

ХЫУ ТУАН ЛЕ¹, В.А. ГЛАДКИХ¹, Е.В. КОРОЛЕВ¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ ЭМИССИИ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ В ТЕХНОЛОГИИ СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОНА

Аннотация. При изготовлении и укладке сероасфальтобетонных смесей протекают химические реакции, сопровождающиеся выделением токсичных газов – сероводорода и диоксида серы. Это существенно ограничивает использование серы для изготовления сероасфальтобетона. Однако применение нейтрализаторов эмиссии токсичных газов позволит решить указанную проблему. Модифицирующие добавки – нейтрализаторы, могут химически взаимодействовать с сероводородом и диоксидом серы предположительно с образованием мало- или нерастворимых соединений.

В статье представлены результаты исследования кинетики эмиссии газов сероводорода H_2S и диоксида серы SO_2 в зависимости от вида нейтрализатора. Исследована эффективность в качестве нейтрализаторов, следующих химических соединений: оксид марганца, оксид цинка, оксид меди, цинк, доломит, диатомит. Проведен сравнительный анализ интенсивности выделения токсичных газов из серобитумного вяжущего, результаты которого показывают, что применение нейтрализаторов позволяет снижать эмиссию токсичных газов тем самым решается экологическая проблема использования сероасфальтобетонов.

Ключевые слова: сероасфальтобетон, нейтрализаторы, токсичные газы, экологическая проблема, эмиссия токсичных газов.

HUU TUAN LE¹, V.A. GLADKIKH¹, E.V. KOROLEV¹¹ National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

THE EFFICIENCY OF VARIOUS TOXIC GAS EMISSION NEUTRALIZERS IN SULFUR-ASPHALT CONCRETE TECHNOLOGY

Abstract. In the manufacture and installation of sulfur-asphalt concrete mixtures, chemical reactions occur, accompanied by the release of toxic gases - hydrogen sulfide and sulfur dioxide. This significantly limits the use of sulfur for the manufacture of sulfur-asphalt concrete. One of solutions for the problem above is adding neutralizing agents into the composition of the sulfur modifying converter. As neutralizing agents sulfur modifying additives chemically interact with hydrogen sulfide and sulfur dioxide to form sparingly soluble or insoluble compounds, such as manganese oxide, zinc oxide, copper oxide, zinc, dolomite, diatomite.

The kinetics of hydrogen sulfide gas (H_2S) and sulfur dioxide (SO_2) emissions are presented as well as their dependences on the type of neutralizer. A comparative analysis of the intensity of toxic gas emission from a sulfur-bitumen binder is carried out. A description is given of an experimental setup for determining changes in the intensity of toxic gas evolution and the effect of neutralizers. Studies of the advantages of sulfur-asphalt concrete with toxic gas emission neutralizers show that their use reduces the amount of emission of these gases and improves the environmental problem of using sulfur-asphalt concrete.

Keywords: Sulfur- extended asphalt concrete, neutralizers, toxic gases, environmental problem, toxic gas emissions

1 Введение

Асфальтобетонные покрытия часто работают в сложных условиях под воздействием эксплуатационных (нагрузки от движущегося транспорта) и погодных-климатических факторов (температурные изменения, солнечная радиация, воздействие воды.). Эксплуатация

асфальтобетона в таких условиях приводит к образованию дефектов на дорожном покрытии. [1] Перспективным направлением в повышении долговечности дорожных покрытий является применение серы в качестве модифицирующего компонента асфальтобетонной смеси [2, 3]. Добавление серы позволяет повысить прочность материала и значительно улучшает сцепление вяжущего с поверхностью минерального заполнителя [4...7]. Асфальтобетон, модифицированный серой, получил название сероасфальтобетон, отличительной особенностью которого являются высокая прочность и устойчивость к колееобразованию [8...11]. Однако, использование серы приводит к выделению токсичных газов (H_2S и SO_2) при производстве и укладке сероасфальтобетонных смесей. Известен способ, когда для снижения восприятия сероводорода и диоксида серы применяют различные ароматизаторы, но эти вещества только маскируют запах. Для решения этой проблемы, применяются нейтрализаторы эмиссии токсичных газов, например, оксид марганца MnO_2 , оксид цинка ZnO , оксид меди CuO , цинк Zn , доломит, диатомит [12...16], которые могут химически взаимодействовать с указанными токсичными газами с образованием мало- или нерастворимых соединений.

