обеспечивать прочные контакты между вяжущим и поверхностью минеральных материалов.

О способности исследуемого минерального порошка к активному взаимодействию с битумом свидетельствуют результаты по определению концентрации обменных центров на его поверхности [5]. В соответствии с полученными данными на поверхности перлита содержание активных Бренстедовских центров – 28,42 мк-экв/г, у известняка – 24,96 мк-экв/г. Таким образом, можно сделать вывод о том, что поверхность перлита способна к активному взаимодействию с битумом. Об этом, так же свидетельствуют результаты исследований, полученные с помощью метода ИК-спектроскопии). ИК-спектры битума после взаимодействия с исследуемым наполнителем характеризуются снижением интенсивности соответствующих полос поглощения, что свидетельствует об уменьшении количества нафтеновых ( $725\text{-}875\text{ см}^{-1}$ ), ароматических ( $1600\text{ см}^{-1}$ ) соединений, а также парафино-нафтеновых углеводородов ( $2850\text{-}2930\text{ см}^{-1}$ ) в составе органического вяжущего.

Связи, возникающие между битумом и поверхностью минеральных частиц, имеют первостепенное значение для свойств асфальтобетона. Поэтому важнейшей характеристикой минерального порошка является его способность к прочному сцеплению с вяжущим [6]. О характере взаимодействия исследуемых минеральных порошков с битумом судили по максимальной адсорбции битума из бензольных растворов



наполнителями и десорбции бензолом сорбированного ими органического вяжущего фотоколориметрическим методом.

В соответствии с полученными данными, наиболее активная адсорбция компонентов битума идет на поверхности перлита. Так при концентрации битума в 12%-ном растворе величина его адсорбции поверхностью перлита составляет  $2,91 \times 10^{-3}$  кг<sub>бит</sub>/кг<sub>пор</sub>, а поверхностью известняка  $2,1 \times 10^{-3}$  кг<sub>бит</sub>/кг<sub>пор</sub>. Это может объясняться высокой пористостью наполнителя и, очевидно, большим количеством адсорбционных центров на его поверхности, способных адсорбировать компоненты битума. Капиллярно-пористая структура минеральных зерен при прочих равных условиях значительно увеличивает количество адсорбированного битума.

При исследовании десорбции битума было зафиксировано, что часть битума отделяется растворителем. Термодинамическая обратимость предельно насыщенного адсорбционного слоя является отличительным признаком физической адсорбции. Наибольшая десорбция адсорбированного слоя вяжущего происходит с поверхности перлита. Однако даже после десорбции на его поверхности остается больше битума, чем на поверхности известняка. После десорбции количество органического вяжущего, оставшегося на поверхности перлита составило  $1,88 \times 10^{-3}$  кг<sub>бит</sub>/кг<sub>пор</sub>, а на поверхности известняка  $1,41 \times 10^{-3}$  кг<sub>бит</sub>/кг<sub>пор</sub>.

Полученные результаты, показывающие неполную десорбцию битума с поверхности минеральных материалов, можно отнести к происходящим между наполнителем и органическим вяжущим хемсорбционным процессам. Это может быть взаимодействие обусловленное наличием активных брэнстедовских кислотных центров.

Исходя из особенностей поровой структуры минерального порошка из перлитовой пыли, обеспечивающей высокую удельную поверхность, способную участвовать в сорбционных процессах, а также учитывая морфологию поверхности и значительное количество активных адсорбционных центров на ней, можно предположить, более активное взаимодействие органического вяжущего с поверхностью минерального порошка из перлита.

Это становится особенно актуальным, если учесть, что именно от совокупности характеристик минерального порошка будет зависеть прочность «склеивания» минеральной части асфальтобетона с битумом за счет образованию асфальтовяжущего вещества (АВВ) и формирования оптимальной толщины битумной пленки.

Структура АВВ может быть представлена как система, в которой частицы минерального порошка являются узлами, адсорбирующими асфальто-смолистые составляющие битума и обеспечивающие взаимное сцепление компонентов; между узлами находятся масла, играющие роль смазки [3].

Если при взаимодействии с битумом минеральные порошки изменяют групповой состав органического вяжущего и при определенных концентрациях создают упругие пленки на его поверхности, то и смеси будут проявлять высокие показатели пластической прочности. Если же наполнитель не вызывает такого рода изменений в вяжущем, тогда и смеси будут иметь низкую пластическую прочность.

Для более детального изучения взаимодействия исследуемого наполнителя с вяжущим и прогнозирования свойств дорожного композита, приготовленного с исследуемым минеральным порошком, были произведены исследования АВВ. Образцы готовились по методике ГОСТ. Для каждого из исследуемых наполнителей было определено оптимальное содержание битума. За основу была принята остаточная пористость образцов (5-6%).

К основным критериям качества минерального порошка из техногенного сырья, регламентируемых требованиями стандарта, относятся битумоемкость, водостойкость и набухание образцов из смеси порошка с битумом.

Результаты исследований (табл. 2) свидетельствуют о том, что предел прочности при сжатии АВВ на исследуемом наполнителе при 50<sup>0</sup>С несколько выше, чем этот показатель у образцов на традиционном известняке. По этому показателю можно предположить, что асфальтобетон, приготовленный с использованием пористого минерального порошка, в летнее время будет более устойчив к появлению таких дефектов покрытия, как колеобразование, волны и наплывы. Важным показателем при оценке физико-механических свойств бинарной смеси, особенно при повышенных температурах, является показатель степени шероховатости поверхности АВВ, которая будет способствовать повышению внутреннего трения в асфальтовой системе при деформировании и способствовать большей сдвигоустойчивости дорожного композита. С увеличением степени шероховатости частиц внутреннее трение увеличивается.

На рис. приведена степень шероховатости поверхности АВВ с оптимальным содержанием битума на исследуемом и традиционном минеральных порошках.

Таблица 2 – Физико-механические свойства асфальтовяжущего

| Наименование показателей   | Требования ГОСТ | Минеральный порошок |        |
|--|-----------------|---------------------|--------|
|  |                 | известняк           | перлит |
| Показатель битумоемкости, г,   | не более 80     | 68                  | 79     |
| Прочность при сжатии, МПа, при:<br>+50 <sup>0</sup> С<br>+20 <sup>0</sup> С<br>+20 <sup>0</sup> С в водонасыщенном состоянии | –               | 3,05                | 3,14   |
|  | –               | 5,68                | 4,91   |
|  | –               | 5,22                | 4,18   |
|  |                 |                     |        |
| Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, %,  | не менее 0,7    | 0,92                | 0,85   |
| Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %   | не более 3,00   | 1,15                | 1,67   |

Шероховатость поверхности FDD определялась при помощи сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) NanoEducator. Из рис. видно, что наибольшей степенью шероховатости поверхности (14 мкм) обладает система на основе минерального порошка из перлита. АВВ на основе минерального порошка из известняка имеет степень шероховатости поверхности, равную 10 мкм, что на 40% ниже, чем на пористом наполнителе.

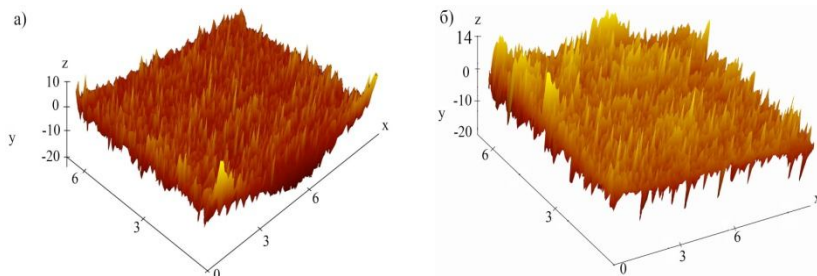


Рисунок 1 – Степень шероховатости поверхности АВВ с оптимальным содержанием битума на наполнителях: а) – известняк, б) – перлит

Предел прочности при 20<sup>0</sup>С имеет также достаточно высокие значения, хотя этот показатель несколько ниже, чем при использовании традиционного наполнителя.

В результате выполненных исследований установлено, что смесь рассматриваемых порошков с битумом позволяет получить асфальтовяжущее вещество с удовлетворительными показателями водостойкости и набухания. Это значит, что при взаимодействии битума с исследуемым минеральным порошком из перлита образуется достаточно прочная связь, способная успешно сопротивляться агрессивному действию воды.

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что при работе в дорожном покрытии асфальтобетон на основе наполнителя из перлита будет более устойчив к восприятию нагрузок от автотранспортных средств при высоких летних температурах за счет возникновения в системе более высоких показателей коэффициента внутреннего трения, а также способен сопротивляться агрессивному действию воды за счет особенностей поровой структуры и состояния поверхности минерального порошка.

*Работа выполнялась в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ №1950, а также проекта стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.*

#### **Список литературы:**

1. Высоцкая М.А., Фёдоров М.Ю., Кузнецов Д.А. Адсорбционная и структурирующая активность перлита как наполнителя для асфальтобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. №7-8. С. 21-26.
2. Дорожные композиты на основе дисперсного вспученного перлита / А.М. Гридчин, А.П. Коротаев, В.В. Ядыкина, Д.А. Кузнецов, М.А. Высоцкая // Строительные материалы. 2009. №5. С. 42-44.
3. Кучма М.И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1980. 91 с.
4. Ядыкина В.В., Кузнецов Д.А. Кварцитопесчаники КМА как минеральная составляющая асфальтобетонной смеси // Строительные материалы. 2003. №1. С. 20-21.
5. Ядыкина В.В. Влияние активных поверхностных центров кремнеземсодержащих минеральных компонентов на взаимодействие с битумом // Известия вузов строительства. 2003. №9. С. 75-79.
6. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Транспорт, 1984. 226 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОТИВОНАЛИПАЮЩИХ ЛИСТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АДГЕЗИИ ГРУНТОВ С РАБОЧИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН**

**Зеньков С.А., канд. техн. наук, доц.,  
Балахонов Н.А., магистрант,  
Дрюпин П.Ю., студент,  
Бойченко А.И., студент**  
*Братский государственный университет*

При разработке влажных связных грунтов происходит интенсивное налипание грунта к внутренним стенкам ковшей. При работе в летнее время уже через 45 мин работы объем налипшего грунта уменьшает объем ковша на 10...11%. При работе зимой процесс налипания грунта более интенсивен и зависит от температуры, а объем налипшего грунта сокращает вместимость ковша на 25...30%. Грунт особенно интенсивно налипает на переднюю и боковые стенки ковша, особенно в местах их перехода. Это явление вызывает ухудшение условий наполнения ковша, увеличение сопротивления копания, увеличение времени разгрузки ковша, уменьшению полезного объема ковша. Все это приводит к уменьшению производительности [1,2].

Опыт эксплуатации различного технологического оборудования в отраслях промышленности, занятых добычей и переработкой глиносодержащих полезных ископаемых, показывает, что наиболее эффективным средством борьбы с налипанием и намерзанием влажных горных масс, минерального сырья на контактирующие с ними узлы рабочего оборудования, является их защита (футеровка) полимерными покрытиями, обладающими гидрофобными, антиадгезионными свойствами [3].

Марки полимерных противоналипающих листов (ППЛ):

ППЛ-ЭИ (износостойкость – 400 ед.; ударопрочность – 9 ед.; эксплуатационный интервал температур – (- 45 - +90°C); применение: для контакта с горным сырьем с коэффициентом  $f$  до 5 ед.;

ППЛ-У (износостойкость – 350 ед.; ударопрочность – 9 ед.; эксплуатационный интервал температур – (- 45 - +90°C); применение: для контакта с горным сырьем с коэффициентом  $f$  до 6 ед.;

ППЛ-УИ (ВМ) (износостойкость - 200 ед.; ударопрочность – 25 ед.; эксплуатационный интервал температур – (- 80 - +100°C); применение: для контакта с горным сырьем с коэффициентом  $f$  до 8 ед.

Кроме этого существуют полимерные противоналипающие футеровочные пластины (ППФП), предназначенные в основном для борьбы с прилипанием (примерзанием) горных пород к рабочим поверхностям технологического оборудования, а не с износом, связанным с повышенной абразивностью добываемого или перерабатываемого горного минерального сырья. Основным фактором экономической эффективности ППФП являются их совместные определяющие свойства – гидрофобность поверхности и достаточная износостойкость [4].

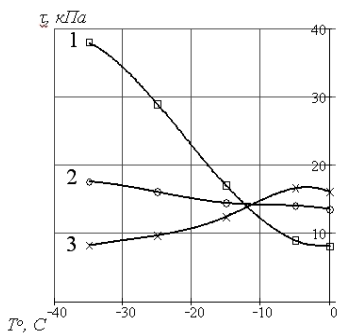
Материалы Polystone Matrox являются пластмассами, полученными с помощью полимерных технологий. Новый состав Polystone Matrox был разработан специально для погрузки – разгрузки сыпучих материалов и горной промышленности с целью уменьшения типичных проблем, связанных с текучестью сыпучих материалов в контейнерах, бункерах, лотках, желобах, кузовах автомобилей и т.д. Фирма Rochling разработала этот уникальный продукт для обеспечения наилучших фрикционных характеристик и абразивной износостойкости поверхности.

Разработанный НИИОГРом полимерный материал графитопласт успешно внедряется на предприятиях Минтопэнерго РФ в качестве профилактического средства, предотвращающего зависание угольного отсева в бункерах. Установлено, что наиболее полно техническим требованиям отвечают материалы на основе эпоксидных смол: ЭПАН, ЭКС, КЭН, модифицированный полиуретан, фторопласт марки Ф-3М [5].

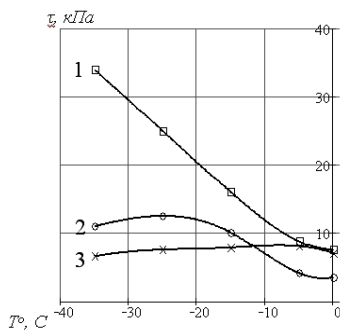
Из выше перечисленных полимерных противоналипающих листов наиболее эффективными являются футеровочные листы ППЛ различных видов в зависимости от режима работы.

На стенде сдвигового типа [6-8] были проведены эксперименты для определения эффективности использования полимерных противоналипающих пластин при отрицательных температурах.

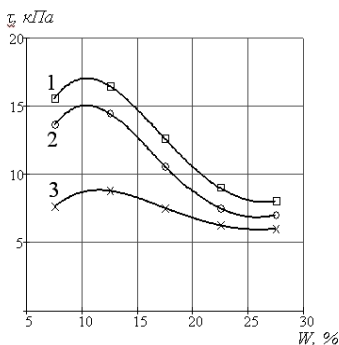
На рисунке 1 представлены зависимости прочности примерзания грунтов к твердой поверхности от эксплуатационных факторов: температуры окружающей среды  $T$ , влажности грунта  $W$ , дисперсного состава грунта  $D$ . Температура грунта в момент соприкосновения с поверхностью  $5^{\circ}\text{C}$ . При температуре окружающей среды от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$  значения напряжений сдвига грунта у трех испытуемых поверхностей изменяются незначительно (рисунок а, б). С понижением температуры от  $-15^{\circ}\text{C}$  значения напряжений сдвига грунта по поверхности ППЛ значительно меньше, чем по металлической.



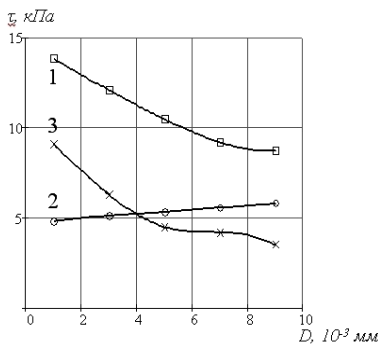
*a*



*б*



*в*



*г*

Рисунок 1 – Зависимость прочности примерзания грунтов к твердой поверхности в зависимости от эксплуатационных факторов:  
1–сталь 3, 2–пластина ППЛ-УИ (10мм), 3–пластина ППЛ-ЭИ (6мм)

Эффективность от использования ППЛ достигается за счет следующих свойств: низкий износ, хорошие свойства скольжения, высокая ударная вязкость, большой интервал температур от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+90^{\circ}\text{C}$ , высокая прочность при указанных температурах, водоотталкивающие свойства (гидрофобность), не позволяющие влагосодержащим материалам налипать или намерзнуть на поверхности полимерного покрытия.

Техническим решением является закрепление полимерного противоналипающего листа на ковш экскаватора ЕК-18 объемом  $0.65\text{ м}^3$  посредством болтового крепления (рис. 2). Для данного вида ковша необходимо  $2.1\text{ м}^2$  полимерного противоналипающего листа. Модель ковша с профилактическим слоем была выполнена в графическом редакторе КОМПАС 3D.

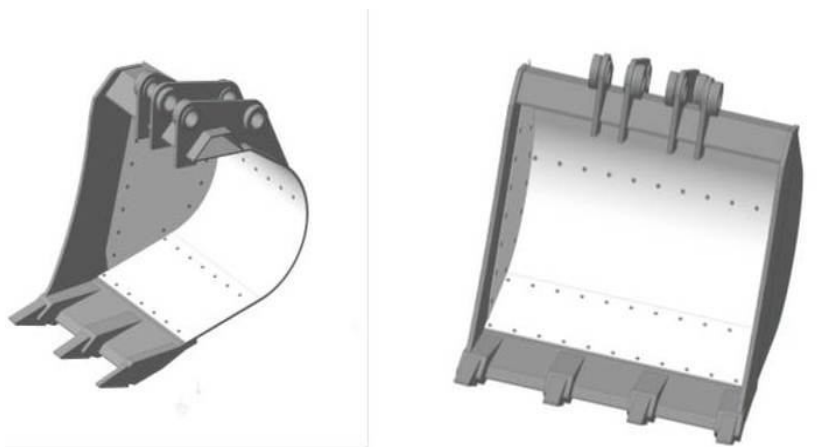


Рисунок 2 – Модель ковша экскаватора ЕК-18 с противоналипающими пластинами

Крепление ППЛ к рабочим поверхностям ковша осуществляется с помощью метизных креплений (болты, винты, шпильки и пр.), а также путем фиксации пластин в направляющих или накладными планками.

Крепление полимерных пластин к рабочим поверхностям ковша следует проводить по периметру, избегая установку крепежа в местах наибольшего грунтового потока. Такой способ крепления также позволяет избежать возможных очагов налипания из-за недостаточно утопленных или выступающих над поверхностью ППЛ шляпок (головок) болтовых или винтовых креплений.

Стыковочные швы, при футеровке несколькими пластинами в стык, также желательно располагать вдоль направления движения грунта.

Шаг крепления, длина болта (винта), его диаметр определяются конструкторским работником по месту эксплуатации оборудования. Общие рекомендации: диаметр болта должен быть сопоставим с толщиной пластины (для пластин толщиной  $8\text{--}10\text{ мм}$  можно применить болты (винты)  $M10\text{--}M12$ ), шаг установки креплений –



300...500 мм. Для надежности крепления пластин болтами под головки следует устанавливать соответствующие шайбы.

Разметка для установки болтов или другого крепежа осуществляется через высверленные в пластинах отверстия или наоборот – по высверленным отверстиям в футеруемых металлических поверхностях оборудования определяются места сверления пластин под крепеж. При перепадах рабочих температур в интервале 23...80°C в местах установки ППЛ отверстия под крепеж следует делать с зазором для компенсации коэффициента линейного теплового расширения 0,2-0,22 мм/(м\*град).

Применение полимерных противоналипающих листов существенно упрощает рабочий цикл при работе экскаватора на грунтах с высокими адгезионными свойствами. Наиболее рациональным является полимерное покрытие марки ППЛ-ЭИ со средним значением усилия срыва 5...11 КПа.

#### **Список литературы:**

1. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Игнатъев К.А. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу // Вестник МГСУ. 2014. № 2. С. 98-104.
2. Зеньков С.А., Батуго А.А., Булаев К.В. Теоретические предпосылки повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу // Механики XXI века. 2006. № 5. С. 79-81.
3. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А. Применение полимерных противоналипающих листов для снижения адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механики XXI века. 2010. № 9. С. 112-114.
4. Кузнецов В.Г. Снижение прилипания и примерзания влажных углей Черемховского и Кузнецкого месторождений на металлические стенки бункеров // УГОЛЬ. 2004. № 5. С. 48-50.
5. Дунаевская М.П. Исследование возможности применения полимерных материалов для предотвращения прилипания и примерзания горных пород // УГОЛЬ. 1997. № 1. С. 48-50.
6. Зеньков С.А., Кобзов Д.Ю., Курмашев Е.В. Стенд сдвиговой: пат. 2460989 Рос. Федерация; заявл. 28.09.2010; № заявки 2010139838/28, опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25.
7. Баловнев В.И., Бакатин Ю.П., Зеньков С.А., Журавчук С.В. Сдвиговой стенд. Патент на изобретение RUS 1310696 12.12.1985.
8. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Мунц В.В. Стенд для исследования влияния комбинированного воздействия на адгезию грунтов к землеройным машинам // Механики XXI века. 2007. № 6. С. 15-18.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОНА**

**Кочнев В.И., аспирант,  
Котлярский Э.В., д-р техн. наук, проф.**  
*Московский государственный автомобильно-дорожный  
технический университет*

В настоящее время при проектировании и приготовлении асфальтобетонной смеси на АБЗ оформляются в соответствии со сборником форм [1] лабораторные журналы. В них систематически регистрируются результаты испытаний исходных компонентов (щебня, песка, минерального порошка, битума и др.), на основании чего производят подбор и корректировку составов смесей после проведения пробных замесов при соответствии свойств требованиям нормативной документации и условий эксплуатации асфальтобетонных слоев в конструкции дорожной одежды. Такой способ исключает возможность оперативно учитывать возможные изменения строительно-технических свойств используемых материалов и технологических режимов приготовления смесей.

С целью автоматизации проектирования состава асфальтобетона необходимо создать открытый программно-моделирующий комплекс («МАДИ-качество»), что позволит повысить эффективность управления технологическими процессами изготовления асфальтобетонных смесей в потоковом режиме.

Это позволит повысить качество, однородность и эксплуатационную надежность асфальтобетона. Современные методы проектирования даже при полном соответствии нормативным требованиям не раскрывают физико-химических процессов формирования состава асфальтобетонной смеси с заданными структурно-механическими свойствами, такими как предельное напряжение сдвига, средняя сила сцепления в контакте между частицами, средняя прочность единичного контакта, их число в единице объема и др. В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ процессов производства асфальтобетонных смесей;
- проанализировать модели оценки качества;
- выполнить анализ методов автоматизации;

- разработать автоматизацию сбора данных по производству асфальтобетона;

- создать программно-моделирующий комплекс обработки и анализа экспериментальных результатов по оценке влияния факторов, влияющих на изменение строительно-технических и структурно-механических свойств асфальтобетонных смесей;

- провести оценку экономической эффективности внедрения предлагаемой методики методики проектирования асфальтобетона.

Для создания сценария принятия решений и макета системы поддержки принятия решений по управлению технологическими режимами по нашему мнению целесообразно использовать разработанные в МАДИ и применяемые в других отраслях инструментальные средства системы «СОТА». Они представляют универсальный браузер разнородных расчетных приложений с возможностью создания алгоритмической структуры программных приложений и формирования механизмов обмена результирующими данными. Специфическими средствами, необходимыми для управления данными в системе, являются:

- база данных с соответствующей системой управления для обеспечения оперативного механизма доступа и обработки информации;

- справочник данных – для поддержки определений данных и описания их классификационных типов и источников в системе «МАДИ-качество»;

- средства запроса – для интерпретации запросов на данные (от разнообразных компонентов) определения стратегии получения ответов и другие.

Наличие механизма явного управления моделями и поддержка деятельности, связанной с моделированием, является специфическими чертами систем поддержки принятия решений, которые отличают их от традиционных, применяемых в дорожном строительстве систем обработки информации. Управление моделями можно обеспечить с помощью следующих средств:

- системы управления базой моделей, используемой для поиска, генерации, преобразования параметров и реструктурирования моделей, включения "справочника модели" с целью поддержки информации о доступных моделях;

- блока выполнения моделей, предназначенного для управления прогонкой модели и осуществления связи между моделями;

- интерфейса с базой данных, используемого для поиска элементов данных в базе, прогонке моделей и хранения выходной информации модели с целью дальнейшей обработки, рассмотрения или использования ее в качестве входных данных другой модели.

Для выполнения выше обозначенных задач необходимо дополнительно к журналам на бумажном носителе лабораторные журналы в электронной форме. Данные, внесенные в такие формы можно переносить и использовать в процессе автоматизированного подбора и оперативной корректировки состава асфальтобетонной смеси с применением специализированных программ. Технологические процессы дозирования, смешивания и отгрузки смеси в самосвалы на современных асфальтобетонных заводах (АБЗ) как правило, контролируется операторами из пункта управления смесительной установкой. В большинстве современных АБЗ установлена микропроцессорная система управления, что не только облегчает работу оператора, а повышает точность выдерживания всех технологических параметров процесса приготовления асфальтобетонной смеси. В то же время отсутствие средств ручного управления не позволяет продолжать работу завода в случае возникновения нештатной, незапрограммированной заранее технологической ситуации или из-за сбоя компьютерной системы, что приводит к выпуску бракованной продукции.

Структура базы данных, определяющая режимы работы установки приведена на рис 1.

| Дата производства: | Изготовлены циклы: |         |             |                  |             |         |              |           |        |        |        |
|--------------------|--------------------|---------|-------------|------------------|-------------|---------|--------------|-----------|--------|--------|--------|
|                    | Дата               | Время   | Код рецепта | Название рецепта | Температура | Цикл    | Текущий цикл | Вес цикла | K1 - P | K1 - D | K2 - F |
| 27.06.2014         | 27.06.2014         | 9:57:59 |             | = MZ V2 =        | 113         | 696:259 | 584          | 2004      | 990    | 1000   | 240    |
| 26.06.2014         | 27.06.2014         | 9:57:11 |             | = MZ V2 =        | 113         | 696:259 | 583          | 1966      | 990    | 991    | 240    |
| 25.06.2014         | 27.06.2014         | 9:56:24 |             | = MZ V2 =        | 112         | 696:257 | 582          | 2015      | 990    | 1000   | 240    |
| 24.06.2014         | 27.06.2014         | 9:55:35 |             | = MZ V2 =        | 111         | 696:256 | 581          | 1991      | 990    | 996    | 240    |
| 23.06.2014         | 27.06.2014         | 9:54:48 |             | = MZ V2 =        | 112         | 696:255 | 580          | 2000      | 990    | 1001   | 240    |
| 22.06.2014         | 27.06.2014         | 9:53:42 |             | = MZ V2 =        | 112         | 696:254 | 579          | 2013      | 996    | 1003   | 240    |
| 21.06.2014         | 27.06.2014         | 9:52:55 |             | = MZ V2 =        | 114         | 696:253 | 578          | 2002      | 996    | 994    | 240    |
| 20.06.2014         | 27.06.2014         | 9:52:08 |             | = MZ V2 =        | 117         | 696:252 | 577          | 1991      | 996    | 984    | 240    |
| 19.06.2014         | 27.06.2014         | 9:51:20 |             | = MZ V2 =        | 119         | 696:251 | 576          | 1946      | 996    | 977    | 240    |
| 18.06.2014         | 27.06.2014         | 9:50:32 |             | = MZ V2 =        | 117         | 696:250 | 575          | 1821      | 996    | 903    | 240    |
| 17.06.2014         | 27.06.2014         | 9:47:25 |             | = MZ V2 =        | 119         | 696:249 | 574          | 2022      | 996    | 1002   | 240    |
| 16.06.2014         | 27.06.2014         | 9:46:36 |             | = MZ V2 =        | 119         | 696:248 | 573          | 1987      | 996    | 994    | 240    |
| 15.06.2014         | 27.06.2014         | 9:45:49 |             | = MZ V2 =        | 119         | 696:247 | 572          | 1989      | 996    | 1000   | 240    |
| 14.06.2014         | 27.06.2014         | 9:45:02 |             | = MZ V2 =        | 119         | 696:246 | 571          | 1998      | 996    | 992    | 240    |
| 13.06.2014         | 27.06.2014         | 9:44:13 |             | = MZ V2 =        | 117         | 696:245 | 570          | 1987      | 996    | 990    | 240    |
| 12.06.2014         | 27.06.2014         | 9:43:26 |             | = MZ V2 =        | 115         | 696:244 | 569          | 1949      | 996    | 978    | 240    |
| 11.06.2014         | 27.06.2014         | 9:42:40 |             | = MZ V2 =        | 94          | 696:243 | 568          | 1835      | 996    | 887    | 240    |
| 10.06.2014         |                    |         |             |                  |             |         |              |           |        |        |        |
| 09.06.2014         |                    |         |             |                  |             |         |              |           |        |        |        |

С 27.06.2014 между 9:42:40 и 9:57:58  
 было произведено 17 циклов. Всего было произведено 33,54 тонн асфальта.

Предварительно просмотреть график    Выпечивание партии    За день    АВТОР

Рисунок 1 – База данных работы смесительной установки

Проведенный анализ структур данных показал, что имеется возможность интеграции нескольких баз данных в одну с целью более глубокой и всесторонней обработки сведенных в общую структуру данных. Кроме того структурированные данные возможно дополнять новыми базами, что ставит задачу создания интегрированной базы данных различных экспериментальных, экспертных и аналитических зависимостей.

В системе управления производством асфальтобетонной смеси может использоваться несколько баз данных. Часть из них уже имеется на существующих АБЗ, оснащенных тем или иным типом систем управления. Необходимо иметь возможность интегрировать имеющиеся наборы данных с вновь введенными наборами в единую систему.

Все эти базы имеют связанные реляционными отношениями наборы таблиц. Среди них имеются таблицы-справочники, содержащие нормативные требования и относительно постоянные данные, сложившиеся в условиях конкретного производства. Переменная информация, характеризующая как сами технологические процессы, так и результаты работы АБЗ должны храниться в соответствующих таблицах системы «МАДИ-качество». Для межсистемного взаимодействия используется механизм связанных таблиц с разделением доступа (рис. 2).

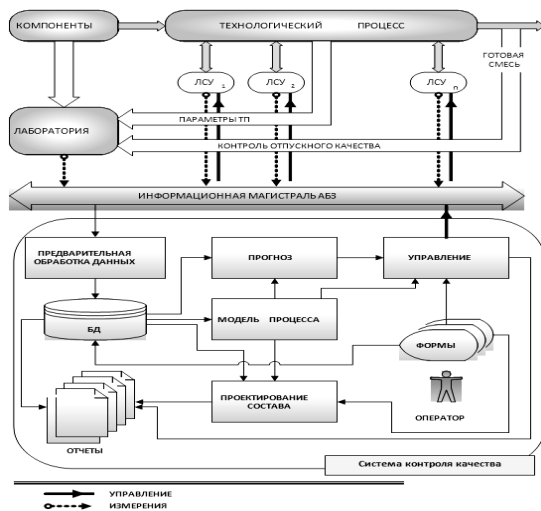


Рисунок 2 – Схема работы системы «МАДИ-качество»

Использование архитектуры клиент-сервер позволяет использовать для хранения данных одну мощную СУБД и клиентское программное обеспечение на рабочих станциях. В зависимости от того, будет ли использована предлагаемая методика в лаборатории или на уровне предприятия, или в объединении АБЗ, можно рекомендовать использование отдельных алгоритмов, реализованных в рамках универсальных статистических пакетов с созданием полнофункциональной аналитической платформы.

Основными критериями эффективности достижения цели в работе являются:

1. определение степени достоверности получаемых результатов на основе сравнительного анализа;
2. снижение трудоемкости процесса обработки информации;
3. повышение скорости обработки данных, и как следствие, повышение скорости принятия решений;
4. упрощение осуществления доступа к получаемой информации;
5. весомость влияния различных технологических и материаловедческих факторов на результаты производственного процесса приготовления асфальтобетонной смеси.

#### **Список литературы:**

1. Сборник форм исполнительной производственно-технической документации при строительстве (реконструкции) автомобильных дорог и искусственных сооружений на них / Росавтодор Минтранс РФ № ИС-478-р от 23.05.2002 г.
2. Компьютерное моделирование в автоматизации производства асфальтобетонной смеси. Книга 2. Практические разработки / В.А. Воробьев, Д.Н. Суворов, Э.В. Котлярский, А.И. Доценко, В.П. Попов. Москва: Изд-во Российской инженерной академии, 2009. 732 с.

## ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЯХ

**Опанасенко О.Н., канд. хим. наук, доц.,  
Крутько Н.П., д-р хим. наук, академик,  
Чернецкая В.М., мл. научн. сотр.**

*Государственное научное учреждение «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси»*

Структурообразование в дисперсных системах обусловлено самопроизвольно протекающими процессами сцепления частиц, приводящих к уменьшению свободной энергии системы. В дисперсных системах формируются три основных типа структур: коагуляционные, кристаллизационные и конденсационные. Однако это подразделение является условным, так как зачастую имеет место возникновение смешанных структур: коагуляционно-кристаллизационных, кристаллизационно-кондесационных и др. Наличие тех или иных структур зависит от компонентного состава дисперсных систем и физико-химической активности частиц твердой фазы, а также от преобладающего вида контактов в каждом конкретном случае [1]. Возникновение коагуляционных или фазовых контактов между частицами приводит к образованию дисперсных структур с определенными механическими свойствами. Механические свойства дисперсий связаны непосредственно с их строением – структурой, действующими в них молекулярными силами сцепления и особенностью теплового движения молекул. Важнейшей механической характеристикой дисперсных структур является прочность, характеризующая способность материала сопротивляться разрушению под действием внешних напряжений [2]. Изучение факторов, определяющих механические свойства дисперсных систем, является основной задачей физико-химической механики. Исследования в этой области необходимы для управления процессами получения новых материалов с заданными структурой, свойствами и механическими характеристиками.

Битумные эмульсионно-минеральные смеси (БЭМС) – двухфазные трехкомпонентные концентрированные дисперсии природных минералов, дисперсионная среда которых представлена битумными эмульсиями. Процессы структурообразования, которые реализуются в БЭМС при применении битумных эмульсий на практике, обуславливают прочностные характеристики, долговечность и

эксплуатационную надежность получаемых композиционных материалов. В результате дестабилизации битумных эмульсий при контакте с минеральным материалом и физического воздействия погодных-климатических факторов в БЭМС формируется структура коагуляционно-конденсационного типа. Схематически в процессе структурообразования можно выделить две основные стадии:

- коагуляционные процессы: коалесценция битумных капель эмульсии;

- конденсационные процессы: образование непрерывной битумной пленки на поверхности минерального материала за счет адсорбционного взаимодействия молекул эмульгатора битумной эмульсии с его поверхностью.

Основные технологические этапы формирования эмульсионно-минеральных композитов (ЭМК) из БЭМС следующие:

- быстрый переход от жидкого к твердообразному состоянию в результате разрушения эмульсии;

- уплотнение смеси за счет отделения воды;

- уменьшение объема битумно-минерального вяжущего в смеси и естественное образование шероховатости за счет выступающих над поверхностью слоя зерен минерального материала.

Помимо прочностных характеристик одним из главных показателей процесса структурообразования в БЭМС является скорость формирования структуры, зависящая, в первую очередь, от устойчивости битумной эмульсии и скорости ее разрушения при контакте с минеральным материалом. Этот показатель может изменяться в зависимости от области применения БЭМС и определяться не только компонентным составом, природой минеральных материалов, количеством и качеством вяжущего, что характерно и для асфальтобетонов других типов, но и специфическими свойствами битумных эмульсий.

Особое значение скорость формирования структуры приобретает в технологии устройства тонких защитных асфальтобетонных покрытий из БЭМС. В дорожном строительстве они представляют собой наряду с поверхностными обработками вторую группу слоев, защищающих поверхность. Защитные слои предназначены для повышения водостойчивости, шероховатости, износостойкости различных типов покрытий на основе органических и неорганических вяжущих материалов и применяются при строительстве дорог, в процессе их эксплуатации, а также при реконструкции старых дорог.



С начала 90-ых годов зафиксировано ускорение темпов развития технологии микропокрытия как за рубежом, так и в странах СНГ. В США, где микропокрытия широко используются на магистральных автодорогах, они стали объектом технико-экономической экспертизы в рамках программы стратегических исследований скоростных автодорог (SHRP). Около 60% защитных слоев используется в настоящее время на ремонт улиц и 30% на ремонт окружной и национальной дорожной сети, аэродромов. Развитие технологии устройства защитных слоев в значительной степени обусловлено разработкой новых видов эмульгаторов для производства битумных эмульсий, использованием новых более производительных машин непрерывного действия. Если рассматривать технологические решения с применением битумных эмульсий для устройства защитных слоев дорожного покрытия, то технология микропокрытий является наиболее сложной, так как требует учета многочисленных факторов влияющих на процессы структурообразования в БЭМС.

Особенностью этой технологии является то, что БЭМС должна сохранять технологическую подвижность при перемешивании компонентов и в процессе укладки, т.е. необходимо обеспечить медленное протекание коагуляционных процессов. В то же время после распределения смеси по поверхности дорожного покрытия в ней должны интенсивно протекать конденсационные процессы с целью набора необходимой когезионной прочности ЭМК для оперативного открытия движения транспорта при любых погодных условиях. Таким образом, наиболее важным в данной технологии является исследование процесса разрушения битумной эмульсии при взаимодействии с минеральными материалами. Существуют определенные временные рамки протекания этого процесса, за пределами которых начинается резкое ухудшение свойств ЭМК, что вызывает необходимость использования битумных эмульсий со строго определенными свойствами и применения специальных реагентов – регуляторов структурообразования.

Для разработки эффективных составов битумных эмульсий и способов реагентного регулирования процессов структурообразования в БЭМС были проведены исследования по изучению процессов структурообразования при формировании ЭМК. Поскольку основными эксплуатационными характеристиками ЭМК являются время формирования структуры и прочность сформировавшегося композиционного дорожно-строительного материала, для оценки

влияния различных факторов на процесс структурообразования необходимо установить:

- время технологической подвижности смеси (ВТПС), что соответствует времени перехода от коагуляционных контактов к формированию коагуляционно-конденсационной структуры в ЭМК;
- когезионную прочность ЭМК.

Для технологии устройства тонкослойных защитных покрытий используются битумные эмульсии, обеспечивающие медленное взаимодействие с минеральным материалом. Как показали результаты исследования коллоидно-химических свойств и адсорбционных характеристик КПАВ на границах раздела фаз, такому условию удовлетворяют битумные эмульсии с применением в качестве эмульгаторов на основе алкилполиаминов, его производных и смесей КПАВ различного строения. Ранее нами было установлено [3], что использование ортофосфорной кислоты при производстве битумных эмульсий, увеличение рН дисперсионной среды битумных эмульсий (уменьшение количества электролита, которым является солеобразующая кислота) позволяет регулировать их свойства, и способствует достижению более высоких показателей адгезии битумного вяжущего, выделенного из эмульсии к поверхности гранитных материалов. Влияние электролитов на структурообразование в дисперсных системах довольно сложно. Анализ влияния рН дисперсионной среды битумных эмульсий, полученных с применением соляной кислоты на характеристики ЭМК (табл. 1) показал, что с увеличением рН наблюдается снижение ВТПС в среднем на 15% при использовании битумных эмульсий на основе трех различных эмульгаторов. Битумные эмульсии были получены с использованием эмульгаторов, представляющих собой коммерческие продукты – производные алкилпропиленполиаминов (АППА); оксигетилированные алкилпропиленполиамины (ОАППА); смесь ОАППА и ЧАС.

Как видно из данных представленных в таблице 1 химическое строение эмульгатора оказывает существенное влияние на ВТПС. Так, в случае применения ОАППА или смеси ОАППА и ЧАС ВТПС в 3–3,5 раза ниже, чем для АППА.

Таблица 1 – Влияние рН среды в битумной эмульсии и химического строения эмульгатора на ВТПС и когезионную прочность ЭМК

| Эмульгатор                     |               | АППА |      | ОАППА |      | Смесь ОАППА и ЧАС |      |
|--------------------------------|---------------|------|------|-------|------|-------------------|------|
| рН водной фазы                 |               | 2,01 | 3,48 | 2,03  | 3,41 | 1,99              | 3,47 |
| ВТПС, сек                      |               | 620  | 475  | 180   | 155  | 210               | 175  |
| Когезионная прочность ЭМК, Н·м | через 60 мин  | 1,2  | 1,1  | 1,4   | 1,5  | 0,98              | 1,3  |
|                                | через 120 мин | 1,4  | 1,5  | 1,7   | 1,7  | 1,3               | 1,3  |
|                                | через 24 часа | 2,3  | 2,3  | 2,8   | 2,6  | 2,3               | 2,3  |

Когезионная прочность полностью сформировавшейся структуры ЭМК в случае использования битумных эмульсий на основе АППА, а также смеси ЧАС и ОАППА не зависит от изменения рН дисперсионной среды битумных эмульсий. При увеличении рН дисперсионной среды битумных эмульсий на основе ОАППА наблюдается снижение когезионной прочности на 0,2 Н·м.

В табл. 2 представлены данные по изучению влияния природы противоиона в битумных эмульсиях на свойства ЭМК. Из приведенных данных видно, что ВТПС при использовании битумных эмульсий полученных с ортофосфорной кислотой в 2–3 раза превышает этот показатель для ЭМК с использованием битумных эмульсий с соляной кислотой. Высокая когезионная прочность ЭМК, при использовании битумных эмульсий с применением ортофосфорной кислоты обусловлена взаимодействием между молекулами эмульгатора и поверхностью минерального материала. Это подтверждает выводы, полученные нами в результате изучения способности минеральных материалов к ионообмену в фосфорнокислой среде и коллоидно-химических свойств и адсорбционных характеристик АППА на границах раздела фаз [4]. Следовательно, путем изменения природы противоиона солеобразующей кислоты и рН дисперсионной среды в битумных эмульсиях возможно регулирование процесса структурообразования в ЭМК.

Таблица 2 – Влияние природы противоиона солеобразующей кислоты в битумной эмульсии на КПС и когезионную прочность ЭМК

| Эмульгатор                     |               | ОАППА |                                | Смесь ОАППА и ЧАС |                                |
|--------------------------------|---------------|-------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Солеобразующая кислота         |               | НСl   | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | НСl               | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |
| рН водной фазы                 |               | 2,03  | 2,01                           | 1,99              | 2,01                           |
| ВТПС в ЭМК, сек                |               | 180   | 610                            | 210               | 240                            |
| Когезионная прочность ЭМК, Н·м | через 60 мин  | 1,4   | 1,4                            | 0,98              | 1,2                            |
|                                | через 120 мин | 1,7   | 1,7                            | 1,3               | 1,9                            |
|                                | через 24 часа | 2,8   | 2,8                            | 2,3               | 2,6                            |

Практика применения технологии тонких защитных слоев и литературные данные по изучению влияния погодно-климатических условий на структурообразование в битумных ЭМК показывают, что высокая температура окружающей среды способствует интенсификации структурообразования в битумных ЭМК вследствие температурной дестабилизации битумных эмульсий [5] и испарения воды [6]. В то время как, при повышенной влажности и невысоких температурах наблюдается снижение скорости разрушения битумных эмульсий [7].

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать применение в сухую, жаркую погоду битумных эмульсий с использованием ортофосфорной кислоты в составе БЭМС, что предотвратит ее преждевременное разрушение, а при снижении температуры и повышенной влажности – целесообразно применение битумных эмульсий с использованием соляной кислоты, что будет способствовать интенсификации структурообразования в ЭМК.

Однако интенсификации процесса разрушения битумной эмульсии способствует и наличие глинистых и карбонатных минералов в минеральных материалах [8]. Так, нами установлено, что ЧАС обладает относительно низкой адсорбционной активностью по отношению к минеральным материалам с кислой природой поверхности (гранит, кварцит) и достаточно легко десорбируется с их поверхности, в то же время, проявляя высокую адсорбционную способность к тонкодисперсным фракциям глинистым и карбонатным минералам [9]. При введении раствора ЧАС в дисперсию минерального материала перед смешиванием с битумной эмульсией его адсорбция происходит избирательно, прежде всего, на тонкодисперсных фракциях глинистых и карбонатных минералов, блокируя их в дальнейшем от адсорбционного взаимодействия с эмульгатором. Это приводит к формированию непрерывной пленки вяжущего из битумной эмульсии за счет адсорбции эмульгаторов на крупных фракциях гранитного

материала, основных структурообразующих компонентов ЭМК. Анализ полученных данных позволил обосновать применение ЧАС с углеводородным радикалом, содержащим не менее восемнадцати атомов углерода для регулирования структурообразования ЭМК. Данные по изучению влияния раствора ЧАС на изменение ВТПС представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3 – Влияние раствора ЧАС на изменение ВТПС при использовании АППА в качестве эмульгатора битумных эмульсий

| Солеобразующая кислота<br>рН водной фазы | НСІ  |      |      |      |
|--|------|------|------|------|
|  | 2,01 |      | 3,48 |      |
| 2%-ый водный раствор ЧАС, %              | 0    | 0,04 | 0    | 0,04 |
| ВТПС, сек                                | 620  | >620 | 475  | 530  |

Из данных табл. 3 видно, что тенденция к росту ВТПС наблюдается с увеличением количества раствора ЧАС в композициях на основе битумных эмульсий при различных значениях рН водной фазы. При тестировании ЭМК на основе битумных эмульсий с использованием в качестве эмульгатора ОАППА, в том числе и эмульсии полученной с применением ортофосфорной кислоты (табл. 4), установлена аналогичная зависимость между увеличением количества раствора ЧАС и ВТПС. Анализируя полученные экспериментальные данные можно сделать вывод о том, что использование ЧАС для регулирования структурообразования ЭМК позволяет увеличить ВТПС.

Таблица 4 – Влияние раствора ЧАС на изменение ВТПС при использовании ОАППА в качестве эмульгатора битумных эмульсий

| Солеобразующая кислота<br>рН водной фазы | НСІ  |      |      |      | Н <sub>3</sub> Р <sub>0</sub> <sub>4</sub> |      |
|--|------|------|------|------|--|------|
|  | 2,03 |      | 3,41 |      | 2,01                                       |      |
| 2%-ый водный раствор ЧАС,<br>%           | 0    | 0,04 | 0,04 | 1,00 | 0  | 0,04 |
| ВТПС, сек                                | 85   | 180  | 155  | 460  | 610  | >800 |

Результаты по изучению влияния ЧАС на структурно-реологические характеристики ЭМК представлены на рис. 1. Из приведенных данных видно, что добавление раствора ЧАС способствует замедлению процесса нарастания когезионной прочности в БЭМС. Следовательно, ЧАС блокируют тонкодисперсные примеси глинистых минералов, которые способствуют интенсификации процессов структурообразования в силу своей большой удельной поверхности и высокой реакционной способности. Анализ кривых

зависимости когезионной прочности ЭМК от времени показал, что применение раствора ЧАС практически не влияет на время схватывания ЭМК, однако значительно увеличивает время отверждения, отвечающее образованию полностью сформированной структуры с высокой когезионной прочностью.

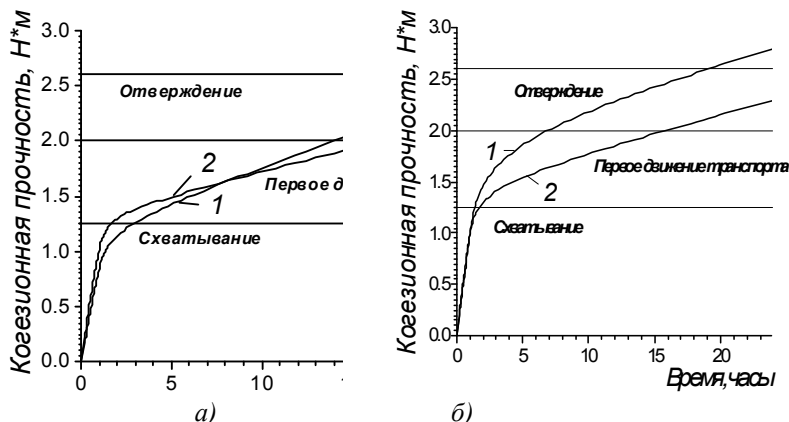


Рисунок 1 – Влияние раствора ЧАС на нарастание когезионной прочности ЭМК на основе эмульсий с рН водной фазы 2,01 (а) и 3,48 (б): 1 – ЭМК; 2 – ЭМК с раствором ЧАС

Таким образом, в результате изучения влияния ЧАС на время формирования структуры и структурно–реологические характеристики ЭМК было установлено, что применение ЧАС позволяет увеличить ВТПС, независимо от прочих факторов: химического строения эмульгатора битумной эмульсии, природы противоиона и рН дисперсионной среды в битумной эмульсии. Показано, что присутствие ЧАС в ЭМК не влияет на протекание коагуляционных процессов, однако замедляет конденсационные процессы и увеличивает время нарастания когезионной прочности ЭМК. Для интенсификации конденсационных процессов и в целом увеличения когезионной прочности ЭМК необходимо введение различных модификаторов и структурообразующих компонентов. Наиболее широко распространенным материалом, используемым в строительной индустрии для придания прочности изделиям и конструкциям, является портландцемент.

В табл. 5 представлены данные по изучению влияния портландцемента на изменение ВТПС. Как видно из приведенных данных, ВТПС уменьшается на 15–25% с добавлением 1% масс. портландцемента при использовании битумных эмульсий с эмульгаторами различного состава и применением соляной кислоты для создания необходимого значения pH.

Таблица 5 – Влияние портландцемента на изменение ВТПС

| Эмульгатор             | Смесь ОАППА и ЧАС |     |                                |   | ОАППА |     |      |                                |      |     |
|------------------------|-------------------|-----|--------------------------------|---|-------|-----|------|--------------------------------|------|-----|
|                        | HCl               |     | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |   | HCl   |     |      | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |      |     |
| Солеобразующая кислота | HCl               |     | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |   | HCl   |     |      | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |      |     |
| pH водной фазы         | 1,99              |     | 2,01                           |   | 2,03  |     | 3,41 |                                | 2,01 |     |
| Портландцемент, %      | 0                 | 2   | 0                              | 1 | 0     | 1   | 0    | 1                              | 0    | 2   |
| ВТПС, сек              | 155               | 130 | 240                            | 0 | 160   | 120 | 160  | 128                            | >800 | 610 |

В ЭМК с применением битумной эмульсии на основе смеси ОАППА и ЧАС в присутствии ортофосфорной кислоты (табл. 5) наблюдается увеличение ВТПС в 3,5 раза по сравнению с использованием битумной эмульсии на основе ОАППА. Использование ортофосфорной кислоты приводит к мгновенному разрушению битумной эмульсии в случае применения в качестве эмульгатора ОАППА при добавлении в состав ЭМК 1% масс. портландцемента, в то время как в случае смеси ОАППА и ЧАС значение ВТПС остается достаточно высоким.

Как было показано нами ранее, наиболее активно с КПАВ аминного типа взаимодействуют минеральные материалы, в составе которых имеются кальций- и магнийсодержащие минералы. В связи с этим, определенный интерес представляет применение в качестве минеральной добавки строительной извести [10]. В отличие от портландцемента строительная известь представляет собой вяжущий материал, получаемый обжигом кальциево-магниевого карбонатных пород.

Результаты исследования представлены на рис. 2. Как видно из приведенных данных, образцы ЭМК с применением строительной извести быстрее набирают когезионную прочность по сравнению с образцами, содержащими в составе портландцемент. Через 12–15 часов когезионная прочность ЭМК с применением строительной извести достигает величины, позволяющей в реальных условиях открыть

движение транспорта. Согласно практическому опыту и требованиям нормативной документации дорожное покрытие из ЭМК должно полностью сформироваться в течение 24 часов. Через 24 часа прочность ЭМК с применением строительной извести на 30–35 % выше по сравнению с ЭМК с использованием портландцемента. Таким образом, присутствие в составе ЭМК строительной извести позволяет почти вдвое сократить время формирования тонкослойного защитного дорожного покрытия. Использование битумных эмульсий с применением ортофосфорной кислоты при введении в состав ЭМК строительной извести позволяет получать битумные ЭМК с интенсивным набором когезионной прочности и увеличенным ВТПС.

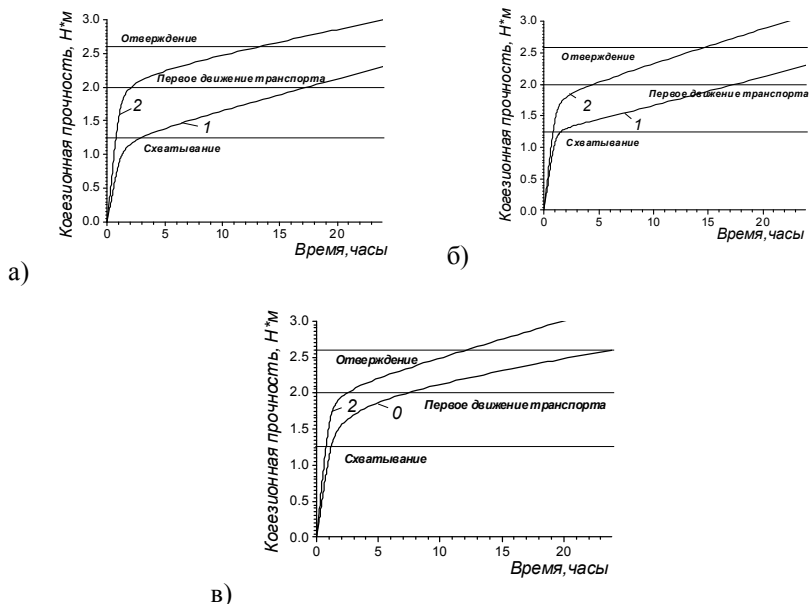


Рисунок 2 – Влияние природы активной минеральной добавки на нарастание когезионной прочности ЭМК, полученных с применением эмульсий на основе водной фазы с использованием: HCl, pH 2 (а); HCl, pH 3,5 (б); H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, pH 2 (в); 0 – ЭМК без добавок; 1 – ЭМК с портландцементом; 2 – ЭМК со строительной известью

В результате проведенных исследований установлено, что ВТПС уменьшается с увеличением количества минеральной добавки независимо от прочих постоянных факторов: химического строения



эмульгатора битумной эмульсии, природы противоиона, рН дисперсионной среды в битумной эмульсии. Показано, что когезионную прочность образцов ЭМК со строительной известью выше по сравнению с образцами ЭМК, содержащими в составе портландцемент.

На основании проведенных исследований были разработаны и внедрены в практику рецептуры специальных битумных эмульсий с прогнозируемой скоростью разрушения при взаимодействии с минеральными материалами различного минералогического состава, битумные эмульсионно-минеральные смеси с регулируемым набором когезионной прочности для устройства тонкослойных защитных слоев микропокрытий различных типов.

#### Список литературы:

1. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. М.: Химия, 1980. 320 с.
2. Опанасенко О.Н. Влияние поверхностно-активных веществ на структурообразование в дисперсиях минеральных солей: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.11. Минск, 1990. 228 с.
3. Опанасенко О.Н., Островская Е.Ф., Тежик В.М. Применение ортофосфорной кислоты для разработки составов битумных эмульсий с прогнозируемыми свойствами // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы докладов Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16-18 нояб. 2005 г. / Белорус. гос. технологический ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. Минск, 2005. С. 75-77.
4. Опанасенко О.Н., Крутько Н.П., Островская Е.Ф. Коллоидно-химические аспекты разработки и применения битумных эмульсий // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии: сб. науч. тр.: Т. 6, вып. 2 / НАН Украины, Ин-т металлофизики им. Г.В. Курдюмова; редкол.: А. П. Шпак (пред.) [и др.]. Киев, 2008. С. 585-594.
5. Плотникова И.А. Улучшение качества и современные технологии применения битумных эмульсий // Труды СоюздорНИИ. 1974. Вып. 71. С. 4-21
6. Water-in-crude oil emulsions from the Norwegian continental shelf. Part II. Chemical destabilization and interfacial tensions / J. Sjöblom [at al] // Colloid and Polym. Sci. 1990. Vol. 268. P. 389-398.
7. Wu X. Colloidal forces between emulsified water droplets in toluene-diluted bitumen / X. Wu, T. G. M. van de Ven, J. Czarnecki // Colloids Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects. 1999. Vol. 148. P. 577-583
8. Опанасенко О. Study of processes of adsorption interaction of cationic surfactants with various types of minerals // Third world congress on emulsions: congress proceedings [Electronic resource]. Electron, data and

- prog. (264 Mb). Lyon, France, 2002. 1 electron. opt. disk (CD-ROM): color. 3. С 292.
9. Опанасенко О.Н., Островская Е.Ф. Исследование взаимодействия минеральных материалов различной природы с битумными эмульсиями // Автомобильные дороги. 2008. № 6. С. 120-122.
  10. Холодная литая асфальтобетонная смесь: пат. 12229 Респ. Беларусь, С1, С 04В 26/00, С 04В 14/02, С 08L 95/00 / Н. П. Крутько, О. Н. Опанасенко, К. Н. Мельников, Е. Ф. Островская; заявитель Государственное научное учреждение «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси». – № а 20080028; заявл. 09.01.2008; опубл. 30.09.2009 // Официальный бюл. / Нац. центр интеллектуальной собственности. 2009.

