

УДК 625.7/.805:504.5

Лупанов А.П. – доктор технических наук, профессор, генеральный директор

E-mail: abz4@abz4.ru

«АБЗ-4 «Капотня»

Адрес организации: 109429, Россия, г. Москва, ул. Верхние поля, д. 54

Силкин В.В. – кандидат технических наук, профессор

E-mail: alesilkin@yandex.ru

Баяртогтох Дулмаа – студент

E-mail: dulmashka417@gmail.com

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Адрес организации: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Ильина О.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ilina@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Обеспечение экологической безопасности при производстве асфальтобетонных смесей на асфальтобетонном заводе (АБЗ)

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы являлось определение основных направлений обеспечения экологической безопасности и выполнение требований экологического законодательства при производстве асфальтобетонных смесей на АБЗ.

Результаты. Основные результаты работы состоят в определении выбросов вредных веществ на АБЗ при использовании различных видов топлива, также определены основные направления и разработаны рекомендации по обеспечению экологической безопасности при производстве асфальтобетонных смесей на АБЗ.

Выводы. Реализация рекомендаций в отношении обеспечения экологической безопасности при производстве асфальтобетонных смесей позволит снизить количество вредных выбросов при эксплуатации АБЗ. Это будет способствовать экологически безопасному производству асфальтобетонных смесей, что в итоге повысит безопасность эксплуатации АБЗ в регионах Российской Федерации.

Ключевые слова: АБЗ (асфальтобетонный завод), асфальтобетонные смеси, вредные выбросы, вспененный битум, мазут, природный газ, теплые асфальтобетонные смеси, тканевый фильтр, экологические требования.

Указом президента РФ от 19.04.2017 г. № 176 утверждена новая Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Стратегией определены основные приоритетные направления в области обеспечения экологической безопасности РФ, в число которых обращено внимание на внедрение инновационных экологических технологий, развитию экологически безопасных производств.

При приготовлении асфальтобетонных смесей на заводах образуются и выделяются загрязняющие вещества в окружающую среду. Указ Президента Российской Федерации, принятые в последнее время федеральные законы, постановления Правительства Российской Федерации, приказы Минприроды России по вопросам экологического развития страны предопределяют осуществление на предприятиях, в частности, на асфальтобетонных заводах (АБЗ), необходимых мероприятий, направленных на снижение их вредного воздействия на природную среду. При этом в целях защиты населения чрезвычайно важно выполнение требований Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 25.04.2014, в соответствии с которым АБЗ должен быть отделен от жилой застройки санитарно-защитной зоной, размер которой для АБЗ составляет не менее 500 м.

Особое значение по количеству и качеству вредных выбросов имеет вид применяемого топлива для нагрева каменных материалов при производстве горячих асфальтобетонных смесей. В основном в России применяют в качестве топлива мазут и

другое жидкое топливо. Попытки добавления в мазут различных катализаторов с целью уменьшения вредных выбросов на АБЗ не обеспечивают решение этой важной проблемы. Поэтому переход на альтернативные виды топлива приобретает большую актуальность. Для уменьшения вредных выбросов на АБЗ осуществляется замена жидкого топлива на газообразное. Обследование АБЗ, работающих на газе, выявило низкий уровень загрязнения атмосферы всеми видами окислов и углеродов, а также снижение капитальных затрат асфальтобетонного завода. В табл. 1-2 приведены данные на «АБЗ № 4 «Капотня» (Москва) по выбросам и размерам платы в пересчете на 1 т асфальтобетонной смеси для асфальтосмесительных установок компаний «Amomatic» и «Ammann» при применении природного газа и мазута. Размер платы рассчитан как для выбросов в пределах установленных ПДВ, так и для сверхустановленных значений ПДВ. В последнем случае размеры платы увеличиваются в 25 раз. Из приведённых данных следует, что применение природного газа позволяет уменьшить выбросы по некоторым загрязняющим веществам в 5-6 раз по сравнению с использованием мазута. Кроме того при работе на мазуте дополнительно образуются вредные вещества, которые практически не образуются при использовании природного газа. Это мазутная зола, дигидросульфат и диоксид серы. Указанные выбросы наиболее токсичны, нормативы оплаты по ним самые высокие.