## **ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

**Погромский А.С., ст. преподаватель,  
Аниканова Т.В., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

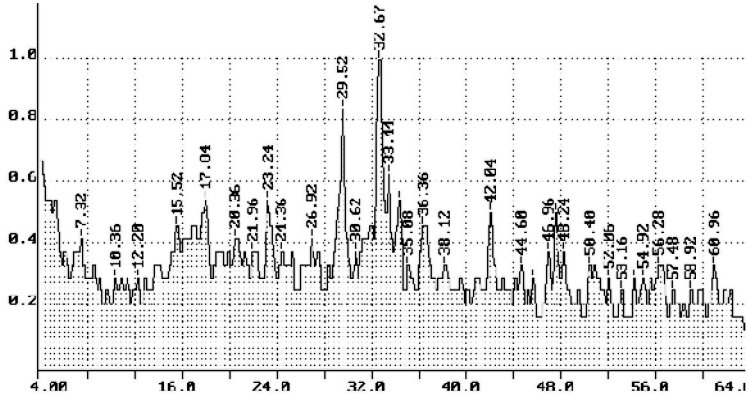
Строительство, ремонт и реконструкция автомобильных дорог требуют больших затрат минерального сырья в виде песка, щебня, минерального порошка. Однако запасы минерального сырья со временем неизбежно сокращаются, что требует широкого вовлечения в строительство автомобильных дорог нетрадиционных видов сырья, а также отходов промышленного производства. Одним из них является использование шлаков черной металлургии, значительная часть которых на сегодня складывается в отвалах. Их утилизация существенно расширит сырьевую базу дорожного строительства, улучшит экологическую обстановку в районах металлургического производства, значительно удешевит строительство и ремонт автомобильных дорог.

В отличие от достаточно изученных и широко применяемых в строительстве доменных шлаков, шлаки электросталеплавильного производства используются при строительстве автодорог в меньшей степени, что связано с изменением состава и свойств таких шлаков при их продолжительном хранении в отвалах.

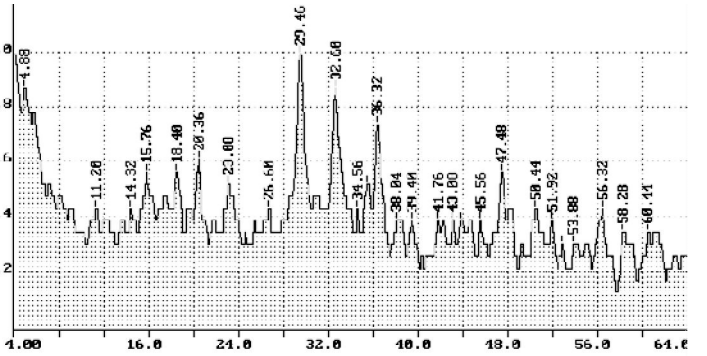
В данной работе авторы попытаются рассмотреть процессы, происходящие при хранении электросталеплавильных шлаков в отвалах.

Основным компонентом электросталеплавильных шлаков как свежих, так и отвальных, пролежавших в отвалах около 20 лет, является шеннонит или  $\gamma$ -модификация ортосиликата кальция  $C_2S$  (рис. 1), высокое содержание которого обусловлено значительным количеством оксида кальция по отношению к оксиду кремния ( $d = 2,74; 3,01; 1,91, 3,82 \text{ \AA}$ ). Результаты рентгенофазового анализа показали, что в шлаке ОЭМК (рис. 1, а, б, в) также содержатся существенные количества ларнита  $\beta$ - $C_2S$  с отражениями  $d = 2,74; 2,71; 2,49$ , обладающего довольно высокой гидратационной активностью. Кроме того, по данным авторов [1,2] в шлаке ОЭМК содержится высокотемпературная разновидность двухкальциевого силиката – бредигит.

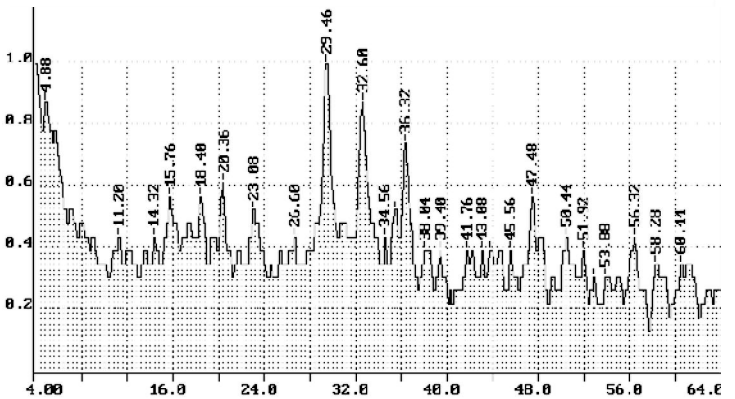
a)



b)



B)



г)

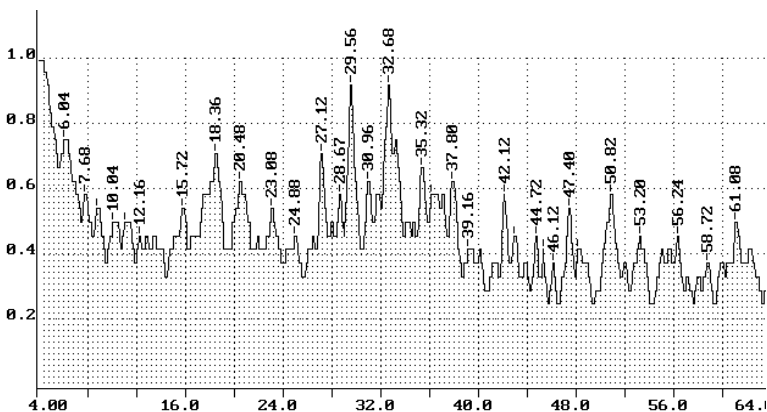


Рисунок 1 – Дифрактограммы шлака ОЭМК:

*a* – текущего выхода; *б* – пролежавшего в отвале 5 лет;  
*в* – пролежавшего в отвале 10 лет; *г* – пролежавшего в отвале 18 лет

Известно, что  $\alpha'$ - $C_2S$ , отличающаяся от остальных форм  $C_2S$  высокой гидратационной активностью [3]. Гидратационные свойства бредигита и ларнита, а также геленита  $Ca_2Al_2O_3SiO_7$  ( $d = 2,85; 1,75; 3,07; 2,44 \text{ \AA}$ ), обладающего слабой гидратационной способностью, обуславливают использование электросталеплавильных шлаков ОЭМК в дорожном строительстве. Подробнее вопросы гидратации электросталеплавильных шлаков рассмотрены в работе [4].

Кроме того, минералогический состав шлака ОЭМК представлен гематитом  $Fe_2O_3$  ( $d = 1,52; 2,24; 2,46 \text{ \AA}$ ), вюститом ( $d = 1,51; 2,14 \text{ \AA}$ ), кальцитом  $CaCO_3$  (линия  $3,04 \text{ \AA}$ ), периклазом  $MgO$  (линия  $2,1 \text{ \AA}$ ), а также порландитом  $Ca(OH)_2$ , образующимся при гашении извести  $CaO$ .

Анализ дифрактограмм шлаков различного срока хранения показывает, что в начальные сроки хранения шлака в отвалах происходит окончательное гашение извести и ее карбонизация с образованием кальцита, о чем свидетельствует наличие характерных линий на дифрактограмме (рис. 1, *a*) и их отсутствие на дифрактограммах (рис. 1, *б, в, г*). При этом на дифрактограммах, соответствующих срокам хранения шлака 5-18 лет присутствуют линии, соответствующие кальциту. Кроме этого, в первое время происходит увеличение количества  $\gamma$ -модификации ортосиликата кальция  $C_2S$  за счет протекания процессов известкового распада, т.е. перехода  $\beta$ - $C_2S$  в  $\gamma$ -форму. Данный процесс сопровождается увеличением объема (до 10%), что в начальные сроки хранения приводит к повышению

дисперсности шлака. Далее, присутствующие в электросталеплавильных шлаках  $\alpha'$ -C<sub>2</sub>S и  $\beta$ -C<sub>2</sub>S с начальных сроков хранения начинают гидратировать с образованием высокоосновных гидросиликатов кальция, что подтверждается наличием пиков  $d = 3,07; 10,0; 1,83 \text{ \AA}$  на дифрактограммах (рис. 1, б, в, з), причем этот процесс заканчивается примерно через 10 лет хранения шлака в отвалах, о чем свидетельствует отсутствие пиков, соответствующих ларниту на дифрактограмме (рис. 1, з). Помимо этого, дифрактограммы (рис. 1, б, в, з) показывают наличие в шлаке ОЭМК гидрогеленита – продуктов гидратации геленита с основными отражениями  $d = 2,87; 4,18; 2,49; 1,66 \text{ \AA}$ . Косвенным подтверждением наличия процессов гидратации электросталеплавильных шлаков ОЭМК может служить изменение с течением времени гранулометрического состава шлака, а также повышение прочности шлаковых зерен. Анализ результатов определения гранулометрического состава шлака различного срока хранения показывает уменьшение со временем количества мелких фракций (с 33% в свежем шлаке до 5,5% в шлаке, пролежавшем в отвале 18 лет) и увеличение крупных фракций [5].

Исходя из вышесказанного, комплексное использование электросталеплавильных шлаков и минеральных материалов на его основе при строительстве укрепленных и неукрепленных конструктивных слоев дорожных одежд, а также для приготовления асфальтобетонных смесей требует учета изменения свойств шлаковых минеральных материалов при выдерживании их в отвалах.

#### Список литературы:

1. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высш. школа, 1981. 335 с.
2. Журавлев П.В. Синтез низкоосновного малоэнергоёмкого клинкера с использованием шлаков и получение высококачественного смешанного цемента: Автореф. дисс. канд. техн. наук. Белгород, 2000. 16 с.
3. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М.: Высш. школа, 1978. 309 с.
4. Логвиненко А.А. Материалы для строительства укрепленных оснований автомобильных дорог с использованием отвальных электросталеплавильных шлаков. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Белгород, 2003. 20 с.
5. Рахимбаев Ш.М., Погромский А.С., Духовный Г.С., Аниканова Т.В. К вопросу о фазовом составе и рациональном применении саморассыпающихся сталеплавильных шлаков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 1. С. 49-52.

## **ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ПОКРЫТИЯ АВТОДОРОГ**

**Подольский В.П., д-р техн. наук, проф.,  
Волков В.В., аспирант**

*Воронежский государственный  
архитектурно-строительный университет*

**Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.**  
*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф.  
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В процессе эксплуатации дорожное покрытие подвержено воздействию переменной транспортной нагрузки, а также природно-климатическому влиянию. Эксплуатируемое покрытие подвержено износу, накоплению необратимых деформаций, дефектов и разрушений. Движущееся транспортное средство оказывает на покрытие посредством пневматиков физическое динамическое воздействие, и чем выше оно, тем больше дефектов проявляется на покрытии. Измерение параметров асфальтобетонного покрытия в условиях функционирования дороги, определение наличия дефектов и причин их появления необходимо для оценки и прогноза состояния дороги в процессе дальнейшей ее эксплуатации. Эта необходимость обусловлена несколькими причинами, во-первых, дорожные покрытия подвержены сложной комплексной нагрузке от транспортных средств. Во-вторых, существующие способы и методы определения динамического воздействия, в основном, опираются на волновые и ударные технологии и не позволяют полностью оценить последствие динамического нагружения покрытия транспортным потоком. В-третьих, отсутствует связь между величинами дефектов участков покрытия дороги и нелинейной деформацией многослойной дорожной одежды нежёсткого типа при сложном нагружении.

Подобная ситуация не позволяет получать объективную информацию о реальном состоянии асфальтобетонного покрытия при различных режимах эксплуатации с постепенным снижением прочности.

Существует большое количество методов измерения, как напряженно-деформированного состояния покрытия, так и абсолютной величины прочности покрытия. В основном это статические методы с использованием штампа с диаметром эквивалентным величине отпечатка пневматика колеса [1]. Эти методы измеряют прогиб покрытия под нормативной нагрузкой, профиль образовавшейся воронки и т.д. В измеряемых параметрах напряженно-деформированного состояния: главные напряжения в покрытии, модуль упругости и сдвига, прогиб поверхности покрытия, вызванный деформацией структуры асфальтобетона. Кроме того существуют методы измерения параметров покрытия, определяемых при динамическом нагружении, когда ударные и волновые установки генерируют механические волны с параметрами близкими к величинам воздействия движущегося колеса [2].

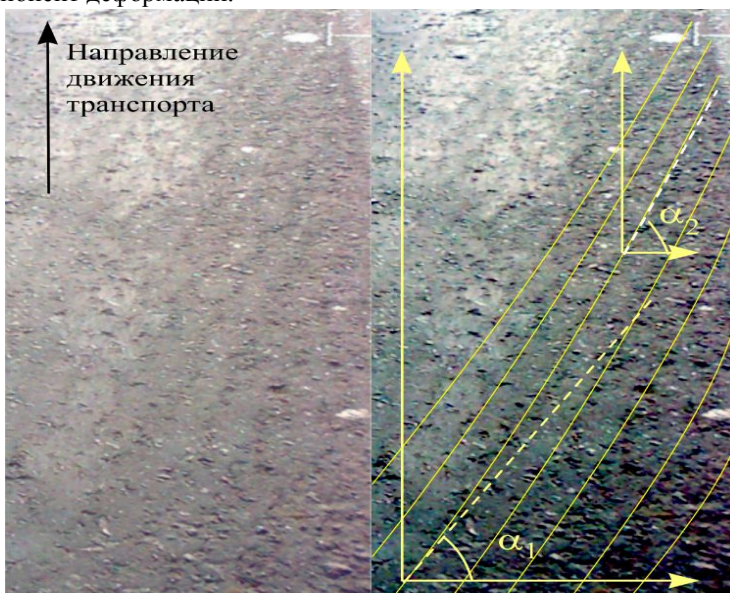
Вышеуказанные методы диагностики покрытия нежесткого типа имеют некоторые особенности. Это малая выборка измеряемых величин вдоль оси дороги, косвенное влияние на измерения используемых инструментов, влияние дефектов покрытия на точность измерений и т.д.

Исследование различных дефектов асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог показало, что кроме известных и описанных в литературе дефектов, проявляемых в виде волны и гребенки, существует самостоятельный дефект, выраженный как равномерно расположенные под углом к оси дороги волноподобные неровности, образованные воздействием движущихся по покрытию транспортных средств (рис.). Анализируя полученное изображение и данные измерения поперечного профиля с частотой сетки измерений 5 мм и точностью промеров профиля поверхности дорожного покрытия  $\pm 1$  мм, можно сделать вывод о наличии волнообразных дефектов в виде косых гребней. Эти гребни имеют форму волны с образующей вдоль максимального выпора над поверхностью. Начало выпора дефекта характеризуется углом  $\alpha_1$  – между перпендикуляром к направлению оси движения транспорта по дороге в начале образующей гребня и углом  $\alpha_2$  – между касательной к образующей этой же гребня на краю дороги.

Измерение профиля покрытия сопряжено с высокой сложностью получения необходимой точности. Это обусловлено нерегулярностью структуры и как следствие, накоплением погрешности измерений. Устранить указанные недостатки возможно с использованием видеометрии поверхности покрытия и получением необходимого объема информации для оценки дефекта. Применение видеометрии



обеспечивает новый подход к неразрушающему контролю и диагностике асфальтобетонных покрытий, основанному на выявлении стадии образования дефектов. Видеометрия базируется на корреляционном анализе оптических изображений, получаемых в ходе диагностики состояния покрытия. Для оценки остаточной деформации асфальтобетона при воздействии динамического нагружения от транспортного потока основным подходом является метод построения изополей векторов рельефа профиля с последующим расчетом компонент деформации.



$\alpha_1$  – угол между перпендикуляром к направлению оси движения транспорта в начале образующей гребня,  $\alpha_2$  – угол между касательной к образующей этой же гребня на краю дороги

Рисунок – Косая гребенка и обработанное изображение с образующими гребней

Имеющиеся научные разработки в области оптико-телевизионных систем (ОТИС) направлены на исследование развития деформаций малых объектов при незначительных перемещениях [3,4]. Для оценки динамического воздействия транспортных средств на асфальтобетонное покрытие автомобильной дороги указанный метод неприемлем. В этой

связи разработан метод оценки гребенчатой структуры при помощи видеометрии. Объектом исследования являлись автомобильные дороги Воронежской области с дефектами вышеуказанной структуры. Были обследованы 35 дорог 3 категории с характерными дефектами. Эти дороги расположены в одной природно-климатической зоне с приблизительно одинаковыми технологическими решениями. Все дорожные покрытия указанных дорог были в сухом состоянии. Оценка производилась на участках с указанным дефектом длиной не менее 20 метров, при этом ширина области видеорегистрации составила 1,5 м. При выборе участков принимались во внимание их прямолинейность и наличие ограничительных дорожных знаков, величина продольного и поперечного уклона.

Исследуемые дороги были предварительно сравнены по геометрическим параметрам и характеристикам, прогибу, фактическому модулю упругости, величине сдвиговой деформации асфальтобетона, наличию дефектов и характеристикам транспортного потока.

Обработку результатов видеометрии производили путем использования компьютерной измерительной системы, состоящей из оптического видеоизмерителя и вычислительного устройства, обрабатывающего полученную видеоинформацию.

На выбранном участке дороги производился проезд дорожной лабораторией КП-514МП с установленной на ней видеометрической системой. Движение осуществлялось вдоль оси дороги со скоростью порядка 15-20 км/ч. Полученное изображение подвергалось преобразованию Фурье и последующей фильтрации рядов для устранения воздействия шума изображения.

Вычисление координат точек исследуемого объекта осуществлялось с использованием преобразования равноотстоящих точек в пространстве и корреляции яркостных образов этих точек с последующим приведением к норме. Это позволяло определить координаты наблюдаемых точек поверхности дороги в абсолютных координатах измерителя.

Получаемые измерения фиксировались и сохранялись прибором, компьютерная программа интерпретировала данные в виде поля линий, смещенных на шаг пропорциональный отношению скорости к времени релаксации асфальтобетона за интервал времени динамического воздействия транспортного потока.

Полученные в ходе натурных исследований величины цифровой модели поверхности покрытия в виде массивов данных позволили провести анализ и связать его с предикторами, определяющими

характеристики транспортного потока и свойства асфальтобетонного покрытия.

Видеоинформация накапливалась съемным накопителем и после проезда по выбранным участкам обрабатывалась камерально с использованием вычислительных систем и прикладного программного обеспечения, позволяющего методом наименьших квадратов решить задачу аппроксимации полученных значений по пространственному положению выпоров гребней экспоненциальной функцией и количественным приближением. Результаты использованы для определения необратимых деформаций от динамического воздействия транспортных средств потока. Анализ полученных данных позволил сделать вывод об изменении пространственной структуры гребней и его корреляционной связи со средней скоростью транспортного потока.

Информация о влиянии динамического воздействия транспортного потока на поверхность дорожного нежесткого покрытия получена анализом изменений топологии поверхности с использованием ряда алгоритмов, позволяющих оценивать перемещения участков поверхности дороги с пространственным разрешением, достаточным для выявления характера развития пластической деформации на мезоуровне [3,4].

Наиболее распространенный алгоритм определения пространственного положения участков изображения использует корреляционные функциональные зависимости с вычислением взаимно корреляционной функции или интеграла типа свертки с последующим поиском максимума этого функционала в области образующей выпоров. При расчетах корреляционных функций учитывалось влияние различных шумов, одним из источников которого является матрица видеокамеры.

Полный комплекс вычислений перемещений и напряжений реализован в авторской программе, созданной в математической среде Matlab и COMSOL Multiphysics.

В практической деятельности при диагностике покрытия с дефектами в виде периодических волн или гребней получена функциональная зависимость, позволяющая на основе параметров транспортных средств потока определить динамическое воздействие на поверхность дорожного покрытия.

Так как энергия связана со скоростью движения, то эмпирическая зависимость коэффициента динамического воздействия  $K$  принимает вид:

$$K = k \frac{L \cdot v}{N \cdot D^2 \cdot n},$$

где  $v$  – средняя скорость движения транспортного потока, м/с;  $H$  – ширина исследуемого участка, м;  $L$  – длина этого участка, м;  $N$  – количество выпоров по длине участка, шт;  $D$  – средний диаметр пневматиков транспортных средств потока, м;  $n$  – количество машин, проезжающих в час;  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Чем выше скорость транспортного потока, тем больше угол  $\alpha_1$  между перпендикуляром к направлению оси движения транспорта по дороге в начале образующей гребня выпоров.

Величина  $K$ , превышающая единицу, свидетельствует о том, что гребенчатая структура вызвана скоростным потоком, меньше единицы – транспортный поток перегружен тяжелыми транспортными средствами. Таким образом, измеряя параметры участка с дефектом в виде гребенки можно оценить динамическое воздействие транспортных средств на асфальтобетонное покрытие автомобильной дороги.

#### Список литературы:

1. Прогнозирование величины необратимой деформации дорожной конструкции от воздействия транспортного потока / Ф.В. Матвиенко, А.Н. Канищев, В.Н. Мелькумов, В.В. Волков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2010. № 3. С. 81-92.
2. Калгин Ю.И., Волков В.В., Гузенок С.А. Моделирование влияния модуля сдвига при сложном нагружении нежесткой дорожной одежды на расчётную величину модуля упругости основания // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. № 1. С. 134-139.
3. Любугин П.С., Панин С.В. Исследование точности и помехоустойчивости построения векторов перемещений при оценке деформаций опико-телевизионным методом // Вычислительные технологии. Томск: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2006. Том 11, № 2. С. 52-66.
4. Clocksin W.F. A New Method for Estimating Optical Flow // Technical Report 436, Computer Laboratory, Univ. of Cambridge. 1997. 18 p.

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВЕРХНИХ СЛОЁВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Рамос А.М., аспирант,  
Котлярский Э.В., канд. техн. наук, проф.,  
Миронов Н.Н., ст. науч. сотр.**  
*Московский автомобильно-дорожный институт  
(Государственный технический университет)*

На основе анализа условий эксплуатации современных аэропортов установлено, что по мере совершенствованием авиационной техники и увеличением полётной массы воздушных судов повышается интенсивность движения самолётов. Это не может не отразиться на изменении эксплуатационных и технических требованиях предъявляемых к нежестким аэродромным покрытиям и используемым в конструктивных слоях композиционным материалам.

Известно, что эксплуатация современных воздушных судов с реактивными двигателями предъявляет повышенные требования к устойчивости верхних слоёв аэродромных покрытий к действию высоких температура и износоустойчивости. На безопасность эксплуатации реактивных воздушных судов зависит от ровности и чистоты поверхности покрытий.

При оценке сдвигоустойчивости верхних слоев покрытий на основе органических вяжущих материалов, т.е. их способности противостоять экстремальным летним эксплуатационным температурам, в настоящее время учитывается только климатический фактор, при назначении материала для устройства покрытий автомобильных дорог это оправдано.

По нашему мнению с учетом опыта эксплуатации при работе асфальтобетонных покрытий аэродромов и необходимо дополнительно учитывать температурные воздействия турбин реактивных двигателей воздушных судов в сочетании с динамическим воздействием горячих воздушных потоков.

Установлено, что наиболее температуронапряжёнными участками с точки зрения продолжительности и степени воздействия газовой струи являются участки на местах стоянок (МС), предстартовых площадок и стартовых участках ВПП, а также на отдельных участках покрытий прогазовочных площадок, авиационно-технических баз и авиаремонтных заводов.

Продолжительность термореактивного воздействия зависит от многих факторов, в первую очередь от класса и назначения аэропорта, реальной интенсивности взлетно-посадочных операций, типа воздушных судов. От каждого воздушного судна время действия горячей воздушной струи может составлять от 2 до 5 минут.

Опыт эксплуатации асфальтобетонных аэродромных покрытий, по мнению профессора В.Е. Тригопи свидетельствует, что при воздействии реактивных газовых струй асфальтобетонные покрытия интенсивно и преждевременно разрушаются.

Анализ результатов наблюдений за состоянием покрытий в аэропортах различного назначения в различных природно-климатических условиях показал, что площадь таких участков может достигать до 15% от их общей площади. Это определяет актуальность поиска и разработки методов повышения термостойкости асфальтобетона.

Многokrатное циклическое воздействие высокотемпературных газовых струй реактивных двигателей самолётов вызывает в асфальтовом бетоне аэродромных покрытий ускоренное старение органических вяжущих, входящих в его состав и термоэрозию битумоминерального материала. Эти деструктивные процессы в материале необходимо рассматривать совместно с процессами старения под действием природно-климатических и эксплуатационных факторов.

Наибольшее термоэрозионное воздействие на аэродромные покрытия оказывают современные типы самолётов с низко расположенными реактивными двигателями.

Профессор А.В. Руденский обосновал эксплуатационные и технологические преимущества битумоминеральных слоев покрытий, по сравнению с покрытиями жесткого типа [1].

Действующие в настоящее время технические требования к асфальтобетонам по ГОСТ 9128-2009 не предъявляют критериев количественной оценки последствий его воздействия термореактивных потоков на аэродромных покрытиях.

Требуемый межремонтный срок службы асфальтобетонных покрытий и слоёв усиления достигается за счёт рационального назначения их толщины, с обеспечением монолитности и надёжного сцепления слоёв с существующим покрытием, применения высококачественных асфальтобетонных смесей, при необходимости с добавками полимерных материалов, армирования слоёв усиления.

Согласно проведённым исследованиям в 60-е года прошлого столетия американскими специалистами, а также исследованиям

Руденского А.В. и Штромберга А.А. [1] установлено, что асфальтобетон способен выдержать воздействие потока горячих газов от реактивных двигателей самолетов с температурой от 100 до 150°С в течение 3-6 минут. По мнению профессора Т.П. Лещицкой, асфальтобетонные покрытия не целесообразно устраивать на участках аэродромов, где воздействие газовых струй от реактивных двигателей воздушных судов имеет продолжительность более 3-х минут, если температура на поверхности покрытия превышает 100°С, а скорость газового потока 50 м/с.

Высокие температуры потока и продолжительное тепловое воздействие через определенное время вызывает выраженное старение вяжущего на поверхности асфальтобетона. Дальнейшая эксплуатация асфальтобетонных покрытий способствует развитию разрушений и деформаций вглубь покрытия.

Под воздействием выше перечисленных факторов происходит изменение группового состава битума, что отражается на изменении свойств битумоминерального материала. На начальной стадии старения без заметного ухудшения его пластичности повышается его прочность. В дальнейшем с повышением температуры хрупкости битума и уменьшением пластичность битумоминерального материала, снижается тепло-, водо- и морозоустойчивость. На второй стадии старения показатели прочности могут не изменяться или незначительно возрастают.

Третья стадия старения сопровождается резким снижением прочности при растяжении, а затем и при сжатии, а также дальнейшим повышением водонасыщения, набухания и снижением водо- и морозоустойчивости.

Интенсивность протекания процесса старения, длительность во времени каждой стадии зависят от структурно-реологического типа битума, плотности битумоминерального материала, совокупности термореактивных и климатических условий конкретной местности и эксплуатационных факторов.

Под действием ветровой эрозии высокотемпературных воздушных потоков в процессе эксплуатации в верхнем слое асфальтобетонного покрытия может происходить частичное выжигание из поверхностного слоя органических вяжущих. На рис. 1 представлены фотографии асфальтобетонных кернов, отобранных при обследовании международного аэропорта «Домодедово» на участке площадки ожидания (ПОЖ), совмещенной с рулежной дорожкой (РД) в сравнении с керном, отобранным на перроне (П) того же аэропорта.



Рисунок 1 – Асфальтобетонный керн, отобранный на перроне (П) в аэропорте «Домодедово» (справа) и керн с участка ПОЖ, совмещенной с РД, подверженный процессу «старения» (слева)

Осевые и удельные нагрузки на асфальтобетонные покрытия от массы самолетов значительно превосходят нагрузки от автотранспортных средств на дорогах общего пользования.

В начальный период эксплуатации дорожных асфальтобетонных покрытий происходят процессы окончательного формирования структуры и свойств, как самого асфальтобетона, так и текстуры его поверхностного слоя. Это связано с «доуплотнением» покрытия, физико-химическими процессами на границе раздела фаз «битум – минеральная поверхность» заполнителя, щебенистый асфальтобетон приобретает требуемую шероховатость поверхностного слоя.

На наш взгляд эти процессы не характерны для аэродромных покрытий из-за существенно более низкой интенсивности полетов воздушных судов, по сравнению с интенсивностью движения автотранспортных средств на автомобильных дорогах.

По условиям безопасности полетов недопустим отрыв отдельных частиц композиционного материала или участков поверхности материала покрытия под действием высокотемпературных газовых струй реактивных двигателей.



Аэродромные покрытия должны быть ровными. Не допускается образование на них колеи, волн, сдвигов, выбоин, шелушения и других пластических и хрупких деформаций.

Правильный выбор типа, вида и марки асфальтобетона предопределяет прочность, эксплуатационную надежность и долговечность аэродромных покрытий.

Для аэродромного строительства необходим асфальтобетон, требования к которому по нашему мнению должны отличаться от ныне действующих требований к традиционному дорожному асфальтобетону по ГОСТ 9128-2009.

До настоящего времени технические регламенты и стандарты не предусматривают моделирования в лаборатории воздействия высокотемпературных газовых струй на материал верхнего слоя покрытия. Не разработана методика проведения таких испытаний.

Для исследования влияния теплового воздействия на асфальтобетон на кафедре «Дорожно-строительные материалы» МАДИ была разработана термодинамическая лабораторная установка, моделирующая тепловое воздействие газовой струи реактивного двигателя.

При ее создании основывались на максимальном приближении условий испытания к реальным эксплуатационным условиям для моделирования воздействия струи реактивного двигателя на поверхность асфальтобетонного покрытия. В зависимости от моделируемого эксплуатационного процесса, конструкция лабораторной установки должна позволять создавать газовые потоки различной интенсивности в интервале температур от 50 до 200°. Методика проведения экспериментов в зависимости от моделируемого участка аэродрома, преобладающего типа воздушных судов должна позволять изменять время действия потоков.

При проведении эксперимента установка должна позволять изменять скорости высокотемпературных воздушно-газовых струй как в стационарном, так и в циклическом режимах.

Разработанная термодинамическая установка состоит из следующих основных элементов (рис. 2):

- стенда, на котором устанавливается образец, или образцы, которые будут подвергнуты термодинамическому воздействию;
- «сопла», имитирующее направленную высокотемпературную термодинамическую струю;
- пламегасителя.



Рисунок 2 – Общий вид лабораторной термодинамической установки

В качестве топлива для поддержания работы струи используется газ метан из бытового газового баллона емкостью 20 л. Температурный режим, скорость и направление газовой струи перед началом испытания регулируется вентилем подачи газа и высотой установки сопла по отношению к поверхности асфальтобетона. Для обеспечения пожаробезопасности установка оборудована специальным пламегасителем.

В зависимости от поставленной задачи и конечной цели эксперимента разрабатывается индивидуальная методика испытания (температура, время и режим испытания).

Продолжительность и интенсивность воздействия термодинамической струи необходимо рассчитывать исходя из интенсивности взлётно-посадочных операций в конкретных аэропортах с учетом его класса и дорожно-климатической зоны.

Термореактивному воздействию подвергаются либо цилиндрические образцы, приготовленные в лаборатории в соответствии с методиками ГОСТ 12801-98, либо образцы-вырубки размером 250 x 200 мм, отобранные непосредственно из покрытия (например, при помощи швонарезчика).

При планировании эксперимента на основании натуральных изменений или теплофизических расчетов необходимо оценить максимальную температуру прогрева асфальтобетонного покрытия, назначить высоту горячей газовой струи над его поверхностью и продолжительность воздействия высокотемпературного воздушного потока. В зависимости от характера моделируемого процесса термодинамическая струя может быть направлена как на непосредственно испытываемый образец, так и под углом или параллельно его поверхности. Предварительно в лаборатории определяются все исходные физико-механические свойства асфальтобетона.

Методика проведения эксперимента состоит из следующих этапов. На стенде на определённой высоте от расположения «сопла» устанавливается испытываемый асфальтобетонный образец-вырубка (или цилиндрические стандартные образцы, приготовленные в соответствии с ГОСТ 12801). При помощи вентилей газового баллона и инфракрасного дистанционного термометра устанавливается скорость, и температура струи, и в течение расчетного времени определенного индивидуальной методикой производится прогрев. Время испытания, измеряется при помощи секундомера. Эксперимент должен как можно более точно моделировать термодинамические воздействия авиационных двигателей.

В процессе испытания контролируют температуру асфальтобетона, как на поверхности, так и по глубине слоя (или образца).

После завершения испытания определяются физико-механические свойства асфальтобетона после прогрева по методикам гост 12801-98.

Для получения промежуточных значений изменения показателей свойств битумоминерального материала могут быть использованы неразрушающие методы измерения (например, склерометры по типу прибора «Карат» или пластометр конструкции профессора С.И. Дубины).

На кафедре дорожно-строительных материалов МАДИ осуществлено опробование данной установки и получены экспериментальные результаты, которые использовались при реконструкции аэропорта «Домодедово».

#### **Выводы:**

1. Необходимо разработать стандарт на метод испытания асфальтобетона для устройства верхних слоев покрытий на аэродромах, предусматривающий моделирование в лаборатории воздействия высокотемпературных газовых струй и методические принципы назначения параметров проведения испытаний.

2. С учетом интенсивность процессов старения от термодинамического воздействия горячей реактивной струи, в дополнение к требованиям, предъявляемые к асфальтобетону по ГОСТ 9128-2009, целесообразно разработать дополнительные нормативные технические требования к аэродромным асфальтобетонным покрытиям.

3. С учетом зарубежного и отечественного опыта мониторинга и профилактики минимизации разрушений и деформаций аэродромных покрытий в результате старения асфальтобетона и новейших разработок по применению пластифицирующих добавок для органоминеральных материалов, необходимо разработать нормативный документ (документы) по технологии содержания и ремонта асфальтобетонных аэродромных покрытий в процессе эксплуатации.

#### **Список литературы:**

1. Руденский А.В., Штромберг А.А. Дорожные одежды с улучшенными характеристиками асфальтобетонного покрытия и основания // Автомобильные дороги. 1972. № 7.
2. Безелянский В.Б. Анализ решений, применяемых для расчета слоя усиления цементобетонного покрытия асфальтобетоном // Труды ГОСНИИ ГА. Москва, 1986. № 252.
3. Баловнева И.И., Волков Ю.Н. Повышение трещиностойкости асфальтобетона при усилении аэродромных покрытий // Труды Аэропроекта. Москва, 1975. Вып. 18.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДОРОЖНОГО БИТУМА СО СТАБИЛИЗИРУЮЩИМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА**

**Соломенцев А.Б., канд. техн. наук, доц.,  
Баранов И.А., ст. преподаватель**

*Орловский государственный университет – учебно-научно-  
производственный комплекс*

Ранее авторами была рассмотрена структура дорожного битума и его взаимодействие со стабилизирующими волокнистыми добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона [1] и предложены механизмы взаимодействия добавок с дорожным битумом. Многокомпонентные добавки УНИРЕМ-001 на основе активного резинового порошка и РТЭП на основе полиолефинового носителя используются не только в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях, но и в других горячих щебенистых смесях типа А и Б.

Рассмотрим вначале структуру и строение добавки УНИРЕМ-001. Согласно СТО 61595504-002-2010 «Материал композиционный УНИРЕМ-001 на основе активного резинового порошка. ТУ 2519-001-74145205-06». Активный порошок дискретно девулканизированной резины получают методом высокотемпературного сдвигового измельчения первичного резинового порошка. Этот первичный порошок производят по ТУ 38.108035-97 путем измельчения изношенных отработанных автопокрышек или различных отходов резинотехнических изделий на основе неполярных каучуков. Активный резиновый порошок способен к самовулканизации при стандартных условиях без применения дополнительных агентов вулканизации. Добавка «УНИРЕМ-001» должна содержать активный резиновый порошок с размером частиц не более 0,8 мм, гелеобразующий адгезионный агент для предотвращения отслоения битумной пленки от минеральных материалов асфальтобетона, ускоритель набухания резины в битуме, сшивающий агент.

Как известно [2], общие требования к шинным резинам – это высокая усталостная выносливость и малое теплообразование. Резины для протектора должны быть, кроме того, износо- и атмосферостойкими, иметь высокие прочность при растяжении и сопротивление раздиру. Резина для каркаса должна обладать высокой эластичностью. Основные типы каучуков для шинных резин – бутадиен-стирольные; стереорегулярные бутадиеновые и изопреновые

(синтетический и натуральный). Резины с оптимальным комплексом свойств получают на основе комбинаций перечисленных каучуков в различных соотношениях. В качестве наполнителей шинных резин используют главным образом печные высокодисперсные сажи из жидкого сырья.

Бутадиеновые каучуки являются продуктами полимеризации бутадиена [3]. Среднечисленная молекулярная масса стереорегулярных бутадиеновых каучуков изменяется от 80000 до 280000 и зависит от типа катализатора и способа проведения полимеризации. Их макромолекулы имеют высокую гибкость, близкую к гибкости макромолекул натурального каучука. Низкая молярная когезия и относительно высокая гибкость макромолекул обуславливают высокую подвижность молекулярных цепей стереорегулярных бутадиеновых каучуков в широком интервале температур и пониженные по сравнению с натуральным каучуком температуры их стеклования. Для бутадиеновых каучуков температура стеклования – от минус 95°C, для натуральных – от минус 68°C [3]. Стереорегулярные бутадиеновые каучуки, содержащие более 80% звеньев 1,4-цис, кристаллизуются.

Резины на основе стереорегулярных бутадиеновых каучуков характеризуются низкой стойкостью к действию масел, растворителей, топлив, отличаются высокой водостойкостью [3]. Стереорегулярные бутадиеновые каучуки применяют главным образом в сочетании с изопреновыми, бутадиен-стирольными и другими каучуками для изготовления протекторных и обкладочных (каркас, бреккер, боковина) шинных резин. Содержание стереорегулярных бутадиеновых каучуков в протекторе шин составляет 20-50 массовых частей, сажи – 50-80 массовых частей, масла 5-35 массовых частей.

Таким образом, частицы резинового порошка состоят из вулканизированного каучука, наполнителя (как правило, активные печные сажи) и пластификатора (наиболее широко используются высокоароматические и парафино-нафтенновые минеральные масла). Для стереорегулярных бутадиеновых каучуков характерно более интенсивное взаимодействие с активными наполнителями, чем для изопреновых, бутадиенстирольных и нестереорегулярных бутадиеновых каучуков. Это проявляется, в частности, в более высоком эластическом восстановлении наполненных смесей при высоких температурах [3], которое повышается в ряде случаев с ростом температуры, что указывает на образование сетчатых каучуко-сажевых структур с высокой термомеханической устойчивостью. Взаимодействие с активными наполнителями проявляется также в

ограниченном набухании наполненных смесей в сильных растворителях (толуол, хлороформ).

При введении в расплавленный битум с температурой 160°C и выше порошковой добавки УНИРЕМ-001 и распределении ее в битуме происходит взаимодействие компонентов добавки и компонентов битума между собой. В таблице 1 приведен перечень компонентов добавки УНИРЕМ-001 и их назначение в соответствии с СТО 61595504-002-2010 и патентом на изобретение №2377262. Ввиду того, что частицы активного резинового порошка являются, по меньшей мере, трехкомпонентными, т.е. состоят из каучука, сажи и масла, они неактивно взаимодействуют с компонентами битума.

Таблица 1 – Компоненты добавки УНИРЕМ-001 и их назначение в соответствии с СТО 61595504-002-2010 и патентом на изобретение №2377262

| № п/п | Компоненты и их назначение в соответствии с                    |  |
|-------|--|--|
|       | СТО 61595504-002-2010  | патентом на изобретение №2377262   |
| 1     | Активный резиновый порошок с крупностью частиц не более 0,8 мм | Термомеханически измельченный резиновый вулканизат в присутствии антиагломератора в количестве 0,1-2,0% от массы резинового вулканизата с удельной поверхностью не менее 5000 см <sup>2</sup> /г.  |
| 2     | Гелеобразующий адгезионный агент                               | Инициатор гелеобразования, выбранный из группы: 4-нитро-N-метиланилин, N-метил-N, 4-динитрозо-анилин, N(2-метил-2-нитропропилен)-4-нитрозоанилин, N-нитрозодифениламин.  |
| 3     | Сшивающий агент  | Структурирующий агент с индукционным периодом структурирования не менее 30 мин. при температуре 160°C, выбранный из группы: олигомерная эпоксидная смола, эпоксоднодиановая смола, поликонденсированная смола, способствующая образованию разветвленных или сетчатых структур. |
| 4     | Ускоритель набухания резины в битуме                           | Метасиликат игольчатой структуры   |

Сюняев З.И. в монографии [4] отмечает, что формирующиеся в нефтяной системе из высокомолекулярных систем надмолекулярные структуры обладают интересными свойствами, отличными от свойств неструктурированных жидкостей и твердых тел больших размеров.

Надмолекулярные структуры обладают способностью под действием внешних факторов изменять степень своей дисперсности.

Такое наименьшее количество массы надмолекулярной структуры, которое способно к самостоятельному существованию, получило название простейшей (первичной) структурной единицы или зародыша.

Поскольку зародыши обладают избыточной поверхностной энергией, вокруг них образуются сольватные оболочки определенной толщины. Зародыши под действием внешних факторов могут разрушаться (формируются молекулярные растворы) или расти (формируются вторичные сложные структурные единицы – ССЕ) [4].

Вторичные сложные структурные единицы отличаются от зародыша тем, что в них по мере регулирования межмолекулярного взаимодействия среды изменяется отношение объемной энергии к поверхностной, что приводит к изменению как диаметра надмолекулярной структуры, так и толщины сольватной оболочки, а также степени упорядочения молекул в ассоциате. Таким образом, в реальных нефтяных дисперсных системах ССЕ могут находиться в виде зародыша (частный случай) и чаще всего в виде сложных структурных единиц различной степени дисперсности.

Модель строения и свойства ССЕ зависит от типа надмолекулярной структуры (асфальтеновой, парафиновой и т.д.) и для физических ассоциатов и химических комплексов являются неодинаковыми. Основной модели ССЕ являются ассоциат или комплекс, обладающий неодинаковой прочностью связей внутри этих видов надмолекулярных структур, а также при одинаковой степени дисперсности разной поверхностной энергией. В результате контакта ассоциата или комплекса с дисперсионной средой формируется ССЕ с полностью компенсированной поверхностной энергией и обладающая определенными физико-химическими свойствами.

Взаимодействия на поверхности раздела имеют различный характер, определяемый взаимодействующими компонентами. Для активизации взаимодействий на границе раздела битум – поверхность резиновой частицы вводится гелеобразующий адгезионный агент или инициатор гелеобразования, который способствует возникновению более активных крупных ССЕ, увеличению сольватных оболочек вокруг ССЕ, что приводит к образованию более прочных сольватных оболочек на поверхности раздела битума – резиновые частицы. Введение сшивающего или структурирующего агента также инициирует процессы структурообразования и улучшение адгезионных связей битум – резиновая частица, т.к. после распределения смолы в виде порошка начинаются процессы полимеризации, образуются точечные очаги новообразований, которые также изменяют растворяющую



способность дисперсионной среды в битуме, изменяются размеры ССЕ, образуются конденсированные структуры из компонентов битума и продуктов полимеризации. Для улучшения смачивания поверхности резиновых частиц путем его раскисления вводится метасиликат Са игольчатой структуры (микроволластонит). Обладая после раскисления большим сродством к резиновым поверхностям масляные компоненты битума должны более активно проникать вглубь резиновых частиц, тем самым способствуя их набуханию.

Рассмотрим взаимодействие с битумом полимерной гранулированной добавки РТЭП. Согласно [5] РТЭП (резиновый термоэластопласт) представляет собой гранулы темного цвета сферовидной формы диаметром около 3мм и состоит из бутадиенового каучука (дивинилового), наполненного карбонатом кальция (6-10%) и серой (3-6%). В методических рекомендациях [6] компонентный состав РТЭП представлен резинопolyмерным материалом, полиолефинами, битумным вяжущим и антиоксидантами. РТЭП удовлетворяет требованиям, изложенным в ТУ 5718-001-79259416-2006. «Термоэластопласт резиновый РТЭП. Технические условия». В данных технических условиях указано, что добавка представляет собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового полимерного носителя, содержащую дорожный битум. Полиолефины – продукты полимеризации непредельных углеводородов олефинового ряда (этилен, пропилен, бутиленов и др.) [7]. Молекулы полиолефинов обычно длинные линейные цепи с небольшим количеством коротких и длинных боковых ответвлений. В энциклопедии полимеров [8] приводится более точное определение полиолефинов: олефинов полимеры – высокомолекулярные соединения, образующиеся при гомо- или сополимеризации олефинов. В [8] указываются также, что существенный недостаток олефинов полимеров – плохая адгезия, обусловленная отсутствием полярных групп, и сравнительно невысокая жесткость, из-за которой часто ограничивается применение этих полимеров как конструкционных материалов. В таблице 2 приведены свойства основных представителей полиолефинов [2,3,8]. Как видно из таблицы, все представители полиолефинов – термопластичные линейные полимеры с плотностью при 20°С ниже 1 г/см<sup>3</sup>, наиболее тугоплавкий полимер – полиэтилен, наименее тугоплавкий – изотактический полипропилен. Полиэтилен переходит в хрупкое состояние при более низкой температуре (до -150°С), чем полиизобутилен (до -88°С) и полипропилен (до -20°С). Растворяется в углеводородах только полиизобутилен. Полипропилен ограниченно

растворяется при повышенных температурах в ароматических и гидроароматических углеводородах. Полиэтилен при комнатной температуре не растворяется органических растворителях, выше 80°C хорошо растворяется в алифатических и ароматических углеводородах.

На основе вышеприведенных сведений о полиолефинах, а также о протекании процесса растворения добавки РТЭП в битуме, можно сделать вывод о том, что названные добавки «Резиновый термоэластопласт» не соответствует ее составу, т.к. резиновых частиц после растворения в битуме обнаружено не было, а используемый полиолефиновый носитель относится не к классу термоэластопластов, а к классу термопластичных полимеров.

Таблица 2 – Свойства основных представителей полиолефинов

| № п / п | Название полимера   | Класс полимера                   | Свойства                                   |   |   |  |   |
|---------|---|----------------------------------|--|---|---|--|---|
|         |   |                                  | Средне-массовая молекулярная масса         | Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>     | Температура плавления (размягчения), °C | Температура хрупкости, °C                          | Растворимость   |
| 1       | 2   | 3                                | 4  | 5   | 6                                       | 7  | 8   |
| 1       | Полиэтилен<br>-высокого давления<br>-низкого давления<br>-среднего давления | Термопластичный линейный полимер | 300-400 тыс.<br>50-800 тыс.<br>50-800 тыс. | 0,918-0,930<br>0,954-0,960<br>0,960-0,968 | 110-103<br>132-124<br>135-128           | от -120 до -80<br>от -150 до -70<br>от -140 до -70 | При комнатной температуре не раств. в органических растворителях; выше 80°C хорошо растворяется в алифатических и ароматических углеводородах |
| 2       | Полипропилен:<br>-атактический<br>-изотактический                           | ""                               | 300000<br>700000                           | 0,84-0,85<br>0,92-0,93                    | 30-80<br>72                             | от -10 до -20<br>от -10 до -20                     | При повышенных температурах ограничено растворим в ароматических и гидроароматических углеводородах   |
| 3       | Полиизобутилен:<br>-вязкая жидкость<br>-каучуко-                            | ""                               | 10000-50000<br>70000-225000                | 0,83-0,91<br>0,91-0,93                    | -<br>100                                | от -68 до -88<br>от -68 до -88                     | Растворяется в углеводородах  |

|   |                             |      |              |      |         |            |                                       |
|---|-----------------------------|------|--------------|------|---------|------------|---------------------------------------|
|   | подобный аморфный продукт   |      |              |      |         |            |                                       |
| 4 | Поли-бутен: -изотактический | -, - | 50000-100000 | 0,92 | 124-130 | нет данных | Хорошо растворяется в н-алкилацетатах |

Процесс взаимодействия добавки РТЭП с битумом при перемешивании их при температуре 160°C заключается в расплавлении полиолефинового полимерного носителя и механическом его распределении в объеме жидкого битума. После прекращения перемешивания на поверхности битума образуется слой расплавленного полиолефинового полимерного носителя, что объясняется более низкой его плотностью по сравнению с битумом, низкой растворимостью в битуме. Взаимодействия между компонентами битума и макромолекулами и надмолекулярными образованиям полимера слабые, битум как бы «выталкивает» полиолефиновый носитель на поверхность.

Особенностью механизма структурообразования для РТЭП является расплавление и неактивное взаимодействие с битумом, для УНИРЕМ-001 – взаимодействие большого числа компонентов добавки с битумом и геле - и структурообразующие процессы при взаимодействии её компонентов с битумом.

#### Список литературы:

1. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Структура дорожного битума и его взаимодействие со стабилизирующими волокнистыми добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Строительство и реконструкция. 2013 (июль – август). №4 (48). С. 75-83.
2. Энциклопедия полимеров. Т.3. М.: «Советская энциклопедия», 1977. 1150с.
3. Энциклопедия полимеров. Т.1. М.: «Советская энциклопедия», 1972. 1224с.
4. Сюняев З.И. Нефтяные дисперсные системы. М.: МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, 1981. 84 с.
5. Временные рекомендации по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта. М.: ГП «Информавтодор», 2002. 25 с.
6. ОДМ 218.3.001-2006. Методические рекомендации по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта (РТЭП). М.: Издательство ФГУП «Информавтодор», 2006. 33 с.
7. Краткая химическая энциклопедия. Т.4. М.: «Советская энциклопедия», 1965. 199 с.
8. Энциклопедия полимеров. Т.2. М.: «Советская энциклопедия», 1974. 1032с.

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ДОРОЖНОГО БИТУМА С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ И АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО НА ЕГО ОСНОВЕ**

**Соломенцев А.Б., канд. техн. наук, доц.,  
Куликова А.В., аспирант**

*Орловский государственный университет – учебно-научно-  
производственный комплекс*

Влияние полимерных добавок на битумы, т.е. их функциональное назначение, проявляется в увеличении температуры размягчения, вязкости, в снижении температуры хрупкости. Термоэластопласты увеличивают эластичность битума и снижают трещиностойкость асфальтобетона, синтетические воски снижают температуру перехода битума в хрупкое состояние и позволяют производить уплотнение асфальтобетона при пониженных температурах воздуха. Важными показателями являются также растворимость добавок в битуме, сцепление битума с добавками с кислыми горными породами, характер изменения вязкости битума с добавками при различных температурах, оценка уплотняемости асфальтобетона на битуме с полимерными добавками.

Оценка свойств битума с добавками и уплотняемости асфальтовяжущего осуществлялась для трех групп полимерных добавок, а именно: добавок на основе синтетических восков, термопластов (полиолефины и вторичный полиэтилен), дивинилстирольных термоэластопластов.

Воски полностью синтетические получают действием водорода на окись углерода по реакции Фишера-Тропша [1]. Образующиеся продукты состоят главным образом из высших алканов (предельных углеводородов). Широкое применение также находят синтетические воски, состоящие из смеси полиолефинов (алкатыны, виннотены, луполены) с молекулярной массой от 2000 до 10 000, степенью кристалличности от 10 до 85%, плотностью от 0,9 до 0,94 г/см<sup>3</sup>, вязкостью расплава при 140°С от 850 до 10 000 сПз [1]. В зависимости от молекулярной массы и кристалличности эти синтетические воски могут находиться в различном агрегатном состоянии (от жидкого до твердого). В последние годы добавки для дорожных битумов, содержащие жидкие парафины (предельные углеводороды) и синтетические воски в твердом состоянии применяются для получения теплых асфальтобетонных смесей с целью снижения температуры перемешивания, укладки и уплотнения горячих

асфальтобетонных смесей, а также для повышения удобоукладываемости литых асфальтобетонных смесей [2,3].

Добавка Honeywell Titan 7686 производится компанией Honeywell (США) и представляет собой окисленный полиэтилен низкого давления с молекулярной массой 5 000-15 000, внешний вид – порошок средней крупности белого цвета, температура размягчения – 115-140°C, плотность – 0,9 г/см<sup>3</sup>, рекомендуемая дозировка – 0,8-3,0% от массы битума (здесь и далее сведения о добавках приводятся из информационных материалов и презентаций компаний-производителей). Добавка Rediset WMX производится компанией AkzoNobel (Швеция) и состоит на 30-60% из трис(2-гидроксиэтила) гидрогенизированного N-алкилдиаминпропана животного жира и на 20% из парафинового и углеводородного воска. По внешнему виду это гранулы от светло- до темно-коричневого цвета полусфероидальной (чешуеобразной) формы, температура размягчения 80-95°C, рекомендуемая дозировка – 1,0-2,0% от массы битума. Добавка Palmowax производится компанией KLK OLEO (Малайзия) и представляет собой этилен бис стеарамид (EBS), N,N'-этилен (стеарамид), с содержанием амида больше 96% и температурой плавления больше или равной 140°C, рекомендуемая дозировка 0,2-4,5%.

Группу термопластов (полиолефины и вторичный полиэтилен) представляют полимерные добавки РТЭП и Superplast. Полиолефины – продукты полимеризации непредельных углеводородов олефинового ряда (этилен, пропилен, бутиден и др.) [4]. Молекулы полиолефинов — это обычно длинные линейные цепи с небольшим количеством коротких и длинных боковых ответвлений. В [5] приводится более точное определение полиолефинов: олефинов полимеры — высокомолекулярные соединения, образующиеся при гомо- или сополимеризации олефинов. Существенным недостатком олефинов полимеров является плохая адгезия, обусловленная отсутствием полярных групп, и сравнительно невысокая жесткость, из-за которой ограничивается применение этих полимеров как конструкционных материалов [5]. Все представители полиолефинов – термопластичные линейные полимеры с плотностью при 20°C ниже 1 г/см<sup>3</sup>, наиболее тугоплавкий полимер – полиэтилен, наименее тугоплавкий – изотактический полипропилен. Их применение в асфальтобетоне представляет значительные трудности в обеспечении однородности системы при технологических температурах [6]. Эти полимеры не имеют двойных связей, следовательно, они устойчивы против старения.

Они трудно диспергируются в битуме. Полиолефины характеризуются низкой реакционной способностью, они не вступают в реакцию с битумами [6]. После введения в битум и перемешивания они образуют дисперсию. Смесь битума с полимером очень нестабильна.

Добавка РТЭП производится компанией «ДорТрансНИИ РГСУ» (Россия) и представляет собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового полимерного носителя, содержащую битум. По внешнему виду это гранулы черного цвета произвольной формы размером 2-6 мм (допускается пористость), температура размягчения не выше 140°C, рекомендуемая дозировка – 0,35% от массы минеральной части асфальтобетона или 5-6% от массы битума. Добавка Superplast производится компанией ITERNIMICA (Италия) и представляет собой смесь переработанных из вторичного сырья полимеров этилена. По внешнему виду это гранулы серого цвета цилиндрической формы диаметром 3 мм и длиной около 4 мм, температура размягчения составляет 130-150°C, рекомендуемая дозировка – 4,0-8,0% от массы битума.

Третью группу дивинилстирольных термоэластопластов представляют полимерные добавки ДСТ-30-01 и Kibiton PB-5301. Термоэластопласты (термопластичные эластомеры) представляют собой полимерные материалы, которые в условиях эксплуатации способны, подобно эластомерам, к большим обратимым деформациям, а при повышенных температурах, в частности при переработке в изделия, текут подобно термопластам [7]. Термоэластопласты представляют собой блоксополимеры типов АВА и (АВ)<sub>n</sub>, где А – жесткие блоки термопластов (например, полистирольные, полиэтиленовые, полипропиленовые, полиакриловые), В – гибкие эластомерные блоки (например, полибутадиеновые, полиизопреновые, сополимерные – бутадиен-стирольные, изопрен-стирольные, этилен-пропиленовые).

Добавка ДСТ-30-01 производится ОАО «Воронежсинтезкаучук» (Россия) и представляет собой линейный блоксополимер на основе стирола и бутадиена с содержанием связанного стирола 30% по массе. По внешнему виду это гранулы или порошок от белого до светло-бежевого цвета, показатель текучести расплава (при температуре 190°C и нагрузке 5 кгс) менее 1 г/10 мин, плотность 0,93 г/см<sup>3</sup>, молекулярная масса от 60 000 до 90 000. Добавка Kibiton PB-5301 производится компанией СНИ МЕI (Тайвань) и представляет собой сополимер на основе стирола и бутадиена. По внешнему виду это пористые гранулы белого цвета, показатель текучести расплава (при 200°C и нагрузке 5 кгс) менее 0,5 г/10 мин, плотность – 0,94 г/см<sup>3</sup>.

В таблице 1 приведены данные по времени распределения добавок в битуме (при распределении их вручную) и по сцеплению ПБВ с кислым минеральным материалом. Добавки синтетических восков быстро и легко, за 5-10 минут, распределяется в битуме, РТЭП за 4 часа, Superplast за 12 часов, ДСТ-30-01 и Kibiton PB-5301 за 6 часов. Следует отметить, что процесс взаимодействия термопластичных добавок РТЭП и Superplast с битумом при их перемешивании при температуре 160°C заключается в их расплавлении и механическом распределении в объеме жидкого битума. После прекращения перемешивания на поверхности битума образуется высоковязкий расплавленный полимерный слой. Это объясняется более низкой плотностью полиолефинов. Взаимодействия между компонентами битума и макромолекулами и надмолекулярными образованиями полимеров полиолефинов слабые, битум как бы «выталкивает» полимерную фазу на поверхность. Поэтому на практике гранулированные добавки на основе полиолефинов вводятся не в битум, а в приготавливаемую асфальтобетонную смесь с использованием технологической линии подачи стабилизирующих добавок [8].