Таблица 1

Выбросы веществ и размеры платы при применении природного газа

№ п/п	Наименование веществ	Количество выбросов на 1 тонну смеси, т.	Плата за загрязнение на 1 т смеси, руб.	Плата при сверх нормативных выбросах на 1 т смеси, руб.
1	Диоксид азота	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$18,7 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$
2	Оксид азота	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$
3	Оксид углерода	$58,6 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$
4	Углероды предельные (C12-C19)	$5,7 \cdot 10^{-6}$	-	-
5	Пыль неорганическая	$54,3 \cdot 10^{-6}$	$46,5 \cdot 10^{-4}$	$11,7 \cdot 10^{-2}$
6	Карбонат кальция	$0,02 \cdot 10^{-6}$	-	-
7	Углерод (сажа)	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$
8	Диоксид серы	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$
Всего:		$127,92 \cdot 10^{-6}$	$0,007 \cdot 10^{-4}$	$0,12 \cdot 10^{-2}$

Таблица 2

Выбросы веществ и размеры платы при применении мазута

№ п/п	Наименование веществ	Количество выбросов на 1 т смеси, т	Плата за загрязнение на 1 т смеси, руб.	Плата при сверх нормативных выбросах на 1 т смеси, руб.
1	Диоксид азота	$35,2 \cdot 10^{-6}$	$91,9 \cdot 10^{-4}$	0,23
2	Оксид азота	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$10,0 \cdot 10^{-4}$	0,03
3	Оксид углерода	$179,0 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,01
4	Углероды предельные (C12-C19)	$137,1 \cdot 10^{-6}$	-	-
5	Пыль неорганическая	$72,6 \cdot 10^{-6}$	$62,2 \cdot 10^{-4}$	0,16
6	Диоксид серы	$278,3 \cdot 10^{-6}$	$238,5 \cdot 10^{-4}$	0,60
7	Мазутная зола	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$132,0 \cdot 10^{-4}$	0,33
8	Дигидросульфид (сероводород)	$0,04 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	0,02
Всего:		$708,4 \cdot 10^{-6}$	$0,054 \cdot 10^{-4}$	1,36

В перспективе следует рассмотреть в качестве альтернативных видов топлива применение на АБЗ сжиженных углеводородных газов (СУГ), опыт использования которых как за рубежом так и в РФ при газификации населённых пунктов, предприятий коммунального сектора, промышленных предприятий показал ряд преимуществ, в сравнении с традиционной газификацией. Экспертная оценка специалистов показала, что в ближайшем будущем в России возможен рост производства СУГ на 5-7 млн. тонн в год.

В качестве примера системы снабжения сжиженным углеводородным газом промышленных предприятий, в том числе асфальтобетонных заводов, можно привести оборудование компании «Экогаз» (Москва) в составе [1]:

- резервуар с номинальным объемом 20 м³ для подземного размещения (рис. 1);
- комплектная установка с самовсасывающим носом для подачи пропан-бутана из подземных резервуаров и установкой для паровой фазы.

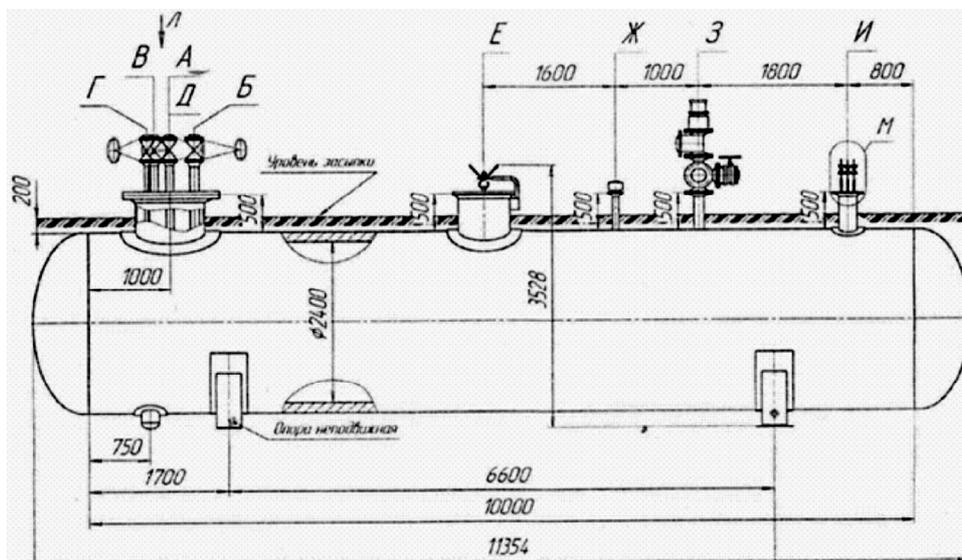


Рис. 1. Резервуар для хранения сжиженного углеводородного газа (СУГ):

- А – штуцер ввода жидкой фазы сжиженного газа; Б – штуцер вывода сжиженного газа;
 Г – штуцер дренажа; Д – штуцер для манометра; Е – люк-газ;
 Ж – штуцер индикатора-сигнализатора уровня; З – штуцер для предохранителя клапан;
 И – штуцер для установки мерных трубок и термометра

В настоящее время на объектах дорожного хозяйства РФ эксплуатируются преимущественно АБЗ на базе асфальтосмесительных установок ПАО «Кредмаш» (Украина), их доля в структуре парка асфальтосмесительного оборудования более 70 %. Значительная часть этих асфальтосмесительных установок морально устаревших конструкций (Д-508-2А, ДС-117-2Е, ДС-158 и др.) по экологическим показателям не соответствуют современным требованиям экологического законодательства РФ. Система очистки газов и уловителей пыли этих асфальтосмесительных установок основана на использовании мокрых пылеуловителей, обладающих рядом недостатков, ограничивающих область их применения: образование в процессе очистки шлама, что требует специальных систем для его переработки; вынос влаги в атмосферу и вероятность забивания газоотходов и оборудования пылью и потери жидкости вследствие брызгоуноса; большой расход воды и необходимость создания оборотных систем подачи воды в пылеуловитель. С ужесточением требований к очистке газов целесообразно более широкое внедрение тканевых фильтров вместо мокрых пылеуловителей.

На зарубежных асфальтосмесительных установках на второй ступени очистки запыленных газов и осаждения мелкой пыли применяют тканевые фильтры. Они имеют высокую эффективность, которая не зависит от изменения количества поступающих газов. Создание тканевых фильтров является основным направлением усовершенствования пылеулавливающих систем асфальтосмесительных установок. Эффективность применяемых рукавных тканевых фильтров зарубежных компаний Amman (Германия), Lintec (Германия), Marini (Италия), Astec (США), Terex (США), Almix (США–Сингапур), Amomatic (Финляндия) и составляет 99,8-99,9 %. В настоящее время имеет место оснащение дорожных организаций России асфальтосмесительными установками ЗАО Номбус (Россия), ИПК «Ротор» (Россия) и ПАО Кредмаш (Украина).

Установки этих компаний могут поставляться и с тканевыми рукавными фильтрами в модификации на природном газе.

Опыт применения тканевых фильтров на современных асфальтосмесительных установках показал, что они обеспечивают: более высокую степень очистки газов от взвешенных частиц, чем газоочистные аппараты других типов; возможность улавливания частиц практически при любом давлении газов; использование химически стойких материалов; возможность полного улавливания пыли всех размеров, включая субмикронные. Однако стоимость тканевых фильтров в составе асфальтосмесительных установок достигает 10-15 % стоимости их технологического оборудования, что является сдерживающим фактором их более широкого применения на АБЗ.