Таблица 1 – Время распределения полимерных добавок в битуме и сцепление ПБВ с кислым минеральным материалом

| № п/п | Наименование материала | Расход в битуме, % от массы битума | Время распределения полимера в битуме | Показатель сцепления, соответствие контрольному образцу по ГОСТ 11508-74 |
|-------|------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1     | БНД 60/90              | --                                 | --                                    | По образцу 3   |
| 2     | Honeywell Titan 7686   | 1,5                                | 8-10 минут                            | 2 →1   |
| 3     | Rediset WMX            | 1,5                                | 10 минут                              | По образцу 3   |
| 4     | Palmowax               | 1,5                                | 5-6 минут                             | По образцу 3 (почти полное отслаивание)                                  |
| 5     | РТЭП                   | 5,5                                | 4 часа                                | По образцу 3   |
| 6     | Superplast             | 5,0                                | 12 часов                              | По образцу 3   |
| 7     | ДСТ-30-01              | 3,5                                | 6 часов                               | По образцу 3   |
| 8     | Kibiton PB-5301        | 3,5                                | 6 часов                               | По образцу 3   |

Как видно из таблицы 1, добавка Honeywell TITAN 7686 улучшает сцепление, наблюдается почти полное покрытие образца после

кипячения, Rediset WMX не улучшает, а Palmowax ухудшает. Термопласты и термоэластопласты также не улучшают сцепления. Как отмечается в работе [9], в последние годы окисление все шире используется в качестве метода модифицирования полиолефинов. Окисление при нагревании позволяет вводить в состав полиэтилена кислородсодержащие группы, основную долю которых составляют карбонильные, гидроперекисные и эфирные группы. Окисление под действием ионизирующих излучений [9] используется для повышения адгезионной способности полиэтилена. Условия процесса облучения могут быть подобраны таким образом, что значительное повышение адгезии в результате образования в поверхностном слое полярных кислородсодержащих групп достигается практически при сохранении остальных свойств полимера.

Изменения надмолекулярной структуры в результате окисления расплава линейного полимера исследовали Бальтенас и Бальтене [9]. Уже незначительные химические превращения в расплаве приводят к существенным изменениям надмолекулярной структуры в охлажденном после окисления полимере. Продолжение окисления, сопровождающееся сшиванием макроцепей (в основном кислородсодержащими мостиками) и накопление труднокристаллизующихся продуктов окисления, приводит ко все большей аморфизации полиэтилена.

Для изучения реологических свойств дорожного битума с добавками использовался программируемый ротационный вискозиметр BROOKFIELD RVDV-II+PRO. Данный вискозиметр производится в США фирмой «Brookfield Engineering Laboratories, Inc» и разрешен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии к применению на территории России (свидетельство об утверждении типа средств измерений US. С. 31.010.А №42723). Для проведения измерений с дорожным битумом для задания и поддержания требуемой температуры использовалась термоячейка Thermosel со шпинделями SC4-21 и SC4-29 [10].

В таблице 2 приведена динамическая вязкость битума с добавками при температурах от 160 до 70°C в сравнении с битумом без добавок. На рисунке 1 приведены значения динамической вязкости дорожного битума с вышерассмотренными добавками при температурах от 160 до 70°C. Из таблицы 2, а также из рисунка 1 видно, что добавки Rediset WMX и Palmowax несут незначительное влияние на динамическую вязкость битума, в большей степени влияет добавка Honeywell Titan 7686 (увеличение вязкости в 1,2-2,3 раза), термопласты РТЭП и Superplast



увеличивают вязкость битума в 4,6-9,2 раза. Добавки DST-30-01 и Kibiton PB-5301 по увеличению вязкости занимают промежуточное положение между восками и термопластами. Графической иллюстрацией данных по вязкости является приведенные на рисунке 2 значения динамической вязкости битума с полимерными добавками при 160°C, на рисунке 3 – при 70°C.

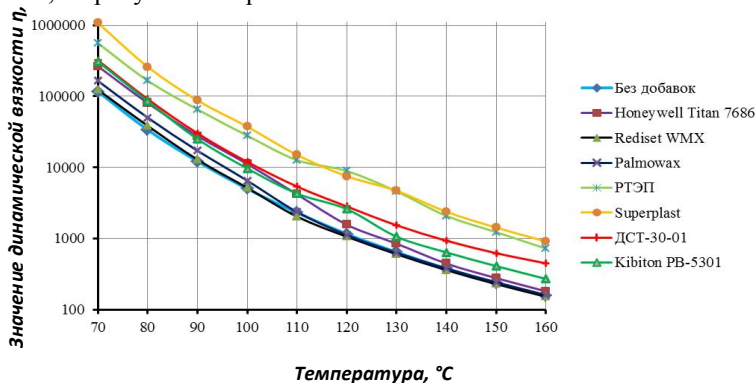


Рисунок 1 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при различных температурах

Таблица 2 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при различных температурах

| № п/п | Наименование и количество добавки в битуме, % от массы битума | Значение динамической вязкости, сПз, при заданной температуре, °C |      |      |       |      |       |       |       |        |         |
|-------|---|---|------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------|---------|
|       |   | 160   | 150  | 140  | 130   | 120  | 110   | 100   | 90    | 80     | 70      |
| 1     | Без добавок   | 157   | 240  | 380  | 645   | 1160 | 2320  | 5013  | 12200 | 33800  | 117000  |
| 2     | Honeywell Titan 7686  | 182   | 279  | 447  | 850   | 1570 | 4192  | 11200 | 27767 | 80500  | 265000  |
| 3     | Rediset WMX   | 153   | 230  | 361  | 603,3 | 1065 | 2040  | 5180  | 12900 | 38500  | 124000  |
| 4     | Palmowax  | 161,5   | 244  | 380  | 633,3 | 1125 | 2370  | 6540  | 17220 | 50200  | 165000  |
| 5     | РТЭП  | 725,7   | 1235 | 2090 | 4615  | 8930 | 12700 | 28000 | 65500 | 166000 | 559000  |
| 6     | Superplast  | 914   | 1430 | 2385 | 4700  | 7550 | 15000 | 37500 | 87600 | 260000 | 1080000 |
| 7     | DST-30-01   | 450   | 625  | 935  | 1540  | 2833 | 5400  | 11983 | 30200 | 91500  | 321000  |
| 8     | Kibiton PB-5301   | 272   | 412  | 640  | 1065  | 2600 | 4300  | 9700  | 25100 | 86000  | 308700  |

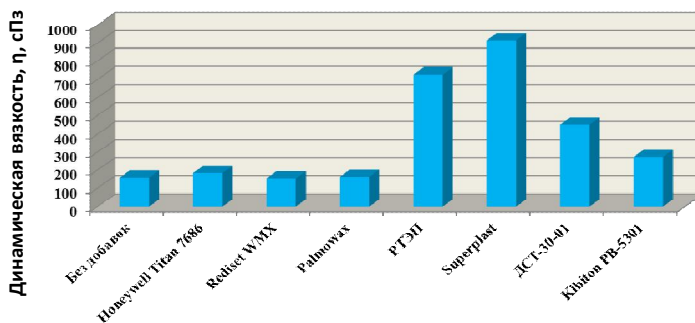


Рисунок 2 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при 160°C

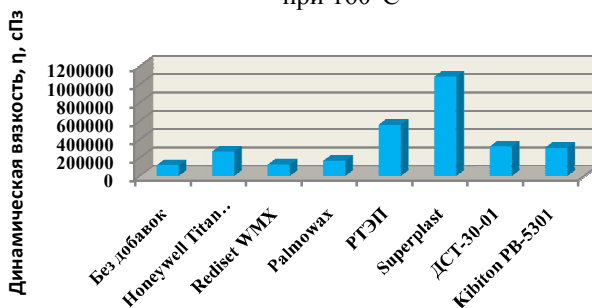


Рисунок 3 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при 70°C

Уплотняемость теплых асфальтобетонных смесей можно оценить по методу Королева И.В., в основу которого положен процесс деформации образца с циклическим нагружением [11]. В той же работе для оценки уплотняемости использовалась зависимость средней плотности асфальтобетона от температуры уплотнения. В работе [12] уплотняемость щебеночно-мастичной смеси на ПБВ с добавками для теплового асфальтобетона оценивалась с использованием гиратора-компактора.

Уплотняемость щебеночно-мастичной и других асфальтобетонных смесей определяется состоянием и свойствами битумной прослойки между зернами щебня и песка. В битумной прослойке битум с

минеральным порошком образуют асфальтовяжущее, которое характеризует микроструктуру асфальтобетона, в том числе и щебеночно-мастичного. Поверхность минерального порошка составляет большую часть общей поверхности минеральной части асфальтобетонной смеси. Таким образом, на частицы минерального порошка приходится большая часть поверхностных взаимодействий с битумом. Это обстоятельство становится особенно существенным при пониженных температурах уплотнения. По изменению физико-механических показателей асфальтовяжущего при уплотнении в разных режимах можно оценивать влияние полимерных добавок на уплотняемость асфальтовяжущего и асфальтобетона. Особый интерес эти данные представляют при оценке уплотняемости при пониженных температурах.

Для приготовления асфальтовяжущего использовался неактивированный доломитовый минеральный порошок ОАО «Доломит» и битум нефтяной дорожный вязкий БНД 60/90 Московского НПЗ. Асфальтовяжущее приготавливали в 10-литровом лабораторном смесителе с подогревом смесительной камеры. Битум нагревался до 150-160°C, в него вводились добавки в заданном процентном соотношении. Смешивание битума с добавками производилось в лабораторном смесителе для приготовления полимерно-битумных вяжущих в течение 3 минут. Минеральный порошок нагревался до температуры 160-170°C и засыпался в смеситель, затем вводился битум с добавками и проводилось смешивание в течение 3 минут для равномерного распределения вяжущего в минеральном порошке.

Предварительно было определено оптимальное количество битума в асфальтовяжущем, при котором достигается его максимальная средняя плотность и прочность. Образцы асфальтовяжущего изготавливались с использованием форм для асфальтобетона  $d=50,5$  мм. Нагрузка на образец составляла 8 тонн, время воздействия нагрузки – 3 минуты. Температура асфальтовяжущего при формовании принималась равной 140°C, так как при температуре формования 140-160°C физико-механические свойства асфальтовяжущего не изменялись. Оптимальное количество битума составило 12% от массы минерального порошка.

Изготовление образцов асфальтовяжущего с различными добавками при различных температурах на начальном этапе производилось при нагрузке на образец  $P=8$  тонн в течение времени  $t=3$  минуты, однако, при данных параметрах уплотнения средняя плотность, водонасыщение и прочность образцов не изменялись в зависимости от температуры их формования. Поэтому, для выявления влияния введенных добавок на

уплотняемость асфальтовяжущего нагрузка на образец была снижена до 3 тонн, а время уплотнения до одной минуты. Оптимальное количество битума в асфальтовяжущем при этом не изменилось и составило 12% от массы минерального порошка.

В таблице 3 приведены сведения по уплотняемости и физико-механическим показателям асфальтовяжущего при температурах уплотнения 140°C и 50°C. На рисунке 5 приведены значения коэффициента уплотняемости асфальтовяжущего, а на рисунке 6 – значения водонасыщения.

Таблица 3 – Уплотняемость и физико-механические показатели асфальтовяжущего при пониженных температурах с различными полимерными добавками

| № п/п | Наименование и количество добавки в асфальтовяжущем, % от массы битума | Температура уплотнения, Т, °С | Средняя плотность, ρ, г/см <sup>3</sup> | Коэффициент уплотняемости, (Купл= ρ <sub>50</sub> /ρ <sub>140</sub> ) | Водонасыщение, W, % | Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, R <sub>в</sub> , МПа | Предел прочности при сжатии при 50°С, R <sub>50</sub> , МПа |
|-------|--|-------------------------------|---|---|---------------------|---|---|
| 1     | БНД 60/90 без добавок  | 140                           | 2,28                                    | 0,98  | 0,36                | 6,20  | 2,29  |
|       |  | 50                            | 2,24                                    |   | 3,93                | 5,05  | 1,36  |
| 2     | Honeywell Titan 7686 - 1,5   | 140                           | 2,29                                    | 0,99  | 0,77                | 8,11  | 3,17  |
|       |  | 50                            | 2,27                                    |   | 1,80                | 6,10  | 1,85  |
| 3     | Rediset WMX - 1,5  | 140                           | 2,30                                    | 0,99  | 0,70                | 5,99  | 2,44  |
|       |  | 50                            | 2,28                                    |   | 1,90                | 4,79  | 1,63  |
| 4     | Palmowax - 1,5   | 140                           | 2,28                                    | 0,99  | 1,90                | 6,95  | 2,70  |
|       |  | 50                            | 2,25                                    |   | 3,90                | 5,25  | 1,62  |
| 5     | РТЭП - 5,5   | 140                           | 2,25                                    | 0,97  | 3,80                | 7,28  | 3,18  |
|       |  | 50                            | 2,19                                    |   | 7,00                | 4,93  | 2,15  |
| 6     | Superplast - 5 0   | 140                           | 2,19                                    | 0,97  | 6,10                | 6,28  | 2,97  |
|       |  | 50                            | 2,13                                    |   | 9,20                | 4,91  | 1,69  |
| 7     | ДСТ 30-01 -  | 140                           | 2,28                                    | 0,97  | 0,80                | 8,38  | 3,55  |

| № п/п | Наименование и количество добавки в асфальтовяжущем, % от массы битума | Температура уплотнения, Т, °С | Средняя плотность, ρ, г/см <sup>3</sup> | Коэффициент уплотняемости, (Купл= $\rho_{50}/\rho_{140}$ ) | Водонасыщение, W, % | Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, Rв, МПа | Предел прочности при сжатии при 50°С, R50, МПа |
|-------|--|-------------------------------|---|--|---------------------|--|--|
|       | 3,5  | 50                            | 2,21                                    |  | 5,50                | 5,53   | 1,99   |
| 8     | Kibiton PB-5301- 3,5   | 140                           | 2,29                                    | 0,98   | 0,11                | 7,56   | 3,67   |
|       |  | 50                            | 2,24                                    |  | 2,29                | 6,41   | 2,10   |

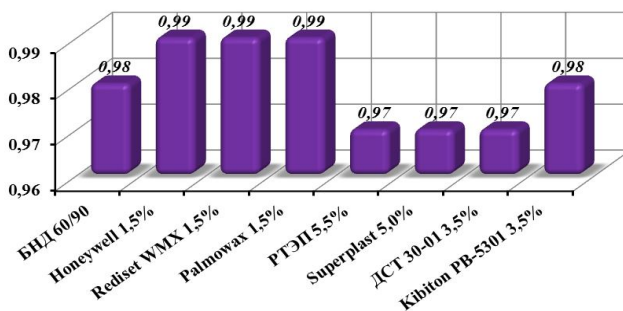


Рисунок 4 – Значения коэффициента уплотняемости асфальтовяжущего с различными полимерными добавками

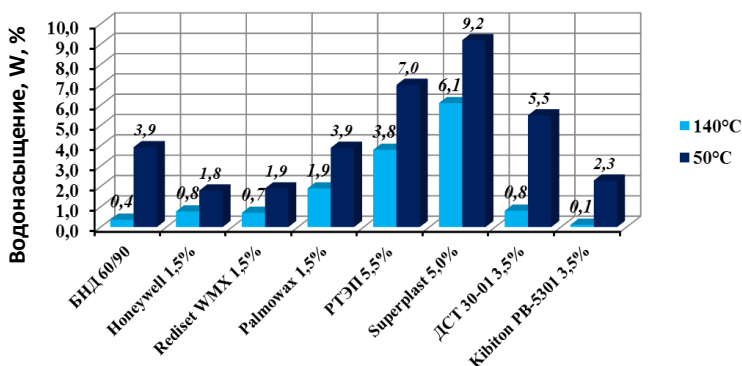


Рисунок 5 – Показатели водонасыщения асфальтовяжущего с различными полимерными добавками, %

Из таблицы 3 и рисунков 5 и 6 видно, что все три добавки на основе синтетических восков – Honeywell Titan7686, Rediset WMX, Palmowax – улучшают уплотняемость асфальтовяжущего при температуре 50°C. При этом Honeywell Titan7686 и Rediset WMX снижают водонасыщение асфальтовяжущего почти вдвое, Palmowax не снижает водонасыщения. Использование добавок РТЭП и Superplast ухудшает уплотняемость асфальтовяжущего при 50°C, а водонасыщение увеличивается с 4 до 7-9%. Добавки термоэластопластов ДСТ-30-01 и Kibiton PB-5301 по-разному влияют на уплотняемость. Введение ДСТ-30-01 ухудшает уплотняемость асфальтобетона незначительно и водонасыщение увеличивается на 1,5%. Введение добавки Kibiton PB-5301 не изменяет уплотняемость, уменьшая водонасыщение на 2%.

Таким образом, оценка свойств дорожного битума и асфальтовяжущего с полимерными добавками применительно к использованию в асфальтобетоне позволяет предварительно охарактеризовать их возможности, сильные и слабые стороны, выбрать определенный технологический подход при приготовлении ПБВ и асфальтобетонной смеси, укладке и уплотнении.

Добавки для теплого асфальтобетона на основе синтетических восков хорошо растворяются в битуме, поэтому интенсивного перемешивания для их распределения в рабочих битумных емкостях не требуется. Реологические сопротивления в процессе приготовления асфальтобетонной смеси увеличиваются незначительно, но уплотняемость при пониженных температурах улучшается. Следует отметить многофункциональное действие добавки Honeywell Titan 7686. Она является адгезионной добавкой, добавкой для теплых смесей, а также структурообразующей добавкой, повышающей показатели механической прочности и сдвигоустойчивости асфальтовяжущего и асфальтобетона.

Термопластичные добавки полиолефинов несовместимы с битумом, поэтому они вводятся в асфальтосмеситель при производстве асфальтобетонных смесей. Добавки полиолефинов являются структурообразующими добавками, повышающими показатели механической прочности и сдвигоустойчивости асфальтовяжущего и асфальтобетона. Для использования в верхних слоях покрытий требуется введение адгезионных добавок.

Дивинилстирольные термоэластопласты для их распределения и набухания в битуме требуют использования специального смесительного оборудования. При производстве асфальтобетонных смесей увеличивают реологические сопротивления в битуме и

асфальтобетонной смеси. Добавки термоэластопластов являются структурообразующими добавками, повышающими показатели механической прочности и сдвигоустойчивости, а при определенных значениях снижающими трещиностойкость асфальтовяжущего и асфальтобетона [13]. При использовании в верхних слоях покрытий требуется введение адгезионных добавок.

#### Список литературы:

1. Энциклопедия полимеров. М.: «Советская энциклопедия», 1972. Т.1. 515 с.
2. Золотарев В.А. V конгресс «Евроасфальт–Евробитум» // Наука и техника в дорожной отрасли. 2012. № 4. С. 40-41.
3. Покровский А.В., Майданова Н.В. Применение дефлегматоров // Автомобильные дороги. 2011. № 5. С. 120-122.
4. Краткая химическая энциклопедия. М.: «Советская энциклопедия», 1965. Т.4. 199 с.
5. Энциклопедия полимеров. М.: «Советская энциклопедия». 1974. Т. 2. 1032 с.
6. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве PIARC-AIPCR / Перевод с франц. В. А. Золотарева, П. А. Беспаловой. Харьков.: Изд-во ХНАДУ, 2003. 229 с.
7. Энциклопедия полимеров. М.: Советская энциклопедия. 1977. Т. 3. 638 с.
8. Патент №2474595 РФ, МПК<sup>7</sup> C08L 95/00, C04B, C04B 24/12, C08K 13/02. Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь и способ ее получения. Соломенцев А. Б., Колодезный В. П., Старчак А. П., Тюкалов И. В. - №2011120846/05; заявл.25.05.2011; опубл. 10.02.2013 г.
9. Сирота А.Г. Модификация структуры и свойств полиолефинов. Л.: Химия. 1984. 152 с.
10. Куликова А.В., Соломенцев А.Б. Реологические свойства дорожного битума с добавками для теплого асфальтобетона // Строительство и реконструкция. Орел: Госуниверситет-УНПК, 2013. № 5. С. 73-78.
11. Королев И.В., Агеева Е.Н., Головкин В.А., Фоменко Г.Ф. Дорожный теплый асфальтобетон. Киев: Вища школа. Головное издательство, 1984. 200 с.
12. Колесник Д.А. Выбор модификатора асфальтобетона для расширения строительного сезона // Мир дорог. 2013. 71/октябрь. С. 45-47.
13. Золотарев В.А., Лапченко А.С. Свойства асфальтобетонов на основе битумов с большим содержанием полимера // Битумы, модифицированные полимерами и добавками. Избранные труды. Том 2. Санкт-Петербург: Славутич, 2013. С. 103-110.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОНОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Толмачев С.Н., д-р техн. наук, доц.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

Долговечность дорожных и аэродромных цементных бетонов – комплексный показатель, который можно оценивать несколькими параметрами. Одними из наиболее важных являются коррозионная стойкость и морозостойкость. Однако, в реальных условиях эксплуатации таких бетонов воздействие закоперенных температур сопровождается одновременным действием растворов солей различной концентрации. В первую очередь это относится к хлористым солям, которые используют на дорогах для борьбы с зимним обледенением покрытий. Но кроме них уже давно разработаны противогололедные составы, которые не содержат хлористые соли, но достаточно эффективно противодействуют льдообразованию на покрытиях. Поэтому при испытаниях на морозостойкость дорожных и аэродромных цементных бетонов в различных странах в качестве среды насыщения при циклических воздействиях принят водный раствор хлористого натрия. Это значит, что испытания таких бетонов проводят на морозосолеустойкость, т.е. это испытание на коррозионную стойкость и морозостойкость одновременно. Такое воздействие по характеру должно отличаться от морозного воздействия, когда бетон насыщен чистой водой.

Для исследований использовали следующие материалы цемент ПЦ I-500 Балаклейского цемзавода Харьковской области –  $380 \text{ кг/м}^3$ , песок Вознесенского карьера Николаевской области –  $600 \text{ кг/м}^3$ , щебень гранитный карьеров Запорожской области двух фракций – фр.<sub>5-10</sub> –  $760 \text{ кг/м}^3$  и фр.<sub>10-20</sub> –  $500 \text{ кг/м}^3$ , вода –  $142 \text{ л/м}^3$ , суперпластификатор Fm21 производства фирмы BASF, Германия  $2,66 \text{ кг/м}^3$ . Осадка конуса бетонной смеси составляла 4 см. Испытания проводили по ускоренной методике (замораживание при  $-50^\circ\text{C}$ , оттаивание в воде или водном растворе 5-ного хлористого натрия). Исследования показали, что при испытании бетонных образцов насыщенных только водой, по мере увеличения количества циклов испытания происходит неуклонное постепенное снижение их прочности, что свидетельствует о таком же постепенном снижении морозостойкости (рис.1, кривая 1). Максимальная марка по морозостойкости для такого бетона



соответствует F 200 (коэффициент морозостойкости 0,95). К 37 циклам испытаний коэффициент морозостойкости составил 0,93, к 55 циклам – 0,86, а к 60 циклам – 0,81.

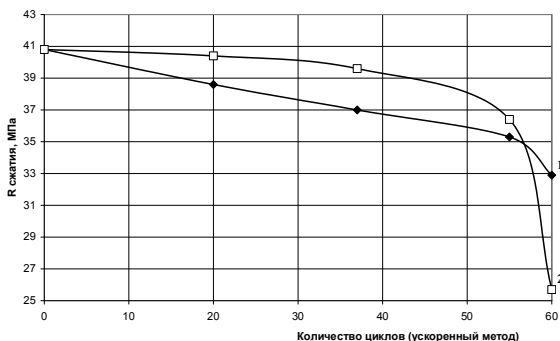


Рисунок 1 – Влияние среды испытания на морозостойкость бетонов:  
 1) образцы бетона, испытываемые в воде; 2) образцы бетона, испытываемые в 5 %-ном р-ре NaCl

В бетонах, которые испытывали по той же методике, но насыщение и размораживание которых происходило в 5%-ном растворе NaCl, прочность в первые 20 циклов испытания не снижалась. Снижение прочности таких бетонов к 37 циклам испытаний составило 3% (коэффициент морозостойкости 0,97 и марка по морозостойкости выше F 300). Однако, при последующих испытаниях происходит резкое снижение прочности бетона и, соответственно, падение морозостойкости. К 55 циклам испытаний коэффициент морозостойкости снизился до 0,89, а к 60 циклам – упал до 0,63.

Оптическая микроскопия среза образца, который был подвергнут испытанию на морозостойкость в воде, показала, что до начала эксперимента в нем отсутствуют какие-либо изменения (рис.2 а). Структура бетона плотная, без трещин и дефектов. После 37 циклов испытания в структуре появились видимые трещины, подтверждающие ее разрушение и объясняющие причину снижения морозостойкости (рис. 2 б). На срезе образца, который проходил испытания в растворе NaCl, после 37 циклов воздействия не обнаружено изменений (рис. 3). При большем увеличении в порах образца были обнаружены кристаллы соли, выпадающие при испарении влаги в начальный период замораживания (рис. 4). До 37 циклов кристаллизующаяся соль не только не снижала прочность образцов бетона (что отразилось на его

морозостойкости), но способствовала его упрочнению (рис. 4 а). Это можно объяснить уплотнением пор за счет роста кристаллов NaCl в порах и дефектах структуры. Однако, при дальнейшем морозносолевом воздействии растущие кристаллы соли начинают оказывать внутреннее давление на стенки пор, что ведет к трещинообразованию и снижению как прочности, так и морозосолеустойкости бетона (рис. 4 б).

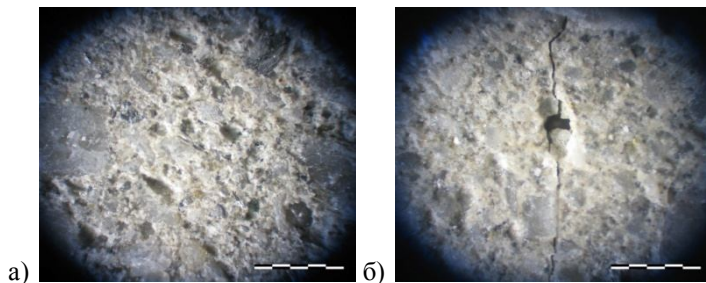


Рисунок 2 – Срез бетона: а) до испытаний; б) после 37 циклов испытания (увеличение x 32)

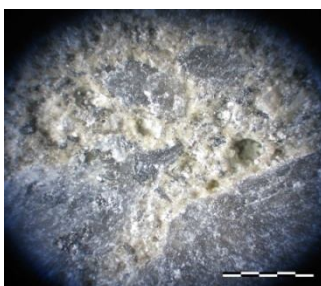


Рисунок 3 – Срез образца после 37 циклов испытания (увеличение x32)

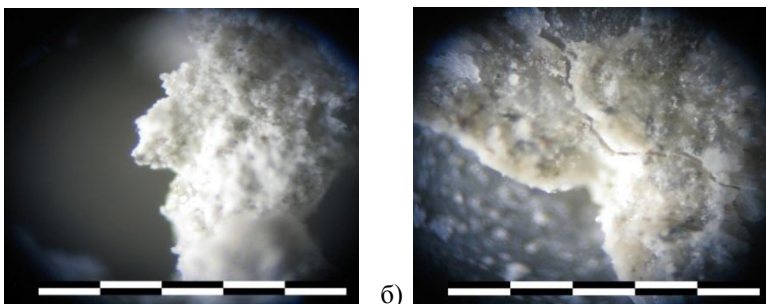


Рисунок 4 – Кристаллизация солей в порах образца: а) после 37 циклов; б) после 55 циклов испытания (увеличение  $\times 100$ )

Анализируя совместное действие на цементобетон отрицательных температур и морской воды, содержащей большое количество солей, М. Moukwa выявил три стадии разрушения бетона [1]: первая стадия: нарастание прочности, уменьшение деформативных свойств; вторая стадия: снижение морозостойкости без заметного изменения его прочности; третья стадия: резкое снижение прочности, повышение водопоглощения, уменьшение морозостойкости. Наличие первой стадии подтверждает наши данные о стабилизации прочности и морозостойкости бетонов в период до 37 циклов замораживания-оттаивания в растворе соли. Им же показано, что одновременное действие на бетон воды и отрицательных температур усиливает его разрушение. В процессе многократного замораживания воды в цементобетоне в растворе и в зоне контакта цемента с крупным заполнителем возникают микротрещины, в которые при оттаивании попадает вода, что ведет к последующему разрушению. Интересно, что вследствие этого, происходит ослабление структурных связей, в том числе в поверхностном слое цементобетона, что облегчает его разрушение под действием транспортных средств (износ).

Повышение прочности и морозосолеустойкости бетона, при испытаниях в растворе хлорида натрия, обусловлено не только кристаллизацией этой соли в порах, но и тем, что в присутствии хлорида натрия возрастает растворимость клинкерных минералов, степень пересыщения раствора новообразованиями (в первую очередь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) и степень гидратации. Кроме того, необходимо учесть, что в присутствии хлоридов гидратация не останавливается и при температурах значительно ниже нуля (в отличие от воды без солей). В

этом случае она может происходить как по сквозрастворной, так и по топохимической схеме.

Данные И.А. Киреенко [2,3] свидетельствуют о том, что отрицательные температуры не окажут негативного влияния на свойства бетона, даже если произошло его замораживание. Но это должно произойти или до начала схватывания цемента или после его окончания. Он доказал, что в этом случае прочность бетонов, твердевших на морозе будет не менее прочности бетона твердевшего в нормальных условиях, но после размораживания бетон не должен подвергаться повторному замораживанию до набора марочной прочности. В конце 19 века им было построено несколько объектов (в том числе мостов) из бетона который укладывали при температурах до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Еще в 1918 году, обобщая практические результаты своих работ, он высказал ряд требований для повышения качества бетона, твердевшего при отрицательных температурах, одним из которых было понижение температуры замерзания воды введением добавок хлоридов, поташа, глицерина и др. Эти принципы были использованы при строительстве бетонных оснований и покрытий на перроне, РД и ВПП в международном аэропорту в г. Харькове. Укладку бетона в осенний период производили при колебаниях температуры среды от  $+6^{\circ}\text{C}$  до  $-15^{\circ}\text{C}$  и контролировали качество бетонов. Так бетоны составов 1 и 2 твердели при температурах близких к  $0^{\circ}\text{C}$  на протяжении 45 суток. В течение первых 16 суток температура колебалась от  $+6^{\circ}\text{C}$  до  $-7^{\circ}\text{C}$  при 8 переходах через  $0^{\circ}\text{C}$ . Затем температура была постоянно отрицательной и колебалась в пределах от  $-6^{\circ}\text{C}$  до  $-16^{\circ}\text{C}$ . Составы 3 и 4 твердели в нормальных условиях при температуре  $+18\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Бетоны содержали суперпластификатор FM 21, воздухововлекающую добавку Lp 75 и противоморозную добавку Frigidol (исследования показали, что водный рабочий раствор с этой добавкой замерзает при температуре  $-12^{\circ}\text{C}$ ). Все применяемые добавки были представлены фирмой BASF, Германия. Состав бетонной смеси: Ц –  $380\text{кг}/\text{м}^3$ , П –  $600\text{кг}/\text{м}^3$ , Ш<sub>5-10</sub> –  $760\text{кг}/\text{м}^3$ , Ш<sub>10-20</sub> –  $500\text{кг}/\text{м}^3$ . Из приведенных графиков видно (рис. 5 а), что скорость набора прочности при сжатии для бетонов составов 1 и 2 меньше, чем для бетонов составов 3 и 4 примерно в 4...5 раз. Несмотря на то, что после 16 суток бетоны составов 1 и 2 твердели при постоянной отрицательной температуре, скорость твердения у таких бетонов увеличилась. Это позволило им к 45 суткам достичь показателей бетонов, твердевших в нормальных условиях. Интересно, что скорость набора прочности на растяжение при изгибе бетонами составов 1 и 2 выше, чем скорость набора прочности при сжатии

(рис. 5 б). При изгибе прочность бетонов составов 1 и 2 отличалась от прочности бетонов составов 3 и 4 только в 1,7...1,9 раза.

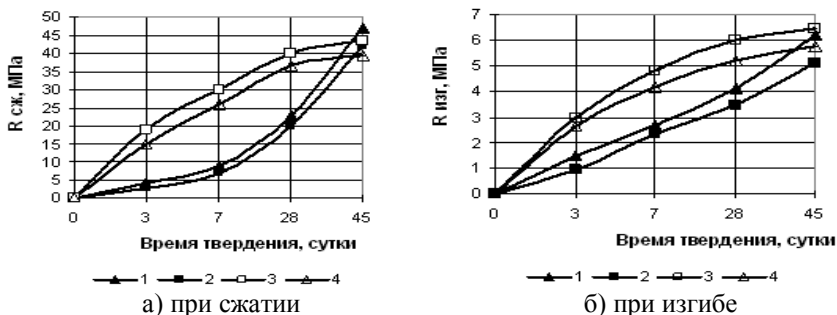


Рисунок 5 – Кинетика набора прочности бетонов: 1) Fm 21 + Frigidol; 2) Fm 21 + Frigidol + Lp75; 3) Fm 21; 4) Fm 21 + Lp75

Это может означать только то, что при гидратации в условиях действия отрицательных температур упрочняется в первую очередь зона контакта «цементный камень – заполнитель», что особенно важно для дорожных бетонов, работающих при таких нагрузках. Обращает на себя внимание и то, что введение воздухововлекающей добавки Lp75 практически не повлияло на прочность бетонов. После 45 суток твердения вторая серия образцов бетона всех составов была выдержана в нормальных условиях в течение 3 суток, а затем их подвергали испытанию на морозостойкость по ускоренному методу (замораживание в 5%-ном NaCl при  $-50^{\circ}\text{C}$ , оттаивание – в том же растворе при  $+18^{\circ}\text{C}$ ).

Исследования показали, что в бетонах составов, твердевших в условиях переменных и отрицательных температур вначале (до 20 циклов) остается практически неизменной, а в дальнейшем – неуклонно снижается (рис.6). В бетонах составов 3 и 4 морозостойкость изменяется в соответствии с тремя стадиями разрушения М. Moukwa [1]. Вначале она значительно возрастает, а затем после прохождения максимума (30...37 циклов) так же резко снижается. В целом морозостойкость бетонов нормального твердения выше на марку (F 300 против F 200). Это происходит на фоне того, что прочность бетона второй партии, твердевшего в нормальных условиях, меньше на 15...20%, чем прочность бетонов составов 1 и 2.

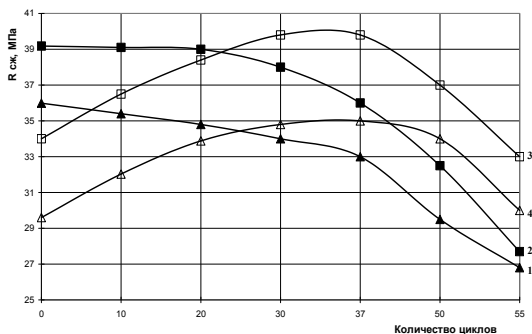


Рисунок 6 – Морозостойкость бетонов, твердевших в различных условиях

Кроме того, истираемость бетона составов 1 и 2 ниже в 4 и 2 раза соответственно, по сравнению с бетонами, твердевшими в нормальных условиях. Это же относится и к водопоглощению. Это согласуется с результатами испытания бетонов на морозостойкость и с выводами И.А. Киреенко о том, что при начальном твердении бетона в условиях отрицательных температур ему необходимо обеспечить условия для набора необходимого уровня прочности в течение определенного времени при положительных температурах.

#### Список литературы:

1. Moukwa M. Deterioration of concrete in cold sea waters // Cem. and Concr. Res. 1990. V. 20. № 3. P. 439-446.
2. Киреенко И.А. Бетонные работы на морозе. Киев: Изд-во Укр. нар. комиссариата земледелия, 1918. 128 с.
3. Киреенко И.А. Бетонные, каменные и штукатурные работа на морозе. Киев: Госстройиздат, 1962. 272 с.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Толмачев С.Н., д-р техн. наук, доц.,  
Беличенко Е.А., канд. техн. наук, науч. сотр.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

Развитие современного строительного материаловедения во многом связано с применением нанотехнологических подходов, т.е. внедрения управляемого воздействия на процессы формирования структуры строительных композитов, в том числе и цементных бетонов. Результатом такого подхода может быть качественно отличающиеся по структуре и свойствам бетоны. В качестве модификаторов структуры цементных бетонов многие ученые применяют различные виды наночастиц. Согласно исследованиям Н.М. Морозова [1] в качестве наномодификаторов бетона могут быть использованы наночастицы различной химической природы [2]. В табличной форме на основании подобных исследований, проведенных В.Р. Фаликманом, им указан основной эффект применения каждого вида наночастиц (табл. 1). Исследования, проведенные самим автором, подтвердили увеличение прочности бетонов на 35...40% при введении нанокремнезема в количестве до 3% от массы цемента.

Таблица 1 – Наночастицы в бетоне по Н.М. Морозову [1]

| Наночастицы                    | Эффект применения   |
|--------------------------------|---|
| 1                              | 2   |
| SiO <sub>2</sub>               | – повышение прочности;<br>– улучшение обрабатываемости смеси;<br>– повышение долговечности;<br>– повышение активности минеральных добавок |
| TiO <sub>2</sub>               | – фотокаталитические свойства   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | – «самозондирование»;<br>– повышение прочности на растяжение;<br>– снижение проницаемости   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | – увеличение модуля упругости   |

| 1                                 | 2  |
|-----------------------------------|--|
| Наноглины                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– снижение коэффициента проницаемости цементного камня;</li> <li>– контроль тиксотропии смеси;</li> <li>– улучшение формовочных свойств смеси;</li> <li>– зародышеобразователи для С-S-H</li> </ul> |
| Наноразмерная шпинель $MgAl_2O_3$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышение устойчивости к тепловому удару;</li> <li>– повышение коррозионной стойкости бетонов на высокоглиноземистом цементе;</li> </ul>  |
| Наноферрит $ZnFe_2O_3$            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– задержка гидратации;</li> <li>– повышение прочности;</li> </ul>   |
| $CaCO_3$                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– ускорение твердения;</li> </ul>   |
| Наноцементы                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– ультракороткие сроки схватывания;</li> <li>– высокая ранняя прочность</li> </ul>  |

Анализируя исследования различных авторов, Е.В. Королев [2] приводит сводную таблицу эффективности применения наноразмерных коллоидных частиц различного происхождения (табл. 2). Анализ этой таблицы позволяет сделать вывод о достигаемых эффектах при использовании наноразмерных частиц различной природы в технологии бетона. В первую очередь это относится к углеродным частицам, которые при их введении в бетон в количестве 0,01...0,0005% от массы матрицы или массы цемента обеспечивают повышение прочности в пределах 13...100%.

Анализ исследований в области применения наноразмерных частиц, проведенный Ю.М. Баженовым, В.Р. Фаликманом и Б.И. Булгаковым [3], позволил им сформулировать основные причины, объясняющие положительное воздействие наночастиц на микроструктуру и свойства цементных композитов:

- тонкодисперсные наночастицы увеличивают вязкость жидкой фазы, повышая устойчивость смеси к расслоению и улучшая удобоукладываемость системы;

- наночастицы заполняют пустоты между гранулами цемента, что приводит к связыванию свободной воды («эффект наполнителя»);

- тонкодисперсные наночастицы выступают в качестве центров кристаллизации гидратов цемента, ускоряя тем самым процесс гидратации;

- наночастицы оказывают благоприятное воздействие на формирование мелких алюмоферритных кристаллитов и повышают однородность гидросиликатов С-S-H;



– наночастицы  $\text{SiO}_2$  принимают участие в пуццолановых реакциях, что приводит к связыванию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и формированию «дополнительного» количества C-S-H;

– наночастицы улучшают структуру контактной зоны заполнителя;  
– уменьшение трещинообразования (диссипация энергии разлома) и эффект взаимного связывания между плоскостями скольжения, обеспечиваемые наночастицами;

– повышение твердости, сопротивление сдвигу и прочности на изгиб материалов на основе цемента.

Авторами отмечено, что углеродные наночастицы, нанотрубки и нановолокна обладают дополнительным потенциалом для создания намного более прочных, более жестких и более долговечных конструкционных материалов, чем сегодня.

Таблица 2 – Эмпирические данные по влиянию первичных наноматериалов на свойства строительных композитов по Е.В. Королеву [2]

| Авторы          | Вид системы                       | Вид первичного наноматериала                        | Концентрация                       | Эффект   |
|-----------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|--|
| Юдович М.Е.     | мелкозернистый бетон              | Астралены <sup>TM</sup> - фуллероидный наноматериал | 0,01 – 0,013 % от массы цемента    | снижение расхода пластификатора на 50 – 60 %; повышение прочности на 15 – 20 % |
| Яковлев Г.И.    | газобетон на основе фторангидрита | углеродные нанотрубки «Таунит»                      | 0,05 % от массы матрицы            | повышение прочности на 14 – 19 %   |
| Яковлев Г.И.    | цементный бетон                   | углеродные нанотрубки                               | 0,05 % от массы матрицы            | повышение прочности в 1,7 – 2 раза; снижение теплопроводности на 20 %          |
| Толмачев С.Н.   | мелкозернистый бетон              | углеродные коллоидные частицы                       | 0,0045 и 0,0225 % от массы цемента | повышение прочности в 1,2 – 1,5 раза   |
| Лукутцова Н.П.  | мелкозернистый бетон              | наноразмерный кремнезем                             | -                                  | повышение прочности до 1,9 раза  |
| Гибидуллин М.Г. | мелкозернистый бетон              | углеродные нанотрубки Graphistrength                | 0,0005 – 0,0025 % от массы цемента | повышение прочности при сжатии на 13 % и прочности при изгибе на 41 %          |

Анализ рассмотренных взглядов на механизм действия углеродных наноразмерных частиц показал, что все исследователи связывают этот

механизм с воздействием на цементное тесто и твердеющий камень. Отсутствует единый взгляд на влияние таких частиц на уровне цементного раствора и, далее, бетона. Поэтому актуальным является исследование влияния наночастиц на различные уровни структуры цементного бетона.

В исследованиях применяли следующие материалы: цемент ПЦ I–500Н Балаклейского цементного комбината, кварцевый песок с модулем крупности  $M_{кр}=2.4$  мм, щебень гранитный фр. 5-10 мм и 10-20 мм, углеродные наночастицы (УНЧ) в виде малоконцентрированной водной суспензии (гидрозоля), получаемой путем ультразвукового диспергирования коксовой пыли в воде [4], которые вносили в воду затворения цементных бетонов.

Для виброуплотненного цементного камня оптимальное содержание УНЧ составляет 0,0225% от массы цемента (табл. 3). Прочность камня при таком расходе УНЧ возрастает в 1,3 раза к 7 суткам естественного твердения и в 1,5 раз к 28 суткам твердения по сравнению с контрольным составом без УНЧ.

Таблица 3 – Прочность виброуплотненного цементного камня

| Содержание УНЧ, % от $m_c$ | Прочность в возрасте, МПа |          |
|----------------------------|---------------------------|----------|
|                            | 7 суток                   | 28 суток |
| без УНЧ                    | 35,7                      | 52,9     |
| 0,0045                     | 38,8                      | 64,7     |
| 0,0225                     | 46,3                      | 79,5     |
| 0,09                       | 44,0                      | 73,7     |
| 0,18                       | 40,8                      | 68,2     |
| 0,27                       | 38,9                      | 64,8     |

Прочностные характеристики растворов различного состава показали, что с уменьшением количества цемента в составе цементно-песчаного раствора эффективность применения УНЧ снижается (табл. 4). Для виброуплотненных растворов состава Ц:П=1:1,5 прочность при изгибе в 1,45 раз выше контрольных составов. Для растворов состава Ц:П=1:2 прочность выше в 1,44 раза, для состава Ц:П=1:2,5 – в 1,3 раза, для составов Ц:П=1:3 – в 1,22 раза. Аналогичная тенденция изменения прочности наблюдается и при сжатии.

Оптимальное содержание УНЧ в составе цементного камня, цементно-песчаных растворов и бетонов одинаково (0,0225% от массы цемента). Прочность бетона с оптимальным содержанием УНЧ возрастает на 27...28 % по сравнению с бетоном без УНЧ.

Таблица 4 – Прочность виброуплотненных цементно-песчаных растворов на 28 сутки естественного твердения

| Содержание<br>УНЧ, % от<br>m <sub>ц</sub> | При изгибе, МПа |     |       |     | При сжатии, МПа |      |       |      |
|---|-----------------|-----|-------|-----|-----------------|------|-------|------|
|   | Ц:П             | Ц:П | Ц:П   | Ц:П | Ц:П             | Ц:П  | Ц:П   | Ц:П  |
|   | 1:1,5           | 1:2 | 1:2,5 | 1:3 | 1:1,5           | 1:2  | 1:2,5 | 1:3  |
| -   | 6,0             | 5,0 | 4,7   | 4,5 | 40,0            | 32,0 | 27,5  | 25,0 |
| 0,0225                                    | 8,9             | 7,1 | 6,0   | 5,2 | 57,0            | 43,0 | 36,0  | 31,0 |
| Прирост<br>прочности,<br>% от<br>контроля | 148             | 142 | 128   | 115 | 143             | 134  | 131   | 124  |

Исследования прочности виброуплотненных мелкозернистых бетонов на цементах разных марок показали, что при снижении активности цемента и изменении его минерального состава происходит изменение оптимального с точки зрения максимума прочности содержания УНЧ в сторону увеличения их количества (табл. 5).

Таблица 5 – Показатели виброуплотненных мелкозернистых бетонов

| Содержание<br>УНЧ,<br>% от m <sub>ц</sub> | Марка цемента  |       |      |                   |       |      |                   |       |      |
|---|----------------|-------|------|-------------------|-------|------|-------------------|-------|------|
|   | ПЦ I – 500Н    |       |      | ПЦ 400            |       |      | ПЦ II Б – III 400 |       |      |
|   | Прочность, МПа |       | К д  | Прочность,<br>МПа |       | К д  | Прочность,<br>МПа |       | К д  |
|   | Изгиб          | Сжат. |      | Изгиб             | Сжат. |      | Изгиб             | Сжат. |      |
| Контроль                                  | 4,85           | 42,5  | 8,76 | 3,5               | 29,5  | 8,43 | 3,5               | 30    | 8,57 |
| 0,0045                                    | 5,2            | 48,5  | 9,33 | 5                 | 30,6  | 6,11 | 5                 | 31    | 6,2  |
| 0,0225                                    | 5,15           | 43,8  | 8,5  | 4,5               | 33    | 7,33 | 4,5               | 33,5  | 7,44 |
| 0,09                                      | 5,75           | 52,5  | 9,13 | 5,85              | 35    | 5,98 | 5,86              | 35    | 5,97 |
| 0,18                                      | 4,5            | 43,5  | 9,6  | 5,18              | 35,2  | 6,8  | 5,2               | 35    | 6,73 |
| 0,27                                      | 5,1            | 44,5  | 8,73 | 5,25              | 32,4  | 6,17 | 4,7               | 31,5  | 6,7  |

Коэффициент дефектности структуры (по И.М. Грушко) бетонов с УНЧ на цементах М 400 существенно ниже этого показателя в бетонах без них, что свидетельствует о более высокой однородности макроструктуры бетонов с УНЧ. Для бетонов на цементе М 500 коэффициент дефектности структуры бетонов с УНЧ из-за более высоких показателей прочности при сжатии несколько выше или одинаков с бетонами без УНЧ.

Анализ показал, что влияние УНЧ на прочность цементсодержащих систем различно (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние УНЧ на прочность уровней структуры виброуплотненного бетона

| № п/п | Уровень структуры | Наличие УНЧ | R ТВО, % от контроля | R 28 суток, % от контроля |
|-------|-------------------|-------------|----------------------|---------------------------|
| 1     | Микро             | -           | 100                  | 100                       |
| 2     | Микро             | +           | 190                  | 160                       |
| 3     | Мезо              | -           | 100                  | 100                       |
| 4     | Мезо              | +           | 140                  | 150                       |
| 5     | Макро             | -           | 100                  | 100                       |
| 6     | Макро             | +           | 128                  | 125                       |

Например, для цементного камня прирост прочности при введении УНЧ может достигать 160...190% в зависимости от условий изготовления и твердения. Это наиболее однородный уровень структуры бетона, при котором эффективность применения УНЧ максимальна. Для растворов с различным соотношением цемента и песка максимальный прирост прочности составил 140...150%. Этот уровень структуры, отличается меньшей однородностью, что, соответственно, уменьшает эффективность применения УНЧ.

Таким образом, при переходе от цементного камня к наполненным цементным системам – мелкозернистым бетонам эффективность применения УНЧ снижается. Аналогичная зависимость прочности при сжатии получена для пресованных бетонов.

В исследованиях отмечено, что чем выше содержание песка в составе растворов, тем меньше приросты прочности. Для мелкозернистых бетонов с максимальной крупностью заполнителя 20 мм приросты прочности не превышают 28%. Это наименее однородный уровень структуры бетона и эффективность использования УНЧ для таких бетонов минимальна.

### **ВЫВОДЫ:**

1. Установлено, что эффективность влияния УНЧ на процессы структурообразования снижается при переходе от субмикроуровня к микроуровню и далее мезо- и макроуровню. Показано, что прочность растворов увеличивается в 1,3 – 1,4 раза, а прочность бетонов возрастает в 1,27 – 1,28 раза по сравнению с контрольными составами.

2. Показано, что при снижении активности цемента и изменении его минерального состава происходит изменение оптимального содержания УНЧ с точки зрения максимума прочности в сторону увеличения их количества. У бетонов с УНЧ на низкомарочных цементах коэффициент дефектности структуры существенно ниже, чем

у бетонов без УНЧ, что говорит о более высокой однородности макроструктуры бетонов с УНЧ.

**Список литературы:**

1. Морозов Н.М. Применение нанотехнологий в современных бетонах // Nanotech '2012: материалы IV Международного Казанского инновационного нанотехнологического форума. Казань: Изд-во ГУП РТ «Татарстанский ЦНТИ», 2012. С. 365-367.
2. Королев Е.В. Оценка концентрации первичных наноматериалов для модифицирования строительных композитов // Строительные материалы. 2014. № 6. С. 31-34.
3. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р., Булгаков Б.И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 125-133.
4. Зеленский О.И., Шмалько В.М., Богатыренко С.И. Получение углеродных наноструктур из углей и продуктов коксования // Углекимический журнал. 2010. № 1-2. С. 15-20.

## **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО СНИЗИТЬ ОБРАЗОВАНИЕ КОЛЕИ НА АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ**

**Траутвайн А.И., канд. техн. наук, доц.,**

**Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,**

**Вербкин В.И., студент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им В.Г. Шухова*

Асфальтобетонное покрытие является основным типом покрытия на дорогах России. Существует большое количество смесей, которые различаются по крупности и количеству щебня, содержанию природного или дробленого песка, количеству минерального порошка, вязкости битума. В результате получают смеси с различной структурой, которая и обеспечивает сопротивление покрытий эксплуатационным воздействиям [1].

Под совместным воздействием движения транспортных средств и природно-климатических факторов на поверхности асфальтобетонного покрытия может происходить колееобразование, возникающее в результате накопления остаточных деформаций в грунте земляного полотна, слоях основания и покрытия, неравномерного поверхностного износа верхнего слоя [2]. Самые оживленные трассы в течение нескольких последних лет покрываются бороздами от колес автомобилей. Колея – ухудшение состояния асфальтобетонного покрытия в виде образования неровностей, направленных вдоль полосы движения и имеющих достаточно большую протяженность. Ее появление способствует возрастанию аварийности на дорогах. Существенно снижается комфортность движения, особенно при пересечении перекрестков на таких участках. Данный недостаток асфальтобетонного покрытия требует тщательного изучения способов предотвращения и предупреждения колееобразования.

Согласно «Рекомендациям по выявлению и устранению колей на жестких дорожных одеждах» (утверждены распоряжением Росавтодора № ОС-556-р от 24.06.2004 г.) определен целый ряд факторов, способствующих образованию колееобразования в асфальтобетонных покрытиях, а именно:

- накопление пластических деформаций в асфальтобетоне под действием тяжелых грузовиков в жаркий летний период («пластическая колея»);

- накопление остаточных деформаций в материалах основаниях дорожной одежды и земляном полотне под действием тяжелых грузовиков во влажные переходные периоды весной и осенью («скрытая колея»);

- износ асфальтобетона резиновыми шинами автомобилей. Зимой, при отрицательных температурах, асфальтобетон приобретает высокую прочность. Поэтому износ дорожного покрытия резиновыми шинами наиболее интенсивно происходит в безморозный период года («колея износа») [3].

Существует еще несколько причин появления колеиности:

- большая интенсивность движения автомобилей;
- высокая скорость движения автомобилей на автомагистралях, а также частые разгоны и торможения на городских улицах при движении в пробках;

- рост количества автомобилей на шипованных шинах в холодное время года;

- применение антигололедных реагентов при зимнем содержании дорог;

- переувлажнение и частые циклы замораживания-оттаивания асфальтобетона в покрытии.

Устранить колею стоит очень дорого. И не всегда выделенные средства используются рационально. Ремонт дорожного покрытия сводится к выравниванию существующего покрытия и укладке нового слоя асфальтобетона. Однако, причины образования колеи не принимаются во внимание, что приводит к повторному ее образованию. Колея часто образуется при высокой температуре воздуха на крайних правых полосах движения, где проезжает максимальное число транспорта с низкой скоростью движения. Так как это влечет к возрастанию нагрузки на дорожную одежду, а применяемый в асфальтобетонной смеси битум не обеспечивает достаточных деформативных характеристик, производитель ищет способы повысить прочность и надежность покрытия с помощью различных компонентов (адгезионные и стабилизирующие добавки [4-5], полимер-битумное и резинобитумное вяжущие), но это слишком затратно для предприятия. Для примера – одна тонна ПБВ стоит в диапазоне от 21000 до 25000 руб. Исходя из этого нами было принято решение найти

альтернативный компонент для асфальтобетонной смеси, который при добавлении к битуму улучшал ее физико-механические свойства, в частности способствовал предотвращению образования колеи на асфальтобетонном покрытии.

В ходе исследования было исследовано 4 вида органического вяжущего:

- I – битум БНД 60/90 Рязанского нефтеперерабатывающего завода;
- II – комплексное полимерное вяжущее;
- III – полимер-битумное вяжущее (битума БНД 60/90 - 88%; полимер ДСТ - 3,5%; разжижитель - 8,5 %);
- IV – полимер-битумное и комплексное полимерное вяжущие в соотношении 1:1.

Описание технологии приготовления и состав комплексного полимерного вяжущего не будут представлены в данной публикации, так как разработка находится на стадии оформления патентных прав.

Образцы асфальтобетона были заформованы по рецепту типа Б и имели следующие условные обозначения: W1, W2, W3, W4, согласно которым, вяжущее первого состава применялось при приготовлении асфальтобетонных образцов W1, второго состава – W2 и т.д. Исследования на колеюность проводили с помощью оборудования для определения устойчивости к колееобразованию фирмы Infra Test 20-4000. Данные испытаний приведены на рисунке 1.

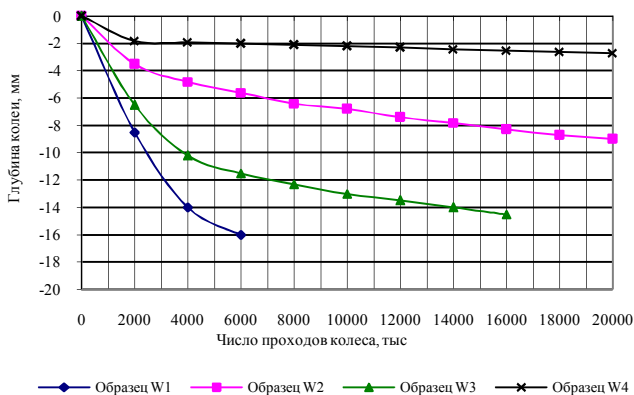
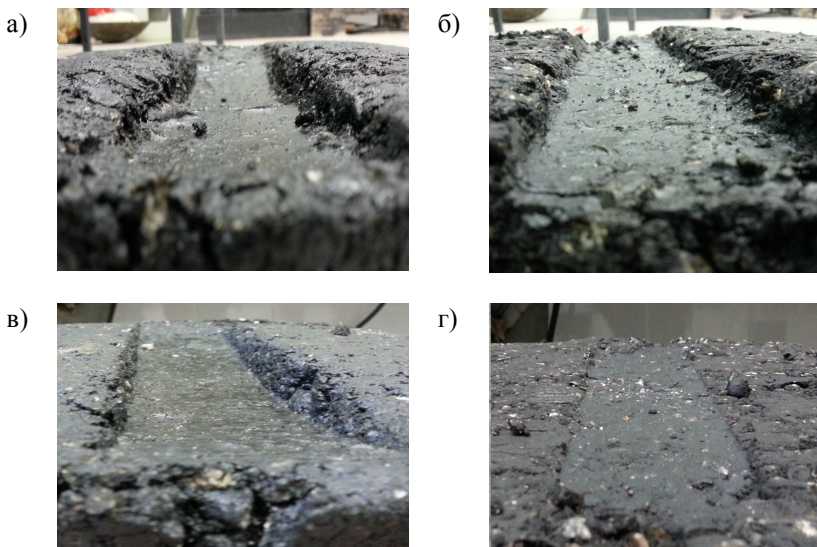


Рисунок 1 – Экспериментальные зависимости изменения глубины колеи для асфальтобетонных образцов на различных видах вяжущего



Метод испытания колесной нагрузкой преследует цель дать относительную характеристику поведения асфальтобетона при многократных нагрузках в определенных климатических условиях испытания [6]. Как видно из рисунка, процесс образования колеи на асфальтобетонных образцах с использованием органического вяжущего различного состава существенно отличается друг от друга. При испытаниях первого образца на битуме БНД 60/90 после 6000 проходов колеса колея составила 16 мм. Применение ПБВ в составе асфальтобетонной смеси также показало неудовлетворительные результаты, так как при 6000 проходов колеиность составила 11,5 мм, при 16000 – 15 мм, что значительно превышает значения, полученные при испытании органоминерального композита на комплексном полимерном вяжущем. Исследование этих образцов с условными обозначениями W2 и W4 показало, что при 20000 проходах колеса глубина колеи составила 9 и 2,3 мм; при 6000 – 5,7 и 2 мм соответственно. Эти данные подтверждены фотографиями образцов асфальтобетона после их испытания и представлены на рисунке 2.



а – W1; б – W2; в – W3; г – W4

Рисунок 2 – Образцы после испытания на колесобразование

На основании представленных результатов можно сделать вывод о том, что накопление пластических деформаций в асфальтобетонном покрытии можно значительно снизить за счет применения комплексного полимерного вяжущего, которое способствовало повышению устойчивости асфальтобетонных образцов к образованию колеи.

Таким образом, решая проблему колеяности покрытий дорог, при условии, что главным источником остаточных деформаций и необратимых осадок по полосам наката является асфальтобетон, исследовательская и практическая работа по поиску наиболее колееустойчивых вяжущих материалов является актуальной задачей современного дорожного материаловедения.

#### **Список литературы:**

1. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Введ. 01.01.2011. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2011. 39 с.
2. СТО-ГК "Транстрой" 007-2007 Асфальтобетон. Метод оценки устойчивости к образованию колеи пластичности / Группа компаний М.: «Транстрой», 2007. 30 с.
3. Рекомендации по выявлению и устранению колеи на жестких дорожных одеждах / М.: РОСАВТОДОР, 2002. 236 с.
4. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона / А.М. Гридчин, В.В. Ядыкина, А.И. Траутвайн, П.С. Юрьев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 7-11.
5. Ресурсо-энергосберегающие модули для комплексной утилизации техногенных материалов / С.Н. Глаголев, В.С. Севостьянов, А.М. Гридчин, В.И. Уральский, М.В. Севостьянов, В.В. Ядыкина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 45-52.
6. Золотарев В.А. Битумы, модифицированные полимерами, и асфальтополимербетоны. Каталог-справочник «Дорожная техника и технологии», 2009. С. 88-95.

## **СВЧ-РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АЭРОДРОМНЫХ И ДОРОЖНЫХ ГЕРМЕТИКОВ**

**Чернухин С.П., аспирант**

*Воронежский государственный архитектурно-строительный  
университет*

**Барабаш Д.Е., д-р техн. наук, проф.,**

**Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.**

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и  
Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

**Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Номенклатура полимеров включает десятки тысяч наименований, и каждый вид полимера обладает только ему присущими идентификационными признаками. В соответствии с этим и деградационные процессы в различных полимерах будут происходить по-разному. Для описания указанных деградационных процессов наибольшее распространение получили уравнения Журкова – Бисси и их модификации. Имеется ряд достаточно обширных исследований, посвященных изучению долговечности полимеров, и, в частности, эластомеров [1]. Тем не менее, оценка качества полимерных композитов строительного назначения в условиях совместного воздействия деструктивных факторов до сих пор является весьма сложной и важной материаловедческой задачей.

Многообразие видов деструктирующих воздействий, синергизм влияния и случайный характер их распределения во времени являются серьезным препятствием для выведения общих закономерностей деградации свойств строительных полимерных композитов. Методика практической оценки характеристик полимерных материалов регламентируется соответствующими нормативными документами. Например, для аэродромных герметиков это ГОСТ 30740-2000.

Очевидно, что на деградацию физико-механических характеристик строительных полимерных материалов решающее влияние оказывают температура и деформации, но вместе с тем, особенности эксплуатации некоторых композитов требуют глубокого анализа совокупности большего количества влияющих факторов.

Показательной с этой точки зрения является работа полимерных герметизирующих материалов в швах дорожных и аэродромных

покрытий. Многообразие климатических и эксплуатационных воздействий, обуславливает значительные сложности в прогностической оценке их качества. Объективно изменение значений физико-механических характеристик полимерных композитов является следствием структурных изменений органической составляющей. В этой связи оправдан подход к прогностической оценке работоспособности строительных полимерных композитов основанный на выявлении структурных изменений вызванных определенным сочетанием эксплуатационных и климатических воздействий.

В результате указанных воздействий исходные значения характеристик полимерных строительных композитов претерпевают значительные изменения. Причем динамика этих изменений носит случайный характер, что крайне затрудняет прогноз сроков службы указанных материалов. Классический деградационный подход оперирует исключительно термофлуктуационными категориями, что в практическом применении весьма сложно. Подобное обстоятельство обусловило потребность в качественно новых подходах к прогностической оценке работоспособности строительных полимерных композитов. Основным направлением исследований в этой области явилась разработка методик прямого определения качественных и количественных изменений их структуры неразрушающими методами и установление связи полученных результатов с динамикой деградационных процессов.

Так, например, развитие методов и аппаратного обеспечения акустической эмиссии позволило «услышать» процессы, происходящие при деформации резин и резиноподобных материалов. Вместе с тем, причину акустических эффектов весьма сложно идентифицировать, а тем более адаптировать метод к прогнозу эксплуатационной долговечности [2].

Достаточную апробацию получил метод оценки динамики структурных изменений герметика в условиях изменяющихся температур при помощи экспериментальной установки, принцип действия которой основан на регистрации изменения плотности ферромагнитного порошка (маркера) в образце испытуемого композитного материала при приложении к нему циклических нагрузжений [3].

Сравнительно новым направлением в этой области является исследование сдвиговых волн конечной амплитуды в резиноподобных резонаторах с кубичной нелинейностью [4].

Был разработан метод расчёта стоячих волн в резонаторе с

неоднородностями произвольной формы и размера. При этом сдвиговая упругость неоднородностей могла значительно превышать упругость материала резонатора (твёрдые включения), быть ниже (мягкие включения) или равняться нулю (жидкие включения и полости). В ходе исследования был разработан качественный метод локализации неоднородностей в резонаторе по виду резонансных кривых и решена обратная задача определения сдвигового модуля одного из слоёв двухслойного резонатора [4]. Ключевым недостатком метода являлось то, что образцы испытывали только в сжатом состоянии, растяжения не производилось.

Как уже указывалось, серьезным препятствием на пути глубокого анализа структурных изменений является нелинейность изменения свойств исследуемых резиноподобных материалов в процессе испытаний. Кроме того, значительную сложность представляет решение вопросов сохранения стабильности размеров испытываемых образцов, и оперативной оценки изменения их однородности.

Весьма перспективной представляется оценка динамики изменения структуры полимерных строительных композитов по диэлектрической проницаемости, обусловленной поляризацией. Влияние строения полимера на деформационную поляризацию в основном определяется значением дипольного момента отдельного звена макромолекулы и числом полярных групп в единице объема. Диэлектрические свойства напрямую связаны со строением полимеров, в связи с этим их изучение является методом исследования молекулярной структуры и теплового движения в полимерах.

Как уже указывалось ранее, резонансный метод основан на использовании явления резонанса в колебательной системе и заключается в сравнении измеряемой частоты с частотой собственных колебаний контура или резонатора, заранее проградуированного. Этот метод применяется в радиочастотном диапазоне, преимущественно в области СВЧ [5].

Указанный метод весьма чувствителен не только к изменению геометрических размеров исследуемых образцов, но и к изменению их диэлектрических характеристик. Подобное обстоятельство послужило предпосылкой разработки системы мониторинга качественных изменений эластомеров, при различных сочетаниях приложенной нагрузки и температуры.

Основным прибором системы является измеритель амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), принцип действия которого основан на регистрации частоты резонанса образца, помещенного в замкнутый

цилиндрический СВЧ-резонатор, частотно зависимым узлом которого является колебательная система.

Характерной особенностью разработанного СВЧ-резонансного измерителя диэлектрических свойств герметизирующих материалов является перестраиваемый объемный резонатор, который можно рассматривать как отрезок круглого волновода, короткозамкнутый с двух сторон. На одном конце отрезка – неподвижная торцевая стенка, на другом – перемещающийся короткозамыкающий поршень. При перемещении поршня изменяется длина  $L$  резонатора, вследствие чего изменяется частота его собственных колебаний. Резонанс наступает при определенных соотношениях собственных длин волн образцов и длины резонатора. Частотомер фиксирует частоту резонатора с помещенным в нее образцом, амплитуду и фазовый сдвиг. При структурных изменениях в материале соответственно изменяются и амплитудные характеристики, связанные с дисперсией СВЧ в диэлектрике, что позволяет судить о развитии деградационных процессов.

Используемое программное обеспечение позволяет настраивать периодичность получения данных – от единиц в секунду до разовых в сутки. Таким образом, по частотно зависимому изменению АЧХ образцов возможна оценка качественных изменений собственно диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  материала.

Методика проведения исследований включала в себя следующее.

Образцы герметиков изготавливали из одной партии материала и разделяли на три группы. Первоначально устанавливали АЧХ пустого резонатора при положении поршня, соответствующего базовой длине образца герметизирующего материала – 50 мм. Затем поршень плавно перемещали в крайнее положение, соответствующее растяжению образца на заданную величину. В процессе перемещения поршня изменялся объем резонатора, что вызывало изменение АЧХ. Для калибровки пустого резонатора указанные действия производили 3...5 раз для получения средней величины АЧХ. Далее в резонатор помещали образец испытуемого материала и проделывали указанные операции уже с образцом. В результате получали АЧХ резонатора с образцом, то есть базовую характеристику. Затем каждая из групп образцов подвергалась своему комплексу воздействий, а именно: статическому выдерживанию в растянутом состоянии при отрицательной температуре с последующей релаксацией при положительной температуре; циклическому растяжению-сжатию при положительной температуре; статическому выдерживанию в растянутом состоянии при положительной температуре и ультрафиолетовом облучении.

Указанные воздействия количественно в целом соответствовали методике «условного года».

Контроль изменения структуры образцов путем регистрации АЧХ при последовательном удлинении образца на 40% производили после  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  условного года, затем каждые условные полгода. При появлении внешних признаков потери работоспособности образцами – расслоении, разрывов, местных выкрашиваний, испытания прекращали и фиксировали значения АЧХ соответствующих указанному состоянию.

Следует отметить, что описанный эксперимент носил качественный характер. Цель проведения эксперимента – установление динамики изменения АЧХ испытуемых образцов от структурных изменений, вызванных определенными заданными воздействиями. Установлено, что указанные совокупности воздействий при продолжительности испытаний до 1 условного года включительно, не оказывают значимого влияния на АЧХ образцов. А спустя указанный срок проведения испытаний начинают регистрироваться существенные изменения АЧХ.

При анализе и математической обработке экспериментальных данных были получены зависимости изменения АЧХ различных групп образцов при указанных условиях испытаний и выявлены особенности в динамике их изменения, характерные для определенной совокупности воздействий. Установлено, что динамику изменения АЧХ эффективнее всего оценивать по так называемым срезам, соответствующим различным степеням удлинения – 10, 20, 30, 40%.

Нами, по результатам регрессионного анализа АЧХ для каждой совокупности воздействий были установлены аналитические зависимости, адекватно описывающие исследуемый процесс. Указанную динамику изменения АЧХ оценивали по уравнениям регрессии (1...12) отражающим как зависимость указанной характеристики от степени удлинения образцов, так и от продолжительности деструктивных воздействий:

– статическое выдерживание в растянутом состоянии при отрицательной температуре с последующей релаксацией при положительной температуре после:

$$1\frac{1}{2} \text{ условного года } y = -0,0375x + 5,9388; \quad (1)$$

$$2 \text{ условных лет } y = -0,0177x^3 + 0,078x^2 - 0,1313x + 5,6955; \quad (2)$$

$$2\frac{1}{2} \text{ условного года } y = -0,0707x^3 + 0,39x^2 - 0,6902x + 5,4825; \quad (3)$$

$$3 \text{ условных лет } y = -0,1062x^3 + 0,6x^2 - 1,0687x + 5,2815; \quad (4)$$

– циклическое растяжение-сжатие при положительной температуре после:

$$1\frac{1}{2} \text{ условного года } y = -0,0045x + 5,9245; \quad (5)$$

$$2 \text{ условных лет } y = -0,0489x + 5,6902; \quad (6)$$

$$2\frac{1}{2} \text{ условного года } y = 0,0368x^3 - 0,2629x^2 + 0,3099x + 5,1365; \quad (7)$$

$$3 \text{ условных лет } y = 0,0696x^3 - 0,4901x^2 + 0,5383x + 4,5328; \quad (8)$$

– статическое выдерживание в растянутом состоянии при положительной температуре и ультрафиолетовом облучении после:

$$1\frac{1}{2} \text{ условного года } y = -0,1568x^3 + 0,9515x^2 - 1,7677x + 6,974; \quad (9)$$

$$2 \text{ условных лет } y = -0,1487x^3 + 0,993x^2 - 2,1503x + 6,948; \quad (10)$$

$$2\frac{1}{2} \text{ условного года } y = -0,095x^3 + 0,74x^2 - 2,045x + 6,47; \quad (11)$$

$$3 \text{ условных лет } y = -0,0175x^3 + 0,331x^2 - 1,6915x + 5,698. \quad (12)$$

В указанных уравнениях  $x$  соответствует величине удлинения в процентах.

Как уже указывалось ранее, наиболее значимое влияние на изменение АЧХ оказывает длительное выдерживание образцов при одновременном ультрафиолетовом облучении. Уже после условного года испытаний изменение АЧХ имело кубическую нелинейность, наиболее ярко проявляющуюся при растяжении образцов свыше 20%. Подобное обстоятельство непосредственно указывает на серьезные изменения именно в органической составляющей испытываемых материалов, поскольку влияние физических дефектов (неоднородностей) при такой степени удлинения практически не проявляется.

Таким образом, анализ полученных АЧХ для различных по типу полимерных основ используемых герметиков позволяет установить наиболее неблагоприятные сочетания воздействующих на них факторов и рекомендовать климатические зоны для их эффективной эксплуатации, то есть обеспечить требуемое заказчиком качество, а, следовательно, и долговечность.

В настоящее время описываемая методика проходит апробацию в промышленных условиях при проведении экспертизы полимерных композитов строительного назначения класса эластомеров, эксплуатирующихся в сложных условиях.

#### Список литературы:

1. Энциклопедия полимеров // под ред. В.А. Каргина. Т.1. М.: Советская энциклопедия, 1972. С. 634-636, 754-764.
2. Барабаш Д.Е., Волков В.В. Звукоизлучение армированных полимерных композиций // Научное обозрение. М.: Изд-во «Наука», 2006. № 1. С. 22-25.
3. Барабаш Д.Е., Сидоркин О.А., Волков В.В. Прогнозирование изменения свойств герметиков в условиях многоцикловых нагрузжений // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 6.



- (570). С. 32-36.
4. Крит Т.Б. Сдвиговые волны в резонаторе с кубичной нелинейностью // Акустика неоднородных сред. Ежегодник РАО. 2011. Выпуск 12. С. 58-69.
  5. Барабаш Д.Е., Чернухин С.П., Волков В.В. Оценка деградационных процессов герметизирующих материалов частотно-резонансным методом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 24-28.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ БИТУМА И АСФАЛЬТОБЕТОНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ДОБАВОК ДЛЯ ТЕПЛОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА**

**Ядыкина В.В., д-р техн. наук, проф.,**

**Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,**

**Холопов В.С., аспирант,**

**Траутвайн А.И., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им В.Г. Шухова*

В последние годы в России активно расширяются масштабы дорожного строительства, что сопряжено с решением таких актуальных задач отрасли, как обеспечение высокого качества дорожных одежд, снижение энергоемкости производства, соблюдение экологических норм [1-2].

Достижение этих целей невозможно без внедрения новых перспективных технологий, одной из которых является применение так называемых теплых асфальтобетонных смесей.

Технологии теплых асфальтобетонов начали разрабатываться в Европе в конце 90-х годов прошлого века и достаточно быстро завоевали популярность в различных регионах. В настоящее время эти технологии особенно интенсивно развиваются в США [3]. Они позволяют производить, транспортировать, укладывать и уплотнять асфальтобетонные смеси при более низких температурах по сравнению с традиционными.

Теплые асфальтобетонные смеси производятся на вязких битумах при использовании специальных химических добавок, вспенивающих минеральных добавок или битума, вспененного в специальных установках [4-5].

Производство асфальта при невысоких температурах дает ощутимую экономию топлива и, соответственно, сокращение затрат на производство.

По данным экспериментов, при использовании технологии механического вспенивания экономия топлива может составлять до 12-13% на тонну произведенного асфальтобетона. Пропорционально снижению потребления топлива уменьшается уровень эмиссии углекислого газа, который вырабатывается вследствие сжигания углеводородного топлива. Низкий температурный режим производства смеси также предотвращает испарение легких фракций нефти и

загрязнение воздуха. За счет сохранения легких фракций в битуме уменьшается его старение и, как следствие, продлевается срок службы дорожного покрытия.

Как уже отмечалось, одним из способов снижения температур производства и укладки асфальтобетонных смесей является применение специальных добавок, которые вводятся в нагретый битум в количестве 3-5 кг/т битума.

Добавки способствуют улучшению обволакивания минерального материала битумом при снижении температуры приготовления асфальтобетонной смеси на 30-40°C и сохраняют подвижность смеси при более низкой температуре.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния добавок на физико-механические характеристики битума и асфальтобетона.

В работе использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ, щебень и отсев дробления гранита Павловского карьера, песок Разуменского месторождения, добавки EVOTHERM, ДАД-ТА-1, ДАД-ТА-2.

Результаты исследований по влиянию добавок на характеристики битума свидетельствует о том, что все исследуемые добавки при повышении их концентрации в вяжущем несколько снижают вязкость битума, повышают растяжимость при температуре 25°C, практически не влияют на температуру размягчения (табл. 1). Сцепление вяжущего с каменным материалом повышается (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1 – Физико-механические характеристики исходного и модифицированного битума

| Наименование показателя                                 | Концентрация добавок, %  |     |     |     |     |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
|   | БНД 60/90<br>без добавки | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| <b>EVOTHERM</b>   |                          |     |     |     |     |
| Глубина проникания иглы, 0,1 мм,<br>при 25°C<br>при 0°C | 70                       | 74  | 76  | 78  | 80  |
|   | 25                       | 25  | 26  | 27  | 27  |
| Растяжимость, см,<br>при 25°C<br>при 0°C                | 90                       | 97  | 98  | 101 | 105 |
|   | 3,6                      | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,8 |
| Температура размягчения по кольцу и шару<br>°C          | 47                       | 47  | 47  | 47  | 46  |
| Адгезия (визуально)                                     | 3                        | 4   | 4   | 4   | 4   |

| ДАД-ГА-1  |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Глубина проникания иглы, 0,1 мм,<br>при 25°С<br>при 0°С | 70  | 73  | 76  | 79  | 79  |
|   | 25  | 25  | 25  | 26  | 26  |
| Растяжимость, см, при 25°С<br>при 0°С                   | 90  | 94  | 96  | 98  | 100 |
|   | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,7 |
| Температура размягчения по кольцу и шару<br>°С          | 47  | 47  | 47  | 47  | 46  |
| Адгезия (визуально)                                     | 3   | 4   | 4   | 4   | 4   |
| ДАД-ГА-2  |     |     |     |     |     |
| Глубина проникания иглы, 0,1 мм,<br>при 25°С<br>при 0°С | 70  | 72  | 80  | 81  | 83  |
|   | 25  | 25  | 25  | 26  | 26  |
| Растяжимость, см, при 25°С<br>при 0°С                   | 90  | 97  | 101 | 104 | 110 |
|   | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,7 |
| Температура размягчения по кольцу и шару<br>°С          | 47  | 47  | 46  | 46  | 46  |
| Адгезия (визуально)                                     | 3   | 4   | 4   | 4   | 4   |

а)



б)



а – БНД 60/90 без добавки; б – БНД 60/90 с добавкой ДАД-ГА-2 (0,6%)  
Рисунок 1 – Фотографии адгезии битума с каменным материалом

Исследовано влияние добавки ДАД-ГА-1 на физико-механические характеристики асфальтобетона. Температура приготовления асфальтобетонной смеси и формования образцов составила 155°С.

Результаты исследований, представленные в табл. 2, свидетельствуют о повышении качества асфальтобетона, полученного с использованием добавки. При повышении концентрации добавки наблюдается увеличение прочности при 20 и 50°С, снижение прочности

при 0°С, водонасыщения образцов. Показатели водостойкости и водостойкости при длительном водонасыщении также возрастают.

Таблица 2 – Результаты испытаний горячей асфальтобетонной смеси типа Б с добавкой ДАД-ТА-1 ( $t_{\text{приг}}=155^{\circ}\text{C}$ )

| Концентрация добавки в битуме, % | Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> | Предел прочности при сжатии при различных температурах, МПа |     |             | Водонасыщение, % по объёму | Водостойкость | Водостойкость при длительном водонасыщении |
|----------------------------------|--------------------------------------|---|-----|-------------|----------------------------|---------------|--|
|                                  |                                      | 20  | 50  | 0           |                            |               |  |
| без добавок                      | 2,37                                 | 4,0   | 1,2 | 10,8        | 2,2                        | 0,90          | 0,80                                       |
| 0,4                              | 2,37                                 | 4,0   | 1,2 | 10,5        | 2,1                        | 0,91          | 0,83                                       |
| 0,6                              | 2,37                                 | 4,0   | 1,2 | 10,4        | 2,2                        | 0,90          | 0,82                                       |
| 0,8                              | 2,38                                 | 4,2   | 1,3 | 10,4        | 1,8                        | 0,94          | 0,85                                       |
| 1,0                              | 2,38                                 | 4,4   | 1,3 | 10,0        | 1,6                        | 0,96          | 0,90                                       |
| Требования ГОСТ 9128-2009        | -                                    | не менее  |     | не более 12 | 1,5 – 4,0                  | не менее 0,85 | не менее 0,75                              |
|                                  |                                      | 2,2   | 1,0 |             |                            |               |  |

Таблица 3 – Результаты испытаний горячей и теплой асфальтобетонной смеси типа Б, приготовленной при пониженной температуре

| Добавки                   | Температура, °С | Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> | Предел прочности при сжатии при различных температурах, МПа |     |             | Водонасыщение, % по объёму | Водостойкость | Водостойкость при длительном водонасыщении |
|---------------------------|-----------------|--------------------------------------|---|-----|-------------|----------------------------|---------------|--|
|                           |                 |                                      | 20  | 50  | 0           |                            |               |  |
| Без добавок               | 155             | 2,38                                 | 4,0   | 1,3 | 10,8        | 2,5                        | 0,91          | 0,80                                       |
| Evotherm (0,33%)          | 120             | 2,36                                 | 3,7   | 1,0 | 10,0        | 2,7                        | 0,89          | 0,78                                       |
| ДАД-ТА-2 (0,6%)           |                 | 2,37                                 | 3,8   | 1,2 | 10,0        | 2,3                        | 0,90          | 0,75                                       |
| ДАД-ТА-1 (0,4%)           |                 | 2,35                                 | 3,5   | 1,0 | 10,0        | 3,7                        | 0,80          | 0,75                                       |
| Требования ГОСТ 9128-2009 | -               | -                                    | не менее  |     | не более 12 | 1,5 – 4,0                  | не менее 0,85 | не менее 0,75                              |
|                           |                 |                                      | 2,2   | 1,0 |             |                            |               |  |

Проведены эксперименты по исследованию возможности снижения температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси при использовании добавок EVOTHERM и ДАД-ТА-1. Результаты испытаний (табл. 3) подтверждают возможность получения теплого асфальтобетона при применении исследуемых добавок, причем свойства асфальтобетонных образцов удовлетворяют требованиям ГОСТ для горячего асфальтобетона.

*Работа выполнена в рамках конкурса 2014 года проектов ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимый совместно РФФИ и Правительством Белгородской области согласно договора № НК 14-41-08027/14, а также государственного задания Министерства образования и науки РФ №1950.*

#### **Список литературы:**

1. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона / В.В. Ядыкина, А.М. Гридчин, А.И. Траутвайн, П.С. Юрьев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 7-11.
2. Ресурсо-энергосберегающие модули для комплексной утилизации техногенных материалов / С.Н. Глаголев, В.С. Севостьянов, А.М. Гридчин, В.И. Уральский, М.В. Севостьянов, В.В. Ядыкина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 102-106.
3. Радовский Б.С. Прогресс технологий производства теплого асфальтобетона в США // Автомобильные дороги. 2011. № 8. С. 29-39.
4. Теплый асфальтобетон / В.В. Силкин, А.П. Лупанов, Ю.Э. Васильев, А.В. Силкин, Н.В. Гладышев // Строительная техника и технологии. 2013. № 5. С. 120-125.
5. Горячие асфальтобетонные смеси с пониженной температурой укладки и уплотнения / Н.В. Радьков, М.Г. Жукович, У.Г. Сушкевич, А.С. Мазуренко // Мир дорог. 2010. № 51. С. 61-62.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДА ОБОГАЩЕНИЯ МАГНИТОВЫХ КВАРЦИТОВ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

**Ядыкина В.В., д-р техн. наук, проф.,  
Шарапов Р.Р., д-р техн. наук, проф.,  
Харламов Е.В., ст. преподаватель,  
Тагарифуллин Р.Р., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Основным сырьем отечественной железорудной промышленности являются магнетитовые кварциты, значительная часть которых сосредоточена в бассейне Курской магнитной аномалии. Особенностью этого типа руд является преобладание кварца среди других нерудных минералов, от которого они получили свое наименование. Основным рудным минералом этого типа руд является магнетит, представленный в виде вкраплений в кварце и железистых силикатах.

Технологический процесс разделения железосодержащей композиции включает два этапа: подготовительный (измельчение и классификация исходного материала) и основной (разделение).

Первичное дробление производится в дробилках крупного дробления с загрузочной щелью до 200 мм.

Среднее дробление осуществляют в конусных дробилках среднего дробления как с предварительным грохочением, так и без него.

Для мелкого дробления применяют конусные дробилки мелкого дробления.

Измельчение осуществляется по двух-, трех- и четырехстадиальным схемам с применением барабанных мельниц со стальными мелющими телами (шаровые и стержневые мельницы) и мельниц самоизмельчения. Доизмельчение продуктов по всем схемам производится в мельницах, работающих в замкнутом цикле.

Разделение тонкомолотого продукта осуществляется сухим способом в магнитном поле в 2...5 стадий.

Для разделения железосодержащего минерального сырья разработан сепаратор кипящего слоя [1-2], в котором извлечение магнетитовых частиц происходит в кипящем слое исходного сыпучего материала (рис. 1).

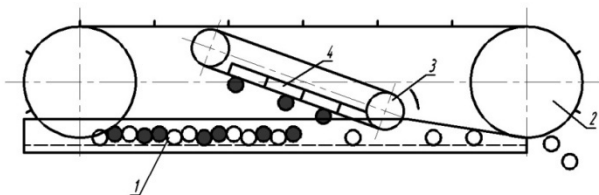


Рисунок 1 – Схема работы сепаратора кипящего слоя: 1 – аэрожелоб; 2 – скребковый конвейер; 3 – транспортирующий конвейер; 4 – магнитная система; 5 – кипящий слой материала; ● – частицы магнетита; ○ – частицы кварцита

Сущность разработанного аэродинамического способа разделения состоит в том, что извлечение железосодержащей компоненты из тонкоизмельченного исходного материала происходит в кипящем слое частиц, создаваемом восходящим потоком воздуха, проходящим через воздухопроницаемое металлокерамическое днище транспортирующего лотка.

В результате магнитного разделения железосодержащей композиции получается два продукта: магнитный и немагнитный (тонкодисперсный порошок). Последний является многотоннажным отходом, который может быть использован в качестве наполнителя при производстве различных композиционных материалов.

Важнейшим структурообразующим компонентом асфальтобетона является минеральный порошок, который представляет собой полидисперсный материал. На долю минерального порошка приходится до 90-95% суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона. Основное назначение минерального порошка как наполнителя битума заключается в том, чтобы перевести объемный битум в структурированное состояние. В таком состоянии повышается вязкость и прочность битума. Вместе с битумом минеральный порошок образует структурированную дисперсную систему, которая и выполняет роль вяжущего материала в асфальтобетоне. Другое назначение минерального порошка – заполнение мелких пор между более крупными частицами. Таким образом, присутствие необходимого количества минерального порошка способствует повышению плотности минерального остова, а, следовательно, и плотности асфальтобетона.

Дефицит минерального порошка для асфальтовых материалов и отсутствие сырьевой базы карбонатного сырья во многих регионах страны вынуждают искать альтернативное сырье. Известно применение



различных отходов горноперерабатывающей промышленности в качестве минерального порошка для производства асфальтобетонной смеси [3-4].

Объектом исследования настоящей работы явилась немагнитная часть разделения железистых кварцитов КМА, полученная по вышеизложенной методике.

Результаты испытаний минерального порошка в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52129-2003 представлены в табл.1.

Таблица 1 – Свойства исследуемого минерального порошка

| Наименование показателя  | По ГОСТ Р 52129-2003                      | Результаты испытаний    |
|--|---|-------------------------|
| Зерновой состав, % по массе:<br>мельче 1,25 мм<br>» 0,315 »<br>» 0,071 » | Не менее 95<br>От 80 до 95<br>Не менее 60 | 99,33<br>97,33<br>71,02 |
| Пористость, %, не более  | 40  | 38                      |
| Показатель битумоемкости, г, не более                                    | 80  | 50                      |
| Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>                                    | -   | 3,07                    |
| Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>                                     | -   | 1,9                     |

Из таблицы видно, что по зерновому составу, пористости и показателю битумоемкости данный порошок удовлетворяет требованиям ГОСТ. Это послужило основанием для испытания данного минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси.

Были заформованы образцы асфальтобетона типа Г на основе исследуемого минерального порошка и стандартного порошка из известняка для сравнения.

Для приготовления асфальтобетонных смесей использовался гранитный отсев, зерновой состав которого приведен в таблице 2, и битум БНД 60/90 Саратовского НПЗ.

Таблица 2 – Зерновой состав отсева гранитного

|                                       |     |     |      |      |      |       |      |       |        |
|---------------------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|------|-------|--------|
| Диаметр отверстий контрольных сит, мм | 10  | 5   | 2,5  | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16 | 0,071 | <0,071 |
| Полные остатки на ситах, % по массе   | 0,6 | 4,5 | 25,7 | 43,7 | 55,6 | 68,4  | 81,8 | 94,3  | 100    |

Состав смеси: отсев дробления гранита – 95%, минеральный порошок – 5%, битум – 7,5%. Эти образцы были испытаны по ГОСТ 12801-98.

Таблица 3 – Результаты испытаний образцов асфальтобетона

| Показатель                           | Нормы ГОСТ    | Минеральный порошок |             |
|--------------------------------------|---------------|---------------------|-------------|
|                                      |               | Известняк           | Исследуемый |
| Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> | -             | 2,24                | 2,27        |
| Водонасыщение, %                     | 1,5-4         | 2,98                | 3,09        |
| Набухание, %                         | -             | 0,50                | 0,32        |
| Прочностные характеристики:          |               |                     |             |
| R <sub>20</sub> , МПа                | Не менее 2,2  | 3,85                | 3,97        |
| R <sub>50</sub> , МПа                | Не менее 1,2  | 1,7                 | 1,6         |
| R <sub>0</sub> , МПа                 | Не более 12   | 8,80                | 8,55        |
| K <sub>в</sub> , МПа                 | Не менее 0,85 | 0,90                | 0,98        |

По данным таблицы 3 можно констатировать, что показатели исследуемых образцов удовлетворяют требованиям ГОСТ и не уступают характеристикам образцов асфальтобетона на минеральном порошке из известняка. Также следует отметить довольно высокий коэффициент водостойкости опытных образцов, что может быть обусловлено наличием небольшого количества оксидов железа в порошке их отхода сухой магнитной сепарации [5].

Использование исследуемого порошка позволит расширить номенклатуру минеральных материалов, применяемых для приготовления асфальтобетонной смеси, и обеспечить более широкое применение техногенного сырья в дорожном строительстве, тем самым снизить затраты на строительство и эксплуатацию автомобильных дорог в регионе.

#### **Список литературы:**

1. Агрегат для получения строительных материалов из отвалов горно-обогатительных комбинатов КМА / Е.В. Харламов, Р.Р. Шарапов, В.Г. Шаптала, В.В. Шаптала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 82-85.
2. Харламов Е.В., Шарапов Р.Р., Степанов М.А. Метод разделения железосодержащего минерального сырья // Научное обозрение. 2013. № 12. С. 99-101.
3. Пугин К.Г. Использование отходов металлургии в асфальтобетонах // Строительные материалы. 2011. №10. С. 26-27.
4. Ильичев В.А., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // Строительные материалы. 2011. № 4. С. 36-42.
5. Ядыкина В.В., Высоцкий А.В. Влияние кислых железосодержащих минеральных материалов на коррозионную устойчивость асфальтобетона // Коррозия: материалы, защита. 2004 № 6. С. 43-45.

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В СПЕКТРЕ ДЕЙСТВИЯ  
МЕСТНОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОТСОСА-РАСТРУБА**

Аверкова О.А., канд. техн. наук, доц.,  
Канар А.Э.,  
Толмачева Е.И.

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В промышленной вентиляции широко применяются местные вентиляционные отсосы в виде простого зонта [1-6]. Будем такие зонты называть местными отсосами-раструбами. В ряде научных работ [4-6] сделан вывод, что наиболее эффективен отсос-раструб с углом  $\alpha = 90^\circ$  (рис.1), поскольку на оси отсоса наблюдается максимальная скорость подтекания воздуха. Целью данной работы являлось исследование изменения поля скоростей в зависимости от угла раскрытия и длины раструба. Представляет также интерес выяснить во всех ли точках спектра всасывания, скорость воздуха будет максимальной при  $\alpha = 90^\circ$ .

Для численного и аналитического исследования отрывных течений на входе во всасывающие каналы широко применяются методы теории идеальной несжимаемой жидкости [7-18]. В данном исследовании применяется компьютерная программа, разработанная в рамках идеологии нестационарных дискретных вихревых колец [6-8].

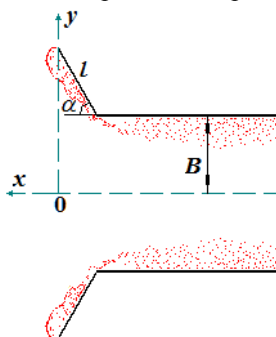


Рисунок 1 – Отрывное течение на входе в круглый отсос-раструб

Вычислительные эксперименты показали, что усредненная по времени безразмерная скорость подтекания воздуха к отсосу-раструбу  $v_x/v_0$  имеет экстремумы, а зависимости от угла раскрытия раструба  $\alpha$  (рис.2). Здесь по оси абсцисс отложен угол  $\alpha$ , ось ординат на рис.2 *b* имеет такую же шкалу, что и на рис. 2 *a*.

Как видно при  $y/B \geq 4/3$  значение скорости принимает наибольшее значение при  $\alpha = 30^\circ \div 75^\circ$ , а не при  $\alpha = 90^\circ$ . При чем это видно как при  $l = B$  (рис.2 *a*), так и при  $l = 5B$  (рис.2 *b*). Отметим также значительное падение скорости при  $\alpha = 15^\circ \div 75^\circ$  для  $l = 5B$  относительно случая  $l = B$ . Наблюдается в определенных точках и отрицательные значения скорости поскольку отсос находится в безграничном пространстве.

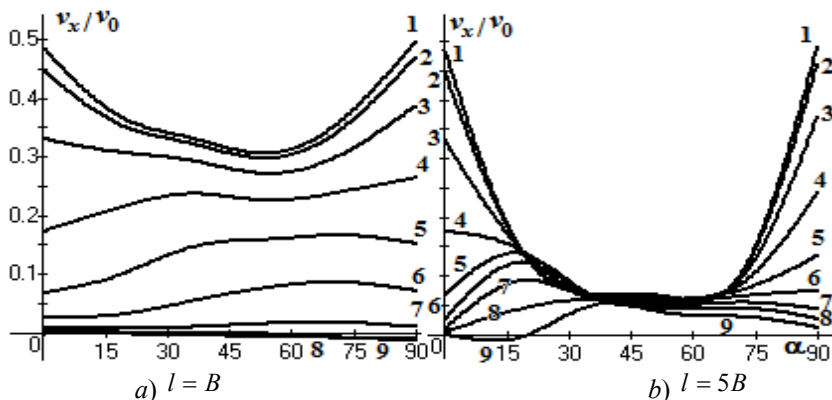


Рисунок 2 – Зависимость составляющей скорости от угла  $\alpha$  наклона отсоса-раструба в сечении  $x = 2/3B$  при 1 –  $y = 0$ ; 2 –  $y = 1/3B$ ; 3 –  $y = 2/3B$ ; 4 –  $y = B$ ; 5 –  $y = 4/3B$ ; 6 –  $y = 5/3B$ ; 7 –  $y = 2B$ ; 8 –  $y = 7/3B$ ; 9 –  $y = 7/3B$

При незначительном удалении от оси отсоса  $0 < y/B < 2/3$  скорость падает, при увеличении длины раструба (рис.3 *a-d*). В некоторых случаях наблюдается возрастание скорости при увеличении  $l/B$  (кривые 6-7 рис.3), а также максимумы скорости (кривые 5-7 на рис.3 *b* и *c*, что позволяет выбрать наиболее эффективный отсос-

раструб). В случае  $\alpha = 90^\circ$  изменение величины скорости не значительно относительно увеличения длины раструба (рис.3 е).

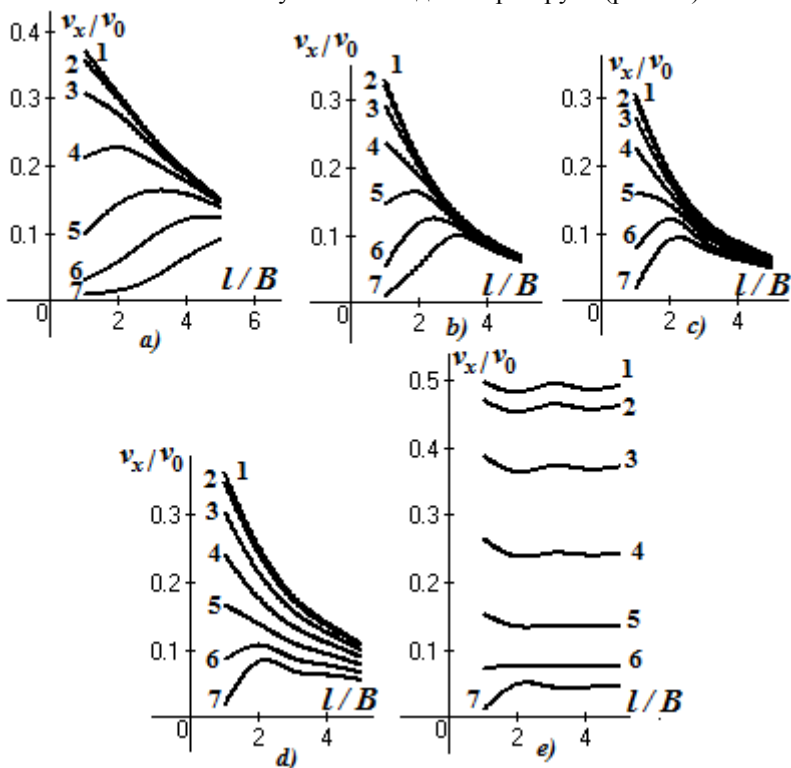


Рисунок 3 – Изменение вертикальной составляющей скорости от длины раструба при удалении от входа в отсос на расстоянии  $x = 2/3B$  при  $1 - y = 0$ ;  $2 - y = 1/3B$ ;  $3 - y = 2/3B$ ;  $4 - y = B$ ;  $5 - y = 4/3B$ ;  $6 - y = 5/3B$ ;  $7 - y = 2B$ : а)  $\alpha = 18^\circ$ ; б)  $\alpha = 36^\circ$ ; в)  $\alpha = 54^\circ$ ; д)  $\alpha = 72^\circ$ ; е)  $\alpha = 90^\circ$

Как демонстрирует рис.4 величина скорости  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$  убывает при удалении от оси отсоса, составляющая  $v_y$  имеет максимум (по абсолютной величине). Здесь кривая 1 построена при  $\alpha = 0^\circ$ ; 2  $-\alpha = 18^\circ$ ; 3  $-\alpha = 36^\circ$ ; 4  $-\alpha = 54^\circ$ ; 5  $-\alpha = 72^\circ$ ; 6  $-\alpha = 90^\circ$ . Рассмотрено сечение  $x/B=0,1$  при  $l = B$ . Полученные результаты могут использоваться при

проектировании эффективных местных вентиляционных отсосов-раструбов.

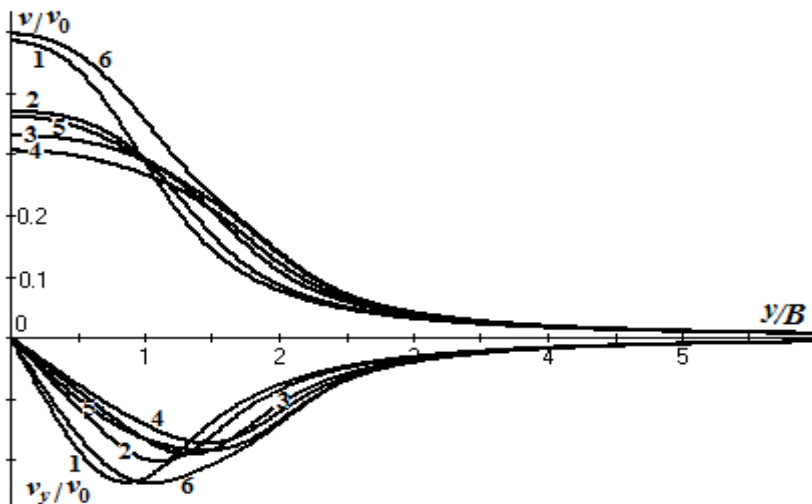


Рисунок 4 – Зависимость скорости воздуха от удаления от оси отсоса

*Работа выполнена в рамках грантов Президента РФ МК-103.2014.1 и РФФИ (проект №14-08-31069-мол\_а).*

#### Список литературы:

1. К расчету течения вблизи щелевидного отсоса-раструба. Сообщение 1 / В.Н. Посохин, Н.Б. Салимов, К.И. Логачев, А.М. Живов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2002. № 8. С. 70-76.
2. К расчету течения вблизи щелевидного отсоса-раструба. Сообщение 2 / В.Н. Посохин, Н.Б. Салимов, К.И. Логачев, А.М. Живов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2002. № 9. С. 80-85.
3. К расчету течения вблизи щелевидного отсоса-раструба. Сообщение 3 / В.Н. Посохин, Н.Б. Салимов, К.И. Логачев, А.М. Живов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2002. № 10. С. 81-85.
4. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб: Химиздат, 2005. 659 с.
5. Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И. Отрывные течения в спектрах вытяжных каналов. Москва-Ижевск: ИКИ, 2012. 288 с.
6. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. Теоретические предпосылки и рекомендации. М.–Ижевск: РХД, 2013. 504 с.

7. Логачев К.И., Посохин В.Н. Расчет течения вблизи круглого всасывающего патрубка // Известия высших учебных заведений. 2004. № 1. С. 29-32.
8. Логачев К.И., Пузанок А.И., Посохин В.Н. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы методом дискретных вихрей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. № 7-8. С. 61-69.
9. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Математическое моделирование отрывных течений при входе в экранированный плоский канал // Вычислительные методы и программирование. 2010. Т. 11. № 1. С. 68-77.
10. Моделирование отрывных течений вблизи всасывающей щели / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, В.Ю. Зоря, О.А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование. 2010. Т.11. № 1. С. 43-52.
11. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Математическое моделирование отрывных течений при входе в экранированный плоский канал // Вычислительные методы и программирование. 2010. Т. 11. № 1. С. 72-81.
12. Моделирование отрывного течения на входе в квадратный всасывающий канал / О.А. Аверкова, И.Н. Логачев, К.И. Логачев, А.И. Пузанок, И.В. Ходаков // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 6. С. 97-104.
13. Моделирование отрывных потоков на входе в круглые всасывающие каналы с кольцевыми экранами / О.А. Аверкова, И.Н. Логачев, К.И. Логачев, И.В. Ходаков // Новые огнеупоры. 2013. № 10. С. 57-61.
14. Моделировании отрывного течения на входе в круглый всасывающий канал / О.А. Аверкова, И.Н. Логачев, К.И. Логачев, А.И. Пузанок, И.В. Ходаков // Вычислительные методы и программирование. 2013. Т. 14. С. 246-253.
15. Логачев И.Н., Логачев К.И. О прогнозировании дисперсного состава и концентрации грубодисперсных аэрозолей в местных отсосах систем аспирации // Изв. вузов. Строительство. 2002. № 9. С. 85-90.
16. Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И. Моделирование отрыва потока на входе во всасывающие каналы в областях с разрезами // Вычислительные методы и программирование. 2012. Т.13. № 2. С. 298-306.
17. Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И. Моделирование потенциальных течений с неизвестными границами на основе стационарных дискретных вихрей // Вычислительные методы и программирование. 2011. Т. 12. № 2. С. 213-219.



# ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ РУД В КАЧЕСТВЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

Багрецова М.В., магистрант  
ФГАОУ ВПО «САФУ имени М.В. Ломоносова»

## 1. Введение

Для гидроизоляции подземных сооружений применяются бентонитовые маты, состоящие из двух слоев геотекстиля, между которыми заключен бентонит, набухающий в ходе эксплуатации сооружения. Слои геотекстиля пропускают и отводят воду, защищают бентонитовый гель от вымывания. Физико-механические свойства бентонитовых матов и подобных им гидроизоляционных материалов приведены в работах [1,2,3]. Коэффициент фильтрации данных материалов составляет  $10^{-5}$  -  $10^{-9}$  м/сут.

Сотрудниками кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов САФУ было высказано предложение об изготовлении гидроизоляционного материала на основе тонкодисперсных отходов обогащения кимберлитовых руд месторождения алмазов им. М.В.Ломоносова, складированных в прудковой зоне хвостохранилища [4]. Указанные прудковые отложения относятся к высокодисперсным глинам. Влажность на границе текучести ( $W_L$ ) и пластичности ( $W_P$ ) составляет 0,79 и 0,31 соответственно. По минералогическому составу в отложениях преобладают: сапонит (63%), кварц (11%), доломит (10%), слюда мусковитового типа (5%), хлорит, апатит, полевошпат (12%).

Целью проведенных исследований было изучение водопроницаемости гидроизоляционного материала, изготовленного из отходов обогащения кимберлитовых руд. Тонкодисперсные отложения помещали между слоями геотекстиля двумя способами: в виде предварительно высушенного измельченного порошка и в виде пасты.

## 2. Методика и результаты исследований

В качестве основы исследуемого гидроизоляционного материала использовался геотекстиль марки «AVTEX» поверхностной плотности  $350 \text{ г/м}^2$ . Коэффициент фильтрации геотекстиля определялся согласно [5]. Испытания проводились в направлении, перпендикулярном к плоскости полотна в компрессионно-фильтрационном приборе при давлении 20 и 100 кПа и значениях напора 100, 70, 50 мм.

В фильтрационную камеру прибора помещали образец, укладывая его между двумя перфорированными дисками. Диски были изготовлены

из органического стекла согласно [5], с диаметром отверстий 3-5 мм, площадь перфорации превышала 40% площади диска. Сверху на образец и диск помещался перфорированный поршень. При давлении на образец (20 кПа) вода подавалась в фильтрационную камеру при максимальном значении напора 100 мм, и измерялось время, в течение которого заполнялся мерный цилиндр объемом 250 см<sup>3</sup>. Данная операция выполнялась не менее пяти раз. Если результаты измерений времени отличались более чем на 10%, число измерений увеличивали. Вышеприведенные испытания повторялись для каждого из назначенных значений напоров (70, 50 мм) при том же значении давления. После этого испытания проводились при давлении 100 кПа.

Коэффициент фильтрации геотекстиля в направлении, перпендикулярном к плоскости полотна,  $K_n$ , м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре 20°C, вычислялся по формуле:

$$K_n = \frac{V \cdot R_T}{F \cdot t} \cdot \frac{\delta}{H} \cdot 864, \quad (1)$$

где  $V$  - объем профильтровавшейся воды (емкость мерного цилиндра), см<sup>3</sup>;

$R_T$  - температурный поправочный коэффициент [5];

$F$  - площадь образца, см<sup>2</sup>;

$t$  - средняя продолжительность фильтрации воды (время заполнения мерного цилиндра), с;

$\delta$  - толщина пробы геотекстильного материала, см;

$H$  - высота столба воды (напор), см;

864 - переводной коэффициент из см/с в м/сут.

За коэффициент фильтрации принимали среднеарифметическое отдельных вычисленных значений, определенных при равном давлении на образец (таблица 1).

Таблица 1 – Значения коэффициента фильтрации геотекстиля

| Давление на пробу, кПа | Высота столба воды (напор) $H$ , мм | Коэффициент фильтрации $K_n$ , м/сут |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 20                     | 100                                 | 10,83                                |
|                        | 70                                  | 10,34                                |
|                        | 50                                  | 10,15                                |
| 100                    | 100                                 | 6,84                                 |
|                        | 70                                  | 6,13                                 |
|                        | 50                                  | 5,91                                 |

В результате лабораторного определения водопроницаемости геотекстиля получено, что при давлении 20 кПа коэффициент фильтрации в среднем составил 10,44 м/сут; при давлении 100 кПа – 6,30 м/сут, т.е. при увеличении нагрузки он уменьшился на 40%.

Как указано выше, использовалось два способа нанесения глины на геотекстиль: в виде порошка и пасты. В первом случае тонкодисперсные отложения прудковой зоны хвостохранилища были высушены и измельчены до размеров агрегатов 0,5 мм и менее. Во втором случае пасту готовили, подсушив прудковые отложения до заданной влажности. Толщина исследуемых образцов составила 2 см.

Зарядив компрессионно-фильтрационный прибор (рисунок 1), выдерживали испытуемую массу до полного насыщения водой, отслеживая набухание по индикатору перемещений, установленному на приборе. После этого прикладывали нагрузку и выдерживали образцы до стабилизации осадки, отмечая показания индикатора. Далее в пьезометрическую трубку наливали воду на 50 см выше сливной трубки прибора, создавая тем самым напор, под действием которого вода фильтровалась через образец. Для наблюдения за скоростью понижения уровня воды в пьезометрической трубке отсчеты по пьезометру производили через определенные промежутки времени – два раза в течение рабочего дня.

Коэффициент фильтрации образцов тонкодисперсных отложений согласно [6] определялся по формуле:

$$K_{\phi} = \left[ f \left( \frac{S}{h} \right) / t \right] \frac{f_{\text{тр}}}{F} l \cdot 864, \quad (2)$$

где  $f \left( \frac{S}{h} \right)$  - функция, определяемая согласно [6];

$S$  - понижение уровня воды в пьезометрической трубке (см) за время  $t$  (с);

$h$  - начальный напор, см;

$f_{\text{тр}}$  - площадь сечения пьезометрической трубки, см<sup>2</sup>;

$F$  - площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>;

$l$  - длина пути фильтрации, равная толщине слоя породы в кольце (см) после стабилизации ее уплотнения от той или иной ступени нагрузки;

864 – переводной коэффициент из см/с в м/сут.

Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента фильтрации образцов тонкодисперсных отложений

| Тип гидроизоляции   | Коэффициент фильтрации при давлении 20 кПа, м/сут | Коэффициент фильтрации при давлении 100 кПа, м/сут |
|---------------------|---|--|
| Порошковый материал | $5,8 \cdot 10^{-5}$                               | $2,83 \cdot 10^{-5}$                               |
| Паста               | $3,7 \cdot 10^{-5}$                               | $1,7 \cdot 10^{-5}$                                |

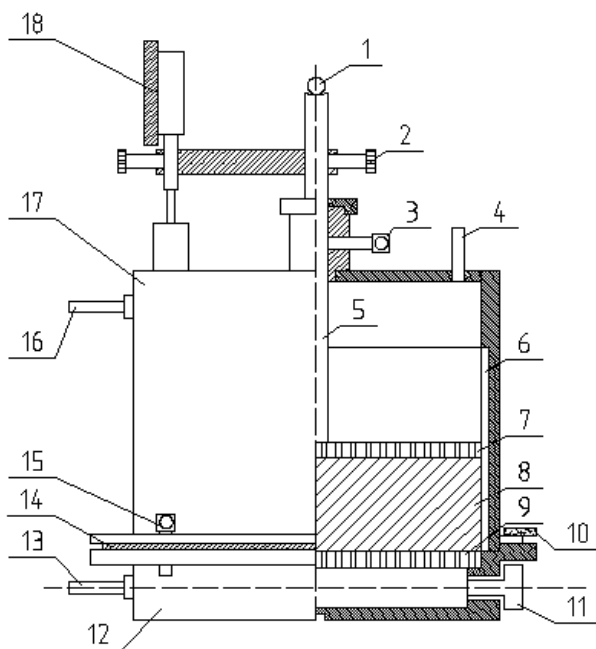


Рисунок 1 – Конструкция компрессионно-фильтрационного прибора:  
 1 – центрирующий шарик; 2, 3 – зажимные винты; 4 – патрубок для выпуска воздуха; 5 – осевой шток; 6 – режущее кольцо;  
 7 – перфорированный поршень; 8 – образец; 9 – перфорированное дно; 10 – прижимное кольцо; 11 – заглушка; 12 – нижняя часть прибора; 13 – нижний штуцер для подачи воды; 14 – резиновые прокладки; 15 – крепежный винт; 16 – верхний штуцер для отвода воды; 17 – верхняя часть прибора; 18 – индикатор перемещений

### 3. Выводы

1. Тонкодисперсные отложения прудковой зоны хвостохранилища возможно использовать для изготовления гидроизоляционного материала, применяемого для защиты подземных сооружений, накопителей промышленных и бытовых отходов.

2. Коэффициент фильтрации исследуемого материала изменяется в пределах  $1,7 \cdot 10^{-5} - 5,8 \cdot 10^{-5}$  м/сут в зависимости от приложенной нагрузки и способа подготовки прудковых отложений.

#### Список литературы:

1. Щербина Е.В. Геосинтетические материалы в строительстве: Монография. М.: Издательство АСВ, 2004. 112 с., ил.
2. Ищенко А.В., Баев О.А. Анализ существующих методик испытаний физико-механических свойств бентонитовых матов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 2 (10). С. 175-185.
3. Кнатько М.В., Щербакова Е.В., Ефименко М.Н. Использование материалов из гидролизированных алюмосиликатов глинистых пород для гидроизоляции зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 5. С. 52-54.
4. Коршунов А.А. Геоэкологическое обоснование складирования и использования отходов обогащения кимберлитовых руд (на основе месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Пермь, 2010. 23 с.
5. ГОСТ Р 52608-2006. Материалы геотекстильные. Метод определения водопроницаемости. - Введ. 01.01.2008. М.: Стандартинформ, 2007. 15 с.
6. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Недра, 1990. 328 с.: ил.

## **БИОПОВРЕЖДЕНИЕ ЗДАНИЙ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

**Василенко М.И., канд. биол. наук, доц.,**

**Гончарова Е.Н., канд. биол. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Биоповреждениям подвержены практически все строительные материалы, находящиеся в оптимальных условиях для жизни микроорганизмов, а именно в условиях повышенной влажности и температуры, затрудненного воздухообмена. Особенно быстро разрушаются бетоны на предприятиях химической, пищевой, медицинской промышленности, а также канализационные коллекторы. Специфика этих производств заключается в наличии богатой питательной среды для микроорганизмов. Процесс деградации цементных материалов усиливается микробиологической коррозией, особенно в условиях повышенной влажности и температуры, затрудненного воздухообмена.

Борьба с биологическими обрастаниями в трубах обычно проводится путем периодической обработки воды сильными окислителями. Недостатком применения некоторых из этих веществ является их высокая токсичность, что неблагоприятно сказывается на флоре и фауне водоемов при частичном сбросе отработанной воды [1].