Важным направлением в части обеспечения постоянно возрастающих экологических требований является внедрение экологически более чистых способов производства асфальтобетонных смесей, отличающихся от традиционных горячих технологий гораздо меньшими выбросами вредных веществ в окружающую среду. В целях обеспечения экологических требований на АБЗ в мировой и отечественной практике все больше распространение получает приготовление холодных и теплых асфальтобетонных смесей вместо традиционных горячих. Применение холодных и теплых смесей является перспективным направлением, поскольку позволяет сократить расход энергоресурсов и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Технология приготовления холодных влажных органоминеральных смесей (ВОМС) в установке циклического действия оборудованной системой подачи и дозирования воды приведена на рис. 2. Особенности технологии заключаются в обязательном приготовлении асфальтобетонной смеси в асфальтосмесительных установках принудительного действия при следующей последовательности дозирования и подачи компонентов: щебень, песок, минеральный порошок, вода, битум. Вода может дозироваться установленным дозатором, либо водяным насосом. Битум вводится в асфальтосмеситель после перемешивания минеральных материалов с водой. Время перемешивания (около 30 сек) уточняется опытным путем. При производстве влажных смесей нагрев минеральных материалов не производится, их подача на грохот осуществляется транспортером минуя сушильный барабан. Технология производства и применения является экологически эффективной, так как практически полностью исключается выброс в атмосферу аэрозолей, содержащих минеральную пыль, различные окислы, канцерогенные углеводы.

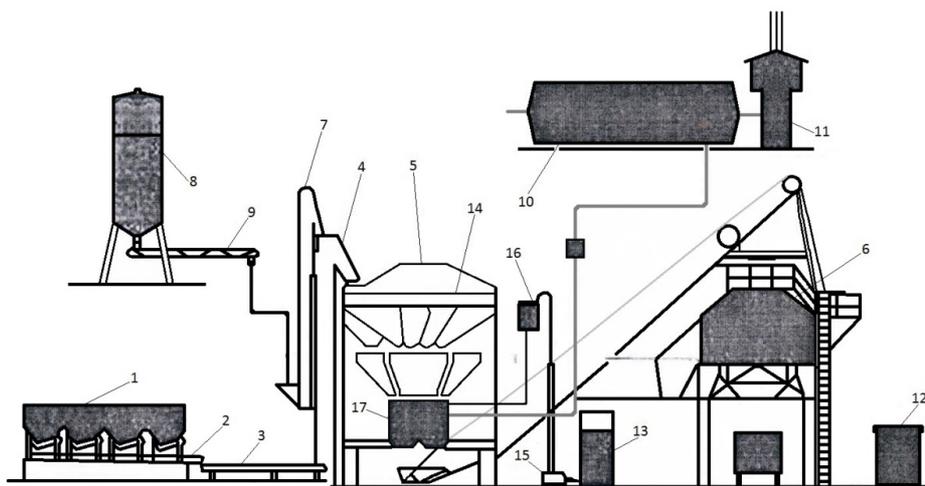


Рис. 2. Технологическая схема приготовления ВОМС:

- 1 – агрегат питания; 2 – сборный транспортер; 3 – горизонтальный транспортер; 4 – элеватор;
- 5 – грохот; 6 – бункер готовой смеси; 7 – элеватор минерального порошка;
- 8 – агрегат минерального порошка; 9 – шнек; 10 – расходная битумная емкость;
- 11 – нагреватель жидкого теплоносителя; 12 – кабина управления;
- 13 – расходная емкость для воды; 14 – горячие бункера; 15 – водяной насос;
- 16 – дозатор воды; 17 – смеситель

Для обеспечения качественного приготовления холодных асфальтобетонных смесей ведущие компании мира Ammann (Германия), Wirtgen (Германия), SAE (Франция), Kolotticone (Финляндия) и др. предлагают большой выбор мобильных и стационарных специальных асфальтосмесительных установок в широком ассортименте по производительности, уровню автоматизации и комплектности технологического оборудования. С помощью таких асфальтосмесительных установок могут быть изготовлены холодные асфальтобетонные смеси со вспененными битумами, на битумной или эмульсионной основе с новыми материалами и старым асфальтобетоном. На качество холодной смеси в широких пределах можно воздействовать добавлением старого асфальтобетона и цемента.