Перспективным направлением по защите строительных материалов и конструкций и, в частности, фундаментов от биоповреждений является создание устойчивых к биологическому воздействию композиций и специальных защитных покрытий [2].

Для изготовления устойчивых к биоповреждениям бетонов исследовали свойства биоцидных добавок на основе отходов промышленности Белгородской области.

Микробная коррозия может идти различными путями: непосредственным воздействием агрессивных продуктов метаболизма микроорганизмов на конструкции; образованием органических продуктов, которые могут действовать как деполаризаторы или катализаторы коррозионных реакций; вовлечением в процессы метаболизма веществ, входящих в состав строительных материалов.

Целью нашей работы было изыскание средств химической защиты строительных материалов от коррозии для того, чтобы повысить их долговечность в условиях биологической агрессии и утилизировать

отходы, которые могут нанести вред здоровью населения при их длительном хранении в условиях окружающей среды.

Под долговечностью прежде всего понимают способность материала сохранять работоспособность, т.е. то состояние, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение определенных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией. В значительной степени это свойство определяет эффективность использования тех или иных материалов. Срок службы как конкретных материалов, так и всего здания в целом, то есть оценка долговечности сооружения в эксплуатационных условиях, рассчитывается на стадии проектирования через стойкость к воздействию температур, к процедуре «замораживание – оттаивание», ультрафиолетовому облучению, влиянию рН-среды, морозостойкости, устойчивости к биоповреждениям.

В реальных комбинированных условиях внешней среды разрушение происходит от комбинированного воздействия солнечного света, воды, низкой температуры, перепада температур, изменения влажности и воздействия, связанного с заселением строительных материалов живыми организмами. Длительное воздействие перечисленных факторов приводит к потере массы, снижению физико-механических свойств и морозостойкости, а также эксплуатационных показателей изделий.

Исследование в лабораторных условиях биоустойчивости наиболее распространенных строительных материалов – бетонов (тяжелых и поризованных), изменение состояния которых оценивали по скорости коррозионных процессов, изменению массы и прочности образцов, позволило показать, что в большей степени биоразрушению микроскопическими грибами подвержены пенобетоны крупной пористости. Развитие гриба на поверхности изделий сопровождалось снижением прочности образцов, в большей степени (в 1,5 раза) пенобетонов; потеря массы коррелировала со снижением плотности изделий, достигая 48% у легких поризованных пенобетонов. Выдерживание образцов в агрессивных средах, моделирующих состав продуктов метаболизма микроскопических грибов, сопровождалось нарушением целостности их поверхности, изменением размеров и формы, появлением толстого рыхлого слоя продуктов взаимодействия среды с компонентами бетонов на поверхности изделий, т.е. с новообразованиями.

Разрушающее действие микромицетов на строительные изделия, в том числе бетон, обусловлено агрессивным воздействием метаболитов

грибов (органических кислот, окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов) на отдельные компоненты материалов. Механизм разрушения цементных материалов грибами состоит в следующем. Микромицеты в процессе своей жизнедеятельности выделяют различные минеральные и органические кислоты (уксусную, лимонную, молочную, муравьиную, яблочную, щавелевую и др.), которые взаимодействуют с основными (щелочными) соединениями цементного камня и разрушают его, превращая гидросиликаты и гидроалюминаты в соли, не обладающие вяжущими свойствами. Цементный камень перерождается и теряет свои строительно-технические свойства [3].

Серьезным последствием биоповреждения зданий являются заболевания людей, живущих, работающих в них или просто их посещающих, микозами и микогенной аллергией. Именно грибковые болезни занимают все большую роль в структуре заболеваемости людей, обусловленной влиянием биоповреждений городских сооружений. Общее количество микозов, как показано на ряде стран Европы и Азии, каждые 10 лет удваивается. Споры плесневых грибов величиной менее 5 микрометров в диаметре могут проникать через самые узкие бронхи глубоко в легкие. Находясь в воздухе в составе так называемой “витающей”, неседиментирующей, пыли, они всегда являются частью аэрозоля, которым дышит городской человек [4].

Кроме того в последнее время показано, что длительное пребывание во влажных помещениях, где встречается микообрастание и появляются испарения сложного состава, так называемый «грибной алкоголь» приводит к болезни Паркинсона, механизм развития которой достаточно сложен, но связан с нарушением синтеза дофамина – нейромедиатора и в дальнейшем приводит к дегенеративным изменениям в клетках головного мозга. Поэтому становится очевидным, что необходима, как первичная, так и вторичная защита строительных материалов от биоповреждения особенно в жилых помещениях.

Микологический анализ проб воздуха, снега, концентрирующего пылевые загрязнения в зимний период, соскобов с внешней поверхности зданий в различных функциональных зонах города Белгорода, продемонстрировал полную корреляцию степени загрязнения территорий, оцениваемую через уровень пылеосаждения и содержание тяжелых металлов, с обилием оппортунистических микроскопических грибов, потенциально патогенных для человека. Количество микотоксичных видов, прежде всего рода *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus*), доходило на территории промышленных



зон до 30% от суммарного количества выросших колоний. И если присутствие гриба *A. niger* фиксировалось во всех исследуемых точках, то наличие всех трех видов отличало антропогенно перегруженную центральную городскую автомагистраль. Помимо микромицетов рода *Aspergillus* выявлено присутствие условно патогенных грибов рода *Fusarium* исключительно в зонах влияния комбината строительных материалов и изделий, цементного завода, а также вдоль наиболее загруженных дорог. Следует отметить, что именно эти виды, увеличивающие свою представительность в условиях урбанизированных территорий по сравнению с сельскими местностями, вызывают сейчас глубокую тревогу как возможные возбудители микозов, в первую очередь у городских людей с пониженным иммунным статусом. Однако и в сельских районах также наблюдается рост заболеваемости населения аллергическими заболеваниями, а также болезнью Паркинсона, раньше это связывали с применением пестицидов в сельском хозяйстве, но сейчас считают, что это может быть связано с ростом микологического поражения строительных материалов в жилом секторе.

Строительные материалы подвержены биообрастанию не только микромицетами, но и бактериями, микроводорослями и другими живыми организмами. При этом среди продуктов коррозии методом РФА были обнаружены двуводный гипс, четырехкальциевый монокарбонатный гидроалюминат, этtringит,  $\beta$ -кварц. Образование гипса, и особенно этtringита сопровождается растрескиванием бетона за счет большого объема новообразований. Образующиеся трещины являются каналами, по которым вглубь бетона диффундируют углекислота и летучие кислоты, тем самым способствуя большей скорости разрушения строительных конструкций.

Одним из способов предотвращения процесса биоповреждения является введение в изделия биоцидных добавок. В качестве подобного рода добавок мы исследовали различные техногенные отходы, такие как пыль электродуговых сталеплавильных печей (ЭДСП).

Апробированные добавки вводились в бетонный раствор в концентрациях 0,01-3% от общей массы. Полученные образцы строительных материалов с добавками были проверены на устойчивость к повреждению микроскопическими грибами, тионовыми и нитрифицирующими бактериями, одноклеточными зелеными водорослями *Chloorgmidium* sp., выделенными в лабораторных условиях из разрушенных строительных материалов. В ходе экспериментальной работы было установлено, что исследованные добавки в интервале

0,3-3% для пыли ЭДСП повышают биостойкость, не снижая их массы и прочностных характеристик в ходе эксперимента.

Экологическую безопасность таких строительных композитов дополнительно контролировали методами биотестирования, подтвердившими отсутствие токсического действия водных вытяжек строительных образцов на инфузорий, дафний и зеленые водоросли.

Микроорганизмы могут развиваться не только на внешней (наружной) поверхности зданий, но и внутри помещений. При недостаточной гидроизоляции или ее полном отсутствии почвенные воды по капиллярным системам строительных материалов поднимаются из фундамента в стены зданий. Они несут с собой соли и сложные органические вещества, служащие питательной средой для почвенных микробов, которые тоже поднимаются до первых этажей зданий и там образуют колонии в толще стен и на их поверхности. Продукты жизнедеятельности микробов изменяют среду в материалах, приводя к изменению их прочностных характеристик. Поскольку увлажнение построек может происходить снизу – из почвы, и сверху – из-за неисправной кровли, то наиболее уязвимыми для развития аллергии являются жители первых и последних этажей зданий. Но и на других этажах зданий с признаками увлажнения их конструкций, повышается вероятность развития микозов у жителей, особенно в случаях неисправности водопроводных, отопительных и канализационных коммуникаций.

Поэтому противодействие биоразрушению городской среды является экологической, технической и нравственной задачей, выполнение, которой является условием успешной профилактики целого ряда заболеваний людей. Применение технических мер противодействия биоповреждениям зданий потребует меньших экономических затрат и послужит сохранению города и состояния здоровья его жителей.

#### **Список литературы:**

1. Возбудители микробиологической коррозии бетона / Е.Н. Гончарова, В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, Ю.В. Чаплина // Экология и промышленность России. 2003. № 3. С. 22-24.
2. Гончарова Е.Н., Порожнюк Л.А. Исследование возможности использования отходов в качестве биоцидных добавок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2006. № 13. С. 35-38.
3. Розенталь И.К., Мельникова А.И. Коррозия цементных материалов, вызываемая воздействием грибов // Бетон и железобетон. 2000. № 6. С. 23-26.
4. Микроскопические грибы во внешней среде города / О.Е. Марфенина, А.Б. Кулько, А.Е. Иванова, М.В. Согонов // Микология и фитопатология. 2002. Т.36. вып.4. С. 22-32.

## МЕТОДОЛОГИЯ И НАУЧНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Сапронова Ж.А., канд. техн. наук, доц.  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время человечество в результате производственной деятельности совместными усилиями накопило миллиарды невостребованных отходов агропромышленного комплекса и их количество из года в год продолжает расти. В водные объекты ежегодно со сточными водами сбрасываются миллионы тонн загрязняющих веществ, отравляющих водные экосистемы и негативно влияющих на гидробионтов и здоровье человека. Между тем образующиеся отходы, согласно основополагающим принципам геоники [1-3] могут и должны быть вовлечены в круговорот веществ в качестве техногенного сырья для их использования в различных технологических процессах. Однако, в связи с тем, что промышленные отходы столь же разнообразны, сколь и многочисленны, для их вероятного использования необходимо прежде всего проведение разнообразных исследований, изучений, испытаний, чтобы определить возможность их применения соответственно их составу и свойствам.

Нами предпринята попытка обоснования методологии разработки способов использования некоторых отходов агропромышленного комплекса для очистки многокомпонентных сточных вод.

Методология (от греч. *μεθοδολογία* – учение о способах, методах, методиках, способах и средствах познания).

Методология в прикладном смысле – это система (комплекс, взаимосвязанная совокупность) принципов и подходов исследовательской деятельности, на которые опирается исследователь в ходе получения и разработки знаний в рамках конкретной дисциплины, в данном случае – экологии.

Метод в самом широком смысле слова – «путь к чему-либо», в частности, имеет значение теории метода, системы определенных способов, приемов и операций, средств и методов исследования, способов обоснования его результатов, механизмов и форм реализации знаний на практике [4].

Практически методология – это программа (алгоритм), набор приемов и способов того, как достичь желаемой практической цели.

Качество метода проверяется практикой, решением научно-практических задач.

В структуру методологии входит технология выполнения работ и решения задач: средства, методы, способы, приемы.

Основная задача методологии науки заключается в обеспечении эвристической формы познания системой строго выверенных и прошедших апробацию принципов, методов, правил и норм.

Методика – это совокупность способов и приемов познания (средств сбора, обработки, анализа и оценки информации об объекте исследований).

Любое научное исследование осуществляется определенными приемами и способами, по определенным правилам. Учение о системе этих приемов, способов и правил называют методологией [4].

Методология изучения свойств разнообразных отходов основывается на следующих методах научных исследований: анализ, наблюдение, измерение, эксперимент, сравнение, синтез, обобщение, индукция, аналогия, моделирование, доказательство (рис. 1).

Работа базируется на разработках российских и зарубежных ученых, специализирующихся в области очистки сточных вод и использование для этих целей различных природных материалов и отходов промышленности.

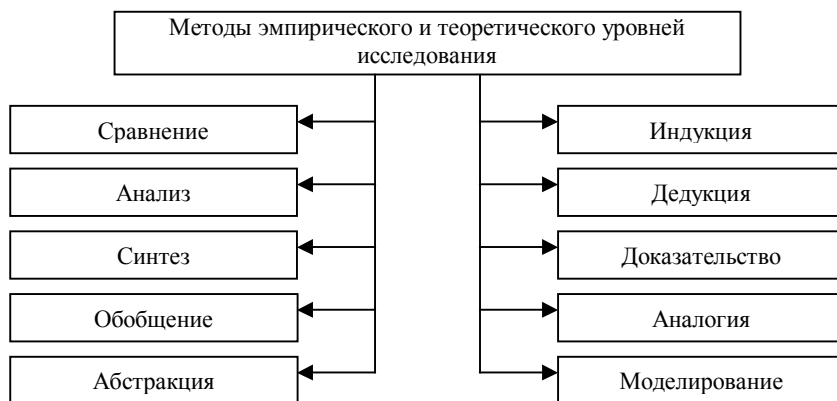


Рисунок 1 – Методы эмпирического и теоретического уровней исследований

В основу методологии очистки многокомпонентных сточных вод положены современные методы и методики научных исследований

физико-химических свойств, составов исследуемых отходов промышленности и сточных вод.

Методы исследований разработаны на основе научной концепции.

Научной концепцией работы является комплексный подход к процессам очистки многокомпонентных сточных вод химической и нефтехимической промышленности с использованием модифицированных отходов предприятий агропромышленного комплекса и основывается на принципах рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды от загрязнений.

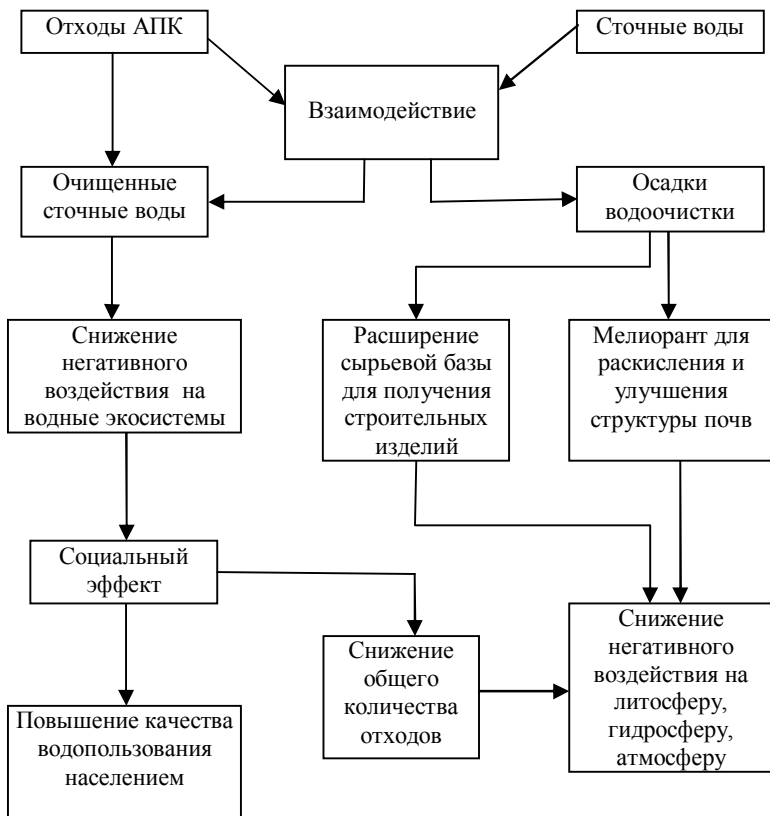


Рисунок 2 – Схема взаимодействия различных отходов

Так, обработка сточных вод исходными или модифицированными отходами приводит к повышению эффективности водоочистки и уменьшению количества загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты [5-10], что, в свою очередь, дает определенный социальный эффект. Социальный эффект выражается в улучшении качества воды, используемой населением для питьевых, хозяйственных и культурно-бытовых нужд, что, в конечном счете, способствует ведению здорового образа жизни. Образующиеся при водоочистке осадки или шламы представляют собой вторичный отход. Но, как известно, в природе нет отходов, есть только вещества, еще не нашедшие достойного применения. Поэтому с этой точки зрения осадки и шламы являются техногенным сырьем, альтернативным ресурсом, который при квалифицированном использовании сможет заменить значительную часть добываемых в настоящее время природных ископаемых. Такой подход позволит повысить рациональность и эффективность используемых природных богатств и сохранению качества окружающей среды. Согласно результатам наших исследований осадки водоочистки после обработки сточных вод отходом производства сахара – сатурационным осадком или отходами переработки сельскохозяйственных культур могут быть в дальнейшем использованы в производстве строительных материалов или в качестве мелиоранта для улучшения качества почв. Возможны также другие направления использования осадков водоочистки. Важно отметить, что в этом случае замыкается производственный цикл: отходы + сточные воды → вторичные отходы (осадки) → использование и переработка.

Методологические подходы к исследованию, обработке и использованию изучаемых в данной работе отходов представлены на рис. 3.

Представленные на рис. 3 методологические подходы к процессу модифицирования предполагают прежде всего глубокое и по возможности полное исследование свойств исходных осадков: дифференциально-термический анализ (ДТА), рентгенофазовый анализ (РФА), исследование в инфракрасном спектре (ИКС), лазерный гранулометрический анализ на приборе MicroSizer-201 (Ms), микроскопические исследования и химический анализ ингредиентов отхода.

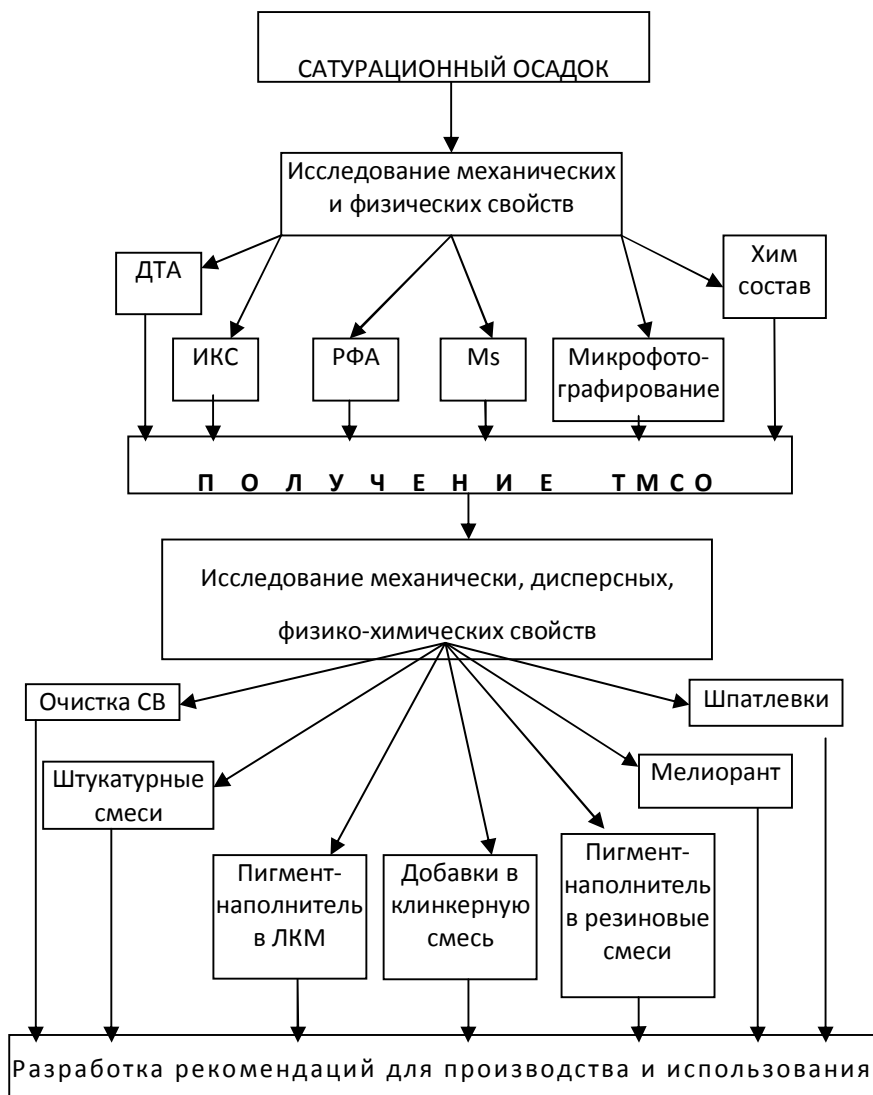


Рисунок 3 – Методологические подходы к исследованию, обработке и использованию отходов

После получения термически модифицированного сатурационного осадка (ТМСО) актуальными являются исследования механических, физико-химических и дисперсных свойств с целью определения возможного способа переработки или использования ТМСО. Завершающим этапом данного цикла является разработка рекомендаций по применению ТМСО.

С помощью схемы, представленной на рис.4, показаны перспективы возможного использования отходов растениеводства в водоочистке.

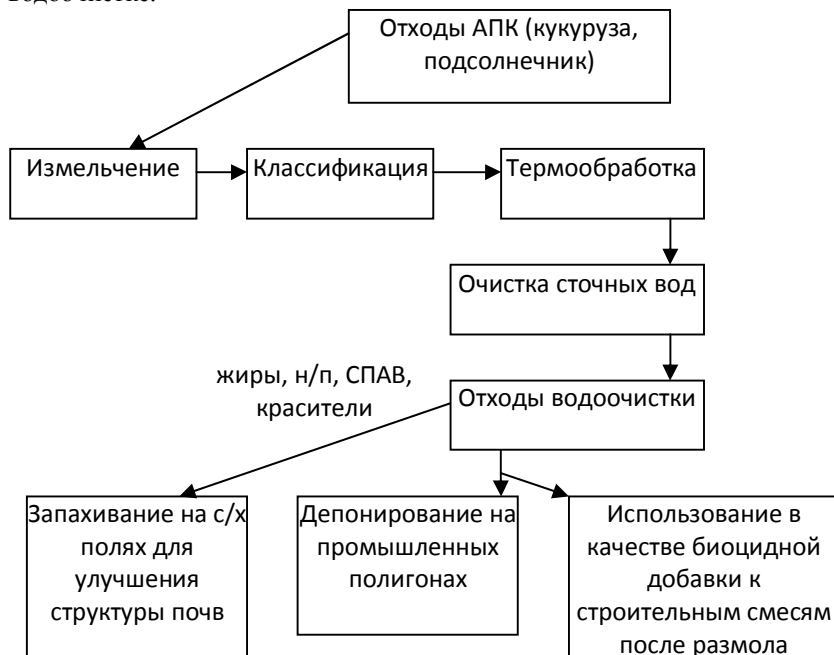


Рисунок 4 – Перспективы использования отходов растениеводства – кукурузных кочерыжек и стеблей подсолнечника

Для разработки технологий комплексного использования отходов переработки сельскохозяйственной продукции (кукуруза, подсолнечник) прежде всего необходима подготовка сырья (измельчение, дробление, помол, классификация, термообработка и др.). После придания материалу необходимых сорбционно-реагентных свойств полученный материал должен пройти испытания по



эффективности очистки с его помощью многокомпонентных сточных вод. Образующийся после водоочистки осадок (шлам) может найти применение как в сельском хозяйстве, так и в промышленности строительных материалов (например, в качестве биоцидной добавки). Таким образом, в данном случае также создается замкнутый производственный цикл, завершающийся использованием вторичных отходов – осадков водоочистки.

На рис. 5 показаны пути утилизации осадков, полученных при очистке сточных вод отходом производства дисахаридов – сатурационным осадком (СО).

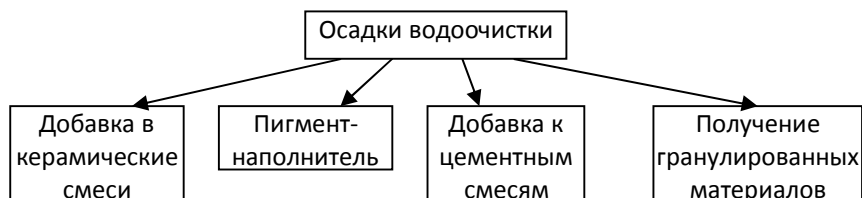


Рисунок 5 – Возможные направления использования, утилизации осадков, полученных при очистке сточных вод отходом производства дисахаридов – сатурационным осадком

Как видно из рис. 5, осадки водоочистки после применения отхода производства сахара и отходов переработки сельскохозяйственной продукции также могут найти разнообразное применение. Это, в первую очередь, зависит от того, какое вещество извлекается из сточных вод. Кроме указанных на схеме (рис. 5), возможны также другие варианты использования образующихся осадков сточных вод. В любом случае, применяя разработанную нами методологию, достигается цель охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Таким образом, разработанная нами методология использования отходов позволит квалифицированно исследовать их физико-химические свойства и разрабатывать эффективные пути их вторичного использования.

#### Список литературы:

1. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 213 с.
1. Использование принципов геоники в практике водоочистки / В.С. Лесовик, Ж.А. Сапронова, Р.О. Фетисов, Д.Ю. Ипанов // Известия

- Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 5 (3). С. 783-788.
2. Lesovik V.S. Geonics. Subject and objectives. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 100 с.
  3. Зеленков А.И., Кисель Н.К., Новиков В.И. Философия и методология науки. Мн.: АСАР, 2007. 146 с.
  4. Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Шайхиев И.Г. Отход производства дисахаридов – в пигменты-наполнители // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 2. С. 48-52.
  5. Использование осадков от очистки сточных вод и рекультивации иловых карт – актуальная задача рационального природопользования / С.В. Свергузова, В.С. Севостьянов, И.Г. Шайхиев, Ж.А. Сапронова, М.Н. Спирин // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 4. С. 199-203.
  6. Адсорбционные свойства пыли электросталеплавильного производства / С.В. Свергузова, Л.А. Порожнюк, И.Г. Шайхиев, Д.Ю. Ипанов, Е.В. Новикова // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 7. С. 92-95.
  7. Коллоидно-химические свойства пыли ЭДСП в процессах водоочистки / С.В. Свергузова, Л.А. Порожнюк, Д.Ю. Ипанов, Ж.А. Сапронова, Д.В. Сапронов, А.В. Шамшуков, Е.В. Новикова // Экология и промышленность России. 2013. июль. С. 22-25.
  8. Сакалова Г.В., Свергузова С.В., Мальваный М.С. Эффективность очистки сточных вод гальванического производства адсорбционным методом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 153-156.
  9. Степанова С.В., Свергузова С.В., Шайхиев И.Г. Очистка модельных стоков, содержащих ионы тяжелых металлов, шелухой пшеницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 168-171.

## ХРОМАТОГРАФИЯ КАК МЕТОД КОНТРОЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ГАЗОВЫХ ВЫБРОСАХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

**Филимонов В.Н., канд. хим. наук, доц.,  
Дмитриева О.В., канд. техн. наук, доц.,  
Дмитриева Р.П., ст. преподаватель**

*Новомосковский институт РХТУ им. Д.И.Менделеева*

Современные требования к содержанию примесей (нормальные алифатические спирты  $C_1 - C_3$ ) в воздухе столь высоки, что их нельзя определить без предварительного концентрирования даже хроматографическими методами. Предел обнаружения спиртов на уровне предельно допустимой концентрации (для метанола – 1, этанола – 5, н-пропанола – 0,3 мг/м<sup>3</sup> [1]) непосредственным вводом пробы в хроматограф не достигается. Предварительное концентрирование примесей на обладающих большим адсорбционным потенциалом активированных углях связано с необходимостью проведения десорбции (чаще – термодесорбции) адсорбированных веществ. Криогенное концентрирование требует сложной техники; использование любого варианта низкотемпературного концентрирования связано с возможностью конденсации водяных паров и затруднениями при интерпретации результатов определений. Оба метода не позволяют провести параллельные определения, требуют полного извлечения определяемых веществ и предотвращения их проскока через ловушку [2].

Метод равновесного абсорбционного концентрирования токсичных соединений из загрязненного воздуха широко используется в промышленно-санитарной химии [3]. Не требуя полного извлечения определяемой примеси, метод основан на поглощении жидкой фазой определяемого вещества в условиях достижения термодинамического равновесия между фазами. При этом выполняется зависимость:

$$C_{ж} = K \cdot C_{г},$$

где  $c_{ж}$  и  $c_{г}$  – концентрации веществ соответственно в жидкой и газовой равновесной фазах, мг/мл;  $K$  – коэффициент распределения. Переходя от единиц концентрации в жидкой фазе (мг/мл) к единицам концентрации в газовой фазе (мг/м<sup>3</sup>), после приведения к нормальным условиям получим:

$$C_r = \frac{C_{\text{ж}} \cdot p_0 \cdot T}{K \cdot p \cdot T_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot (273,2 + t) \cdot 10^{11} \cdot C_{\text{ж}}}{273,2 \cdot K \cdot p}$$

Здесь  $p$ ,  $t$  – соответственно барометрическое давление (Па) и температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) анализируемого газового потока во время отбора проб.

Высокая селективность метода равновесного концентрирования обеспечивается подбором растворителя, селективного для определенного класса соединений.

В работе использовали хроматограф Цвет-100 с пламенно-ионизационным детектором. Расход газа-носителя (аргон) 30, воздуха – 300 мл/мин. Стеклоанальная колонка размером 300X0,4 см заполнена инертном AW (0,16 – 0,20 мм), пропитанным 10% карбовакса 20М. Температура колонки 65, испарителя 200 $^{\circ}\text{C}$ , шкала электрометра 1-10 $\sim^{\text{TM}}$  А, объем хроматографируемой пробы 3 мкл. Детектор градуировали по растворам сравнения спиртов ч. в н-бутаноле в диапазоне концентраций метанола 0,01 – 0,09, этанола 0,03 – 0,16, к-пропанола 0,006 – 0,09 мг/мл. Газовый поток с известным содержанием определяемого компонента пропускали через термостатируемый при 25 $^{\circ}\text{C}$ , сатуратор с поглотителем (1,5 мл н-бутанола); скорость потока 200 мл/мин, отклонение не более 1%. Далее отбирали для анализа 3 мкл жидкой фазы. н-Бутанол, используемый для абсорбции и приготовления растворов сравнения компонентов, подвергали фракционной перегонке при атмосферном давлении на насадочной колонке длиной 200 см. Чистоту растворителя контролировали хроматографически; выбранный способ очистки н-бутанола позволял освободить его от мешающих определению низших спиртов; наличие иных примесей с большими временами элюирования анализу не мешало.

Приготовление газовых смесей известного состава проводили на установке, основным элементом которой является дозатор, работающий по принципу диффузионного переноса массы через цилиндрическую трубку. Газ-разбавитель – азот; величины коэффициентов распределения спиртов в азоте и воздухе близки. Дозируемое в единицу времени количество вещества ( $m$ , моль/с) рассчитывали, согласно:

$$m = \frac{F \cdot D \cdot p}{\ell \cdot R \cdot T} \cdot \ln \frac{p - p_2}{p - p_0}$$

где  $F$  – площадь сечения трубки, см $^2$ ;  $\ell$  – ее длина, см;  $D$  – коэффициент диффузии газа, м $^2$ /с;  $p_0$  – давление насыщенного пара, Па;

$p$  – давление в системе, Па;  $p_2$  – давление насыщенного пара на выходе трубки, Па;  $p_2 \sim 0$  при скорости воздуха  $V_{\text{возд.}} > 0,2$  л/мин.

Для анализа газовых проб термостатированный сатуратор с 1,5 мл н-бутанола присоединяли шлангами через электроаспиратор и осушитель с прокаленным ВаО к штуцеру пробоотборника в технологическом трубопроводе. Время аспирации с объемным расходом газа по ротаметру выбирали достаточным для достижения равновесия: при анализе смеси спиртов оно составляет 80 мин. По окончании аспирации сатуратор освобождали от шлангов, закрывали резиновыми пробками и хроматографировали 3 мкл жидкой фазы не позднее чем через 10 – 12 ч после получения концентрата. Концентрации спиртов определяли методом абсолютной градуировки с последующим пересчетом на их содержание в исходном газовом потоке по соответствующей формуле.

В сообщении приведены результаты определения спиртов в модельных газовых смесях и в цеховых пробах завода бытовой химии. Метод позволяет независимо от времени полного поглощения определяемого компонента растворителем многократно повторять анализ. Концентрирование повышает селективность определения спиртов на фоне сопутствующих примесей с иными коэффициентами распределения. Присутствие в концентрате указанных соединений не искажает результаты определения спиртов. Кроме того, на селективность определения влияет то, что природа неподвижной фазы карбовакс 20М различным образом взаимодействует с соединениями различных классов: константы Роршнейдера для ароматических и алифатических углеводородов составляют величину 1,05; для спиртов 2,27; для кетонов 1,80.

Методика, обеспечивающая селективное отделение спиртов от органических соединений других классов с последующим их определением на аналитической колонке прецизионного газового хроматографа, перспективна для решения сложных аналитических задач в производственных условиях.

#### Список литературы

1. Перхуткин В.П. Справочник инженера по охране окружающей среды (эколога). М.: Изд. «Инфра-Инженерия», 2006. 880 с.
2. Другов Ю.С., Беликов А.Б., Дьяконова Г.А. Методы анализа загрязнений воздуха. М.: «Химия», 1984. 384 с.
3. Виттенберг А.Г., Иоффе Б.В. Газовая экстракция в хроматографическом анализе. Л.: «Химия», 1982. 187 с.

## **КОНТРОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРМОВЫХ СМЕСЯХ И ПРЕПАРАТА ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА**

**Филимонов В.Н., канд. хим. наук, доц.,**

**\*Денисова Л.В., канд. хим. наук, доц.**

*Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева*

*\*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Качество выпускаемых кормовых смесей (премиксов) для сельскохозяйственного животноводства определяется содержанием в них биологически активных соединений (витаминов).

Разработка унифицированных экспрессных методик определения биологически активных веществ в кормовых смесях и препаратах для животноводства является актуальной аналитического контроля в биохимии и сельском хозяйстве. Существующие методы – длительны, отличаются многостадийностью пробоподготовки.

Цель данной работы – создание на основе метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) простых и надежных методик определения жирорастворимых витаминов (ЖРВ) А, Е, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> в микрокапсулированных кормовых препаратах в условиях, исключающих деструкцию биологически активную форму. Поскольку обычно применяемая для биохимического анализа обращено-фазовая ВЭЖХ [1] требует перевода определяемых форм в соответствующие производные, использован вариант нормально-фазовой ВЭЖХ [1].

Исследования проводили на жидкостном хроматографе фирмы «Цвет» с фотометрическим детектором ( $\lambda=254, 365$  нм) на колонке 200×5,4 мм, заполненная суспензионным способом сорбентом Silasorb-600 (LC) зернением 5 мкм, объем анализируемой пробы 10 мкл. Элюент – смесь изопропанола и перегнанного н-гексана. Содержание изопропанола при определении витаминов группы D 10 об.%, в остальных случаях – 0,8 об.%. Оптимальный расход элюента 2 мл/мин выбрали экспериментально. Объекты анализа – микрокапсулированные препараты микровит-А, гранувит-Е, видеин-D<sub>3</sub>, гранувит-D<sub>2</sub>. Градуировку детектора проводили по растворам сравнения витаминов в н-гексане в диапазоне концентраций, мг/мл: А 0,009-0,29; Е 0,328-8,867; D<sub>2</sub> 0,006-0,088; D<sub>3</sub> 0,007-0,09. Количественные определения проводили методом абсолютной градуировки.

Для предварительного выделения жирорастворимых витаминов из многокомпонентных микрокапсулированных кормовых препаратов предложен экстракционный способ. Эффективность экстракционного извлечения биологически активных форм из препаратов n-гексаном и его смесями с изопропиловым спиртом снижается в присутствии пищевых наполнителей – лактозы, декстрина, казеина, мелассы. Известно, что обработка субстрата диполярными апротонными растворителями устраняет помехи от присутствия примесей. Однако после введения диметилформаида (ДМФА) при экстракции витаминов n-гексаном образуется устойчивая нерасщлаивающаяся эмульсия, препятствующая переводу определяемой формы в органическую фазу. Коэффициенты распределения при этом низки, степень извлечения не превышает 45%. Добавление в экстракционную систему поверхностно-активных нормальных алифатических спиртов C<sub>5</sub> – C<sub>10</sub> способствует разрушению эмульсии и осту коэффициентов распределения. Особенно эффективно использование высших спиртов, возможно за счет образования молекулярных комплексов с биологически активными соединениями. Для витаминов А, Е и D<sub>3</sub> лучше использовать смесь n-гексана и n-децилового спирта с мольной долей полярного компонента соответственно 0,5; 0,35 и 0,1. Экстракция витамина D<sub>2</sub> сопровождается антагонистическим эффектом при добавлении спиртов. Влияние соразвитителей описывается уравнением Сеченова. Константа вытеснения витамина из n-гексана n-дециловым спиртом составляет 1,184. Степень извлечения витаминов при однократной экстракции оптимальным составом растворителя превышает 90% (табл.1), время достижения экстракционного равновесия 2-5 мин.

Таблица 1 – Характеристики экстракционного извлечения витаминов

| Характеристика                                     | А    | Е     | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> |
|--|------|-------|----------------|----------------|
| Оптимальное соотношение n-гексан/n-дециловый спирт | 1:1  | 3,5:1 | 9:0            | 8:1            |
| Коэффициент синергетности                          | 1,14 | 1,07  | -              | 0,72           |
| Коэффициент распределения                          | 87,5 | 46,1  | 112,0          | 103,7          |
| Степень извлечения при однократной экстракции, %   | 95,9 | 93,0  | 94,7           | 96,5           |
| Время достижения экстракционного равновесия, мин.  | 5    | 5     | 2,5            | 1,5            |

Условия проведения экстракционного извлечения жирорастворимых витаминов из препаратов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Режим экстракционного извлечения ЖРВ

| Препарат                 | Навеска, г | Условия растворения |     |           |                      | Условия экстракции             |                 |            |       |
|--------------------------|------------|---------------------|-----|-----------|----------------------|--------------------------------|-----------------|------------|-------|
|                          |            | Вода                |     | ДМФА      |                      | Объем, мл                      |                 | Время, мин | число |
|                          |            | Объем, мл           | pH  | Объем, мл | Время обработки, мин | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> | дециловый спирт |            |       |
| Микро-вит-А              | 0,1        | 25                  | 5-6 | 5         | 3                    | 4,5                            | 4,5             | 5          | 2     |
| Грану-вит-Е              | 0,4        | 25                  | 5-6 | 3         | 2                    | 7                              | 2               | 7          | 3     |
| Грану-вит-D <sub>2</sub> | 0,1        | 10                  | 5-6 | 25        | 1                    | 9                              | 0               | 4          | 2     |
| Видеин-D <sub>3</sub>    | 0,1        | 10                  | 12  | 20        | 1                    | 8                              | 1               | 2          | 2     |

Разработанные методики характеризуются высокой степенью разрешения при минимальной вероятности расщепления контролируемых веществ. Продолжительность анализа 30 мин, относительное стандартное отклонение не превышает 0,033. Работоспособность и правильность предлагаемых методик подтверждается хорошим согласованием результатов хроматографического анализа с данными стандартных (спектрофотометрических [3]) методов и нормативным содержанием витаминов в анализируемых объектах.

**Список литературы:**

1. Balyatinskaya L.N., Filimonov V.N., Denisova L.V. Multiparametric optimization of reversed-phase HPLC separation of fat-soluble vitamins//25-th International Symposium on Chromatography, (ISC-04), Paris, France, 2004, P. 125
2. Киселев А.В., Пошкус Д.П., Яшин Я.И. Молекулярные основы адсорбционной хроматографии. М.: Химия, 1986. С. 206.
3. Спектрофотометрические методы определения витаминов А, D<sub>3</sub>, Е. ТУ 9353-004-00480037-93.



**СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ  
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРАЖДАЮЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ  
ИСПЫТАНИЙ**

**Вашенко Д.А., инженер**

*ООО «Интеллект-сервис-ЖБК-1»*

**Тарасюк П.Н., аспирант,**

**Трубаев П.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций является основным показателем теплозащиты зданий, его минимальное требуемое значение установлено строительными нормативами. При проектировании тепловой защиты зданий и сооружений используются расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий. Фактические значения теплопроводности материалов ограждающих конструкций может значительно отличаться от расчетных в связи с недостаточного качества строительных материалов и работ [1,2].

В работе рассматриваются результаты измерений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в сертифицированных климатических камерах с целью сопоставления их фактических теплотехнических характеристик с расчетными значениями.

Измерения проводились прибором ИТП-МГ4.03/10 «Поток» в течение нескольких дней в холодное время года с интервалом в 10 минут. Измерения и расчеты сопротивления теплопередаче  $R$  выполнялись согласно нормативной и технической литературе [3,4].

Работа велась несколько лет и были сделаны ряд измерений с различными строительными материалами и разными вариантами слоев ограждающих конструкций.

**Климатическая камера**

Принципиальная схема климатической камеры, на котором проводились испытания, показана на рис. 1.

Для ускорения количества испытаний были построены несколько подобных климатических камер, на которых испытаны более 30 разных ограждающих конструкций в течении четырех лет. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

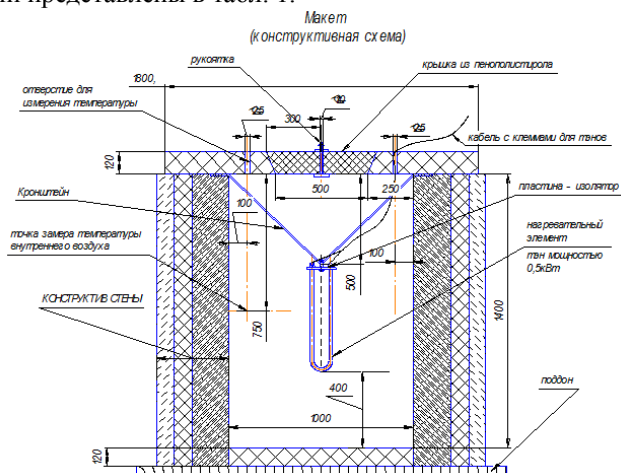


Рисунок 1 – Макет климатической камеры

Таблица 1 – Результаты испытаний в климатической камере

| №  | Конструкция, толщина  | Термическое сопротивление, (м <sup>2</sup> ·К)/Вт |                   | Кол-во опытов |
|----|---|---|-------------------|---------------|
|    |   | расчетное   | экспериментальное |               |
| 1  | 2   | 3   | 4                 | 5             |
| 1. | Камень керамический пустотный М125, 510 мм  | 1,1   | 1,1               | 1             |
| 2. | Керамзитобетонный камень Liarog, 365 мм   | 3,8   | 2,64              | 3             |
| 3. | 1. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-50, 190 мм<br>2. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм<br>3. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм<br>а) изоспан на ПСБС<br>б) изоспан под ПСБС | 3,5<br>3,5  | 1,84<br>2,08      | 1<br>1        |
| 4. | 1. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм<br>2. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм<br>3. Полистиролбетон D200, 280 мм  | 4,7   | 1,48              | 1             |
| 5. | 1. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 390 мм<br>2. Теплоизолирующая шпаклевка (теплая штукатурка), 40 мм (кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75 + тычковый ряд)          | 1,3   | 0,54              | 1             |

|     |  |      |       |   |
|-----|--|------|-------|---|
| 6.  | Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 390 мм                             | 1    | 0,473 | 3 |
|     | а) кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75 + тычковый ряд    |      |       |   |
|     | б) кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75 + ложковый ряд    | 1    | 0,73  | 2 |
|     |  |      |       |   |
| 7.  | 1. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм                          | 3,8  | 1,99  | 3 |
|     | 2. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     |      |       |   |
|     | 3. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм                                      |      |       |   |
| 8.  | 1. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм                          | 2,4  | 1,61  | 8 |
|     | 2. Пенобетон, 200 мм   |      |       |   |
|     | 3. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     |      |       |   |
| 9.  | 1. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм                          | 3,3  | 2,28  | 2 |
|     | 2. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     |      |       |   |
|     | 3. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм                                      |      |       |   |
| 10. | 1. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм                          | 3,1  | 2,53  | 3 |
|     | 2. Пенобетон, 280 мм   |      |       |   |
|     | 3. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     |      |       |   |
| 11. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 170 мм                     | 3,4  | 0,505 | 1 |
|     | 2. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм                                      |      |       |   |
| 12. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 630 мм                     | 3,6  | 0,7   | 2 |
|     | 2. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм                                      |      |       |   |
| 13. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 240 мм                     | 4,4  | 1,16  | 1 |
|     | 2. Полистиролбетон D200, 280 мм  |      |       |   |
| 14. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     | 4,7  | 1,5   | 1 |
|     | 2. Керамзитобетонный камень СКЦ-1Р-75, 190 мм                          |      |       |   |
|     | 3. Экструдированный пенополистирол (31-35 кг/м3), 100 мм               |      |       |   |
| 15. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     | 3,7  | 1,57  | 1 |
|     | 2. Пазогребневый камень СКЦг-7Р-75, 190 мм                             |      |       |   |
|     | 3. Минераловатный и целлюлозный утеплитель, 150 мм                     |      |       |   |
| 16. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     | 4,2  | 2,185 | 2 |
|     | 2. Пазогребневый камень СКЦг-7Р-75, 190 мм                             |      |       |   |
|     | 3. Экструдированный пенополистирол (31-35 кг/м3), 100 мм               |      |       |   |
| 17. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     | 3,2  | 1,715 | 2 |
|     | 2. Пазогребневый камень СКЦг-7Р-75, 190 мм                             |      |       |   |
|     | 3. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм                                      |      |       |   |
|     | а) точечное крепление утеплителя                                       |      |       |   |
|     | б) крепление по периметру и крест на крест в центре утеплителя ПСБС-25 | 3,2  | 2,88  | 1 |
|     |  |      |       |   |
| 18. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     | 3,74 | 2,205 | 4 |
|     | 2. Пазогребневый камень СКЦг-7Р-75, 190 мм                             |      |       |   |
|     | 3. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм                                      |      |       |   |
| 19. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 90 мм                      | 3,69 | 2,1   | 3 |
|     | 2. Пазогребневый камень СКЦг-7Р-75, 190 мм                             |      |       |   |
|     | 3. Пенополистирол ПСБС-25, 120 мм                                      |      |       |   |
| 20. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм                     | 3,4  | 2,23  | 1 |
|     | 2. Воздушная прослойка, 15 мм  |      |       |   |
|     | 3. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм                                      |      |       |   |
|     | 4. Пазогребневый камень СКЦг-7Р-75, 190 мм                             |      |       |   |

|     |   |            |              |        |
|-----|---|------------|--------------|--------|
| 21. | 1. Керамзитобетонный камень (облицовочный), 120 мм<br>2. Пазогребневый камень СКЦг-7Р-75, 190 мм<br>3. Минераловатный и целлюлозный утеплитель, 100 мм  | 2,7        | 2,04         | 2      |
| 22. | Керамзитобетонный камень СКЦ-7Р-75, 365 мм<br>а) кладочный раствор - цементно-песчаный раствор М75<br>б) кладочный раствор - теплый раствор КНАУФ-ЛМ 21 | 1,8<br>1,8 | 0,59<br>1,81 | 1<br>1 |
| 23. | Керамзитобетонный камень СКЦ-7Р-75, 390 мм  | 1,95       | 0,94         | 1      |
| 24. | 1. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм<br>2. Силикатный кирпич, 510 мм<br>(штукатурка и краска)  | 3,3        | 0,57         | 1      |
| 25. | 1. Пенополистирол ПСБС-25, 100 мм<br>2. Силикатный кирпич, 510 мм   | 3,3        | 1,6          | 1      |
| 26. | 1. Газосиликатный блок М500, 300 мм<br>2. Силикатный кирпич, 120 мм   | 2,3        | 1,985        | 2      |
| 27. | 1. Газосиликатный блок М500, 300 мм<br>2. Воздушная прослойка, 17,5 мм<br>Силикатный кирпич, 120 мм   | 2,5        | 2,15         | 3      |
| 28. | 1. Силикатный кирпич, 520 мм<br>2. Теплоизолирующая шпаклевка (теплая штукатурка), 30 мм  | 0,92       | 0,41         | 1      |
| 29. | 1. Силикатный кирпич, 520 мм<br>2. Теплоизолирующая шпаклевка (теплая штукатурка), 40 мм  | 0,98       | 0,63         | 1      |
| 30. | 1. Силикатный кирпич, 520 мм<br>2. Теплоизолирующая шпаклевка (теплая штукатурка), 60 мм  | 1,1        | 1,3          | 1      |
| 31. | Силикатный кирпич, 510 мм   | 0,729      | 0,35         | 1      |
| 32. | Силикатный кирпич, 520 мм   | 0,743      | 0,37         | 1      |

Все полученные данные были объединены в зависимости от типа материалов, присутствующих в исследуемых образцах и видов элементов, ее составляющих (табл. 2 и 3). Как видно из данных, наибольшее отклонение расчетного термического сопротивления от фактического наблюдается для образцов, содержащих утеплитель и для сплошных ограждающих конструкций. Очевидно, что эти две группы взаимосвязаны между собой.

Таблица 2 – Отклонение расчетного термического сопротивления от фактического в зависимости от типа материала

| Тип материала, присутствующий в ограждающей конструкции | Кол-во опытов | Среднее отклонение |
|---|---------------|--------------------|
| Утеплитель  | 34            | -113%              |
| Кирпичная кладка из сплошного кирпича                   | 12            | -86%               |
| Бетоны на искусственных пористых заполнителях           | 78            | -86%               |
| Кирпичная кладка из пустотного кирпича                  | 17            | -64%               |
| Бетоны ячеистые   | 13            | -62%               |

Таблица 3 – Отклонение расчетного термического сопротивления от фактического в зависимости от вида ограждающей конструкции

| Вид ограждающей конструкции      | Кол-во опытов | Среднее отклонение |
|----------------------------------|---------------|--------------------|
| Сплошная ограждающая конструкция | 46            | -106               |
| Крупный элемент (блок)           | 95            | -80                |
| Мелкий элемент (кирпич)          | 13            | -80                |

После анализа данных было найдено ряд зависимостей для отклонения расчетного и фактического теплового сопротивления от их значений и количества слоев ограждающих конструкций (рис. 2).

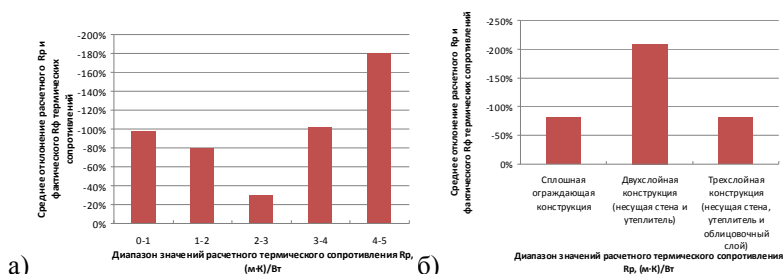


Рисунок 2 – Отклонение расчетного и фактического термического сопротивления в зависимости от: а) значений термического сопротивления; б) количества слоев

### Основные выводы

Наибольшее отклонение термического сопротивления от расчетного значения наблюдается для стеновых конструкций с утеплителем. При этом на термическое сопротивление влияет способ монтажа утеплителя и место установки пароизоляции.

### Список литературы:

1. Малявина Е.Г. Теплопотери здания. М.: АВОК, 2007. 144 с.
2. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: М: Авок-Пресс, 2003. 200 с.
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М., 2012. 96 с.
4. ГОСТ 26254-84 (1994). Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. М.: Стройиздат, 1994. 34 с.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

**Ивасива И.В.,**

**Кожевников В.П., канд. техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Возрастание научно-технического потенциала подняло на качественно новую ступень возможности человека по преобразованию окружающей его природной среды и открыло перед ним большие перспективы. В то же время во взаимодействии человека с природной средой его обитания проявляется все больше тревожных симптомов опасности, грозящей существованию планеты Земля и всего человеческого рода. Имеются в виду негативные аспекты современной научной технической революции: прогрессирующее загрязнение природной среды продуктами техногенного происхождения, угроза истощения природных ресурсов, изменение климата и т.д.

Энергетика – это та отрасль производства, которая развивается быстрыми темпами. В настоящее время энергетические потребности обеспечиваются в основном за счет трех видов энергоресурсов: органического топлива, воды и атомного ядра. Функционирование и развитие энергетики наталкиваются на ряд экологических проблем, угрожающих стать в последующие годы все более острыми, поскольку топливно-энергетический комплекс (ТЭК) является одним из основных источников загрязнения окружающей природной среды.

План энергетической стратегии России гласит, что большое внимание будет уделено экологическим проблемам, возможным путям их решения и мерам, которые в дальнейшем будут приняты государством для оптимизации воздействия ТЭК на экологическое состояние окружающей среды. Одной из крупнейших экологических проблем в ТЭК, особенно острой для традиционных нефтедобывающих регионов, является загрязнение природной среды нефтью и нефтепродуктами. Темпы утилизации отходов остаются низкими, планы крупномасштабного использования отходов не реализуются. Серьезной проблемой является негативное воздействие деятельности предприятий ТЭК в энергодобывающих и энергопроизводящих регионах. Следует иметь в виду также недостаточный уровень экологической безопасности технологических процессов, высокий моральный и физический износ основного оборудования, недостаточную развитость природоохранной

структуры. Целью энергетической политики в области обеспечения экологической безопасности должно стать последовательное ограничение нагрузки ТЭК на окружающую среду, приближение к самым высоким мировым экологическим стандартам в этой области. Практически всегда высвобождение энергии из органического топлива связано с его сжиганием, следовательно, и с поступлением продуктов горения в окружающую среду. Отсюда следует, то дальнейшее развитие тепловой энергетики на органическом топливе, основанной на угле, нефти, газе, сланцах, торфе, приведет к глобальным изменениям климата и свойств атмосферы.

Таблица 1 – Валовые выбросы ТЭС мощностью 1 ГВт

| <b>Наименование выбросов</b>         | <b>Количество, т/год</b> |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Сернистый ангидрид                   | 5765,7                   |
| Двуокись азота                       | 4576                     |
| Окись азота                          | 743,5                    |
| Взвешенные вещества (пыль, аэрозоли) | 148,3                    |
| Зола                                 | 2205,7                   |
| Окись углерода                       | 50,3                     |
| Углеводороды                         | 1,8                      |
| Формальдегид                         | 6                        |
| Тяжелые металлы                      | 5                        |

В последние годы широко обсуждается вопрос о целесообразности перехода на генерацию энергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Использование возобновляемых источников энергии позволит значительно минимизировать последствия воздействия ТЭК на окружающую среду, а также решить массу экономических и социальных проблем. Альтернативная энергетика – это, прежде всего, использование нетрадиционных возобновляемых источников, таких как ветровая, солнечная энергия.

Солнце – неисчерпаемый, экологически безопасный и дешевый источник энергии. Количество солнечной энергии, которая поступает на поверхность Земли в течение недели, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана. По мнению академика Ж.И. Алферова, «человечество имеет надежный естественный термоядерный реактор – Солнце. Оно является звездой класса «Ж-2», очень средней, каких в Галактике до 150 миллиардов. Но это – наша звезда, и она посылает на Землю огромные мощности, преобразование которых позволяет удовлетворять практически любые энергетические запросы человечества на многие сотни лет». Причем, солнечная энергетика

является «чистой» и не оказывает отрицательного влияния на экологию планеты[2]. Стоит отметить, что сырьем для изготовления солнечных батарей является один из самых часто встречающихся элементов – кремний. В земной коре кремний – второй элемент после кислорода (29,5% по массе). По мнению многих ученых, кремний – это «нефть двадцать первого века»: в течение 30 лет один килограмм кремния в фотоэлектрической станции вырабатывает столько электричества, сколько 75 тонн нефти на тепловой электростанции.

По данным Института Энергетической стратегии, теоретический потенциал солнечной энергетики в России составляет более 2300 млрд. тонн условного топлива, экономический потенциал – 12,5 млн. т.у.т.

Потенциал солнечной энергии наиболее велик на юго-западе страны (Северный Кавказ, район Черного и Каспийского морей) и в Южной Сибири и на Дальнем Востоке. Наиболее перспективные регионы в плане использования солнечной энергетики: Калмыкия, Ставропольский край, Ростовская область, Краснодарский край, Волгоградская область, Астраханская область и другие регионы на юго-западе, Алтай, Приморье, Читинская область, Бурятия и другие регионы на юго-востоке. Причем некоторые районы Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока превосходит уровень солнечной радиации южных регионов. Так, например, в Иркутске уровень солнечной радиации достигает 1340 кВт-час/м<sup>2</sup>, тогда как в Республике Якутия-Саха данный показатель равен 1290 кВт-час/м<sup>2</sup> [4].

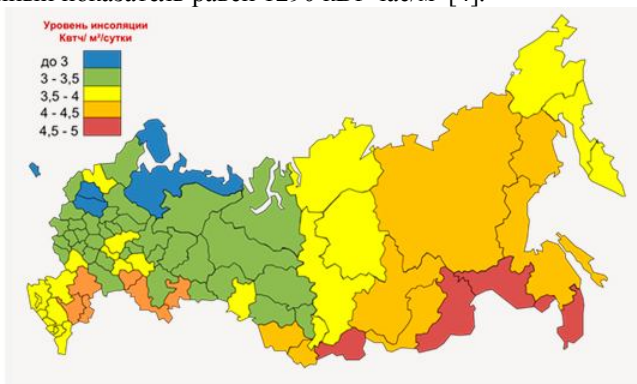


Рисунок 1 – Потенциал солнечной энергетики в России [4].