Анализ традиционной широко применяемой горячей асфальтобетонной смеси показывает, что основным фактором, влияющим на количество и характер выбросов на АБЗ является температура производственного процесса. В настоящее время в США и Европе достаточно широко используются различные технологии производства теплых смесей при более низких температурах (105 – 125 °С) [11, 12, 13]. В США и странах Европы объем применения теплого асфальтобетона постоянно увеличивается и составляет в настоящее время десятки млн. тонн. Количество АБЗ, оборудованных установками для производства теплых смесей составляет уже около 20 % от общего числа асфальтобетонных заводов [5]. В России к настоящему времени широкого внедрения теплых асфальтобетонных смесей не произошло. Вместе с тем на ряде объектов дорожного хозяйства России в Сибири, Республике Татарстан, Самарской области и др. осуществлена укладка теплых асфальтобетонных смесей, которая показала обнадеживающие результаты [7].

На основании исследований, выполненных в России и за рубежом, установлено, что производство теплых асфальтобетонных смесей имеет ряд преимуществ, к числу которых в первую очередь следует отнести:

- снижение потребления топлива на производстве асфальтобетонной смеси;
- уменьшение вредного влияния на окружающую природную среду.

Экономия топлива при реализации технологии производства теплых смесей составляет от 20 до 35 % при значительных сокращениях выхлопов углекислого газа, оксидов азота, диоксида и др. [5, 6].

Опыт производства теплых асфальтобетонных смесей накоплен на АБЗ в Санкт-Петербурге ОАО «Асфальтобетонный завод № 1» и в Москве «АБЗ № 4 «Капотня». Производство теплых смесей осуществляется двумя принципиальными используемыми способами: путем применения различных специальных добавок, либо за счет применения вспененного битума. Проведенными экспериментальными исследованиями установлено положительное влияние специальных добавок на основные качественные характеристики асфальтобетонных смесей. Показано, что их применение улучшает водостойкость, подвижность, а также прочностные показатели [3]. Однако высокая стоимость добавок преимущественно зарубежного производства (Evotherm, Aspha-min, Sasobit и др.) сдерживает увеличение объема производства теплых смесей для строительства автомобильных дорог. Следует отметить, что использование специальных добавок отечественного производства (ДАД-1 Азол-1017, Адгезол3-ТД и др.) позволит обеспечить экономический эффект от их использования [2, 3]. При применении вспененного битума для приготовления теплых смесей требуется приобретение специального зарубежного оборудования для вспенивания. Выполненными расчетами установлено, что зарубежное оборудование можно окупить при выпуске теплых смесей при работе АБЗ на природном газе – 140 тыс. тонн, при работе на мазуте 120 тыс. тонн, при работе на дизельном топливе 60 тыс. тонн [4].

В соответствии с новыми экологическими требованиями в обязательном порядке на АБЗ также должны быть предусмотрены и выполнены организационно-хозяйственные мероприятия для обеспечения условий и требований, предусматриваемых в требованиях экологических законодательств РФ:

- хранение органических вяжущих в специальных крытых битумохранилищах с надежным отводом вод или в специально обогреваемых цистернах вместо хранилищ ямного типа;

- выгрузка, складирование и внутризаводское транспортирование пылевидных материалов необходимо производить пневматическим транспортом;
- уменьшение пылеобразования на складах каменных материалов их увлажнением;
- обеспечение мер, направленных на полное прекращение сброса в водные объекты недостаточно очищенных сточных вод;
- утилизация всех отходов (применение средств утилизации) или их вывоз в специально установленные места, установленные местными органами исполнительной власти;
- организация действенного производственного экологического контроля в целях выполнения мероприятий по охране окружающей среды, а также в целях соблюдения требований, установленных экологическим законодательством РФ.