По разным оценкам, на данный момент в России суммарный объем введенных мощностей солнечной генерации составляет не более 5 МВт,



большая часть из которых приходится на домохозяйства. Самым крупным промышленным объектом в российской солнечной энергетике является введенная в 2010 году солнечная электростанция в Белгородской области мощностью 100 кВт.

Не стоит упускать из вида ветроэнергетику – отрасль альтернативной энергетики, связанную с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию. Ветроэнергетике присущи все преимущества, характерные для альтернативной энергетики в целом – экологическая чистота, возобновляемость, низкие эксплуатационные затраты. Не удивительно, что данная отрасль в последнее десятилетие стабильно удерживает мировое лидерство среди новых технологий возобновляемой энергетики. К концу 2013 года общее количество установленных мощностей ветровых электростанций (ВЭС) в мире превысило 320 ГВт.

Россия, благодаря огромной территории, охватывающей несколько климатических поясов, имеет самый большой в мире потенциал ветровой электрогенерации (оценивается в 260 млрд кВт•ч электроэнергии в год, что составляет около 30% нынешнего производства электроэнергии всеми электростанциями страны).

Следует отметить, что большая часть наиболее «богатых на ветер» регионов России – это местности, удалённые от основных электрогенерирующих мощностей страны. К таковым относятся Камчатка, Магаданская область, Чукотка, Сахалин, Якутия, Бурятия, Таймыр и др. Здесь в основном отсутствуют собственные ископаемые энергетические ресурсы, а удалённость от магистральных линий электропередачи и транспортных энергетических нефте- и газопроводов делают экономически необоснованным подключение регионов к централизованному энергообеспечению.

## ЭНЕРГОРЕСУРСЫ РОССИИ

Ветровая энергия

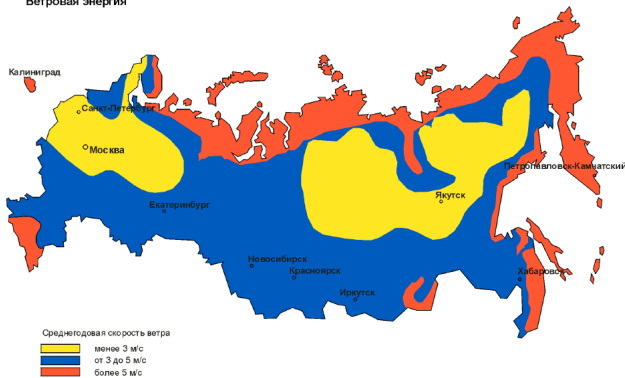


Рисунок 2 – Потенциал ветроэнергетики России

Ветровой режим Белгородской области характеризуется преобладанием юго-западных, южных ветров в холодный период года, западных и северо-восточных – в теплое время года. Средняя годовая скорость ветра по области составляет 2,1 – 4,1 м/сек.

Использование ветровой энергии на территории Белгородской области по большей части является целесообразным. Среднегодовая скорость ветра на территории Белгородской области составляет около 2,1 - 4,1 м/с, что открывает перспективы к развитию этого направления развития альтернативной энергетики. Для Белгородской области наиболее актуальными представляются мощности 5, 10, 20 кВт, которые вполне могут частично обеспечить энергией фермы, малые предприятия, частные домовладения. Единственным крупным недостатком этого способа обеспечения энергией является негарантируемость энергоснабжения в дни, когда скорость ветра будет низкой. Потому этот источник энергии лучше использовать в сочетании с другими источниками энергии.

Энергия – это движущая сила любого производства. Тот факт, что в распоряжении человека оказалось большое количество относительно дешевой энергии, в значительной степени способствовало индустриализации и развитию общества. Однако в настоящее время при огромной численности населения и производстве, и потреблении энергии становится потенциально опасным. Наряду с локальными экологическими последствиями, сопровождающимися загрязнением воздуха и воды, эрозией почвы, существует опасность изменения мирового климата в результате действия парникового эффекта.

Человечество стоит перед дилеммой: с одной стороны, без энергии нельзя обеспечить благополучия людей, а с другой – сохранение существующих темпов ее производства и потребления может привести к разрушению окружающей среды, серьезному ущербу здоровью человека. Сегодня около половины мирового энергобаланса приходится на долю нефти, около трети – на долю газа и атома (примерно по одной шестой) и около одной пятой – на долю угля. На все остальные источники энергии остается всего несколько процентов. Совершенно очевидно, что без тепловых и атомных электростанций на современном этапе человечество обойтись не в состоянии, и все же по возможности там, где есть, следует внедрять альтернативные источники энергии, чтобы смягчить неизбежный переход от традиционной энергетики к альтернативной. Использование таких технологии позволяют исключить использование ископаемых природных ресурсов при генерации энергии, что минимизирует вредные выбросы в атмосферный воздух.

#### **Список литературы:**

1. Кривова В.Д. Аналитический доклад «Экологическая культура – основа решения экологических проблем» // Аналитический вестник. 2013. № 12 (496).
2. Синицина Т.А. Нужна ли солнечная энергетика в России? // Газета Энергетика и промышленность России. 2007. №4.[Электронный ресурс]. URL: <http://www.eprussia.ru/epr/80/5626.htm> (дата обращения 13.08.2014)
3. Институт Энергетической стратегии [Электронный ресурс]. URL: <http://e-ypok.ru/book/export/html/59> (дата обращения 3.09.2014)
4. Hevel Solar, О солнечной энергии. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hevelsolar.com/solar/> (дата обращения 8.09.2014 )

## СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ В ЗДАНИЯХ

**Кочарян Е.В., канд. техн. наук, доц.**

*Кубанский государственный технологический университет*

Наружные ограждения зданий имеют различные теплозащитные свойства. Максимальные потери тепла в холодный период года происходят через окна и другие светопрозрачные конструкции. Величина этих потерь, как показывают расчеты и наблюдения могут достигать 80% от общих теплопотерь [1]. В большинстве стран мира принимаются нормативные требования, направленные на повышение теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций. Ведущие производители профиля уже разработали эффективные системы, позволяющие обеспечить новые требования, например многокамерный профиль, напыление на стекла теплоотражающего покрытия и т.д. Однако, эти решения достаточно дороги и, в целом, не дают кардинального улучшения по теплопотерям. Применение некоторых из данных энергосберегающих мероприятий имеет и другие недостатки, например, снижение светопропускной способности окон.

При этом не учитывается, что использование окон по назначению, т.е. для естественного освещения, необходимо для жилых домов в течение светового дня (10-16 часов), а для административных – только в рабочее время (8 часов). В данной работе проведена предварительная оценка возможности снижения теплопотерь через окна за счет закрытия оконных проемов наружным теплозащитным экраном в темное время суток.

В качестве теплозащитного экрана использованы стандартные алюминиевые рольставни с пенополиуретановым наполнителем ламелей. Два окна со стандартными стеклопакетами были выбраны в одном помещении и имели равные характеристики. На одном окне рольставни закрывались в темное время суток, на другом не закрывались. Производились замеры температуры внутри помещения, снаружи, а также температура воздуха в слоях контактирующих со стеклом с обеих сторон в дневное и ночное время. Показания температур снимались датчиком температуры с погрешностью не более  $0,1^{\circ}\text{C}$  в течение 3-х суток. Температура внутри помещения поддерживалась постоянной на уровне  $20^{\circ}\text{C}$ . Уличная температура изменялась от  $-6^{\circ}\text{C}$  до  $-16^{\circ}\text{C}$ .

В результате экспериментов отмечено снижение  $\Delta t$  (разницы между температурой воздуха у поверхности ограждающей

конструкции) относительно начального значения в среднем на 21%. В результате пропорционально снизятся тепловые потери через окно. Зафиксированное снижение теплопотерь достигается за счет теплозащитных свойств рольставни и слоя воздуха между стеклом и ламелями. При этом не учитывается снижение теплопотерь за счет отражения излучения изнутри помещения экраном из ламелей. Этот эффект можно учесть за счет дополнительных измерений, но он, в любом случае, увеличит параметры эффективности данного энергосберегающего мероприятия.

Проведем примерную оценку относительной величины экономии для реального объекта с учетом времени закрытия окон рольставнями для климата г. Краснодара. Для жилых зданий время закрытия принимаем 12 часов, для административных 16 часов. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры зданий

| Тип здания                          | Теплопотери через ограждающие конструкции без рольставен, МДж/сут | Теплопотери через ограждающие конструкции с установкой рольставен, МДж/сут | Эффект от мероприятия, % |
|-------------------------------------|---|--|--------------------------|
| Трехэтажное административное здание | 218   | 212  | 2,75                     |
| Девятиэтажный жилой дом             | 2984  | 2925   | 1,97                     |
| Пятиэтажный жилой дом (6 секций)    | 940   | 918  | 2,34                     |
| Пятиэтажный жилой дом (2 секции)    | 330   | 325  | 1,57                     |

Исходя из приведенных данных, можно утверждать, что эффект от энергосберегающего мероприятия – установка рольставен, лежит в диапазоне от 1,5 до 2,8% от совокупных тепловых потерь здания через ограждающие конструкции.

#### Список литературы:

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. 2-е изд., пераб. и доп. М.: Высш. Школа, 1982. 418 с.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМОВ**

**Кизилов И.С.,**

**Кожевников В.П., канд. техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Задачей очистных сооружений является прием и очистка стоков до уровня, разрешенного для сброса в естественную среду. В зависимости от вида энергопотребления, степени и способа очистки используются:

- очистные сооружения с использованием септика и почвенной доочистки;
- сооружения с глубокой биологической очисткой в аэротанке.

По мере просачивания стоков через фильтрующий материал на его поверхности образуется биологическая пленка, состоящая из огромного количества бактерий и грибов, которые в процессе жизнедеятельности окисляют и минерализуют органические примеси в сточной воде. Воду, прошедшая через биофильтр, отводят с участка в резервуары, где она проходит анаэробный этап очистки и поступает в аэротенки. Аэротенки обеспечивают более глубокую очистку стоков, степень которой достигает до 95-99%.

В аэротенк также закладывают зараженную микрофлорой загрузку. Микроорганизмы, питаясь органическими веществами, содержащимися в жидкости, активно размножаются и, увеличиваясь в объеме и массе, образуют активный ил и биологическую пленку. Для усиления и ускорения процесса окисления и минерализации органических примесей необходима дополнительная подача воздуха, которая осуществляется при помощи компрессора. Его устанавливают в специальном строении или внутри здания и соединяют шлангом с аэротенком.

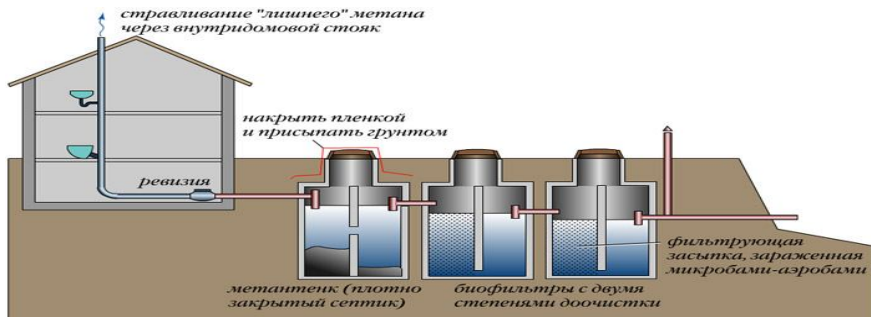


Рисунок 1 – Сборные очистные сооружения

Благодаря мощному потоку воздуха происходит постоянное бурное перемешивание стоков и активного ила; масса насыщается кислородом, что в свою очередь ведет к интенсивному росту количества микроорганизмов. Затем вся жидкая масса направляется в отстойник, где активный ил и биопленка оседают на дно; вода осветляется и становится прозрачной. Осевший ил извлекается из отстойника и вновь поступает в аэротенк и продолжает работу по очистке следующей порции сточной жидкости.

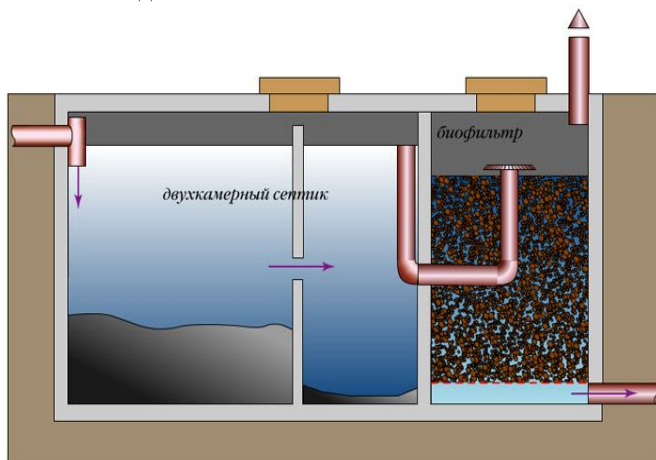
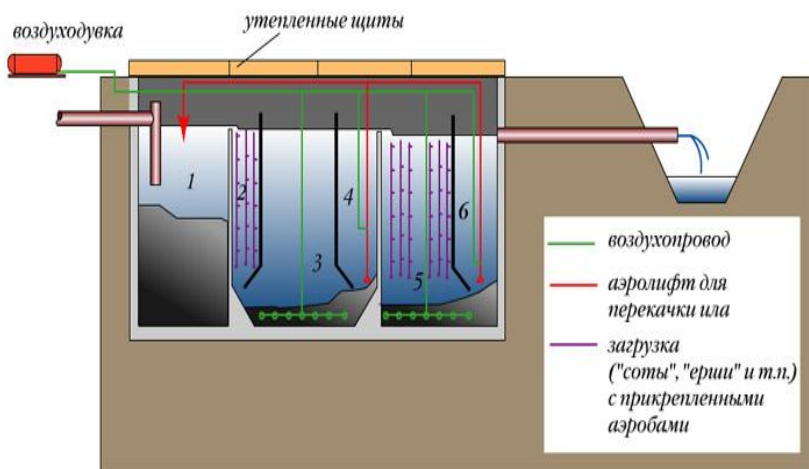


Рисунок 2 – Очистные сооружения заводского исполнения для индивидуальных домов

Прошедшая очистку вода либо сбрасывается, либо поступает на дополнительную очистку. Классическую схему биологической очистки

сточных вод в аэротенке можно рассмотреть на примере работы установки по глубокой доочистке "Тверь". Она предусматривает четырехступенчатую очистку, причем две ступени - аэробные. Многослойное покрытие, состоящее из эпоксидной грунтовки и резинокбитумной мистики, надежно защищает корпус установки из легированной стали от разрушающего воздействия веществ, которыми столь богаты канализационные стоки.



1 – септик; 2 – биореактор; 3 – аэротенк I ступени; 4 – вторичный отстойник; 5 – аэротенк II ступени; 6 – третичный отстойник

Рисунок 3 – Схемы сооружения с доочисткой в сточных водах

Сточные воды, прошедшие механическую очистку, поступают на анаэробную очистку в септик. В биореакторе при участии бактерий-анаэробов происходит преобразование трудноокисляемых органических примесей в легкоокисляемые. Оттуда жидкость поступает в аэротенк 1-ой ступени, в нижнюю часть которого уложена загрузка, зараженная микрофлорой. Через размещенные под керамзитом перфорированные трубы подается сжатый воздух от компрессора. Вода интенсивно перемешивается с активным илом и биопленкой. Аэробные микроорганизмы, питаясь органическими веществами в сточной воде и размножаясь, активно окисляют и минерализуют эти примеси. Из-за бурного перемешивания, происходящего в резервуаре, вода, естественно, не может отстояться. Наступает следующая фаза очищения воды.



Жидкость, состоящая из смеси канализационной воды, биологической пленки и ила, попадает во вторичный отстойник. В спокойном состоянии происходит отделение взвешенной части смеси от воды. Выпавшие в осадок активный ил и биологическая пленка возвращаются обратно в аэротенк I ступени для продолжения работы. Если ила образовалось слишком много, то его излишки извлекают и отправляют фермерам в качестве очень ценного удобрения. Обычно это происходит один раз в год, а то и в три. Отстоявшаяся и осветленная вода поступает для дополнительной очистки в аэротенк II ступени, на дно которого уложен слой известняка. Известняк способствует освобождению воды от солей фосфора (фосфатов).

Затем воду отводят в третий отстойник, в который закладывают специальный футляр (хлор-патрон), содержащий смесь хлорной извести и песка. Просачиваясь через пористые стенки патрона и растворяясь, хлор обеззараживает воду. Перед началом строительства дачных поселков или зон отдыха, застройщик должен предусмотреть не только схему канализационной сети, но и обеспечение очистки сточных вод от жилых и других строений. Необходимо рассчитать максимальное количество людей, которые будут постоянно или временно находиться на территории застройки, и, соответственно, максимальный расход воды. В зависимости от наибольшего возможного количества стоков, их состава и других особенностей определяется вид и производительность очистных сооружений, необходимых для обеспечения должной очистки сточных вод. При этом следует обратить внимание на наличие у оборудования сертификатов соответствия гигиеническим и техническим требованиям СЭС и Госстандарта.

Еще один важный фактор при оценке локального очистного сооружения – материал, из которого он изготовлен. Это может быть: пластик, железобетон, металл (сталь). У каждого из материалов есть свои достоинства и недостатки. Давайте разберемся по порядку. Пластик не ржавеет, легок и как следствие прост в установке, но при монтаже надо правильно произвести работы для защиты установки от выдавливания грунтовыми водами. Железобетон на первый взгляд имеет только плюсы: не ржавеет, не выталкивается из земли грунтовыми водами. В тоже время очень большой вес осложняет и удорожает монтаж, а верхняя часть бетонной конструкции может разрушиться влагой за 7-8 лет из-за циклов промерзания и оттаивания. Металлические конструкции прочнее пластиковых и легче железобетонных, но, если не подложить бетонную плиту, могут быть вытолкнуты из земли грунтовыми водами. Кроме того, металл ржавеет

и поэтому должен быть надежно защищен от коррозии специальными покрытиями.

Преимущества установок глубокой биоочистки перед септиками очевидны:

- глубокая степень очистки (до 99%);
- отсутствие полей фильтрации, а значит загрязнения почвы;
- небольшие размеры установки и возможность ее расположения вблизи дома.

Есть и некоторые недостатки подобного способа очистки стоков. Системы глубокой очистки энергозависимы и довольно дороги, в отличие от простейших септиков. Это, впрочем, не касается септиков с биофильтрами, которые дороги, но уступают аэротанкам в эффективности.

К недостатку можно отнести необходимость более частой, по сравнению с септиками, очистки резервуара – 3-5 раз в месяц. Однако откачка производится легко, с помощью установленного насоса и не требует найма ассенизационной техники. Кроме того, откачанные фракции могут использоваться в качестве удобрений.

#### **Список литературы:**

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stroypryam.ru> (Дата обращения 12.07.2014)
2. Локальные очистные сооружения [Электронный ресурс]. URL: <http://ekoline.do.am/> (дата обращения 3.08.2014)
3. SeptikLand [Электронный ресурс]. URL: <http://septikland.ru/> (дата обращения 13.09.2014)
4. АСВ - Инжиниринг [Электронный ресурс]. URL: <http://www.i-septik.ru/> (дата обращения 13.09.2014)

## **КОНДЕНСАЦИОННЫЙ ВОДОГРЕЙНЫЙ КОТЕЛ ДЛЯ НУЖД ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Кулешов М.И., канд. техн. наук, доц.,  
Кожевников В.П., канд. техн. наук, доц.,  
Губарев А.В., инженер**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В сопоставлении с большинством европейских стран Российская Федерация аргументировано может быть отнесена к странам с холодным климатом. В связи с этим, а также в связи со значительным количеством различного рода теплопотребителей в нашей стране на нужды теплоснабжения (отопления и горячего водоснабжения) жилых, общественных и промышленных объектов ежегодно расходуется около 190 млрд. м<sup>3</sup> природного газа, что более, чем в 1,5 раза превышает расход этого вида топлива на производство электроэнергии, и равно 41% от суммарного потребления газа [1].

Суммарная стоимость природного газа и других видов топлива, расходуемых на цели теплоснабжения, в последние годы приближается к 1 трлн. рублей в год. Сокращение затрат топлива на нужды теплоснабжения хотя бы на несколько процентов обусловит экономию, составляющую десятки миллиардов рублей в год.

В настоящее время в Российской Федерации превалирующую роль в теплоснабжении потребителей различного назначения играют централизованные системы, в которых источником теплоснабжения многих объектов теплопотребления являются сравнительно крупные котельные, ориентированные, чаще всего, исключительно на отопительную тепловую нагрузку. Коэффициент полезного действия, определенный по низшей теплотворной способности топлива, теплогенерирующих установок тепловых источников таких систем обычно не превышает 91%. При определении эффективности этих же теплогенераторов по высшей теплоте сгорания топлива, величина КПД составляет порядка 78...80%, а потери теплоты с уходящими газами, соответственно, около 20%.

Существенными недостатками централизованных систем теплоснабжения являются наличие внешних тепловых сетей большой протяженности, тепловые потери в которых могут достигать 20%, а также сложность регулирования отпуска тепловой энергии, в результате которой часто имеет место несоответствие количества вырабатываемого

тепла его фактическому потреблению. Последнее обстоятельство обуславливает дополнительно потери до 15% вырабатываемой в тепловом источнике теплоты.

Таким образом, общие потери тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения составляют порядка 50%. Поэтому в настоящее время в нашей стране наблюдаются тенденции постепенного перехода от централизованного теплоснабжения с тепловым источником в отопительной или производственно-отопительной котельной большой или средней мощности к автономному теплоснабжению. Необходимо отметить, что в данной статье не рассматриваются централизованные системы теплоснабжения с тепловым источником в теплоэлектроцентрали, так как в таких системах тепловая энергия является продукцией, сопутствующей выработке основной продукции (электрической энергии), и ее генерация осуществляется для повышения эффективности ТЭЦ.

В развитых европейских государствах растет доля использования в тепловом источнике теплогенерирующих установок конденсационного типа, КПД которых, определяемый по высшей теплоте сгорания топлива, может достигать величины 95%. При этом в таких странах как Бельгия, Великобритания, Германия законодательно запрещено вводить в эксплуатацию для покрытия нужд теплоснабжения водогрейные котлы, в которых не предусмотрена конденсация водяного пара, входящего в состав продуктов горения топлива.

Сотрудниками кафедры энергетики теплотехнологии БГТУ им. В.Г. Шухова разработана конструкция конденсационного водогрейного котла (КВК) с раздельной выработкой воды на отопление и горячее водоснабжение. Конструкция котла, а также его отдельные узлы защищены рядом патентов (около 15) Российской Федерации. Принципиальная схема КВК представлена на рис. 1.

Отличительной особенностью таких котлов является наличие двух циркуляционных контуров. В первом контуре – радиационной части (РЧ), выполняемой по аналогии с наиболее эффективными типами жаротрубно-дымогарных водогрейных котлов, производится выработка горячей воды на цели отопления, а во втором контуре – контактно-рекуперативной части (КРЧ) – выработка теплоносителя на нужды горячего водоснабжения.

Представленный котел работает следующим образом. Топливо смешивается с воздухом посредством горелочного устройства, и смесь подается в топку (жаровую трубу), где и происходит сгорание природного газа. Продукты сгорания, покидая жаровую трубу снизу,

поворачивают в поворотной камере на 180°, поступают в U-образные дымогарные трубы и, пройдя их, попадают в адиабатную часть [2,3]. При этом продукты сгорания отдают теплоту нагреваемой в радиационной части воде на нужды отопления.

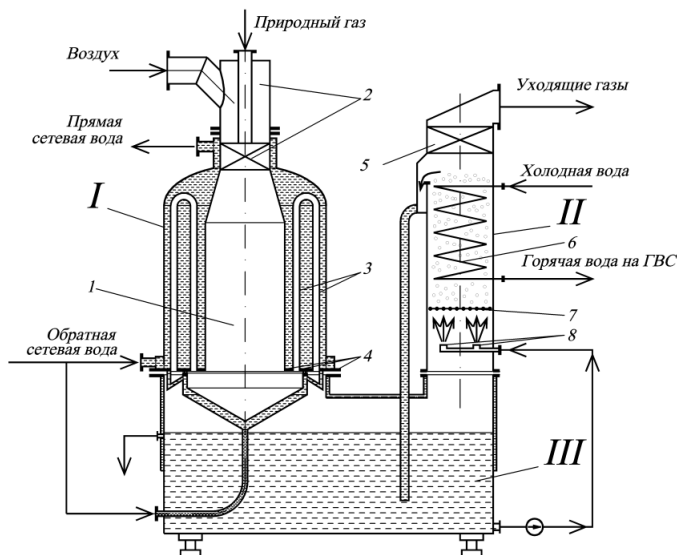


Рисунок 1 – Схема конденсационного водогрейного котла (КВК):  
 I – радиационная часть (РЧ); II – контактно-рекуперативная часть (КРЧ); III – адиабатная часть (АЧ); 1 – жаровая труба; 2 – горелка; 3 – дымогарные трубы; 4 – трубная доска; 5 – каплеуловитель; 6 – трубный пучок КРЧ; 7 – опорно-распределительная решетка; 8 – форсунки

Продукты сгорания природного газа, сжигаемого в топке РЧ, покидают радиационную часть с температурой значительно более высокой, чем температура уходящих газов на выходе из традиционно используемых в системах теплоснабжения водогрейных котлов. Это обстоятельство обеспечивает увеличение средней разности температур между теплоносителями по сравнению традиционными котлами. Кроме того, коэффициент теплопередачи в РЧ принимает максимально возможные значения, что обусловлено максимальными величинами коэффициента теплоотдачи от газов к поверхности теплообмена (за счет высоких значений радиационной составляющей теплопереноса).

В адиабатной (АЧ) части продукты сгорания проходят через факелы диспергированного конденсата, увлажняются и частично

охлаждаются. При этом газы захватывают капли конденсата и выносят их на опорно-распределительную решетку, над которой происходит инверсия фаз: если под решеткой газ был сплошной фазой, а жидкость – дисперсной, то над решеткой жидкость становится сплошной фазой, а газ – дисперсной фазой, распределенной в виде струй и пузырьков в жидкости. Эта двухфазная струйно-барботажная система газ-жидкость характеризуется развитой поверхностью контакта, высокими значениями относительных скоростей фаз, развитой турбулентностью потока, что в совокупности обуславливает высокую эффективность теплообмена между газовой и жидкой фазами. Газы адиабатно охлаждаются до термовлажностного равновесия, которое наступает при температуре мокрого термометра.

В межтрубном пространстве теплота газов передается конденсату и от последнего – через стенки труб – нагреваемой воде, проходящей последовательно по нескольким горизонтальным рядам труб противотоком по отношению к восходящему двухфазному потоку газ-конденсат в струйно-барботажном режиме. Над трубным пучком скорость газа уменьшается, конденсат отбрасывается в карманы и по опускным трубам возвращается в бак конденсата. Проходя через каплеуловитель, газ освобождается от капель конденсата и охлажденным, а также с существенно сниженным влагосодержанием удаляется из КРЧ.

Общее топливосбережение при установке в объекте теплопотребления водонагревателей с раздельной выработкой тепла на отопление и горячее водоснабжение составляет 45...50% за счет повышения КПД непосредственно теплогенератора, исключения внешних тепловых сетей (и тепловых потерь в них), повышения адекватности выработки теплоты нуждам потребителей в течение суток в любое время года.

С целью проверки соответствия основных расчетных характеристик котла фактическим параметрам, определяющим КПД теплогенератора, а также соответствия температур нагреваемых теплоносителей требованиям регламентирующих документов Российской Федерации был создан стенд испытаний пилотного образца конденсационного водогрейного котла, принципиальная схема которого приведена на рис. 2.

Тепловая нагрузка радиационной части исследуемого котла составляла порядка 75%, а контактно-рекуперативной части – порядка 25% от общей тепловой производительности агрегата.

В этом испытательном стенде теплообменник 2, в котором охлаждается отопительная вода, движущаяся в замкнутом контуре, является имитатором системы отопления. Водо-водяной подогреватель 3 используется для регулирования соотношения теплоты, направляемой системой на покрытие отопительной нагрузки и нагрузки на горячее водоснабжение.

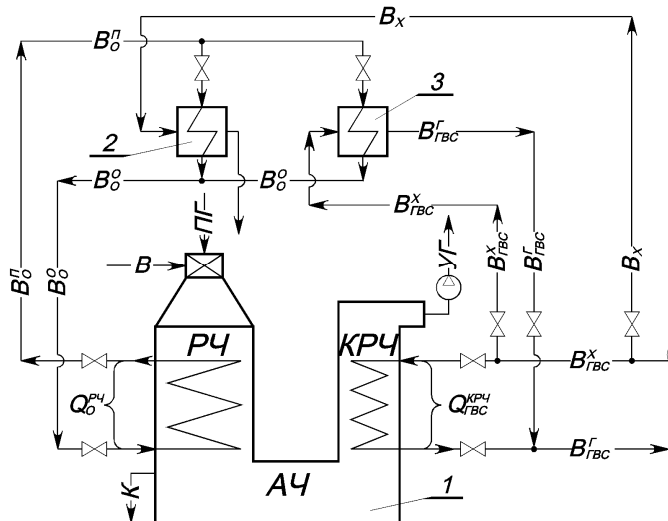


Рисунок 2 – Принципиальная схема испытательного стенда КВК: 1 – конденсационный водогрейный котел (КВК); 2 – теплообменник охлаждения отопительной воды; 3 – водо-водяной подогреватель – бойлер; РЧ – радиационная часть; КРЧ – контактно-рекуперативная часть; АЧ – адиабатная часть; ПГ – природный газ; В – воздух; В<sub>х</sub> – охлаждающая вода; В<sup>0</sup><sub>о</sub>, В<sup>п</sup><sub>о</sub> – отопительная вода обратная и прямая, соответственно; В<sup>х</sup><sub>ГВС</sub>, В<sup>Г</sup><sub>ГВС</sub> – вода на горячее водоснабжение холодная и горячая, соответственно; УГ – уходящие газы; К – конденсат;  $Q_{0}^{РЧ}$ ,  $Q_{ГВС}^{КРЧ}$  – теплота, вырабатываемая в радиационной и контактно-рекуперативной частях, соответственно

Работа экспериментального стенда осуществляется следующим образом. Межтрубное пространство РЧ конденсационного водогрейного котла, а также теплообменников 2 и 3 заполняется умягченной водой. В

отопительном контуре стенда при этом организована постоянная циркуляция греющего теплоносителя. Трубное пространство КРЧ конденсационного водогрейного котла находится под постоянным расходом водопроводной воды. Охлаждение отопительной воды в теплообменниках 2 и 3 осуществляется посредством направления в их трубное пространство холодной водопроводной воды  $V_x$  и  $V_{ГВС}^x$ . Вода, нагретая в подогревателе 3, в последующем смешивается с потоком воды, нагреваемой в КРЧ, и так же, как и вода, нагреваемая в теплообменнике 2, во время испытаний сбрасывается в канализацию.

В процессе испытаний после организации вышеуказанной циркуляции теплоносителей в топочную камеру КВК подавались топливо и воздух. После выхода на установившийся режим работы производились замеры давлений участвующих в процессе сред, расходов природного газа, нагреваемых теплоносителей и конденсата, генерируемого в контактно-рекуперативной части котла, а также температур продуктов горения после РЧ, уходящих газов, отопительной воды и воды на нужды ГВС на входе в котел и на выходе из него. Затем производилось изменение нагрузки котла путем увеличения или уменьшения расхода топлива, производились необходимые регулировочные мероприятия и процедура измерений повторялась. Измерения расходов, температур и давлений всех теплоносителей, указанных на рис. 2, производились соответствующими приборами, прошедшими поверку.

Основные расчетные и измеренные параметры, определяющие эффективность топливосберегающего конденсационного водогрейного котла, приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из табл. 1, измеренные в ходе испытаний характеристики конденсационного водогрейного котла весьма близки расчетным значениям, а температуры нагреваемых теплоносителей соответствуют требованиям регламентирующих документов.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают, что при использовании децентрализованных систем теплоснабжения с установкой в качестве теплогенератора топливосберегающего конденсационного водогрейного котла, разработанного в БГТУ им. В.Г. Шухова, существенно (почти в 2 раза) уменьшается расход природного газа на цели отопления и горячего водоснабжения жилых, общественных и промышленных объектов. Кроме того, повышается надежность систем теплоснабжения, что весьма необходимо, поскольку эти системы входят в число наиболее



важных систем жизнеобеспечения, снижается в 3,5–4 раза себестоимость потребляемого тепла [4].

Следует отметить, что предлагаемая работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, ГК № 16.516.11.6146 от 07 октября 2011 года, направление реализации ФЦП – энергетика и энергосбережение, приоритетное направление – энергосбережение, плановое финансирование проекта – 14 млн. руб. Результаты работы были доложены и получили одобрение на экспертной комиссии Минобрнауки РФ.

Таблица 1 – Основные расчетные и фактические технические параметры КВК

| № п/п | Наименование параметра   | Единицы измерений  | Величины параметров  |  |
|-------|--|--------------------|--|--|
|       |  |                    | расчетные  | фактические  |
| 1     | Расход природного газа   | нм <sup>3</sup> /ч | 23,5   | 11,0–23,28   |
| 2     | Коэффициент избытка воздуха                                    | –                  | 1,1  | 1,09–1,14  |
| 3     | Температура отопительной воды:<br>прямой/обратной              | °С                 | 95/60  | (75–105)/(50–65)                                       |
| 4     | Температура уходящих газов (после КРЧ)                         | °С                 | 35   | 20–45  |
| 5     | Температура воды для ГВС начальная/конечная                    | °С                 | ~10/55   | ~10/(40–64)* <sup>1</sup>                              |
| 6     | Температура продуктов горения после РЧ и перед КРЧ             | °С                 | 250 ( $Q_{\Sigma}=43\%$ )<br>370<br>( $Q_{\Sigma}=100\%$ ) | 177 ( $Q_{\Sigma}=46\%$ )<br>340 ( $Q_{\Sigma}=97\%$ ) |
| 7     | Доля тепла, полезно усваиваемая в КРЧ                          | %                  | 22,6   | 18,3–19,65   |
| 8     | Потери тепла с уходящими газами                                | %                  | 3,88   | 1,74–6,4   |
| 9     | Тепловой КПД по высшей теплоте сгорания топлива * <sup>2</sup> | %                  | 96,12  | 98,26–93,6   |
| 10    | Расход генерируемого конденсата при номинальной нагрузке       | л/ч                | ~30  | ~30  |
| 11    | Габариты:<br>длина×ширина×высота                               | м                  | 1,1×1,0×2,2  | 1,1×1,0×2,2  |
| 12    | Масса  | кг                 | 460  | 460  |

\*<sup>1</sup> По действующим нормам и ГОСТ РФ температура воды для ГВС регламентируется 55–60°С;

\*<sup>2</sup> Учитывались только потери тепла с уходящими газами В настоящее время на кафедре энергетика и теплотехнологии проводятся работы по

созданию последующего варианта КВК, который отличается пониженной металлоемкостью, более дешевой технологией, большей ремонтпригодностью и, как следствие, меньшей стоимостью и, соответственно, большей конкурентоспособностью.

#### **Список литературы:**

1. Герасимова О.А. Повышение энергоэффективности системы теплоснабжения здания столовой БГТУ им. В.Г. Шухова: дис.... магистра техники и технологии. Белгород, 2011. 143 с.
2. Губарев А.В., Кулешов М.И. Варианты компоновки радиационной части конденсационного водогрейного котла // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 1. С. 182-184.
3. Пат. 2378582 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 24 Н 1/00. Водогрейный котел / Кулешов М.И., Кожевников В.П., Губарев А.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». – № 2008143024/06; заявл. 29.10.08; опубл. 10.01.10, Бюл. № 1. – 14 с.
4. Стенд и некоторые результаты испытаний топливосберегающего конденсационного водогрейного котла / В.П. Кожевников, М.И. Кулешов, А.В. Губарев, П.А. Трубаев, А.А. Погонин, А.А. Мочалин, М.О. Фейгельман // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 182-184.

Таблица 2 Изменение энтальпии продуктов сгорания в РЧ и КРЧ и энтальпия уходящих газов

| № п/п | Расход природного газа<br>$B$<br>$\frac{\text{нм}^3/\text{ч}}{\% \text{ от } B_{\text{ном}}}$ | Температура продуктов сгорания    |                              | Коэффициент избытка воздуха<br>$\alpha$ | Энтальпия газов после КРЧ по $Q_{\text{в}}^{\text{с}}$<br>$I_{\text{Г5}}$<br>$\frac{\text{кДж}/\text{кг}_{\text{с.г}}}{\% \text{ от } I_{\text{ад}}}$ | Изменение энтальпии газов по $Q_{\text{в}}^{\text{с}}$ |  |
|-------|---|-----------------------------------|------------------------------|---|---|--|--|
|       |   | между РЧ и КРЧ<br>$t_{\text{Г3}}$ | после КРЧ<br>$t_{\text{Г5}}$ |   |   | в КРЧ<br>$\Delta I_{\text{крч}}$                       | в РЧ<br>$\Delta I_{\text{рч}}$   |
|       |   | °С                                | °С                           |   |   | –  | $\frac{\text{кДж}/\text{кг}_{\text{с.г}}}{\% \text{ от } I_{\text{ад}}}$ |
| 1     | $\frac{11,00}{46,81}$   | 177                               | 20                           | 1,09                                    | $\frac{56,0}{1,7}$  | $\frac{530,5}{16,5}$                                   | $\frac{2633,5}{81,8}$  |
| 2     | $\frac{13,00}{55,32}$   | 227                               | 22                           | 1,12                                    | $\frac{63,0}{2,0}$  | $\frac{578,7}{18,0}$                                   | $\frac{2578,3}{80,0}$  |
| 3     | $\frac{15,86}{67,49}$   | 277                               | 44                           | 1,14                                    | $\frac{196,5}{6,1}$   | $\frac{504,7}{15,7}$                                   | $\frac{2518,8}{78,2}$  |
| 4     | $\frac{16,81}{71,53}$   | 286                               | 28                           | 1,23                                    | $\frac{87,0}{2,7}$  | $\frac{594,9}{18,5}$                                   | $\frac{2538,1}{78,8}$  |
| 5     | $\frac{22,31}{94,94}$   | 335                               | 45                           | 1,08                                    | $\frac{206,5}{6,4}$   | $\frac{594,4}{18,5}$                                   | $\frac{2419,1}{75,1}$  |
| 6     | $\frac{21,70}{92,34}$   | 323                               | 41                           | 1,10                                    | $\frac{169,5}{5,2}$   | $\frac{607,3}{18,9}$                                   | $\frac{2443,2}{75,9}$  |
| 7     | $\frac{22,03}{93,74}$   | 329                               | 40                           | 1,08                                    | $\frac{161,0}{5,0}$   | $\frac{631,9}{19,6}$                                   | $\frac{2427,1}{75,4}$  |
| 8     | $\frac{23,28}{99,06}$   | 361                               | 40                           | 1,09                                    | $\frac{161,0}{5,0}$   | $\frac{670,7}{20,8}$                                   | $\frac{2388,3}{74,2}$  |
| 9     | $\frac{23,50}{100,00}$  | 370                               | 35                           | 1,10                                    | $\frac{125,0}{3,9}$   | $\frac{805,0}{25,0}$                                   | $\frac{2289,5}{71,1}$  |

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ МОДУЛЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРУЗКИ КОВША КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Потапенко А.Н., канд. техн. наук, доц.,  
Гайдуков К.Ю., аспирант,

Потапенко Е.А., канд. техн. наук, доц.  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

При добыче полезных ископаемых открытым способом, после взрывных работ в карьере, производится выемка и погрузка взорванной породы при помощи одноковшовых экскаваторов. Общий вид оборудования и основных механизмов карьерного одноковшового гусеничного экскаватора представлен на рисунке 1.

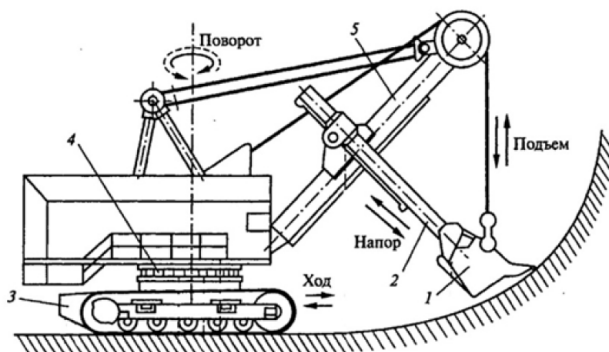


Рисунок 1 – Механическое оборудование экскаватора: 1 – ковш; 2 – рукоять; 3 – ходовая тележка; 4 – поворотная платформа; 5 – стрела

Для молниезащиты карьерных экскаваторов следует применять тросовые молниеприемники, расположенные над объектом [1].

Погрузка совершается в автосамосвалы и думпкары – грузовые вагоны для перевозки и автоматической выгрузки породы. При разгрузке экскаватора, открывается дно ковша и порода обрушивается в вагон думпкара. Перевозимая порода бывает различна и неоднородна, это могут быть и твердые горные породы и мягкие породы такие как глина и песок. При одинаковом объеме они имеют различный вес и это необходимо учитывать при загрузке думпкаров, которые имеют

определенную грузоподъемность (например, при добыче железной руды используются думпкары грузоподъемностью 105 тонн), что бы не перегрузить вагоны. Так же стоит заметить ударное воздействие породы при загрузке, резкий сброс тяжелой породы или кома мягкой породы может привести к повреждениям думпкара. Таким образом возникает необходимость определения массы загружаемой породы.

В настоящее время, чаще всего масса пород определяется при помощи взвешивания груженных думпкаров на специальных платформах-весах. То есть уже после загрузки думпкара.

Так же, существует методика определения массы породы в думпкаре аналитическим методом, используя корреляционную зависимость между площадью продольного сечения, выступающей над уровнем борта части насыпи, и массой породы, загруженной в думпкар. Однако этот метод сложен и не точен, за счет разнородности пород и различной степени разрыхления [2].

Существуют и методы определения массы породы непосредственно в ковше экскаватора. Например, по усилию в двуногой стойке. В каждом рабочем цикле при повороте на выгрузку и при повороте в забой отслеживаются и запоминаются на время данного цикла одновременно положение ковша и усилие в двуногой стойке. Определение массы грунта в ковше производится путем сравнения усилий в двуногой стойке до выгрузки и после нее. Тарировка тензOMETрической точки производится при вертикально расположенных подъемных канатах и горизонтально расположенной рукоятки карьерного гусеничного экскаватора [3].

Так же существует методика основанная на использовании модели экскаватора. При работе экскаватора происходит автоматическое и непрерывное измерение эталонной величины при помощи модели рабочего оборудования экскаватора, следящей за текущими положениями груженого ковша экскаватора. При работе экскаватора груз модели экскаватора в каждый текущий момент занимает то же положение, что и груженный ковш экскаватора в пространстве, и создает усилие в подъемном канате, пропорциональное действию массы порожнего ковша экскаватора, воспринимаемое измерителем. Другой измеритель в эти же моменты измеряет усилие в подъемном канате экскаватора, пропорциональное действию массы груженого ковша. При вычитании выходных сигналов измерителей получают усилие в подъемном канате, пропорциональное действию массы материала, транспортируемого ковшом экскаватора или любом положении его в пространстве. Полученное усилие сравнивают с усилием в подъемном

канате модели, пропорциональном массе уже известного груза, и по соотношению этих усилий определяют массу материала, транспортируемую ковшем экскаватора.

А так же известна методика определения массы ковша заключающийся в определении текущего значения величины вектора положения ковша в пространстве и определение параметра, характеризующего массу ковша путем изменения усилия в подъемном канате [4].

Недостатком данных способов является их сложность и неточность, особенно при моделировании, из-за отсутствия полного соответствия между моделью и реальным оборудованием, а так же требуют использования сложного дорогостоящего оборудования.

Однако, применение электропривода в измерительном модуле позволяет создать наименее сложную и точную систему для определения массы ковша экскаватора. Рассмотрим на примере двигателя постоянного тока, применяемого по системе генератор-двигатель в механизме подъема экскаватора ЭКГ-10.

Как известно, при вращательном движении мощность определяется следующим образом:

$$P = M \cdot \omega; \quad (1)$$

где:  $P$  – мощность на валу двигателя;  $M$ – момент силы на валу двигателя;  $\omega$  – угловая скорость.

Момент силы для двигателя можно описать следующим выражением:

(2)

где:  $M_{\text{нагр}}$  – момент силы, создаваемый нагрузкой;  $J$  – приведенный момент инерции двигателя.

Зависимость угловой скорости от момента на валу двигателя имеет следующий вид:

$$\omega = \frac{U \cdot C - M R_{\text{я}}}{C^2}; \quad (3)$$

где:  $U$  – напряжение на обмотке якоря;  $C$  – конструктивный коэффициент;  $R_{\text{я}}$  – сопротивление цепи якоря.

Таким образом, масса породы в ковше будет создавать дополнительный нагрузочный момент  $M_{\text{нагр}}$ , что исходя из (2) повлияет

на момент на валу двигателя  $M$ , и соответственно повлияет на значение  $\omega$ , по (3).

На основании осциллограмм напряжений и токов в приводах механизма подъема, снятых во время работы экскаватора, были получены нагрузочная диаграмма и тахограмма движения для данного привода (см. рис.2 и рис.3 соответственно).

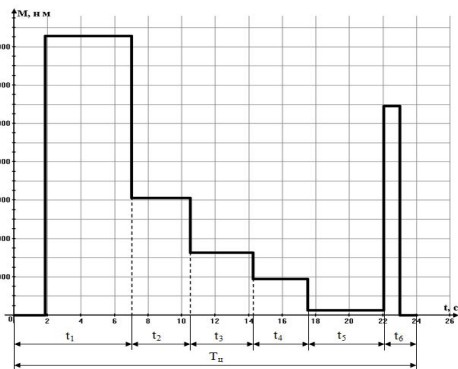


Рисунок 2 – Нагрузочная диаграмма привода механизма подъема

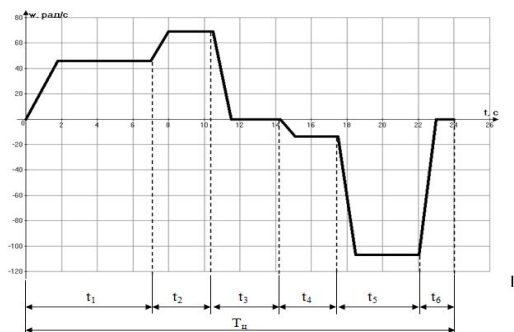


Рисунок 3 – Тахограмма движения привода механизма подъема

По оси абсцисс отложены следующие временные отрезки:  $t_1$  – копание (черпание грунта или породы),  $t_2$  – поворот,  $t_3$  – разгрузка,  $t_4$  – разворот,  $t_5$  – опускание в забой,  $t_6$  – подхват,  $T_{ц}$  – время рабочего цикла экскаватора.

Во время поворота – участок  $t_2$  происходит удержание полного ковша, то есть не происходит ни опускания, ни подъема ковша. Как видно из графиков, и момент и угловая скорость на этом участке остаются постоянными. В этот момент и будет производиться измерение

числа оборотов двигателя, которые соотносятся с угловой скоростью следующим образом:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (4)$$

где  $n$  – число оборотов вала двигателя.

Таким образом, взяв простую систему измерения числа оборотов двигателя, можно использовать ее как датчик для «интеллектуального» измерительного модуля, который на основании эмпирических зависимостей сможет точно рассчитывать массу породы в ковше, вне зависимости от неоднородности. Следует отметить, что предлагаемый «интеллектуальный» модуль измерения массы материала в ковше экскаватора в динамическом отношении будет описываться, как это предложено в [5], а именно, с учетом применения электроприводов в измерительном модуле в условиях определения уровня загрузки мельниц.

#### Список литературы:

1. Потапенко А.Н., Штифанов А.И., Потапенко Т.А. Математические модели и вычислительные эксперименты распределённых тросовых молниевыводов для электроэнергетических систем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 135-139.
2. Висенте Карлос Бауте Жоаким. Разработка методов учета объема горной массы и продуктов ее переработки применительно к условиям разработки месторождения Намапа (Мозамбик): автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.15.01); Криворожский технический университет, 1997. 23 с.
3. Хусаинов В.Г. Обоснование и расчет эргономических показателей карьерных гусеничных экскаваторов производства ОАО "УРАЛМАШ": автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.05.06); ГОУ ВПО "Уральский государственный горный университет", 2006. 24 с.
4. База патентов: Способ определения массы ковша экскаватора-драглайна [Электронный ресурс] - режим доступа: <http://patentdb.su/4-861485-sposob-opredeleniya-massy-kovsha-ehkskavatora-draglajjna.html>
5. Семилетов Н.А., Потапенко А.Н., Сибирцева Н.Б. Особенности применения электроприводов в «интеллектуальном» модуле измерения уровня загрузки мельниц // Вістник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. Х.: НТУ «ХПІ». 2013. № 36 (1009). С. 280-281.



## РАЗРАБОТКА ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ БИОГАЗА

**Рамазанов Р.С., магистрант,  
Суслов Д.Ю., канд. техн. наук, доц.,  
Кушев Л.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В Российской Федерации принята «Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия», что привело к резкому увеличению количества животноводческих и птицеводческих предприятий, требующих эффективного и стабильного энергообеспечения [1]. Основным видом топлива для энергообеспечения сельскохозяйственных предприятий является природный газ, наиболее эффективный и экологически чистый источник энергии [2,3].

Одним из перспективных и эффективных направлений в энергообеспечении сельскохозяйственных предприятий является производство и применение возобновляемого источника энергии – биогаза [4].

Биогаз состоит из 50-80% метана, 20-50% углекислого газа, а также незначительного количества других газов (сероводорода, азота, кислорода, водорода, аммиака) [5,6].

Так как содержание метана в биогазе составляет всего лишь 60% от общего объема газовой смеси, а газовые горелки большинства приборов рассчитаны для горения природного газа с содержанием метана более 90%, то имеется необходимость в проведении исследований по разработке газовых горелок для сжигания биогазового топлива.

Разработана газовая горелка бытовой газовой плиты для сжигания биогаза. Общий вид горелки представлен на рис. 1, разрез – на рис. 1.

Газовая горелка содержит: газопровод 1 расположенный вертикально, на который насажено средство турбулизации воздуха 2, таким образом, чтобы поверхность верхнего торца газопровода совпадала с поверхностью верхнего торца средства турбулизации; форсунку 3 установленную в центре верхнего торца газопровода; регулятор подачи первичного воздуха, состоящий из подвижного элемента 4а, выполненного в виде хомута, который соединён болтом и гайкой с неподвижной рамкой 4б. При этом подвижный элемент насаживается на воздуховод 5, который является продолжением корпуса 6, а неподвижная рамка фиксируется на газопроводе. При этом

форсунка направлена внутрь корпуса и немного выступает над верхней частью воздуховода. Корпус, за счёт расположенного по периметру его верхней части бортика, опирается на панель плиты 7. Сверху на корпус установлена конфорка 8. Щелевое отверстие 9 расположено между корпусом и конфоркой. Внутри конфорки размещена трубка Вентури 10. На верхней части конфорки установлена крышка 11, повторяющая форму контура конфорки.

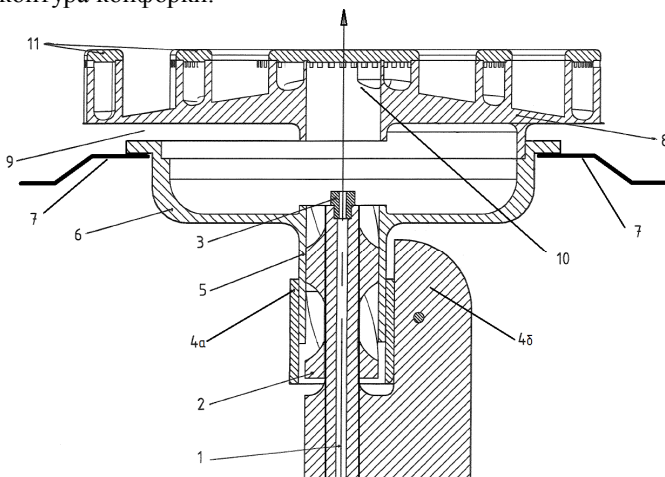


Рисунок 1 – Разрез газовой горелки:

- 1 – газопровод; 2 – средство турбулизации воздуха; 3 – форсунка;
- 4а – подвижный элемент; 4б – неподвижная рама; 5 – воздуховод;
- 6 – корпус; 7 – панель плиты; 8 – конфорка; 9 – щелевое отверстие;
- 10 – трубка Вентури; 11 – крышка

Принцип работы газовой горелки состоит в следующем: при включении подачи газа в газопровод 1 подаётся газ и через форсунку 3 проходит во внутреннее пространство корпуса 6, установленного на панели плиты 7, смешивается с первичным воздухом, который одновременно завихряется проходя, за счёт эжективного подсосывания, через вытянутое пространство, образованное воздуховодом 5, средством турбулизации воздуха 2 и частично, подвижным элементом 4а регулятора подачи первичного воздуха, который соединён с неподвижной рамкой 4б. При этом повышение подачи первичного воздуха происходит за счёт перемещения подвижного элемента регулятора подачи первичного воздуха вверх относительно

неподвижной рамки, а понижение подачи – перемещением вниз. Далее к образованной во внутреннем пространстве корпуса газозвдушной смеси подмешивается вторичный воздух, поступающий из специального щелевого отверстия 9. После этого, образованная газозвдушная смесь поступает в выпускное отверстие трубки Вентури 10 и далее, проходя по пространству внутри двух спиральных ветвей, выходящих из одного центра, следует для последующего воспламенения через прорези равномерно расположенные по внешним участкам контура верхней части конфорки 8, ограниченной крышкой 11. Образующееся пламя за счёт формы конфорки имеет более равномерное поле распределения, что обеспечивает повышение тепловой мощности данной горелки.

При использовании биогаза различного состава необходима подача такого количества воздуха, которое обеспечивает оптимальное сгорание газо-воздушной смеси, образованной в результате смешения используемого газа с подаваемым воздухом. Применение регулятора подачи первичного воздуха, установленного у основания воздуховода, позволяет изменять площадь отверстия для подачи первичного воздуха и соответственно регулировать расход первичного воздуха при использовании биогаза с различным содержанием метана.

Таким образом, предлагаемая газовая горелка позволяет повысить тепловую мощность при использовании биогаза различного состава. Также предлагаемая газовая горелка характеризуется высокой эффективностью работы, относительной простотой изготовления, стабильностью горения пламени.

#### **Список литературы:**

1. Постановление Правительства Российской Федерации. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы: утвержден постановлением Правительства от 14 июля 2012 г. № 717.
2. Суслов Д.Ю. Разработка системы газоснабжения сельскохозяйственного предприятия с использованием биогаза // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 183-186.
3. Шеремет Е.О., Семенов А.С. Альтернативные схемы газоснабжения сельскохозяйственных предприятий // Современные наукоёмкие технологии. 2014. № 7-2. С. 67-68.
4. Евстуничев М.А., Ильина Т.Н. Особенности сырьевой базы Белгородской области для производства биогаза // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 170-173.

5. Suslov D. Yu., Kushchev L. A. Biogas technology – a contemporary method for processing organic wastes // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2010. Т. 46. № 5. С. 308-311.
6. Костромин, Д. В. Анаэробная переработка органических отходов животноводства в биореакторе с барботажным перемешиванием: дис... канд. техн. наук: 05.20.01. Йошкар-Ола, 2010. 183 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СЖИГАНИЯ БИОГАЗА**

**Сулов Д.Ю., канд. техн. наук, доц.,  
Кушев Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Рамазанов Р.С., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Белгородская область является одним из лидеров Российской Федерации по развитию сельского хозяйства. На территории области находится большое количество животноводческих и птицеводческих предприятий, поставляющих 50% сельскохозяйственной продукции центрального федерального округа страны [1]. В то же время возникают проблемы, связанные с утилизацией органических отходов предприятий агропромышленного комплекса.

Одним из перспективных методов решения этих проблем является применение установок по производству биогаза [2-4].

Биогаз представляет собой смесь, состоящую из 50-80% метана, 20-50% углекислого газа, 1% сероводорода, а также незначительного количества некоторых других газов (азота, кислорода, водорода, аммиака, и др.) [5].

Основным способом применения биогаза является превращение его в источник тепловой, механической и электрической энергии. Энергия биогаза применима для вентиляции, отопления, производства пара и горячей воды, освещения, приготовления пищи и работы двигателей внутреннего сгорания.

Сжигание биогаза в газовых горелках бытовых газовых плит является наиболее простым из вариантов его использования.

Известно, что метан является основным горючим компонентом биогаза и природного газа. Из чего следует, что использование стандартного газового оборудования, работающего на природном газе, возможно и для сжигания биогаза. Однако высокое содержание диоксида углерода в составе биогаза требует дополнительного исследования процесса его сжигания и разработки специального газогорелочного оборудования.