Выводы

1. При строительстве новых АБЗ необходимо в обязательном порядке обеспечить выполнение требований экологического законодательства РФ в части отделения их от жилой застройки санитарно-защитной зоной в размере не менее 500 м. Территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена газоустойчивыми породами деревьев и кустарников по проекту благоустройства, разработанному одновременно с проектом строительства или реконструкции АБЗ.

2. Отказ от сжигания органического топлива при производстве асфальтобетонной смеси. При невозможности газификации по традиционной технологии следует предусмотреть использование сжиженного углекислого газа.

3. Широкое внедрение экологически чистых технологий производства и укладки теплых и холодных смесей для строительства и ремонта автомобильных дорог – настоятельное требование времени.

4. Необходимо в обязательном порядке провести инвентаризацию отделений комплекса АБЗ с разработкой организационных и технических мероприятий, направленных на снижение выбросов вредных веществ на производственном мероприятии.

5. Обязательным для АБЗ должна стать разработка программ производственного экологического контроля, осуществление его проведения в соответствии с установленными требованиями экологического законодательства РФ.

Список библиографических ссылок

1. Силкин В. В., Лупанов А. П., Мухин М. А. Перспективы применения сжиженного газа // Строительная техника и технологии. 2013. № 3. С. 64–68.
2. Траутвайн А. И., Ядыкина В. В., Землякова Д. В., Чистяков Ю. Л. Влияние добавок EVOTHERM, АЗОЛ 1007 и АДГЕЗОЛ 3-ТД на свойства битума // Дороги и мосты. 2015. № 33/1. С. 320–333.
3. Гладышев Н. В. Совершенствование технологий приготовления и укладки асфальтобетонных смесей с добавлением гранулята старого асфальтобетона. Автореферат диссертации кандидата технических наук. М. : МАДИ, 2015. 22 с.
4. Лупанов А. П., Силкин В. В., Суханов А. С., Гладышев Н. В. Экономическая эффективность производства асфальтобетонных смесей на вспененном битуме // Автомобильные дороги. 2017. № 9. С. 89–91.
5. Крупин Н. В. Теплый асфальтобетон. Экскурс в развитие технологии // Технический вестник дорожного хозяйства. 2012. № 3. С. 64–74.
6. Радовский Б. С. Технология нового теплового асфальтобетона в США // Дорожная техника. 2008. № 1. С. 56–60.
7. Силкин В. В., Лупанов А. П., Васильев Ю. Э. Приготовление теплых асфальтобетонных смесей // Строительная техника и технологии. 2013. № 5. С. 120–125.
8. Лупанов А. П. Переработка асфальтобетона на АБЗ. М. : Экон-информ, 2012. 210 с.

9. Сагадеев Е. В., Сагадеев В. В. Расчет теплот сгорания предельных углеводородов, входящих в энергетические топлива // Теплофизика высоких температур. 2002. Т. 40. № 4. С. 581–585.
10. Сагадеев Е. В., Сагадеев В. В. Расчет теплоты сгорания углеводородных компонентов топлив // Теплофизика высоких температур. 2004. Т. 42. № 3. С. 421–425.
11. Austerman A. J., Mogawer W. S., Bonaquist R. Evaluating the Effects of Warm Mix Asphalt Technology Additive Dosages on the Workability and Durability of Asphalt Mixtures Containing Recycled Asphalt Pavement // Transportation research Board of the National Academies. Washington D.C. 2009. P. 9–12.
12. Bennert T., Reinke G., Mogawer W., Mooney K. Assessment of Workability, Compactability of Warm Mix Asphalt // Transportation research Board of the National Academies. Washington D.C. 2010. P. 10–22.
13. Jamshidi A. Effects of Sasobit Content on the Rheological Characteristics of Unaged and Aged Asphalt Binders at High and Intermediate Temperatures / Meor Othman Hamzah, Mohamad Yusri Aman // Materials Research. 2012. № 15 (4). P. 628–638.