Нами была разработана экспериментальная установка для получения биогаза и его сжигания, схема которой представлена на рис.1. В основу разработки была положена экспериментальная установка получения биогаза с барботажным реактором [6].

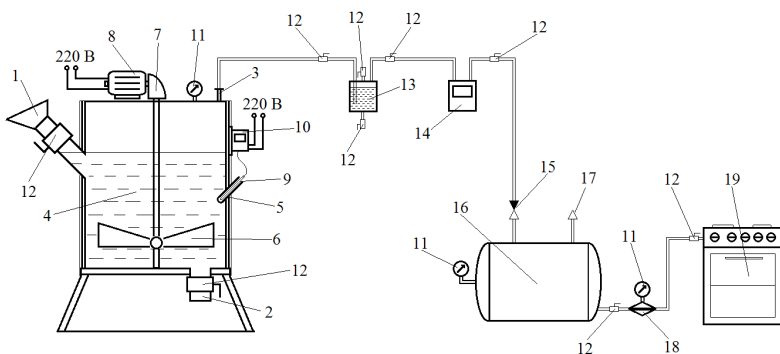


Рисунок 1 – Схема установки:

- 1 – патрубок загрузки исходного субстрата; 2 – патрубок слива биомассы; 3 – патрубок выхода биогаза; 4 – биореактор; 5 – патрубок размещения термометра и датчика температуры; 6 – механическая мешалка; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель; 9 – термометр; 10 – регулятор температуры; 11 – манометр; 12 – кран шаровый; 13 – фильтр; 14 – счётчик газовый; 15 – обратный клапан; 16 – газгольдер; 17 – предохранительный сбросной клапан; 18 – регулятор давления; 19 – бытовая газовая плита.

Представленная выше экспериментальная установка включает в себя IV основные группы элементов:

I – биореактор с системой обогрева и перемешивания биомассы;

II – узел очистки и учёта биогаза;

III – система хранения и регулирования давления биогаза;

IV – прибор газопотребления;

Биореактор 4 представляет собой цилиндрическую ёмкость объемом 150 л. Конструкция биореактора включает в себя следующие элементы: патрубок загрузки исходного субстрата 1, патрубок слива биомассы 2, патрубок выхода биогаза 3, патрубок 5 для размещения термометра и датчика температуры, термометр 9, манометр 11, механическую мешалку 6 с электроприводом 8 и систему подогрева. Система подогрева состоит из нагревательного кабеля длиной 17 м и мощностью 250 Вт, расположенного на наружной стенке биореактора, регулятора температуры 10 и датчика температуры, помещенного вместе с термометром 9 в патрубок 5. Механическая система перемешивания состоит из лопастей 6, редуктора 7 и привода электродвигателя 8.

Фильтр 13 представляет собой прямоугольную емкость с патрубками для сброса конденсата и биогаза. Содержащийся в газе конденсат оседает в нижней части фильтра и удаляется с помощью шарового крана 12 через нижний патрубок. В качестве прибора учета расхода получаемого биогаза установлен счетчик газовый диафрагменный 14 типа ВК-Г 4Т.

Сбор и хранение биогаза осуществляется в газгольдере 16. Газгольдер представляет собой металлическую ёмкость объёмом 100 л с установленными на ней показывающим манометром 11 для проверки величины избыточного давления и предохранительным сбросным клапаном (ПСК) 17, который обеспечивает автоматический сброс газа в атмосферу при изменении давления в газгольдере, недопустимом для безопасной и нормальной работы газоиспользующего и газового оборудования. Для снижения давления и поддержания его на заданном уровне принят регулятор давления 18 марки РДГК-10.

В качестве газоиспользующего оборудования используется бытовая четырёхконфорочная газовая плита «Россиянка» 19 тепловой мощностью 12,5 кВт.

Экспериментальная установка для получения биогаза и его сжигания работает следующим образом: биореактор заполняется до определённого уровня, поступающим из патрубка загрузки исходным субстратом. При достижении определённого уровня заполнения подача субстрата прекращается и шаровый кран, установленный на патрубке загрузки исходного субстрата герметично закрывается. Далее в биореакторе осуществляется процесс поддержания оптимальных технологических параметров, необходимых для жизнедеятельности анаэробных метанобразующих бактерий. Данный процесс обеспечивается поддержанием оптимальной температуры с помощью системы подогрева, а также перемешиванием биомассы внутри биореактора за счёт периодической работы механической мешалки. В результате анаэробной ферментации выделяется биогаз, который собирается в верхней части биореактора. Далее образовавшийся биогаз протекает по системе трубопроводов, очищается фильтром, проходит через счётчик, в котором производится учёт расхода газа. После чего газ поступает через установленный на газопроводе обратный клапан в газгольдер. При повышении давления в газгольдере избыток газа автоматически сбрасывается предохранительным сбросным клапаном в атмосферу. Из газгольдера по отводу газ проходит через регулятор давления, в котором происходит понижение давления газа до низкого – 2 кПа, далее газ поступает непосредственно на бытовую газовую плиту.

На разработанной экспериментальной установке планируется проведение исследований, включающих два этапа.

Целью первого этапа является экспериментальное исследование процесса получения биогаза при анаэробной ферментации органических отходов КРС. Целью второго этапа исследований является изучение процесса горения биогаза с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$ .

Проведение запланированных экспериментальных исследований на разработанной установке позволит определить оптимальные технологические параметры процесса получения биогаза и разработать газогорелочное оборудование для эффективного сжигания биогаза.

#### **Список литературы:**

1. Белгород. Биогаз и биогазовые станции. Анализ и реализованные проекты [Электронный ресурс] // Портал-энерго: [портал]. 2009–2014. URL: - <http://portal-energo.ru/articles/details/id/700> (дата обращения 01.03.2014).
2. Орлова Ю.А. Применение биогазовых станций для энергоснабжения производственных систем // Вестник МГТУ «Станкин». 2013. №1(19). С. 44-46.
3. Суслов Д.Ю. Разработка системы газоснабжения сельскохозяйственного предприятия с использованием биогаза // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 183-186.
4. Шеремет Е.О., Семенов А.С. Альтернативные схемы газоснабжения сельскохозяйственных предприятий // Современные наукоёмкие технологии. 2014. № 7-2. С. 67-68.
5. Гюнтер Л.И., Гольдфрах Л.Л. Метантенки. М.: Стройиздат, 1991. 128с., ил.
6. Суслов Д.Ю. Экспериментальные исследования процесса получения биогаза в барботажных биореакторах / Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2013. Т. 4. № 34. С. 1471-1475.



## РАЗРАБОТКА РЕАКТОРА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА С КОМБИНИРОВАННЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Сулов Д.Ю., канд. техн. наук, доц.,

Темников Д.О., студент

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Одним из основных условий эффективного протекания процесса анаэробной ферментации в биогазовых установках является перемешивание биомассы [1-2]. Происходящее при этом равномерное распределение взвешенных органических частиц, концентрации питательных веществ и температуры способствует интенсификации биохимических процессов образования биогаза [3].

В настоящее время для перемешивания биомассы применяются механические и барботажные системы [4-6]. Недостатком барботажных устройств является низкая эффективность перемешивания высоковязких и густых субстратов, вследствие чего уменьшается эффективность процесса получения биогаза.

Для высоковязких субстратов целесообразно использовать механические мешалки лопастного типа, однако при их работе на поверхности биомассы наблюдается образование корки, которая препятствует выходу биогаза и замедляет процесс анаэробной ферментации.

Решение этих проблем возможно за счет использования системы перемешивания комбинированного типа. Разработан биореактор с перемешивающим устройством комбинированного типа, производящим механическое и барботажное перемешивание (рис. 1).

Биореактор для получения биогаза содержит корпус 1, внутри которого расположено перемешивающее устройство, состоящее из лопастей 2, жестко закрепленных на полой валу 3. Лопасти 2, выполненные в виде полых трубок, сечение которых уменьшается, отдаляясь от вала, и имеющие в поперечном сечении крестообразную форму, снабжены отверстиями 4. Полая вал 3 соединен с калорифером 5. Биореактор также снабжен патрубком ввода исходного субстрата 7, для ввода питательной среды, газовым патрубком 6, для отвода газа и патрубком-отводом 8, для отвода готовой продукции. Емкость 1 снабжена теплообменной рубашкой 9, электродвигателем 10.

Биореактор работает следующим образом.

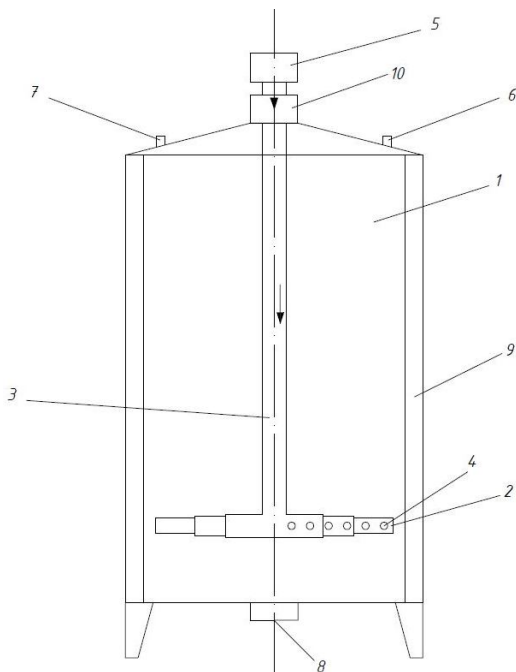


Рисунок 1 – Реактор получения биогаза:

1 – корпус; 2 – лопасти мешалки; 3 – вал; 4 – отверстия для выхода газа; 5 – калорифер; 6 – патрубок выхода газа; 7 – патрубок ввода исходного субстрата; 8 – выходной патрубок; 9 – теплообменная рубашка; 10 – электродвигатель

Корпус 1 заполняют исходным субстратом через патрубок 7, по окончании процесса отферментированная среда выводится через патрубок 8. Полюй вал 3 с лопастями 2 приводится во вращение, за счет электродвигателя 10. Подогретый в калорифере 5 аэрирующий газ при температуре 40-45°C нагнетается через полюй вал 3 в лопасти 2 и выходит через отверстия 4 в бродильную массу, в следствии этого биомасса нагревается до оптимальной температуры 35-40°C, выдерживается в корпусе 1 до полной переработки в готовое экологически чистое удобрение. Биогаз выходит в верхнюю часть корпуса 1 и через газовый патрубок 6 поступает для дальнейшего потребления, при этом часть объема газа возвращается в калорифер 5.

Таким образом, интенсивное перемешивание и поддержание оптимальных параметров температуры биомассы позволяет повысить интенсивность, стабильность и полноту биохимических процессов в биореакторе, а так же обеспечить более высокий выход биогаза и экологически чистого удобрения.

#### **Список литературы:**

1. Биркин С.М., Антонов Н.М. Обоснование применения биогазовых установок на животноводческих фермах и комплексах // Вестник КрасГАУ. 2009. №5. С. 156-158.
2. Suslov D.Yu., Kushchev L.A. Biogas technology – a contemporary method for processing organic wastes // Chemical and Petroleum Engineering. 2010. Т. 46. № 5. С. 308-311.
3. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. М.: Химия, 1981. 812 с., ил.
4. Костромин Д.В., Медяков А.А., Яблонский Р.В. Биогазовая установка для исследования каталитических и барботажных процессов при анаэробной переработке органических отходов в АПК // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. №2 (26). С. 1-5.
5. Суслов Д.Ю. Экспериментальные исследования процесса получения биогаза в барботажных биореакторах / Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2013. Т. 4. № 34. С. 1471-1475.
6. Karim K., Klasson K.T., Hoffmann R., Drescher S.R., DePaoli D.W., and Al-Dahhan, M.H. 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing. *Bioresource Technology*, 96(14), 1607-1612.

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ШВОВ НА ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КЛАДКИ ИЗ КЕРАМЗИТОВЫХ БЛОКОВ**

**Сухорослова В.В., студент,**

**Трубаев П.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время для возводимых зданий установлены требования по их энергоэффективности. Теплозащитные характеристики ограждающих конструкций определяются в первую очередь их термическим сопротивлением. Однако существует ряд трудностей по определению этого показателя, связанные с высокой стоимостью оборудования, необходимостью наличия определенных погодных условий, присутствием человеческого фактора и др.

Анализ теплопередачи с помощью программы THERM позволяет оценить энергетическую эффективность изделия (стены, окна, полов, крыши и двери) и локальные температуры образца, позволяющие решить вопросы, связанные с конденсацией, влажностью материала изделия и его герметичностью.

Двумерный анализ теплопередачи программы THERM основан на методе конечных элементов, который может моделировать сложные конфигурации строительных конструкций. Графический интерфейс программы позволяет рисовать поперечные сечения конструкций или их компонентов для последующего теплотехнического расчета. Для создания поперечных сечений имеется возможность трассировки импортированных файлов в DXF или растровом формате, или непосредственное вычерчивание геометрии конструкции по известным размерам. Каждое поперечное сечение представляется комбинацией многоугольников. Пользователь задаёт свойства материалов для каждого многоугольника и условия среды окружающей рассчитываемую конструкцию, определяя тем самым граничные условия, окружающие поперечное сечение. После задания модели, дальнейшие шаги расчета (создание расчетной сетки и расчет теплопередачи) выполняются автоматически. Пользователь может просматривать результаты расчета в различной форме, включая термическое сопротивление, коэффициент теплопередачи, изотермы, векторы теплового потока, и локальные температуры [1,2].

Исследование термического сопротивления проведены на примере кладки из керамзитобетонных блоков, соединённых между собой

цементно-песчаным раствором с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,76$  Вт/(м·К) [3]. Граничными условиями моделирования теплопередачи являются температура наружного воздуха в зимнее время ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) и температура внутри помещений ( $22^{\circ}\text{C}$ ) в соответствии с ГОСТ 30494-96.

В процессе работы был произведен анализ влияния на термическое сопротивление таких параметров, как коэффициент теплопроводности, способ укладки блоков относительно друг друга, толщины цементно-песчаного раствора.

Для исследования термического сопротивления стен из керамзитобетонных блоков были выбраны три образца различной плотности. Коэффициенты теплопроводности этих выбранных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты теплопроводности керамзитобетона [2]

| Плотность $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup> | Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К) |
|--|---|
| 500                                    | 0,17  |
| 800                                    | 0,24  |
| 1200                                   | 0,44  |

На рисунке 1 представлены различные способы укладки керамзитобетонных блоков. Размеры блоков для каждой модели принимались одинаковыми, соответствующими стандартным параметрам  $390 \times 190 \times 188$ . Так как модель является двумерной, определяющими размерами являются ширина (190 мм) и длина (390 мм) образца.

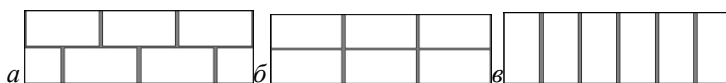


Рисунок 1 – Методы укладки керамзитобетонных блоков:

*a* – вариант №1; *б* – вариант №2; *в* – вариант №3

Немалую роль в моделировании процесса теплопередачи и определении термического сопротивления стены играет толщина цементно-песчаного раствора, расположенного между блоками. На рисунке 2 представлены результаты расчета термического сопротивления, основанного на интеграции всех параметров.

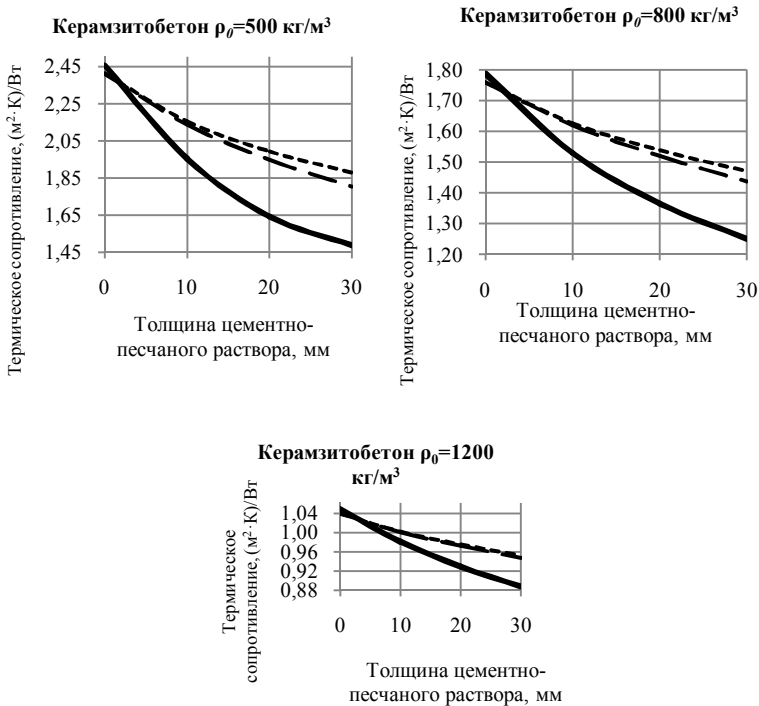


Рисунок 2 – Зависимость термического сопротивления стены из керамзитобетонных блоков различной плотности от толщины цементно-песчаного раствора

Методы укладки керамзитобетонных блоков (рис.1):

--- вариант №1; -.- — вариант №2; — — вариант №3

Особое влияние толщины цементно-песчаного раствора на термическое сопротивление присутствует для первого варианта укладки керамзитобетонных блоков. Отклонения значений термического сопротивления стены по толщине представлены в табл. 2.

Кроме термического сопротивления результатами теплотехнического расчета в программе THERM могут выступать:

- изотермы (рис.3);
- изображение векторов теплового потока;
- цветные линии теплового потока (рис.4);

- температуры (локальное и среднее число, максимум и минимум).

Таблица 2 – Изменение значений термического сопротивления при увеличении толщины цементно-песчаного раствора от 0 мм до 30 мм

| Материал  | Отклонение в зависимости от метода укладки блоков, % |            |            |
|---|--|------------|------------|
|   | Вариант №1   | Вариант №2 | Вариант №3 |
| Керамзитобетон $\rho_0=500$<br>кг/м <sup>3</sup>  | 39   | 35         | 22         |
| Керамзитобетон $\rho_0=800$<br>кг/м <sup>3</sup>  | 30   | 18         | 16         |
| Керамзитобетон $\rho_0=1200$<br>кг/м <sup>3</sup> | 15   | 9          | 8          |

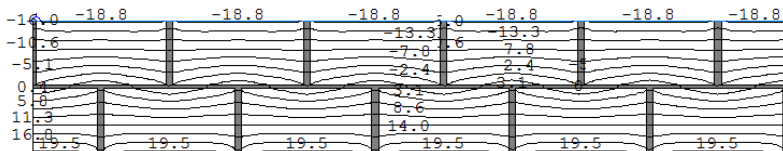


Рисунок 3 – Распределение температур по изотермам внутри моделируемой стены (вариант №1)

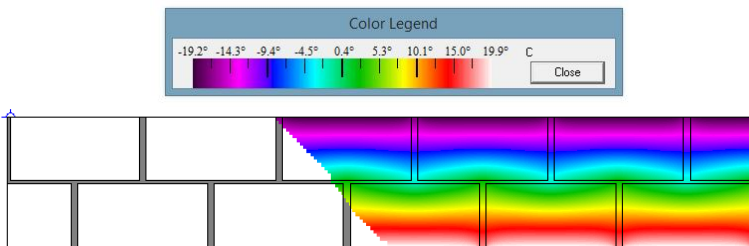


Рисунок 4 – Цветовые линии теплового потока внутри стены (вариант №1)

**Выводы.** На термическое сопротивление кладки значительное влияние оказывает толщина шва. Наиболее сильно это влияние имеет место при укладке блоков с низким коэффициентом теплопроводности. Таким образом на теплозащитные свойства ограждающих конструкций кроме свойств строительных материалов значительное влияние оказывает качество строительных работ.

### **Список литературы:**

1. THERM 6.3 / WINDOW 6.3. NFRC Simulation Manual. Lawrence Berkeley National Laboratory, December 2011. 370 p.
2. Huizenga C., D. K. Arasteh, E. Finlayson, R. Mitchell, B. Griffith, and D. Curcija. 1999. «Teaching Students About Two-Dimensional Heat Transfer Effects in Buildings, Building Components, Equipment, and Appliances Using THERM 2.0.» ASHRAE Transactions 1999, 105(2): 488-502.
3. Строительные нормы и правила: СНиП 23.02.03. Тепловая защита зданий: нормативно-технический материал. Москва: Минрегион России, 2012. 118 с.



## **СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Тарасюк П.Н., аспирант,  
Трубаев П.А., д-р техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций является основным показателем теплозащиты зданий, его минимальное требуемое значение установлено строительными нормативами. При проектировании тепловой защиты зданий и сооружений используются расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий. Фактические значения теплопроводности материалов ограждающих конструкций в эксплуатируемых зданиях может значительно отличаться от расчетных в связи с повышенной влажностью и износом строительных конструкций, из-за недостаточного качества строительных материалов и работ [3,4].

В работе рассматриваются результаты измерения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий г. Москвы и г. Белгорода в натуральных условиях с целью сопоставления их фактических теплотехнических характеристик с расчетными (проектными) значениями.

Измерения проводились прибором ИТП-МГ4.03/10 «Поток» в течение нескольких дней в отопительный период с интервалом в 10 минут. Измерения и расчеты сопротивления теплопередаче  $R$  выполнялись согласно нормативной и технической литературе [1,2].

Работа велась несколько лет и были сделаны ряд измерений в разных зданиях и городах.

### **Торгово-офисное здание комбинированной конструкции**

Серия замеров была проведена в офисном комплексе с паркингом, 2012 года постройки, расположенном в г. Белгороде. Измерения проводились для ограждающих конструкций трех типов в точках А, Б, В.

#### ***Точка А. Покрытие подземного паркинга***

Покрытие подземного паркинга, на верхней стороне которого расположена открытая площадка, имеет толщину 0,7...0,9 м и состоит из следующих слоев: тротуарная плитка – 0,08м; цементно-песчаная смесь – 0,04 м; два слоя линохрома – 0,006 м; керамзитобетон – 0,1 м;

керамзит – 0,1...0,3 м; пленка ЮТАФОЛ – 0,001 м; цементно-песчаная выравнивающая стяжка – 0,2 м; железобетонная монолитная плита покрытия и профлист – 0,15 м. Проектное значение сопротивление теплопередаче покрытия 1,802 (м<sup>2</sup>·К)/Вт. Расчётное значение ниже из-за замены утеплителя IZOVOL 50 мм на керамзитовую засыпку толщиной 0,1-0,3 м и составляет 1,1...1,6 (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

Для измерений на внутренней поверхности покрытия были установлены два датчика потока совместно с двумя датчиками температур – один на оцинкованном профлисте (во внутренней части волны), второй – на ребре металлической балки. Также был установлен датчик температуры внутреннего воздуха. Датчик температуры с наружной стороны покрытия установить не удалось, поэтому в расчетах использовалась температура наружного воздуха, которая принималась по данным прибора, установленного в точке Б. Результаты представлены на рис 1.

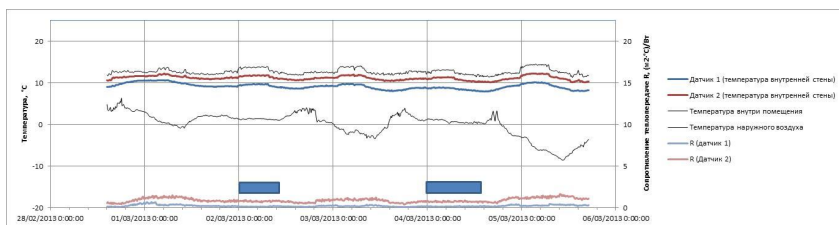


Рисунок 1 – Изменение показаний датчиков и расчетное термическое сопротивление стены в каждый момент замеров точки А

Для расчета сопротивления теплопередаче были выбраны два стационарных периода (СП), обозначенных на графике. Результаты расчета приведены в табл. Показания датчика 1 в расчете среднего значения не использовались, так заниженная величина теплового потока, измеренная датчиком, вызвана, скорее всего, наличием воздушного зазора под гофрированным листом.

### **Точка Б. Сэндвич-панель**

Панель производства компании Белпанель представляет плиты толщиной 0,12 м из минераловатного утеплителя, заключенного между оцинкованными листами. Внутри панель обшита гипсокартоном.

При измерениях на внутренней поверхности покрытия были установлены два датчика потока совместно с двумя датчиками температур, для каждого датчика потока также была установлен температурный датчик на наружной поверхности стены. Установлены

датчики температуры наружного и внутреннего воздуха. Результаты измерений представлены на рис 2.

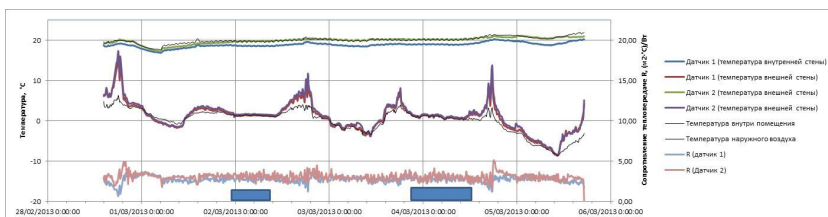


Рисунок 2 – Изменение показаний датчиков и расчетное термическое сопротивление стены в каждый момент замеров точки А

Для расчета сопротивления теплопередаче были выбраны два стационарных периода, обозначенных на графике.

**Точка В. Кирпичная стена с вентилируемым фасадом**

Ограждающая конструкция выполнена из кладки из силикатного кирпича толщиной 0,5 м, утеплена 0,1 м минераловатного утеплителя. На стене установлен вентилируемый фасад. Проектное значение сопротивления теплопередаче 3,082 (м<sup>2</sup>·K)/Вт, расчётное значение ниже из-за замены пустотелого силикатного кирпича на обычный.

На внутренней поверхности стены были установлены два датчика потока совместно с двумя датчиками температур. Также был установлен датчик температуры внутреннего воздуха. Датчик температуры с наружной стороны стены установить не удалось из-за отсутствия сквозного канала для вывода провода термодпары, поэтому в расчетах использовалась температура наружного воздуха, которая принималась по данным прибора, установленного в точке Б. Результаты измерений представлены на рис 3.

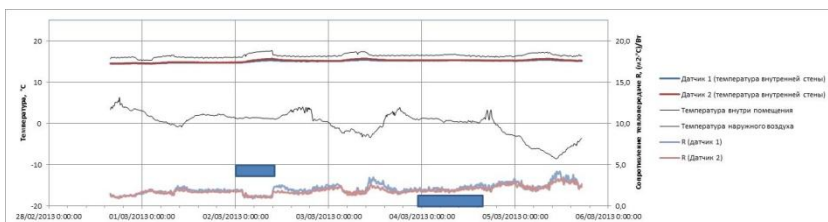


Рисунок 3 – Изменение показаний датчиков и расчетное термическое сопротивление стены в каждый момент замеров точки А

Для расчета сопротивления теплопередаче были выбраны два стационарных периода, обозначенных на графике.

Результаты расчета приведены в табл. 1 и 2. Среднее значение определялось по четырем значениям сопротивления теплопередачи, полученным с двух датчиков два различных стационарных периода.

Таблица 1 – Результаты замеров сопротивления теплопередаче, ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт

| Наименование         | Термическое сопротивление $R_k + R_n$ |       |       | Сопротивление теплопередаче $R_0$ |        |        |
|----------------------|---------------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|--------|--------|
|                      | А                                     | Б     | В     | А                                 | Б      | В      |
| Точка замера         | А                                     | Б     | В     | А                                 | Б      | В      |
| Датчик 1 (первый СП) | 0,161*                                | 2,774 | 1,875 | –                                 | 2,9420 | 2,0431 |
| Датчик 1 (второй СП) | 0,151*                                | 2,777 | 2,056 | –                                 | 2,9460 | 2,2247 |
| Датчик 2 (первый СП) | 0,786                                 | 3,120 | 1,698 | 0,911                             | 3,2887 | 1,8662 |
| Датчик 2 (второй СП) | 0,738                                 | 3,026 | 1,890 | 0,836                             | 3,1946 | 2,0587 |
| Среднее значение     | 0,76                                  | 2,92  | 1,88  | 0,89                              | 3,09   | 2,05   |

\* Результаты при расчете не учитывались

Таблица 2 – Сравнение сопротивления теплопередаче, ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт

| Точки замеров | По данным замеров | Расчетное (проектное) значение | Нормативное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по СНиП 23-02-2003 |
|---------------|-------------------|--------------------------------|--|
| А             | 0,89              | 1,1...1,6 (1,802)              | 3,78*; 3,31**  |
| Б             | 3,09              | 3,08                           | 2,86   |
| В             | 2,05              | 2,871 (3,082)                  | 2,86   |

\* Покрытия и перекрытий над проездами.

\*\* Перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что ограждающие конструкции, слои которых монтируются в процессе строительства, имеют фактическое сопротивление теплопередачи ниже расчетного. Ограждающие конструкции, изготавливаемые в заводских условиях, соответствуют своим техническим характеристикам.

### **Серии замеров в офисных и жилых зданиях**

В таблице 3 сведены остальные результаты замеров с описанием конструкции точек замеров и назначении зданий.

Как видно из табл. 3 фактические значения термического сопротивления однородных ограждающих конструкций соответствует расчетному. Для многослойных конструкций фактическое сопротивление теплопередаче ниже расчетного.

Таблица 3 – Сравнение сопротивления теплопередаче, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт

| Описание здания, год постройки                              | Описание и толщина ограждающих конструкций  | Сравнение сопротивления теплопередаче, ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт |                       |             |
|---|---|--|-----------------------|-------------|
|   |   | По данным замеров  | Расчетное (проектное) | Нормативное |
| Административное четырехэтажное здание (1985 г.), г. Москва | Керамзитобетон толщиной 500 мм  | 2,0  | 1,9                   | 2,56        |
| Шестизэтажное административное здание (1902 г.), г. Москва  | Кирпичная кладка из красного кирпича толщиной от 700 до 800 мм                        | 1,32   | 1,26                  | 2,56        |
| Трехэтажное административное здание (1953г.), г. Москва     | Кладка из красного кирпича толщиной 600 мм  | 0,93   | 0,9                   | 2,56        |
| Трехэтажный жилой дом (2010 г.), г. Белгород                | Газосиликатные блоки, вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем (0,67 м).      | 4,87   | 6,44                  | 2,86        |
| Двухэтажное административное здание (2012 г.), г. Белгород  | Керамические крупноформатные поризованные блоки, и минераловатный утеплитель (0,76 м) | 3,45   | 3,81                  | 2,45        |

### Выводы

Ограждающие конструкции, имеющие монтируемый в процессе строительства слой утеплителя, имеют фактическое сопротивление теплопередачи ниже расчетного. Ограждающие конструкции, выполненные в виде кладки из кирпичей или блоков, а также собираемые в заводских условиях, по теплозащитным характеристикам соответствуют своим заявленным свойствам.

### Список литературы:

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М., 2012. 96 с.
2. ГОСТ 26254-84 (1994). Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. М.: Стройиздат, 1994. 34 с.
3. Малявина Е.Г. Теплопотери здания. М.: АВОК, 2007. 144 с.
4. Табунщиков Ю.А. Бродач М.М. Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: М: Авок-Пресс, 2003. 200 с.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ

**Филатов В.И., генеральный директор**  
*ООО "Белгородский институт альтернативной энергетики"*

Проблема полного уничтожения или частичной утилизации отходов – актуальна, прежде всего, с точки зрения отрицательного воздействия на окружающую среду, особенно в городских условиях. С одной стороны, отходы – это богатейший источник вторичных ресурсов (в том числе черных, цветных и редких металлов), а с другой стороны – «бесплатный» энергоноситель, так как бытовой мусор – возобновляемое углеродсодержащее энергетическое сырье для топливной энергетики [1].

На сегодняшний день, основным способом утилизации более 95% образующихся в России отходов является их захоронение на полигонах.

Исторически сложилось, что одним из наиболее распространенных методов обезвреживания твердых бытовых отходов является складирование их на полигонах. Однако подходящие для этого площади непрерывно сокращаются, а расходы по сбору, доставке и захоронению непрерывно возрастают. Кроме того, грунтовые и поверхностные воды размывают и растворяют суспензированные вещества из отходов и продуктов их биологического разложения. Происходит также выделение газообразных продуктов разложения отходов в атмосферу [2].

Существуют различные методы обезвреживания отходов помимо их захоронения в грунте на свалках: предварительная сортировка; санитарная земляная засыпка; компостирование: аэробное и анаэробное компостирование; термические методы утилизации отходов [3].

В данной обзорной статье рассмотрим подробно некоторые существующие методы термической утилизации отходов.

### **Жидкофазное окисление**

Метод жидкофазного окисления («мокрое» сжигание, метод Циммермана) используют для обезвреживания жидких отходов и осадков сточных вод. Суть метода состоит в окислении кислородом воздуха органических и элементов органических примесей сточной воды при температурах 150-350°C и давлении 2-28 МПа.

При низкой концентрации окисляющихся примесей в сточной воде (менее 3%), соответствующей теплоте сгорания менее 0,84 МДж/кг, тепловыделение недостаточно для покрытия потребностей установки в

тепловой и механической энергии. В этом случае паровой котел из схемы исключают, а мотор-генератор наряду с парогазовой турбиной используют в качестве электрического привода компрессора.

В диапазоне теплот сгорания сточной воды 0,84-1,68 МДж/кг (концентрация окисляющихся примесей 3-6%) процесс обеспечен тепловой и частично механической энергией. При теплоте сгорания выше 1,68 МДж/кг (т.е. концентрации примесей более 6%) значительная часть воды превращается в пар; при этом энергия парогазовой смеси полностью покрывает потребности установки в тепловой и механической энергии, а часть энергии может быть использована для выработки электроэнергии и пара [4].

Основное преимущество жидкофазного окисления перед другими термическими методами состоит в меньших затратах энергии на процесс, поскольку сточная вода подвергается лишь частичному испарению, а пары не перегреваются до высоких температур (как, например, при огневом методе). Однако этому методу присущ и ряд недостатков: высокая стоимость и сильная коррозия оборудования; образование накипи на поверхностях нагрева теплообменников, усложняющее эксплуатацию установок; неполное окисление некоторых химических веществ; невозможность обезвреживания сточных вод с высокой теплотой сгорания; необходимость доочистки сильно минерализованных сточных вод; высокие требования к эксплуатации установок и квалификации обслуживающего персонала.

### **Гетерогенный катализ**

Метод гетерогенного катализа применяют для обезвреживания газообразных отходов (термокаталитическое окисление, термокаталитическое восстановление) и жидких отходов (парофазное каталитическое окисление).

Термокаталитическое окисление используют для обезвреживания газообразных отходов с низкой концентрацией горючих примесей, когда применение других термических методов связано с большими расходами топлива. Процесс окисления на катализаторах осуществляют при температурах ниже температур самовоспламенения горючих составляющих отходов. При использовании активных катализаторов процесс окисления идет при 250-400°C. Температура начала реакции окисления зависит в основном от природы окисляющихся примесей и активности катализатора. Наиболее низкие температуры начала реакции окисления характерны для катализаторов из металлов платиновой группы, а наиболее высокие – для оксидов металлов (алюминия, меди, хрома, марганца, кобальта и др.) и некоторых природных руд (боксит,

пирролюзит). Применение дешевых катализаторов с высокой температурой начала реакции окисления (менее активных) приводит к увеличению габаритов установок и повышенному расходу топлива, необходимого для поддержания более высокого температурного режима окисления [5].

К основным достоинствам каталитического окисления относятся большая производительность установок, высокая полнота окисления примесей – до 99,8% [6], низкие удельные затраты энергии. Методу присущи все перечисленные выше недостатки и ограничения, которые характерны для термокаталитического обезвреживания газообразных отходов.

Серьезным недостатком метода является быстрая дезактивация катализатора при наличии в парогазовой смеси капельной влаги, содержащей растворенные минеральные соединения.

Ввиду ограниченных возможностей метод каталитического окисления пока не нашел широкого применения для обезвреживания промышленных сточных вод.

### **Газификация отходов**

Газификация предназначена для переработки твердых, жидких и пастообразных отходов с получением горючего газа, смолы и шлака. Газификацию осуществляют на воздушном, паровоздушном и парокислородном дутье в механизированных шахтных газогенераторах с вращающимися колосниковыми решетками и твердым шлакоудалением; в газогенераторах с псевдоожженным слоем; в шахтных газогенераторах с фурменной подачей дутья и жидким шлакоудалением (горновой метод).

Переработка отходов газификацией имеет следующие преимущества по сравнению с методом сжигания: получаемые горючие газы могут быть использованы в качестве энергетического и технологического топлива, в то время как при сжигании практически возможно только энергетическое использование теплоты отходов (получение водяного пара или горячей воды); получаемая смола может быть использована как жидкое топливо и как химическое сырье; сокращаются выбросы золы и сернистых соединений в атмосферу [7].

Процесс газификации пригоден для переработки ограниченного числа отходов, причем только дробленых, сыпучих, газопроницаемых. Пастообразные, крупногабаритные твердые отходы, плавящиеся при низких температурах и подобные отходы трудно перерабатывать методом газификации.



## **Пиролиз отходов**

Существуют следующие разновидности метода: окислительный пиролиз с последующим сжиганием пиролизных газов; сухой пиролиз.

Окислительный пиролиз – это процесс термического разложения отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива. Окислительный пиролиз является одной из стадий процесса газификации. Газообразные продукты разложения отходов смешиваются с продуктами сгорания топлива или части отходов, поэтому на выходе из реактора они имеют низкую теплоту сгорания, но повышенную температуру. Затем смесь газов сжигают в обычных топочных устройствах. В процессе окислительного пиролиза образуется твердый углеродистый остаток (кокс), в то время как твердый остаток процесса газификации является минеральным продуктом (зола и шлак). В дальнейшем кокс можно использовать в качестве твердого топлива или в других целях.

Сухая перегонка (сухой пиролиз) – это метод термической переработки отходов, обеспечивающий их высокоэффективное обезвреживание и использование в качестве топлива и химического сырья, что способствует созданию безотходных и малоотходных технологий и рациональному использованию природных ресурсов. Под сухим пиролизом понимают процесс термического разложения отходов, твердого и жидкого топлива без доступа кислорода. В результате сухого пиролиза отходов образуются пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток. Количество и качество продуктов сухого пиролиза зависят от состава отходов и температуры процесса. В зависимости от температуры различают три вида сухого пиролиза:

- низкотемпературный пиролиз, или полукоксование (450-550°C), при котором максимален выход жидких продуктов и твердого остатка (полукокса) и минимален выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания;

- среднетемпературный пиролиз, или среднетемпературное коксование (до 800°C), при котором выход газа увеличивается при уменьшении его теплоты сгорания, а выход жидких продуктов и коксового остатка уменьшается;

- высокотемпературный пиролиз, или коксование (900-1050°C), при котором минимален выход жидких продуктов и твердо то остатка и максимален выход пиролизных газов с минимальной теплотой сгорания.

Исследования процессов сжигания, окислительного и сухого пиролиза различных осадков сточных вод позволили установить, что

сухой пиролиз наиболее экономически эффективен и оказывает наименьшее влияние на окружающую среду [8]. Наиболее эффективным способом утилизации твердых органических отходов на современном уровне развития техники также признан пиролиз [9]. Однако в отношении целесообразности сухого пиролиза при сжигании твердых бытовых и некоторых промышленных отходов мнения специалистов расходятся [10]. Наиболее перспективным считают пиролиз специальных промышленных отходов, прямое сжигание которых затруднено, а также осадков сточных вод.

#### **Плазменный метод**

Плазменный метод применяют для обезвреживания жидких и газообразных отходов двумя путями: плазмохимической ликвидацией особо опасных высокотоксичных отходов; плазмохимической переработкой отходов с целью получения товарных продуктов [11].

Особо токсичные, канцерогенные и другие опасные отходы, на которые установлены жесткие нормы ПДК в воздухе, воде и почве, могут подвергаться обезвреживанию в струе плазмы [12]. При температурах выше 4000°C за счет энергии электрической дуги в плазмотроне молекулы кислорода и отходов расщепляются на атомы, радикалы, электроны и положительные ионы. При остывании в плазме протекают реакции с образованием простых соединений CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, HCl, HF, P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> и др. Отходящие из реактора газы перед выбросом в атмосферу необходимо очищать от кислот и ангидридов известными способами.

#### **Огневой метод**

Метод огневого обезвреживания и переработки жидких, твердых, пастообразных и газообразных отходов наиболее универсален, надежен и эффективен по сравнению с другими термическими методами. Сущность его заключается в сжигании горючих отходов или огневой обработке негорючих отходов высокотемпературными (более 1000°C) продуктами сгорания топлива. Токсичные компоненты подвергаются окислению, термическому разложению и другим химическим превращениям с образованием безвредных газов (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) и твердых остатков (оксидов металлов, солей).

Возможность полного превращения органических и окисляющихся неорганических примесей при высоких температурах в безвредные продукты полного горения обуславливает высокую санитарно-гигиеническую эффективность огневого метода обезвреживания. Указанная возможность реализуется при обеспечении определенных режимных параметров процесса – температуры в огневом реакторе,

удельной нагрузки рабочего объема реактора, дисперсности распыливания, аэродинамической структуры и степени турбулентности газового потока в реакторе и др.

В зависимости от типа отхода и способа обезвреживания огневой метод подразделяют на три типа: сжигание, огневой окислительный метод, огневой восстановительный метод. Сжигание отходов, способных гореть самостоятельно (горючих отходов) – наиболее простой и надежный метод их обезвреживания. Для обеспечения устойчивого процесса горения сжигание отходов осуществляют при температуре отходящих газов не ниже 1200-1300°C.

На практике негорючие отходы можно перевести в горючие. Например, негорючие газообразные отходы с высокой концентрацией горючих компонентов можно превратить в горючие и обезвредить их сжиганием, проведя специальные мероприятия для повышения их адиабатической температуры горения до 1400°C. К таким мероприятиям относятся подмешивание к газообразным отходам горючих газов с высокой теплотой сгорания: использование в качестве дутья технического кислорода или воздуха, обогащенного кислородом; предварительный подогрев газообразного отхода и окислителя.

Обогащение дутьевого воздуха кислородом возможно только при наличии на предприятии его производства. Обогащение газообразных отходов горючим газом оправдано лишь в тех случаях, когда теплота сгорания утилизируется, т.е. при использовании обогащенного газообразного отхода в качестве топлива в огнетехнических установках.

Наиболее целесообразным способом повышения адиабатической температуры горения отходов является их предварительный подогрев за счет теплоты отходящих из камеры сжигания дымовых газов. Иногда целесообразен и подогрев дутьевого воздуха. В этом случае можно обезвредить газообразные отходы автотермическим способом. При этом топливо потребуется только для запуска установки.

В огневом окислительном методе обезвреживания негорючих отходов их вводят в высокотемпературный поток продуктов сгорания топлива. При смешении газообразного отхода с дымовыми газами происходит его нагрев и окисление горючих компонентов за счет кислорода дымовых газов или кислорода, содержащегося в отходе. Процесс окисления обычно протекает как гомогенная объемная реакция, без формирования фронта пламени. Метод применяют для обезвреживания негорючих газообразных отходов с высокой концентрацией горючих примесей, а также во всех тех случаях, когда невозможно каталитическое окисление (наличие в отходах большого

количества пыли и водяных паров, трудно окисляющихся компонентов, каталитических ядов и др.).

Огневой восстановительный метод отличается от огневого окислительного проведением процесса обезвреживания (или только стадии огневой обработки) в восстановительной среде (при отсутствии свободного кислорода в печной атмосфере). Метод используют, например, при обезвреживании газообразных отходов, содержащих оксиды азота.

### **Вывод**

Несмотря на вышеперечисленные способы, не существует единого универсального метода утилизации отходов, удовлетворяющего современным требованиям экономики и ресурсосбережения. К сожалению, в России недостаточно разработана централизованная государственная система учета, сбора и использования вторичных ресурсов. При переходе к рыночной системе хозяйствования не были созданы условия, которые стимулировали бы утилизацию.

Только комбинация нескольких взаимодополняющих программ и мероприятий, а не одна технология (пусть даже самая современная), может способствовать эффективному решению проблемы утилизации отходов.

### **Список литературы:**

1. Пан Л.П. Экологические аспекты вторичных ресурсов цветных металлов // Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1996. С. 140-146.
2. Санитарная очистка городов от твердых бытовых отходов, под редакцией Александровской З.И. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.
3. Вацет Е.Г., Шпаков М.О., Тимофеева С.С. Отходы в доходы: способы переработки твердых бытовых отходов // Проблемы устойчивого развития общества / Тезисы докладов 2-й Всерос. конф. Иркутск, 23-28 апреля, 1997. Иркутск, 1997. С. 57-60.
4. Краснов Б.П. Очистка сточных вод методом жидкофазного окисления под давлением и при повышенной температуре: Обзорн. информ. Сер. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Вып. 5 (54). М.: ИИТЭХИМ, 1984. 16 с.
5. Техника защиты окружающей среды / Н.С. Торочешников, Л.И. Родионов, Н.В. Кельцев, В.Н. Клушин. М.: Химия, 1981. 368 с.
6. Проскураков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л.: Химия, 1977. 464 с.
7. Carnev P.J., Schaefer P.T. // Toxic and Hazardous Waste. Proc. 15th MidAtlant. Ind. Waste Conf., Boston c. a., 1983. p. 277-284.

8. Brack G.-P. // Bergbau, 1981. Bd. 32. N 9. S. 574-578.
9. Umwelt und Techn., 1982. M 4. S. 24-27.
10. Kasakura Tadao, Hiraoka Masakatsu // Water Res., 1982. V. 16. № 12. P. 1569-1575.
11. Thomanetz Erwin.f / Q. W. F. Gas / Erdgas, 1983. Bd. 124. N 8. S. 385-388.
12. Simonetti M.C. // Process Ind. Can., 1987. V. 71. N 2. P. 9.

## **КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В БЮДЖЕТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ**

**Ширрине К.Ж., аспирант,  
Трубаев П.А., д-р техн. наук, проф.**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Внедрение энергетического менеджмента – один из методов комплексного системного управления энергоэффективностью предприятия или организации. Внедрение систем эффективно не только на промышленных предприятиях, но и в бюджетных организациях на муниципальном и региональном уровне [1].

Низкая энергоэффективность, то есть неоправданный перерасход энергоресурсов в силу недостатка инвестиций, приводит к большим производственным издержкам, повышению стоимости продукции и снижению конкурентоспособности предприятий, а также повышению расходов на оплату коммунальных ресурсов для населения и бюджетных организаций [2]. Повышение энергоэффективности в системе управления предприятий, организаций или регионов является одним из приоритетных направлений на сегодня.

Системы энергетического менеджмента позволяют контролировать использование энергоресурсов и определять наиболее эффективные способы снижения их потребления.

Система энергоменеджмента (СЭнМ) комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, направленных на формирование энергетической политики, постановку целей и разработку мероприятий по достижению этих целей.

Энергоменеджмент является постоянно функционирующей системой, в отличие от энергоаудита, который проводится раз в пять лет для крупных потребителей [4,5]. А сам цикл функционирования системы энергоменеджмента составляет четыре этапа: 1) планирование; 2) реализация; 3) проверка; 4) развитие.

Эффект который возможно достичь благодаря системе энергоменеджмента в бюджетных учреждениях представляет собой:

- создание энергосберегающей культуры;
- мотивация экономного расходования топливно-энергетических ресурсов;

- принятие решений, основанных на данных измерений энергопотребления и анализа энергоэффективности;
- реализация программ энергосбережения и оценка эффективности их выполнения;
- предъявление повышенных требований к энергоэффективности закупаемых услуг и оборудования.

Функционирование системы энергетического менеджмента позволяет осуществлять и достигать следующие аспекты:

- оценить возможность применения международной нормативной базы в российских условиях;
- оценить структуру энергопотребления в бюджетных учреждениях для определения направлений внедрения энергоменеджмента;
- разработать структуру системы и шаблоны документации;
- разработать систему стимулирования сотрудников бюджетных учреждений.

Сам по себе Российский стандарт по внедрению систем энергоменеджмента ГОСТ Р 50001-2012 является дословным переводом международного стандарта, именно поэтому возник ряд расхождений с действующей российской нормативной базой. Что значительно затрудняет внедрение системы энергетического менеджмента в отечественных организациях.

## **1. СРАВНЕНИЕ РОССИЙСКОГО И МЕЖДУНАРОДНОГО СТАНДАРТОВ СИСТЕМ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА**

Разработка стандарта ISO 50001:2011 «Energy management systems – Requirements with guidance for use» («Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению»), подтверждающего функционирование предприятия или учреждения согласно заданным индикаторам энергоэффективности, основывалось на опыте более развитых стран и их национальных проектах, сумевших доказать свою действенность в вопросе энергосбережения. В основу международного стандарта были заложены методики стандартов сразу нескольких стран: США (ANSI/MSE 2000:2008), Южная Корея (KS A 4000:2007), Китай (GB/T 23331:20009), и общеевропейский стандарт энергоменеджмента EN 16001:2009. Внедрение систем энергоменеджмента на основе требований ИСО 50001 уже успело получить национальный статус в шестнадцати Европейских странах [6].

В России применяется отечественная система стандартизации, в которой ряд терминов и определений не совпадает с международной нормативной базой.

Можно выделить следующие различия в терминологии:

|   |  |
|---|--|
| <p><i>ГОСТ Р 50001-2012:</i><br/><b>Система энергоменеджмента</b> – основывается на энергополитике, целях, процессах и процедурах, и позволяет достигать эти цели</p> | <p><i>ГОСТ Р 53905-2010:</i> <b>Система энергетического менеджмента</b> – это комплекс мероприятий, направленных на автоматизацию энергоучета и рационального расхода ТЭР</p>  |
| <p><i>ГОСТ Р 50001:2012:</i><br/><b>Энергетическая эффективность:</b> взаимосвязь между результатом и потребленной энергией</p>                                       | <p><i>Федеральный закон № 261 - ФЗ:</i><br/><b>Энергетическая эффективность:</b> отношение полезного эффекта от использования энергии к её затратам</p>  |
| <p><i>ГОСТ Р 50001:2012:</i><br/><b>Энергетический анализ:</b> определение энергетических результатов организации</p> <p><i>Проводится постоянно</i></p>              | <p><i>Федеральный закон № 261-ФЗ:</i><br/><b>Энергетическое обследование:</b><br/>а) получение достоверной информации об объеме используемых энергетических ресурсов<br/>б) определение показателей энергетической эффективности;<br/>в) определение потенциала энергосбережения<br/>г) разработка энергосберегающих мероприятий.</p> <p><i>Проводится раз в пять лет для крупных потребителей</i></p> |

Поэтому для внедрения и реализации системы энергетического менеджмента в национальных бюджетных учреждениях, а также предприятиях разного типа требуется приведение международной документации к российским требованиям, нивелируя расхождения в определениях.

## 2. АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ

### Бюджетные учреждения

Важным моментом является правильное определение критических мест, то есть участков или подразделений, где реализация СЭНМ принесет наибольшую эффективность [7-9]. Поэтому необходимым является выделение статей и объектов, на которые приходится наибольшая доля энергопотребления в общем расходовании ресурсов.



Определение направлений для внедрения системы в г. Белгороде был произведен анализ структуры энергопотребления в бюджетных учреждениях всего города и области. Анализ структуры энергопотребления в бюджетных учреждениях (рис. 1–3) показывает необходимость в энергоресурсах по каждой статье в разных типах учреждения.

### Структура затрат на энергоносители

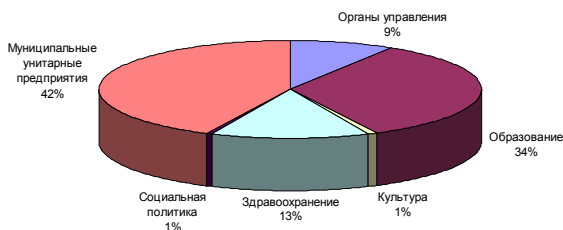


Рисунок 1 – Потребление топливно-энергетических ресурсов по разным типам учреждений

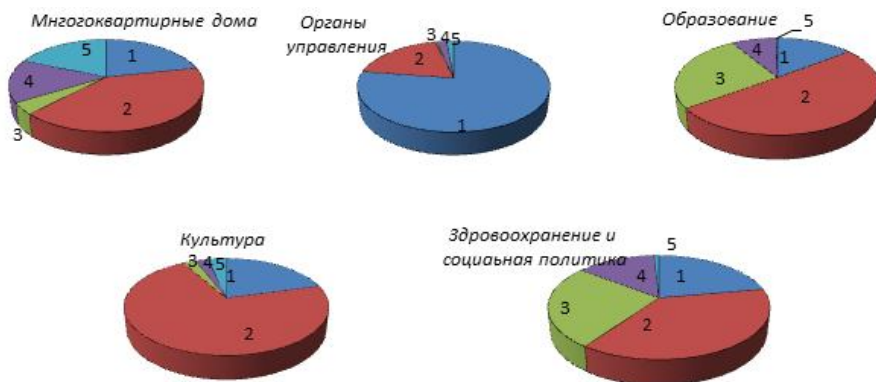


Рисунок 2 – Потребление энергетических ресурсов по статьям: 1-эл.энергия, 2-отопление, 3-ГВС, 4-холодное водоснабжение и водоотведение, 5-природный газ

Среди учреждений больше всего энергии потребляет управление образования. В структуре затрат на энергоресурсы наибольшую часть затрат на теплоту (в среднем по городу 43% на отопление и 22% на

ГВС), и электроэнергию (25%). Также следует отметить, что среди учреждений наблюдается большой разброс в объеме и структуре потребления энергоресурсов. Поэтому для их оценки необходимо применять дифференцированный подход.

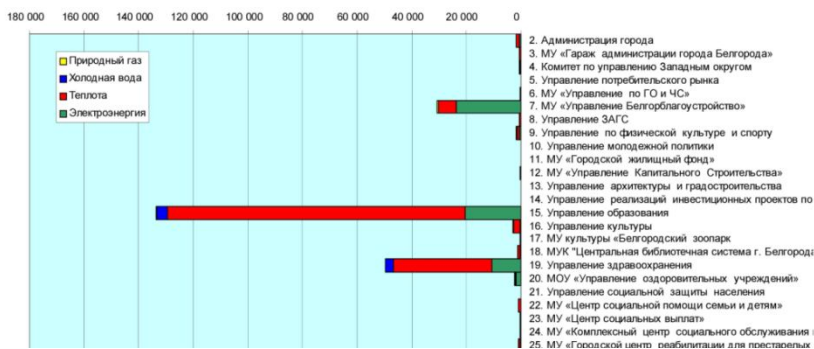


Рисунок 3 – Сравнение энергопотребления в разных учреждениях

### Образовательные учреждения

Всего образовательными учреждениями Белгорода в год расходуется энергоресурсов на сумму более 150 млн. руб. Основная часть затрат (75%) приходится на тепловую энергию. Для сравнения суммарных затрат на энергоносители применяется рейтинговая оценка (рис.4), включающая отношение удельного потребления энергоресурсов в учреждении к среднему удельному потреблению по управлению образования:

$$R = d \cdot e / e_{cp},$$

где  $d_i$  – доля энергоресурса в общей сумме затрат;  $e$  – удельный расход энергоресурса;  $e_{cp}$  – средний расход энергоресурса по всем учреждениям, включенным в выборку.

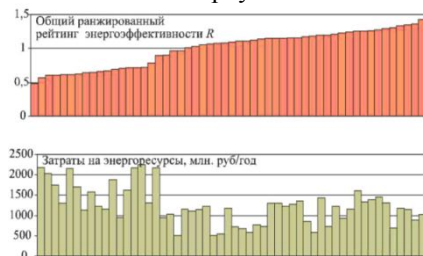


Рисунок 4 – Индикаторы энергоэффективности

Потенциал экономии (рис.5) в учреждении определялся в виде превышения расхода энергоресурсов от средних показателей. Он в среднем составляет 13% от годового потребления, для разных учреждений он может составлять до 40%.

$$E = \sum CX(e - e_{cp}), \text{ для } e > e_{cp},$$

где  $C$  – стоимость единицы энергоресурса;  $X$  – показатель, используемый для расчета удельного расхода (площадь или количество человек).

Зависимости между годовыми затратами на энергоресурсы и потенциалом экономии нет. Затраты энергии на отопление зависят в основном от конструктивных характеристик зданий. Затраты на электроэнергию зависят от вида деятельности учреждений. Поэтому был проведен дифференцированный анализ в зависимости от вида учреждений.

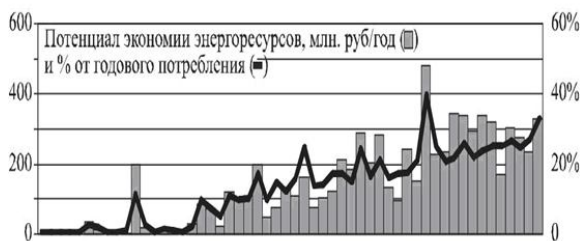


Рисунок 5 – Потенциал экономии

Потенциал экономии (рис.5) в учреждении определялся в виде превышения расхода энергоресурсов от средних показателей. Он в среднем составляет 13% от годового потребления, для разных учреждений он может составлять до 40%.

$$E = \sum CX(e - e_{cp}), \text{ для } e > e_{cp},$$

где  $C$  – стоимость единицы энергоресурса;  $X$  – показатель, используемый для расчета удельного расхода (площадь или количество человек).

Зависимости между годовыми затратами на энергоресурсы и потенциалом экономии нет. Затраты энергии на отопление зависят в основном от конструктивных характеристик зданий. Затраты на электроэнергию зависят от вида деятельности учреждений. Поэтому был проведен дифференцированный анализ в зависимости от вида учреждений.

Структура электропотребления значительно отличается для разных видов организаций. Так, если в детских садах и домах-интернатах основная часть затрат приходится на бытовую технику (63%), то в школах – на освещение (54%), а в администрациях – на оргтехнику (51%).

Полученные удельные показатели в дальнейшем были использованы для определения нормативов электропотребления в зависимости от видов учреждений.

### 3. СТРУКТУРА ДОКУМЕНТАЦИИ

Международная организация по стандартизации в рамках сертификации по стандарту ISO 50001:2011 не определила точного набора документов, оставив данный пункт на усмотрение каждой организации.

В отличие от применяемого в настоящее время подхода, основанного на опыте внедрения систем качества, в предлагаемой структуре основное внимание уделено не описанию процедур для конечных исполнителей, а на документировании процесса получения данных по энергопотреблению и их анализу. Это позволило значительно уменьшить объем необходимых документов.

| Количество рекомендуемых документов* | Предлагаемая структура   |
|--------------------------------------|--|
| 16                                   | 1. Приказ по организации об определении ответственных за СЭнМ<br>2. Энергетический паспорт организации   |
| 6                                    | 3. Энергетическая политика – положение о целях и направлениях деятельности в области повышения энергоэффективности<br>4. Должностная инструкция ответственного менеджера   |
| 20                                   | 5. Положение об организационной кадровой структуре СЭнМ<br>6. Должностные инструкции ответственных за СЭнМ в подразделениях и объектах   |
| 5                                    | 7. Удостоверение (сертификат) внутренних аудиторов   |
| 1                                    | 8. Регламент мониторинга данных СЭнМ и методология ведения и хранения документации   |
| 11                                   | 9. Инструкция по контролю нормативных и экологических требований, связанных с реализацией энергетической политики<br>10. Календарный график реализации мероприятий<br>11. Изменения/дополнения регламента проведения закупок товаров, работ, услуг |

| Количество рекомен-<br>дуемых<br>документов* | Предлагаемая структура   |
|--|--|
| 7  | 12. Регламент контроля за показателями энергоэффективности и выполнением энергосберегающих мероприятий (внутреннего аудита)  |
| 4  | 13. Положение о мотивации сотрудников в рамках СЭнМ<br>14. Регламент о размещении информации об энергетической политике и показателях её реализации в общедоступных источниках |

\*согласно руководству «Американского Департамента по Энергетики»

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе были представлены основные аспекты, которые следует учитывать при внедрении системы энергетического менеджмента в бюджетных учреждениях в соответствии с принятыми нормативными актами в Российской Федерации.

Была представлена рейтинговая оценка суммарных затрат на энергоносители, потенциал экономии и анализ энергопотребления в бюджетных учреждениях.

1. Установлено, что энергоэффективность различных учреждений может отличаться в три раза, более крупные учреждения характеризуются лучшей энергоэффективностью. А для определения оптимальной структуры инвестиций в энергосберегающие мероприятия необходим дифференцированный подход.

2. Внедрение системы энергетического менеджмента затрудняет ряд расхождений в тер-минах и определениях между ГОСТ Р 50001:2011 и другими российскими законами и нормативами.

3. Предложена методика энергетического менеджмента в рамках российской системы управления и поэтапный способ внедрения системы энергетического менеджмента в соответствии с ИСО 50001 для российских организаций. Её особенности:

- перечень разрабатываемой документации соответствует принятому в России делопроизводству и системе нормативной документации;
- внедрения системы осуществляется не на основе нового структурного подразделения, а обязанности распределяются среди имеющегося персонала;
- принятая в развитых странах терминология по возможности заменена на термины и определения традиционные для нашей страны;

- в предлагаемой системе основное внимание сконцентрировано не на описании процедур для конечных исполнителей, регламентирующих их основную деятельность, с точки зрения повышения ее энергоэффективности, а на документировании процесса получения анализа по энергопотреблению;

- определена структура ответственных для определения должностных обязанностей уполномоченных ответственных на каждом участке, что дает более отлаженный и структурированный процесс получения информации конкретно по каждому участку и тем самым позволяет принимать более четкие, отлаженные, результативные и адресные методы регулирования.

#### **Список литературы:**

2. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use // URL: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=51297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297)
3. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 Системы Энергетического Менеджмента. Требования и руководство по применению. М.: Стандартинформ, 2012. 52 с.
4. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
5. ГОСТ Р ИСО 9001:2011. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2012. 28 с.
6. Конев А. Специфика и отличия международного и российского стандартов // Энергоэффективность и Энергосбережение. 2012. № 5. С. 5-6.
7. Щелоков Я. М. Энергетическое обследование: справочное издание. В 2-х томах. Том 2. Электротехника. Екатеринбург, 2011. 50 с.
8. Башмаков И.А., Башмаков В.И. Повышение энергоэффективности в бюджетной сфере // Энергосбережение. 2012. № 5. С. 12-17.
9. Энергосбережение в освещении; Под ред. Ю. Б. Айзенберга. М.: Изд-во «Знак», 1999. 264 с.
10. Определение рейтинга энергоэффективности муниципальных образований Свердловской области за 2008 год / ГБУ СО «Институт энергосбережения». Свердловск, 2008 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа [http://www.ines-ur.ru/enersave\\_545.html](http://www.ines-ur.ru/enersave_545.html).

## МЕТОДИКА СТИМУЛИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА В РАМКАХ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

**Ширрине К.Ж., аспирант,**

**Трубаев П.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

На сегодняшний день важной задачей для любой организации является экономия энергетических ресурсов и повышение энергоэффективности, так как существенную долю их затрат составляет оплата топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Мировая практика показывает, что повышение энергоэффективности возможно достичь не только техническими мероприятиями, но и за счет организационных изменений в системе управления учреждения и организаций [1].

Для достижения наиболее эффективных результатов экономии энергетических ресурсов, необходимым является соблюдение энергоэффективного поведения сотрудниками на всех уровнях. Именно поэтому создание системы стимулирования персонала играет огромную роль в организации деятельности предприятия, так как оно направлено на мотивацию работника к эффективному и качественному труду, который не только покрывает издержки работодателя на организацию процесса производства, оплату труда, но и позволяет получить определенную прибыль.

Одним из действенных инструментов по мотивации сотрудников является система премирования за счет средств, сэкономленных в рамках программы энергосбережения. Важным при этом является установление зависимости размера поощрения от величины сокращения потребляемых ресурсов и степени ответственности сотрудников за систему энергопотребления [2].

Существующая система стимулирования трудовой активности в значительной мере оказалась малоэффективной, потому что в оплате труда зачастую предпочтение отдается уравнительной системе, размер зарплаток слабо зависит от личного трудового вклада работника в конечный результат деятельности коллектива или отсутствует связь между содержательностью труда и размером его оплаты. А также особая специфика бюджетных организаций: отсутствует учет удельного фактического расхода энергоресурсов по подразделениям и объектам и поэтому для них невозможно определить экономию энергоресурсов; из-за большого количества сотрудников, для работы которых необходимы

энергоресурсы, трудно определить для работников конкретные требования, которые к ним предъявляются, личный вклад каждого в энергосбережение и определить размер стимулирования, то есть какое вознаграждение они получит при соблюдении требований, и какие санкции последуют в случае их нарушения. Задачами по реализации данного проекта являются: определение объема экономии за отчетный период, определение организационной структуры потребления электроэнергии для участков отдельно по каждому виду, определение структуры ответственных за энергопотребление по участкам и их должностных обязанностей, определение порядка распределения объема средств полученных от экономии энергоресурсов.

Отправной точкой для расчета экономии ресурсов и определении премиальной части сотрудников служат утвержденные предприятием плановый расход ресурсов или их расход за предыдущий аналогичный отчетный период, и фактическое потребление за отчетный период.

## **1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ЭКОНОМИИ ЗА ОТЧЕТНЫЙ ПЕРИОД**

Отчетный период устанавливается в соответствии с запланированными организацией или предприятиями промежутками. Это может быть как месяц, квартал так и год [3-5].

Данный этап необходим для получения достоверной информации по расходованию имеющихся хозяйственных средств и эффективного анализа для дальнейшего планирования энергоресурсов. В течение отчетного периода необходимо зафиксировать потребление по каждому виду ресурса отдельно (ГВС и холодное водоснабжение, природный газ, электроэнергия, топливо, тепловая энергия). При реализации возможны затруднения в связи с тем, что в настоящее время отсутствует проработанная методика оценки физической экономии в системах тепло – и электроснабжения зданий с приведением потребления энергоресурсов и воды к сопоставимым условиям, а именно к одинаковым погодным условиям и к одинаковому требуемому уровню комфорта в помещениях зданий [6,7].

Для расчета экономического эффекта реализации программы энергосбережения необходимо соблюдать следующие условия: подтвержденное снижение потребления ТЭР в сопоставимых условиях относительно потребности планового расхода, более чем на три процента по сравнению с предыдущим годом; определение объема потребления энергоресурсов и экономию по установленным коммерческими техническим приборам учета расхода ТЭР;



планирование и учет расходов на ТЭР для бюджетных учреждений вести с выделением их отдельной строкой в составе кода 223 "Коммунальные услуги" бюджетной классификации расходов; отсутствие задолженности по оплате потребленных ТЭР. При этом стоит также учитывать, что энергосбережением не является снижение потребления вследствие отключения энергоносителей за неуплату услуг или при ремонте инженерных систем или ухудшения качества предоставляемых услуг из-за неисправностей в работе инженерных коммуникаций, а также, при утверждении более низких, чем планировалось, тарифов.

### **Определение экономии может производиться двумя способами:**

**1. Определение разницы между нормами (лимитами) и фактом потребления:**

$$\mathcal{E}_{г.в} = (P_{л.г.в} - P_{ф.г.в}) C_{г.в}$$

$$\mathcal{E}_{х.в} = (P_{л.х.в} - P_{ф.х.в}) C_{х.в}$$

$$\mathcal{E}_{п.г.} = (P_{л.п.г.} - P_{ф.п.г.}) C_{п.г.}$$

$$\mathcal{E}_{эл.} = (P_{л.эл.} - P_{ф.эл.}) C_{эл.}$$

$$\mathcal{E}_{т.} = (P_{л.т.} - P_{ф.т.}) C_{т.}$$

$$\mathcal{E}_{теп.э} = (P_{л.тепл} - P_{ф.тепл}) C_{теп.э}$$

где  $\mathcal{E}_{гвс}$ ,  $\mathcal{E}_{хв}$ ,  $\mathcal{E}_{п.г.}$ ,  $\mathcal{E}_{эл.}$ ,  $\mathcal{E}_{т.}$ ,  $\mathcal{E}_{теп.э}$  – фактическое снижение потребления по каждому виду ТЭР в стоимостном выражении (горячее водоснабжение, холодное водоснабжение, природный газ, топливо и тепловая энергия соответственно),  $C$  – стоимость единицы ресурса в текущих условиях.

Тогда суммарное фактическое потребление в стоимостном выражении имеет вид:

$$\mathcal{E} = \sum (P_{л.i} - P_{ф.i}) C_i$$

где  $\mathcal{E}$  – это суммарное фактическое потребление всех энергоресурсов в натуральном выражении;  $P_{л.}$  и  $P_{ф.}$  – это установленные нормы и фактическое потребление соответственно.

**2. Определение экономии за счет разницы в потреблении между прошлым годом и текущим:**

$$\mathcal{E} = \sum (P_{ф.пред.i} - P_{ф.i}) C_i$$

где  $P_{ф.}$  – энергопотребление за прошлый год по всем энергоресурсам в натуральном выражении;  $P_{ф.пред}$  – энергопотребление за текущий год.

## **2. СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЭКОНОМЛЕННЫХ СРЕДСТВ**

Средства от экономии энергоресурсов могут быть направлены на

финансирование двух статей: непосредственное премирование персонала и на улучшение энергосберегающих мероприятий. Процентное соотношение данных долей определяется руководством. Это может быть равное распределение 50% на 50% или выделение более приоритетной сферы в любом соотношении (30% и 70%) по усмотрению высшего руководства.

### 3. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭКОНОМИИ

Большое влияние на долю потребляемой электроэнергии имеет график рабочего дня сотрудников, а именно соотношения светового дня и продолжительности рабочего дня табл.1.

Таблица 1 – Продолжительность светового дня

| Месяц         | Количество световых часов | Месяц            | Количество световых часов |
|---------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| январь-март   | 6-7                       | сентябрь-октябрь | 7                         |
| апрель-август | 10-11                     | ноябрь-декабрь   | 6-7                       |

Таблица 2 – Количество часов работы ламп

| Название учреждения                                | Летний режим,ч | Зимний режим,ч |
|--|----------------|----------------|
| Муниципальные общеобразовательные учреждения (МОУ) | 6              | 8              |
| Дошкольные общеобразовательные учреждения (ДОУ)    | 5              | 8              |
| Дома - интернаты                                   | 5              | 11             |
| Административные учреждения                        | 4              | 7              |

Затраты на освещения прямо пропорциональны площади помещения (см. табл. 3).

Таблица 3 – Удельные затраты на освещение

| Название учреждения                                | Затраты,тыс.руб | Площадь в среднем,м <sup>2</sup> |
|--|-----------------|----------------------------------|
| Муниципальные общеобразовательные учреждения (МОУ) | 31,2            | 1800                             |
| Дошкольные общеобразовательные учреждения (ДОУ)    | 11,6            | 300                              |
| Дома - интернаты                                   | 3,9             | 500                              |
| Административные учреждения                        | 115,3           | 90                               |

Таблица 4 – Нормативы потребления электричества в люксах

| Учреждения                  | Освещенность, люкс/ м <sup>2</sup> | Количество ламп/м <sup>2</sup> * | Мощность одной лампы, Вт | Установленная мощность, Вт |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| МОУ                         | 500                                | 4                                | 36                       | 144                        |
| ДОУ                         | 300                                | 3                                | 36                       | 102                        |
| Дома-интернаты              | 250                                | 2                                | 36                       | 72                         |
| Административные учреждения | 400                                | 4                                | 36                       | 144                        |

\*Количество галогеновых ламп/м<sup>2</sup> – при высоте потолка не более 3м.

#### 4. СТРУКТУРЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Для эффективного учета и анализа энергоресурсов является важным определение потребления по каждому подразделению и объекту с выделением каждого вида ресурса. Определить их долю в общем энергопотреблении с помощью формулы:

$$P_i = P \cdot N_i / N,$$

где  $P_i$ ,  $N_i$  – фактический и нормативный (расчетный) расход в подразделение или объекте;  $P$ ,  $N$  – фактический и нормативный (расчетный) расход в учреждении или его части, где расход ресурса определяется по приборам учета.

#### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ОТВЕТСТВЕННЫХ

Определение структуры ответственного персонала за энергопотребляющие участки, будет зависеть от сложившейся организационной структуры в организации или предприятии. Сама структура может быть: линейная (т.е. назначение ответственного в каждом цехе, отделе и т.д.), функциональная (распределение обязанностей между сотрудниками всего отдела), проектно-целевая (выполнение сотрудниками одной задачи под руководством координационного центра).

В качестве должностных обязанностей по части экономии стоит отметить: знания нормативно – законодательной базы в области энергосбережения и энергоэффективности; знание основ энергетического менеджмента и системы взаимодействия с другими службами и организациями; участие в разработке и реализации программ энергосбережения, установка необходимой для достижения задачи, а также установление правил и методов энергосбережения в

организации путем реализации программы повышение энергоэффективности и снижение энергоемкости предприятия до уровня более опытных организаций с аналогичным профилем.

## **6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЪЭКОНОМЛЕННЫХ СРЕДСТВ**

Периоды, за которые осуществляется выплата премиальных, зависят от результата осуществляемой экономии. В качестве параметров оценки личного вклада руководителей могут использоваться показатели объема выполняемых работ, их напряженность, качество, уровень организации труда и другие.

В случае с рабочими и служащими, чье участие в процессе реализации мер по экономии ТЭР и материалов заключается в разработке и внедрении мероприятий, а также контроле соблюдения основных положений этих мер, премирование за экономию ТЭР и материалов, оптимальным будет определить за более длительный срок реализации этих мер. Это обеспечит положительный эффект от внедрения мероприятий в более долгосрочном периоде.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_o$$

где существует три статьи распределения:  $\mathcal{E}_n$ - начальство,  $\mathcal{E}_n$  - подразделения,  $\mathcal{E}_o$ - ответственные.

При принятии положения о поощрении, стоит отметить не только материальное, но и моральное стимулирование рабочего персонала с целью повышения производительности труда, эффективности производства и нравственного формирования личности.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе предложена система стимулирования персонала в рамках внедрения системы энергоменеджмента. Главными чертами представленной методики является возможность повышения мотивации сотрудников для соблюдения выполнения энергетической политики и постепенного достижения заданных индикаторов результативности; возможность внедрения разработанной системы в рамках существующей нормативной базы Российской Федерации и существующей системе делопроизводства; расчёт нормативов потребления по топливно- энергетическим ресурсам и потенциал экономии.

Система позволяет также распределять сэкономленные средства от снижения энергетического потребления по нескольким статьям (реализация энергосберегающих мероприятий и непосредственное премирование персонала).

Главный положительный аспект предложенной методики – это повышения заинтересованности сотрудников на всех уровнях функционирования предприятия или организации. Что является прямой задачей энергетического менеджмента как организационного проекта, а также позволяет увидеть эффективность воздействия благодаря производственным мероприятиям. В конечном итоге позволяя снижать затраты на коммунальные платежи и повышать мотивацию сотрудников в программе энергосбережения.

#### **Список литературы:**

1. Стандарты на системы менеджмента ИСО 50001:2011.URL: [http://iempro.ru/docum/gost/gost-R-ISO-50001\\_1-red.-NIIS.pdf](http://iempro.ru/docum/gost/gost-R-ISO-50001_1-red.-NIIS.pdf)
2. ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению. М.: Стандартинформ, 2012. 52 с.
3. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
4. Энергосбережение в освещении; Под ред. Ю. Б. Айзенберга. М.: Изд-во «Знак», 1999. 264 с.
5. Определение рейтинга энергоэффективности муниципальных образований Свердловской области за 2008 год / ГБУ СО «Институт энергосбережения». – Свердловск, 2008 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа [http://www.ines-ur.ru/enersave\\_545.html](http://www.ines-ur.ru/enersave_545.html).
6. Троицкий А.А. Энергоэффективность как фактор влияния на экономику, бизнес, организацию энергоснабжения // Электрические станции. Энергопрогресс. 2005. № 1. С. 11-16.
7. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. Русская версия. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2009. 455 с.

## РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАПАСОВ НЕФТИ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЕЁ ДОБЫЧИ

**Штифанова А.И.,** канд. техн. наук, доц.,

**Потапенко А.Н.,** канд. техн. наук, доц.,

**Щербаков А.И.,** аспирант

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Введение.** В работе [1] представлен сейсмоакустический комплекс, включающий поверхностные электродинамические излучатели направленного действия в сочетании с электрогидравлическими излучателями направленного действия, расположенными в обсадной колонне. Такое устройство позволяет производить мониторинг запасов нефти и производить интенсификацию её добычи, выбрать необходимый режим акустической обработки скважины, проводить доразведку запасов нефти. Преимуществом такого метода акустической обработки нефтяного пласта является то, что помимо использования поверхностных излучателей сейсмических колебаний направленного действия, в скважине располагаются излучатели на глубине исследуемого пласта. Размещение в скважине излучателей позволяет усилить отражённый импульс, то есть значительно повысить разрешённость полученных сейсмограмм. Их расшифровки позволяют установить амплитуду и спектр акустического сигнала, воздействующего на пласт. Это даёт возможность усилить отражённый сигнал от нефтеносного пласта и при расшифровке сейсмограмм получить уточнённые сведения о наличии запасов нефти в районе расположения скважины, после чего проводить процесс её обработки акустическим сигналом, согласованным с механическими параметрами скважины [1].

Комплекс состоит из группы электродинамических поверхностных излучателей, которые расположены на поверхности земли возле скважины, и электрогидравлических скважинных излучателей, расположенных вдоль внутренней стенки скважины в зоне коллектора. Каждая группа излучателей срабатывает при подаче управляющих импульсов от многоканальных многоэлементных генераторов импульсов тока, которые допускают задержку каждого канала на время  $\Delta t$ . Микропроцессор устанавливает изменение интервала  $\Delta t$  в

зависимости от сейсмометрической информации, принятой сейсμοстанцией от сейсμοприёмников.

Принцип работы комплекса заключается в следующем. С помощью излучателей, изменяя  $\Delta t$  их включения и регулируя амплитуду энергии излучения, достигают максимального значения отражённого сигнала от нефтенасыщенного пласта. Затем включается многоэлементный генератор импульсов тока, который позволяет подавать импульсы с задержкой  $\Delta t$  включения скважинных излучателей. Сканируя диаграммой направленности скважинных излучателей, добиваются усиления отражённого сигнала от исследуемого пласта. При положительной оценке наличия нефти работу излучателей переводят в стационарный режим сейсμοакустического влияния, что даёт дополнительный приток нефти в коллекторную зону скважины [1].

Для мониторинга распределенной системы с датчиками и приемниками расположенными в различных точках пространства возможно применять подход как в [2].

Progress Industrial Systems SA создан гидроакустический комплекс для интенсификации добычи нефти, состоящий из мощного ультразвукового генератора в ударопрочном, виброзащищенном исполнении и двух ультразвуковых излучателей разного диаметра, питание которых осуществляется через стандартный геофизический кабель. Всё оборудование реализующие технологию ультразвукового воздействия, согласовано со штатным оборудованием геофизических партий, что не вызывает затруднения в освоении технологии штатным персоналом.

### **Постановка задачи**

Схема для моделирования нестационарных и неоднородных процессов в жидкости при электроразряде, представлена на рис. 1, т.е. за основу принята одна камера ЭИУ.

Для определения гидродинамического поля камеры с двумя электродами  $\Gamma_7$  и  $\Gamma_8$ , погруженными в жидкость (см. рис. 1), необходимо решить краевой задачи.

Область  $A_c(t)$  разрядной камеры представляет собой идеальную сжимаемую жидкость, ограниченную жесткими поверхностями  $\Gamma_1 \dots \Gamma_6$ . Граница  $S_c(t)$  является поверхностью симметрии между соседними разрядными камерами МРБ. Верхняя часть камеры представляет собой купол в виде полусферической поверхности  $\Gamma_4$ , соприкасающейся по диаметральной плоскости с цилиндрической частью камеры  $\Gamma_3$  с радиусом  $r_c$ , причем граница  $\Gamma_2$  является плоской поверхностью цилиндрической части камеры  $\Gamma_3$ . Плоская поверхность  $\Gamma_1$  является

дном в данной разрядной камере и находится на расстоянии  $h_e$  от жесткой границы  $\Gamma_2$ . Цилиндрическая поверхность  $\Gamma_5$  – это боковая поверхность диэлектрика, в котором размещен центральный электрод  $\Gamma_7$ . Жесткая граница  $\Gamma_6$  – это плоская поверхность цилиндрического диэлектрика. Другой электрод разрядной камеры в виде стержня-токовода  $\Gamma_8$  неизолирован и размещен на границе полусфера-цилиндр, т.е. между жесткими поверхностями  $\Gamma_4$  и  $\Gamma_3$ . После пробоя межэлектродного промежутка  $\Gamma_7$  и  $\Gamma_8$  в жидкости образуется разрядный канал с высоким давлением в виде некоторого импульсного источника  $V_e(t)$ .

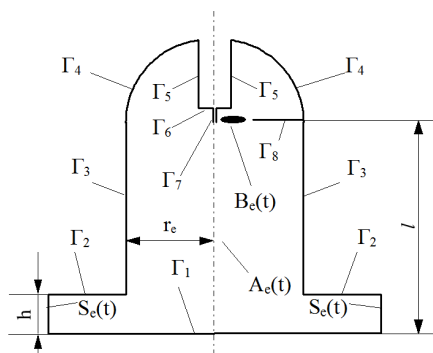


Рисунок 1 – Схема моделирования разрядной камеры:

$A_e(t)$  – область жидкой передающей среды;  $V_e(t)$  – импульсный источник;  $S_e(t)$  – граница симметрии;  $\Gamma_1 \dots \Gamma_6$  – жесткие границы;  $\Gamma_7$  – центральный изолированный электрод;  $\Gamma_8$  – неизолированный электрод (стержень-токовод), связанный с корпусом разрядной камеры;  $r_e$  – радиус разрядной камеры;  $l$  – дистанция между импульсным источником  $V_e(t)$  и дном камеры (граница  $\Gamma_1$ );  $h_e$  – расстояние между торцом цилиндрической камеры (граница  $\Gamma_2$ ) и дном камеры (граница  $\Gamma_1$ )

Для упрощения исследования основных процессов при электроразряде в жидкости представим данную задачу в виде нескольких этапов, как в [2], каждый из которых будет описываться на основе некоторых систем уравнений, максимально упрощённых в соответствии с особенностями рассматриваемого отрезка времени. При этом решение задачи, полученное на одном этапе, будет служить исходной информацией для численных расчётов на последующем этапе.



**1.1. Первый этап.** На первом этапе определяется граница канала пробоя в жидкости после подключения специальным коммутирующим устройством высоковольтного напряжения к электродам  $\Gamma_7$  и  $\Gamma_8$ . Причём исходные параметры жидкости на этом этапе не изменяются, т.е. скорость частиц жидкости  $U$  в начале  $t_n$  и в конце  $t_k$  этапа равна нулю:  $t_n = t_k = t_0, U=0$ .

Определение границы канала пробоя в жидкости связано с расчётом поля электрического потенциала  $\xi$  в области  $A(t_0)$ . Для расчёта поля  $\xi$  используется уравнение Лапласа, которое в декартовой систем координат имеет вид

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

На границах электродов с учётом зарядов записывается уравнение Пуассона в виде:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = -\frac{\rho_q}{\xi_0 \xi_r}, \quad (2)$$

где  $\rho_q$  – объёмная плотность зарядов;  $\xi_0$  – электрическая постоянная;  $\xi_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость жидкости.

Для представления параметров исследуемого процесса в безразмерных величинах, исходя из закона подобия и размерности, а также выбрав за базовые величины разность потенциалов между электродами  $u = \xi_1 - \xi_2$ , характерный размер разрядной камеры в поперечном направлении равный  $r$  и величину  $c_1 = \rho_q / (\xi_0 \xi_r)$  запишем их в следующем виде:

$$\xi^* = \frac{\xi}{u}; \quad x^* = \frac{x}{r}; \quad y^* = \frac{y}{r}; \quad z^* = \frac{z}{r}; \quad c_0^* = \rho_q / (\xi_0 \xi_r) (1/c_1).$$

С учётом безразмерных величин уравнение Лапласа имеет вид:

$$\Delta \xi^* = 0,$$

где  $\Delta$  – оператор Лапласа.

Аналогично уравнение Пуассона:  $\Delta \xi^* = -c_0^*$ .

Граничные условия для данной схемы модели (см. рис. 1) следующие:

– на границе  $\Gamma_7$   $\xi^* = \text{const}$ ;

– на  $\Gamma_1, \dots, \Gamma_4, \Gamma_8, \Gamma_{10}, \dots, \Gamma_{12} \xi^* = 0$ ;

$$\frac{\partial \xi^*}{\partial n} = 0;$$

– на  $\Gamma_5, \Gamma_6$  и  $\Gamma_9$

$$\frac{\partial \xi^*}{\partial n} = 0.$$

– на  $S_e(t_0)$  условие непротекания тока имеет вид

Учитывая, что напряжённость электрического поля определяется через градиент потенциала, то в безразмерном виде компоненты напряжённости электрического поля следующие:

$$E_x^* = -\frac{\partial \xi^*}{\partial x^*}; \quad E_y^* = -\frac{\partial \xi^*}{\partial y^*}; \quad E_z^* = -\frac{\partial \xi^*}{\partial z^*}. \quad (3)$$

Зная компоненты напряжённости  $E_x^*, E_y^*, E_z^*$ , можно определить модуль  $E_i^*$  в любой точке области  $A(t_0)$ :

$$E_i^* = \sqrt{(E_x^*)^2 + (E_y^*)^2 + (E_z^*)^2}. \quad (4)$$

Определив поле  $E_i^*$  в области  $A(t_0)$ , находим границу канала пробоя в жидкости между электродами  $\Gamma_7$  и  $\Gamma_8$  как линию с максимальными значениями  $E_i^*$  в виде границы  $V_e(t_0)$ . При этом значение напряжённости поля вдоль силовой линии определяем как

$$E_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial n} \right\}. \quad (5)$$

Первый этап заканчивается определением границы  $V_e(t_0)$ .

**1.2. Второй этап.** На этом этапе исследуются волновые процессы в жидкости по аналогии с [3] при известном расположении импульсного источника  $V_e(t)$ .

Из линеаризованных уравнений гидродинамики следует волновое уравнение, которое относительно потенциала скорости  $\psi$  имеет вид

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}, \quad (6)$$

где  $a_0$  – скорость звука в жидкости.

Учитывая, что в области жидкости  $A(t)$  имеется импульсный источник  $B(t)$ , то на границе канала пробоя в жидкости необходимо использовать неоднородное волновое уравнение

$$\Delta\psi - \frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = f(t), \quad (7)$$

где  $f(t)$  – потенциальная функция, учитывающая изменение давления в источнике  $B_c(t)$ .

Зная распределение потенциала  $\psi$  в области  $A(t)$ , можно определить основные параметры исследуемого процесса при высоковольтном разряде в жидкости. Давление в жидкости определяется из интеграла Коши-Лагранжа, который приводится к виду

$$P_1 = P_0 - \rho_0 \frac{\partial \psi}{\partial t}, \quad (8)$$

где  $P_0, \rho_0$  – соответственно давление и плотность покоящейся жидкости.

Плотность связана с потенциалом  $\psi$  следующей зависимостью:

$$\rho = \rho_0 - \frac{\rho_0}{a_0^2} \frac{\partial \psi}{\partial t}. \quad (9)$$

Скорости частиц жидкости определяются через градиент потенциала  $\psi$ :

$$U_x = -\frac{\partial \psi}{\partial x}; U_y = -\frac{\partial \psi}{\partial y}; U_z = -\frac{\partial \psi}{\partial z}. \quad (10)$$

Для оценки плотности энергии, приходящейся на единицу объёма жидкости, можно воспользоваться выражениями:

$$W_1 = \frac{P_{1k}^2}{2\rho_0 a_0^2};$$

- для потенциальной энергии: (11)

$$W_2 = \frac{\rho_0 U_{i0}^2}{2}.$$

- для кинетической энергии: (12)

При этом в зависимостях (11) и (12)  $P_{1k}$  соответствует максимальному значению давления при определении  $W_1$  на преграде (стенке), а  $U_{i0}$  – осреднённое значение скорости при определении  $W_2$  в той же области с учётом известного распределения  $U_i$  между источником и преградой.

Граничные условия для задачи на данном этапе следующие:

– на жёстких границах  $\Gamma_1, \dots, \Gamma_6, \Gamma_9, \dots, \Gamma_{12}$   $\frac{\partial \Psi}{\partial n} = 0$ ;

$$\Psi_B = \frac{1}{\rho_0} \int_0^t P_m \frac{t}{\tau} \exp\left(1 - \frac{t}{\tau}\right) dt,$$

– на границе  $B(t)$

где  $P_m$  – максимальное давление в источнике  $B_c(t)$ ;  $\rho_0$  – плотность жидкости;  $\tau$  – постоянный коэффициент, характеризующий процесс изменения  $P(t)$  в  $B_c(t)$ ;

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} = 0$$

– на границах  $S_c(t)$ :

Начальные условия при  $t = t_0$  нулевые.

На данном этапе за базовые величины были выбраны  $\tau, P_m, W_m, l$ , т.е.  $\tau, P_m$  – параметры импульсного источника  $B_c(t)$ ,  $W_m$  – максимально значение объёмной плотности энергии. Безразмерные параметры

$$F^* = \frac{F_i}{F_\sigma}$$

определялись как  $F_\sigma$ , где  $F_\sigma$  – базовая величина.

Для решения краевой задачи может быть применён метод конечных разностей. Область жидкости представляется в виде дискретной (сеточной) области. В основу положена замена уравнений в частных производных для рассматриваемых краевых задач на этапах расчётов их разностными аналогами.

#### Список литературы:

1. Гурин А.Г., Мостовой С.П., Пидашов В.В., Ярмач Н.С. Сейсморазведочный комплекс излучателей для мониторинга запасов нефти и интенсификации её добычи из действующих скважин // Вестник НТУ «ХПИ». 2010. С. 23-32.
2. Потапенко А.Н., Штифанов А.И., Потапенко Т.А. Математические модели молниеприёмников систем молниезащит и особенности системы мониторинга разрядов атмосферного электричества // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4 С. 170-176.
3. Галлиев Ш.У., Борисевич В.К., Потапенко А.Н. Нелинейные волны при расширении газового пузыря // Докл. АНУССР. Сер. А. 1984. №1. С. 36-40.
4. Shtifanov A.I. Simulation of Dynamic Processes at Powdery Materials Pulse Loading / A.I. Shtifanov, A.N. Potapenko, A. El-Hammoudani // In book. Modeling. Compaction. Testing. Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials. Part 7, MPIF, Washington, 1996. P. 3-12.

## МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

**Щекин И.И.,**

**Трубаев П.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

Твердые бытовые отходы (ТБО) – это богатый источник вторичных ресурсов (в том числе черных, цветных, редких и рассеянных металлов), а также "бесплатный" энергоноситель, так как бытовой мусор представляет собой возобновляемое углеродсодержащее энергетическое сырье для топливной энергетики. Рациональная организация переработки ТБО дает возможность использовать до 90% продуктов утилизации в строительной индустрии, например, в качестве заполнителя бетона. В настоящее время используя даже малоперспективные технологии прямого сжигания твердых бытовых отходов, при сжигании 1000 кг ТБО можно получить такое же количество тепловой энергии, как при сжигании 250 кг мазута. При этом реальная экономия будет еще больше, поскольку сохраняется первичное сырье, отсутствуют затраты на его добычу и т.д. Весьма важно, чтобы процессы утилизации бытовых отходов не нарушали экологическую безопасность города, нормальное функционирование городского хозяйства и не ухудшали условия жизни населения в целом.

В ряде стран образуется 0,6 – 0,75 т ТБО в год на душу населения, а в некоторых урбанизированных районах эта цифра достигает 1 т. При таких объемах традиционные методы утилизации отходов путем складирования на свалках применять нельзя, как с экологической, санитарно-эпидемиологической, так и с экономической точек зрения. В настоящее время в промышленно развитых странах выработана экологическая политика в отношении ТБО, являющаяся частью общей политики государства по резкому повышению энерго- и ресурсосбережения в сфере потребления и снижению техногенных воздействий на человека и природу. Основу этой политики составляют следующие положения.

1. В современных условиях недопустимо бесконтрольное образование ТБО, а также внедрение необоснованных технологий их переработки.

2. Современные технологии переработки ТБО должны обеспечивать максимальную регенерацию затрачиваемых на создание

отходов энергетических и материальных ресурсов при их полной безопасности для населения и природы.

Проблема утилизации ТБО сегодня очень важна для большинства средних и крупных городов мира. Возрастающие трудности устройства новых полигонов для захоронения отходов, связанные с постоянным удорожанием земли, и их негативное влияние на окружающую среду заставляют муниципальные власти обратить внимание на альтернативные способы переработки отходов.

*Методы обезвреживания и переработки ТБО по конечной цели делятся на:*

- ликвидационные (решаются в основном санитарно-гигиенические задачи);

- утилизационные (решаются задачи экономики, в т.ч. использования вторичных ресурсов).

*В настоящее время наибольшее применение получили следующие технологии утилизации ТБО:*

- складирование на полигонах (эксплуатируемый полигон должен отвечать требованиям охраны природы (защита от загрязнения воды, почвы, воздуха) и должны применяться высокоинтенсивные технологические процессы (уплотнение, отведение и циркуляция фильтрата и др.));

- сортировка и складирование на полигонах (предусматривается первоначальный ручной отбор утильных фракций на мусороперегрузочных или мусоросортировочных станциях с последующим складированием на полигонах);

- сжигание (сжигание без предварительной сортировки в слоевой топке с наклонной переталкивающей колосниковой решеткой, четырехступенчатой очисткой газов (известковая сорбция, электростатический фильтр, мокрый скруббер, угольные фильтры), раздельным отведением и инертизацией шлака и золы, утилизацией тепловой и электрической энергии);

- сортировка и сжигание (применяются технологические линии, позволяющие отбирать пластмассу, черные и цветные металлы, остальное сжигается);

- компостирование (биотермическое обезвреживание с получением компоста и выделением металлов);

- сортировка и компостирование (выполняется сортировка всех полезных компонентов, составляющих ТБО (черные и цветные металлы, пластмасса, бумага, текстиль), из органической части ТБО по

технологии аэробного биотермического компостирования получают компост);

– компостирование и пиролиз (биотермическое обезвреживание с последующей классификацией и выделением металлов, минеральной и органической части, компостирование органической составляющей и пиролиз минеральной части, очистка отходящего газа).



Рисунок 1 – Использование различных методов переработки и обезвреживания в странах Европы:

1 – рециклинг; 2 – компостирование; 3 – сжигание; 4 – захоронение на полигонах

Целесообразность применения того или иного из перечисленных методов утилизации ТБО зависит от размера города, состава и свойств ТБО, потребности в утильных фракциях, тепловой энергии или удобрении, климатических условий, экологических параметров и многих других факторов.

В качестве огнетехнического оборудования для сжигания твердых отходов могут применяться вращающиеся печи (с температурой горения отходов до 1200°C), печи с колосниковой решеткой (~850°C), этажные и тоннельные печи (950-1400°C), шахтные печи (до 1600°C), печи с кипящим слоем (~850°C) и др.

К примеру, одним из наиболее простых способов ликвидации пластмассовых отходов является их сжигание. Типичная технологическая схема сжигания отходов с использованием трубчатой печи представляется следующей последовательностью операций. Отходы из бункера-накопителя грейферным захватом через загрузочную воронку и бункер подают во вращающуюся печь. Пуск печи в работу производят при помощи запального устройства. Печные газы поступают в камеру дожигания, где обезвреживаются при

температуре выше 800°C в пламени горелки. Затем их дымососом транспортируют через охладительные устройства (котел-утилизатор, водоподогреватель и т.п.) и выхлопную трубу в атмосферу.

Получение энергии за счет сжигания отходов, в том числе и полимерных, привлекает большое внимание из-за непрерывного роста цен на невозобновляемое органическое топливо. При этом нет необходимости производить какую-либо сортировку, требуется, и то не всегда, лишь измельчение отходов до достаточно крупных кусков. В результате сжигания может быть получено  $\approx \frac{1}{2}$  всей энергии, заключенной в пластмассах в виде исходных продуктов и затраченной на их первичную переработку. Таким образом, ежегодно может быть сэкономлено более 5000000 т жидкого топлива.

#### **Список литературы:**

1. Базунова М.В., Прочухан Ю.А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского университета. 2008. Т.13. №4.
2. Соломин И.А., Башкин В.Н. Выбор оптимальной технологии переработки ТБО // Экология и промышленность России. Сентябрь 2005. с. 42.
3. Абрамкин Н.И., Кочетов Е.В., Захарова Р.А., Степанов Р.А. Основные способы утилизации и обезвреживания твердых бытовых отходов и перспективы использования геотехнологических методов. 2010. с. 164.
4. Елкина Л.Г., Иванова Е.Ю., Шохова П.А. Классификация отходов по критерию эколого-экономической целесообразности их вторичного использования или утилизации // Вестник УГАТУ. Экономика и управление народным хозяйством. 2012. Т.16, №8 (53). С. 165-169.



## **МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА С ПОЛУЧЕНИЕМ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**Щекин И.И.,**

**Трубаев П.А., д-р техн. наук, проф.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Переработка отходов сельскохозяйственного производства является важной проблемой для производителей основной продукции. Наиболее проблемными видами отходов сельскохозяйственного производства являются отходы животноводства и птицеводства. На многих птицефабриках в различных регионах страны складывается неудовлетворительное экологическое состояние территорий, на которых накапливаются большие количества птичьего помета. При длительном хранении помета происходит загрязнение почвы, грунтовых и поверхностных вод, возникновение и распространение резкого неприятного запаха.

Применение современных технологий в сельском хозяйстве, развитие комбикормовой промышленности, повышение роли науки в производстве создали благоприятные условия для роста эффективности промышленного птицеводства – одной из самых рентабельных отраслей сельского хозяйства. С увеличением поголовья птицы увеличился и выход птичьего помета, который относится к 3 группе опасных веществ. В качестве возобновляемого ресурса помет пока не нашел широкого применения. В основном он используется как органическое удобрение после его выдерживания в помехранилищах. В результате на сравнительно небольшой площади скапливаются сотни тысяч тонн опасного для окружающей среды вещества. Зачастую использование перепревшего птичьего помета в качестве удобрения экономически нецелесообразно, так как затраты на его применение не окупаются прибавкой урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур. Учитывая современные требования к переработке отходов животноводства и птицеводства, предлагается способ утилизации птичьего помета с получением тепловой энергии и высокоэффективного органо-минерального удобрения. Для осуществления этого способа необходимо разработать технологию, позволяющую перерабатывать помет, поступающий из птичника без его хранения.

На основе обзора и анализа существующих способов сжигания высоковлажных материалов с учетом физико-механических свойств

помета представляется структурная схема системы утилизации бесподстилочного птичьего помета с получением тепловой энергии и минерального комплекса – золы, которая включает в себя 6 отдельных технологических процессов (рис. 1):

1. Сбор и транспортировка помета из птичника к месту переработки.
2. Приемка и подготовка к сжиганию.
3. Подача подготовленного помета на сжигание.
4. Сжигание с получением и отводом тепловой энергии для внутривозьственных нужд.
5. Отвод и очистка полученных в результате горения помета газов.
6. Сбор и транспортировка золы.

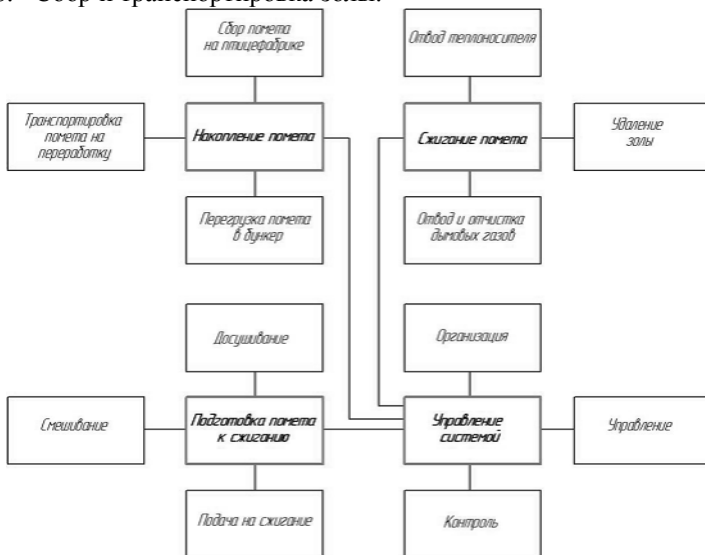


Рисунок 1 – Структурная схема системы утилизации бесподстилочного птичьего помета

Учитывая то, что переработка помета методом сжигания производится в потоке, при этом предотвращается загрязнение окружающей среды, линия может быть установлена вблизи птицефабрики. Это существенно сокращает затраты на транспортировку помета по сравнению с помехранилищами, которые располагаются на расстоянии не менее 1 км. Сжигаться будет помет высокой влажности, и от сжигания помета должен быть получен максимальный эффект, то

есть тепловая энергия. Одна часть тепловой энергии будет направлена на предварительное высушивание помета, другая – на внутрихозяйственные нужды либо на получение электрической энергии.

Следующий способ предусматривает деление удаляемого из птицефабрики помета на две части – меньшую и большую. Меньшая часть обрабатывается стабилизатором, с целью обеззараживания и закрепления питательных веществ с последующим выдерживанием в течение времени стабилизации. Большая часть помета поступает на переработку методом пиролиза с получением электрической, тепловой энергии и золы. Часть электрической энергии (около 15%) используется на обеспечение работы технологической линии, а остальная – на другие внутрихозяйственные нужды. Определенное количество тепловой энергии предусматривается использовать для высушивания помета перед его переработкой и гранул производимого удобрения. Остальная тепловая энергия может использоваться для отопления как производственных, так и жилых помещений. Зола, оставшаяся после пиролиза помета, содержит в концентрированном виде доступные для растений питательные вещества, в связи с чем, может использоваться в качестве удобрения. Однако целесообразно золу, в процентном соотношении, смешивать с пометом обработанным стабилизатором и готовить гранулированное органо-минеральное удобрение.

С целью реализации данного способа предлагается технологическая схема комплекса по переработке птичьего помета (рис.2).

При переработке 1 т помета влажностью до 70% возможно получение около 0,4 МВт электроэнергии и около 0,5 МВт тепловой энергии. Производительность одного реактора по исходному материалу составляют около 1,2 т/ч. При переработке помета методом пиролиза обеспечивается высокий энергетический КПД конверсии (до 95%) с получением дешевой электрической и тепловой энергии, а также золы, которая является качественным компонентом для приготовления комплексного органо-минерального удобрения. Так, например, при суточном выходе из птицефабрики около 140 тонн птичьего помета, энергетический комплекс должен состоять из пяти реакторов, который из этого количества будет вырабатывать около 56 МВт электроэнергии и 70 МВт тепловой энергии.

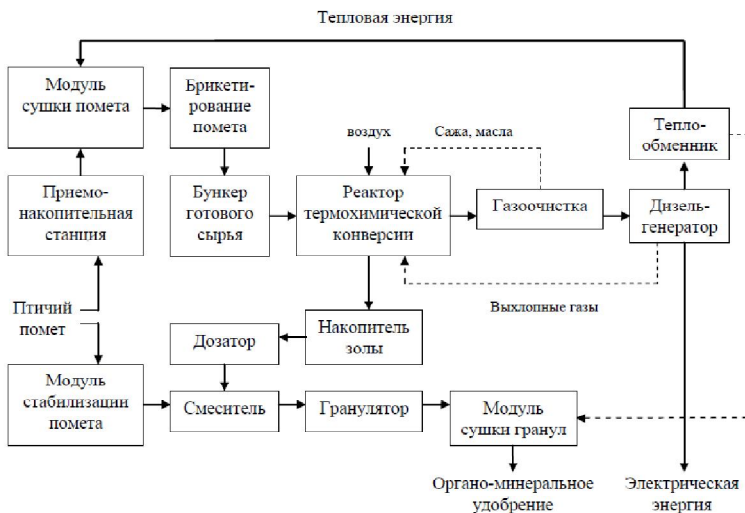


Рисунок 2 – Технологическая схема комплекса по переработке птичьего помета

В последнем способе предлагается для сушки помёта комплекс оборудования, который помимо сушки одновременно обеспечивает и измельчение пометной массы. Процесс обезвоживания исходной пометной массы осуществляется под воздействием двух факторов: больших центробежных сил и высокой температуры. Пометная масса загружается в рабочую камеру с вращающимся в ней ротором (угловая скорость – до 178 м/с). Под действием возникающих центробежных сил из внешней поверхности пометной массы начинает выделяться вода. Последующее измельчение исходной массы в результате воздействия на нее рабочих органов ротора приводит к увеличению площади поверхности пометной массы, что активизирует процесс выделения из нее воды под действием центробежных сил.

В процессе измельчения пометной массы происходит нагрев частиц продукта (за счет взаимодействия продукта с рабочими органами ротора, вращающимися с высокой угловой скоростью и отражательными пластинами, установленными на корпусе камеры) за короткий промежуток времени выше 100°C, в результате чего оставшаяся в нем вода превращается в пар. Пар выделяется из частиц и мгновенно превращается в очень мелкие капельки воды, поскольку

температура внутри камеры ниже 90°C, и выводится из камеры. В результате сушки, измельчения и обеззараживания пометной массы с исходной влажностью ~ 30% на выходе из системы получают сухой порошок влажностью 10-12%.

Для сжигания сухого порошка используются пылевые топки высокой интенсивности, которые разработаны специально для эффективного и полного сжигания трудносжигаемых видов топлива в соответствии с самыми жёсткими требованиями нефтехимической промышленности. Пылевая топка может устанавливаться как на новые паровые котлы (в том числе и российского производства), а также и при их реконструкции. Сухой помёт сжигается практически полностью. Циклонное вращение пламени в топке приводит во вращение газы в камере сгорания, центробежные силы прижимают золу к стенкам камеры сгорания и она падает вниз камеры сгорания, где автоматически удаляется. Часть золы, которая уносится газами (незначительное количество) и оседает на трубах котла, состоит только из сухих негорючих веществ и удаляется автоматически сжатым воздухом системы очистки парового котла.

Данные технологии позволяют отказаться от помехохранилищ, значительно сокращаются транспортные расходы, исключается нанесение ущерба окружающей среды. Это рациональные решения по утилизации и переработке помета с энергообеспечением производственных и жилых помещений, а также получением эффективного удобрения.

#### **Список литературы:**

1. Запевалов М.В., Запевалов С.М. Переработка птичьего помета с получением электрической, тепловой энергии и комплексного органоминерального удобрения // Вестник ЧГАА. 2014. Том 67/1. С. 45-49.
2. Мишуров Н.П. Современные технологии и оборудование для получения энергии из птичьего помета // Труды международной научно-технической конференции энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2012. Том 4. С. 184-189.
3. Запевалов М.В., Запевалов С.М., Бердышев А.М. Утилизация птичьего помета методом сжигания // Вестник ЧГАА. 2012. Том 61. С. 71-74.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭФФЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

|   |    |
|---|----|
| <b>Барабаш Д.Е., Боровлев Ю.А., Кузнецов Д.А.</b> Радиационно-стойкие полимербетоны на основе неизоцианатных полиуретанов .....   | 3  |
| <b>Высоцкая М.А., Русина С.Ю., Антонова А.О.</b> Исследование свойств полимерно-битумных вяжущих, модифицированных многостенными углеродными нанотрубками.....                              | 11 |
| <b>Высоцкая М.А., Барабаш Д.Е., Волков В.В., Волков В.В.</b> Особенности моделирования сложного нагружения нежесткой дорожной одежды .....  | 15 |
| <b>Гнездилова С.А.</b> Уточнение границ дорожно-климатического районирования территории белгородской области .....  | 22 |
| <b>Горшкова Н.Г., Антонова Р.О.</b> Закрепление грунтовой гоночной трассы в АСК «Виразж» в Белгороде.....   | 27 |
| <b>Гриджин А.М., Высоцкая М.А.</b> Влияние поровой структуры и состояния поверхности минерального порошка из перлита на свойства асфальтовяжущего вещества .....                            | 32 |
| <b>Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Дрюпин П.Ю., Бойченко А.И.</b> Применение полимерных противоналипающих листов для снижения адгезии грунтов с рабочими поверхностями землеройных машин..... | 39 |
| <b>Кочнев В.И., Котлярский Э.В.</b> Оптимизация проектирования состава асфальтобетона.....  | 44 |
| <b>Опанасенко О.Н., Крутько Н.П., Чернецкая В.М.</b> Процессы структурообразования в битумных эмульсионно-минеральных смесях .....  | 49 |
| <b>Погромский А.С., Аниканова Т.В.</b> Дифференцированный подход к использованию электросталеплавильных шлаков при строительстве и ремонте дорожных одежд .....                             | 61 |
| <b>Подольский В.П., Волков В.В., Высоцкая М.А., Волков В.В.</b> Особенности динамического воздействия транспортных средств на асфальтобетонные покрытия автодорог .....                     | 65 |
| <b>Рамос А.М., Котлярский Э.В., Миронов Н.Н.</b> Особенности работы верхних слоёв асфальтобетонных аэродромных покрытий....   | 71 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Соломенцев А.Б., Баранов И.А.</b> Взаимодействие дорожного битума со стабилизирующими полимерными добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона.....  | 79  |
| <b>Соломенцев А.Б., Куликова А.В.</b> Сравнительная оценка некоторых свойств дорожного битума с различными полимерными добавками и асфальтовяжущего на его основе.....                                   | 86  |
| <b>Толмачев С.Н.</b> Исследование морозостойкости дорожных цементобетонов при различных воздействиях внешней среды .....   | 98  |
| <b>Толмачев С.Н., Беличенко Е.А.</b> Оценка эффективности применения наночастиц в технологии цементных бетонов .....   | 105 |
| <b>Траутвайн А. И., Гридчин А.М., Вербкин В. И.</b> Разработка комплексного полимерного вяжущего для органоминеральных смесей, позволяющего снизить образование колеи на асфальтобетонном покрытии ..... | 112 |
| <b>Чернухин С.П., Барабаш Д.Е., Волков В.В., Высоцкая М.А.</b> СВЧ-резонансный метод оценки качества аэродромных и дорожных герметик .....   | 117 |
| <b>Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Холопов В.С., Траутвайн А.И.</b> Изменение свойств битума и асфальтобетона под влиянием добавок для теплого асфальтобетона.....   | 124 |
| <b>Ядыкина В.В., Шарапов Р.Р., Харламов Е.В., Тагарифуллин Р.Р.</b> Использование отхода обогащения магнититовых кварцитов в качестве минерального порошка при производстве асфальтобетонных смесей..... | 129 |

## **ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Аверкова О.А., Канар А.Э., Толмачева Е.И.</b> Изменение поля скоростей в спектре действия местного вентиляционного отсоса-раструба.....                  | 134 |
| <b>Багрецова М.В.</b> Применение тонкодисперсных отходов обогащения кимберлитовых руд в качестве гидроизоляции.....   | 139 |
| <b>Василенко М.И., Гончарова Е.Н.</b> Биоповреждение зданий и здоровье население .....  | 144 |
| <b>Сапронова Ж.А.</b> Методология и научная концепция использования отходов агропромышленного комплекса для очистки сточных вод .....                       | 149 |
| <b>Филимонов В.Н., Дмитриева О.В., Дмитриева Р.П.</b> Хроматография как метод контроля органических примесей в газовых выбросах химических производств..... | 157 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Филимонов В.Н., Денисова Л.В.</b> Контроль биологически активных веществ в кормовых смесях и препаратах для животноводства..... | 160 |
|--|-----|

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ващенко Д.А., Тарасюк П.Н., Трубаев П.А.</b> Сравнение расчетных и фактических теплотехнических характеристик ограждающих конструкций по результатам лабораторных испытаний .....        | 163 |
| <b>Ивасива И.В., Кожевников В.П.</b> Экологическая целесообразность использования солнечных и ветровых энергоресурсов.....  | 168 |
| <b>Кочарян Е.В.</b> Снижение теплопотерь в зданиях .....  | 174 |
| <b>Кизилов И.С., Кожевников В.П.</b> Экологическая и экономическая целесообразность использования локальных очистных сооружений для индивидуальных домов .....                              | 176 |
| <b>Кулешов М.И., Кожевников В.П., Губарев А.В.</b> Конденсационный водогрейный котел для нужд отопления и горячего водоснабжения .....  | 181 |
| <b>Потапенко А.Н., Гайдуков К.Ю., Потапенко Е.А.</b> Возможности применения электропривода механизма подъема в измерительном модуле определения загрузки ковша карьерного экскаватора ..... | 190 |
| <b>Рамазанов Р.С., Суслов Д.Ю., Кушев Л.А.</b> Разработка газовой горелки для сжигания биогаза .....  | 195 |
| <b>Суслов Д.Ю., Кушев Л.А., Рамазанов Р.С.</b> Экспериментальная установка для получения и сжигания биогаза .....   | 199 |
| <b>Суслов Д.Ю., Темников Д.О.</b> Разработка реактора получения биогаза с комбинированным перемешиванием .....  | 203 |
| <b>Сухорослова В.В., Трубаев П.А.</b> Влияние размера швов на термическое сопротивление кладки из керамзитовых блоков .....   | 206 |
| <b>Тарасюк П.Н., Трубаев П.А.</b> Сравнение расчетных и фактических теплотехнических свойств ограждающих конструкций по результатам натуральных измерений.....                              | 211 |
| <b>Филатов В.И.</b> Анализ существующих технологий теплоэнергетического использования отходов.....  | 216 |
| <b>Ширрине К.Ж., Трубаев П.А.</b> Ключевые аспекты функционирования системы энергетического менеджмента в бюджетных учреждениях.....  | 224 |
| <b>Ширрине К.Ж., Трубаев П.А.</b> Методика стимулирования персонала в рамках системы энергетического менеджмента.....   | 233 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Штифанова А.И., Потапенко А.Н., Щербаков А.И.</b> Разработка высокоэнергетического источника для мониторинга запасов нефти и интенсификации её добычи..... | 240 |
| <b>Щекин И.И., Трубаев П.А.</b> Методы утилизации твердых бытовых отходов .....   | 247 |
| <b>Щекин И.И., Трубаев П.А.</b> Методы переработки птичьего помета с получением тепловой и электрической энергии .....  | 251 |