Lupanov A.P. – doctor of technical sciences, professor, general director

E-mail: abz4@abz4.ru

«ABZ-4 «Капотня»

The organization address: 109429, Russia, Moscow, Verhnie polya str., 54

Silkin V.V. – candidate of technical sciences, professor

E-mail: alesilkin@yandex.ru

Bayartogtokh Dulmaa – student

E-mail: dulmashka417@gmail.com

Moscow State Automobile and Road Technical University

The organization address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64

Irina O.N. – candidate of technical Sciences, associate Professor

E-mail: ilina@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Ensuring the environmental safety during production of asphalt concrete mixtures at the plant

Abstract

Problem statement. The aim of this work was to determine the main directions of provision of environmental safety and compliance with the requirements of environmental legislation in the production of asphalt mixes at the asphalt plant.

Results. The main results consist in the determination of emissions of harmful substances at the plant using different fuels, are also defined the basic directions and recommendations for environmental safety in the production of asphalt mixes at the asphalt plant.

Conclusions. Implementation of recommendations of environmental safety in the production of asphalt mixes will reduce the amount of harmful emissions during operation of asphalt plant. This will contribute to environmentally friendly production of asphalt mixtures, which will ultimately increase the safety of operation of ABZ in the regions of the Russian Federation.

Keywords: asphalt plant (asphalt plant), asphalt mix, emissions, foamed bitumen, fuel oil, natural gas, warm mix asphalt, fabric filter, environmental requirements.

References

1. Silkin V. V., Lupanov A. P., Mukhin M. A. Prospects for the use of liquefied gas // Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii. 2013. № 3. P. 64–68.

2. Trautwein A. I., Yadykina V. V., Zemlyakova D. V., Chistyakov Y. L. Influence of additives EVOTHERM, AZOL 1007 and ADESOL S-TD on the properties of bitumen // *Dorogi i mosty*. 2015. № 33/1. P. 320–333.
3. Gladyshev N. I. Improvement of technologies of preparation and laying of asphalt mixtures with addition of granulated old asphalt concrete // Abstract of thesis of candidate of technical sciences. M. : MADI, 2015. 22 p.
4. Lupanov A. P., Silkin V. V., Sukhanov A. V., Gladyshev N. V. Economic efficiency of production of asphalt mixtures foamed bitumen // *Avtomobil'nyye dorogi*. 2017. № 9. P. 89–91.
5. Krupin N. In. Warm asphalt. Review of the development of technology // *Tekhnicheskiy vestnik dorozhnogo khozyaystva*. 2012. № 3. P. 64–74.
6. Radovsky B. S. Technology new heat asphalt in USA // *Dorozhnaya tekhnika*. 2008. № 1. P. 56–60.
7. Silkin V. V., Lupanov A. P., Vasiliev J. E. Preparation of warm asphalt mixtures // *Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii*. 2013. № 5. P. 120–125.
8. Lupanov A. P. Recycling of asphalt concrete at the plant. M. : Econ-inform, 2012. 210 p.
9. Sagadeev E. V., Sagadeev V. V. Calculation of the heats of combustion of saturated hydrocarbons included in fuel energy // *Teplofizika vysokikh temperatur*. 2002. T. 40. № 4. P. 581–585.
10. Sagadeev E. V., Sagadeev V. V. Calculation of the heat of combustion of hydrocarbon components of fuels // *Teplofizika vysokikh temperatur*. 2004. T. 42. № 3. P. 421–425.
11. Austerman A. J., Mogawer W. S., Bonaquist R. Evaluating the Effects of Warm Mix Asphalt Technology Additive Dosages on the Workability and Durability of Asphalt Mixtures Containing Recycled Asphalt Pavement // Transportation research Board of the National Academies. Washington D.C. 2009. P. 9–12.
12. Bennert T., Reinke G., Mogawer W., Mooney K. Assessment of Workability, Compactability of Warm Mix Asphalt // Transportation research Board of the National Academies. Washington D.C. 2010. P. 10–22.
13. Jamshidi A. Effects of Sasobit Content on the Rheological Characteristics of Unaged and Aged Asphalt Binders at High and Intermediate Temperatures / Meor Othman Hamzah, Mohamad Yusri Aman // *Materials Research*. 2012. № 15 (4). P. 628–638.