2 Модели и методы

Для определения эмиссии токсичных газов использовалось серобитумное вяжущее с содержанием серы 10; 20 и 30 % по массе. Составы серобитумного вяжущего без добавления нейтрализаторов эмиссии токсичных газов принимались за контрольные. Эффект от использования рассматриваемых нейтрализаторов оценивался на образцах с добавлением 10 % нейтрализаторов от массы серы в составе вяжущего. Приготовление и исследование эмиссии токсичных газов осуществлялось на образцах битумного вяжущего при постоянной температуре равной 140 ± 1 °C при постоянном перемешивании.

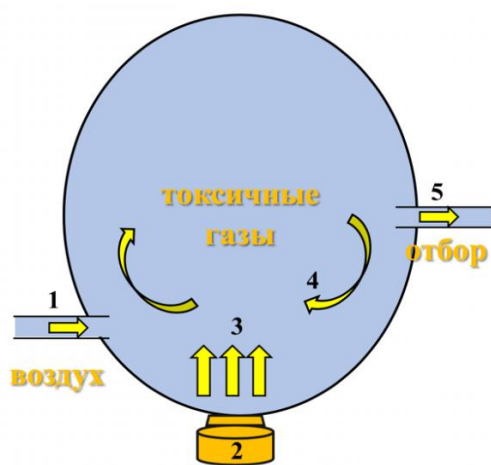


Рисунок 1 – Принципиальная схема работы установки

Определение величины эмиссии токсичных газов осуществлялось с применением разработанной установки, принципиальная схема работы которой представлена рисунке 1 и включает в себя следующие процессы: 1 – непрерывная подача воздуха в сосуд с помощью внешнего компрессора; 2 – термостатирование при заданной температуре образца в течение эксперимента с точностью до 1 °C; 3 – выделение токсичных газов при взаимодействии серы и расплава битума; 4 – смешивание выделяющихся токсичных газов с воздухом внутри сосуда; 5 – отбор объема воздуха из сосуда и подача его для измерения в газоанализатор.

Замеры концентрации токсичных газов проводились с момента добавления компонентов модифицирующей добавки в виде серы с нейтрализаторами в расплав битума каждую минуту в течение 1 часа.

3 Результаты исследования и их анализ

Результаты определения влияния нейтрализаторов на интенсивность выделения токсичных газов представлены на рисунках 2, 3 и 4.

Анализ зависимостей влияния содержания серы на эмиссию токсичных газов (рисунок 2) показывает, что увеличение количества серы закономерно приводит к увеличению объема выделения сероводорода и диоксида серы.

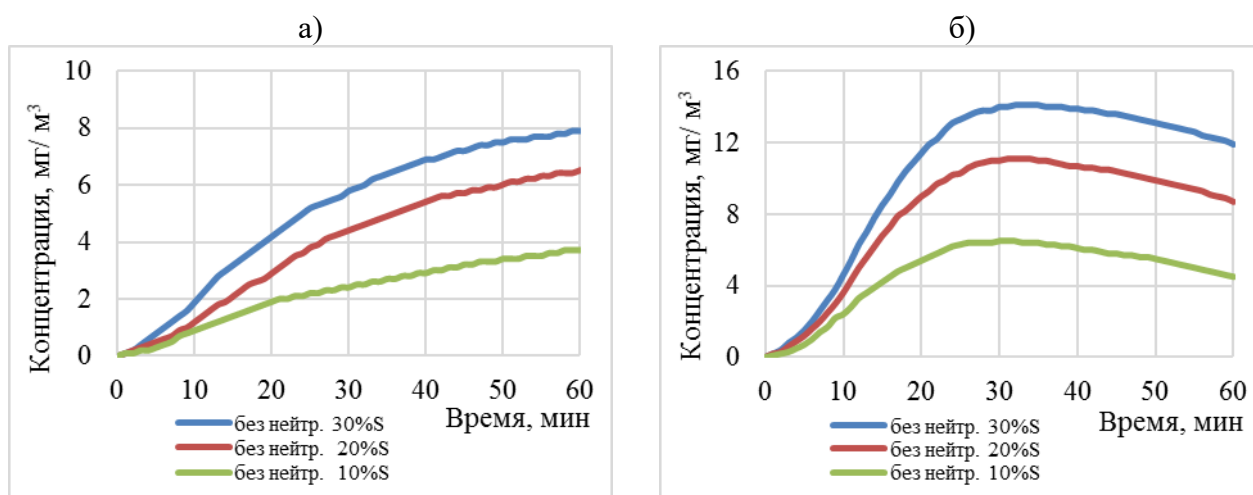


Рисунок 2 – Результаты исследования эмиссии токсичных газов:

а) – сероводорода H_2S ; б) – диоксида серы SO_2

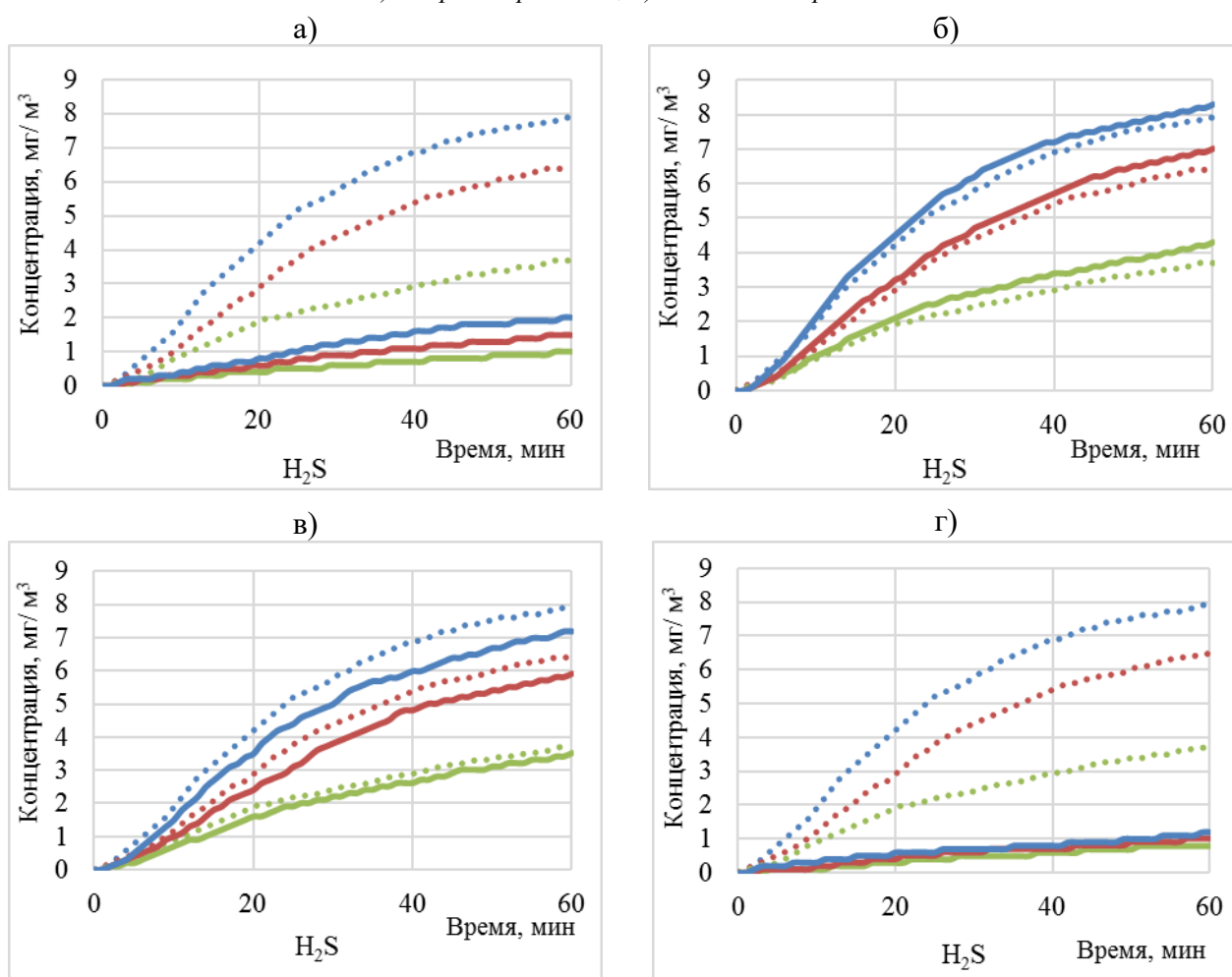
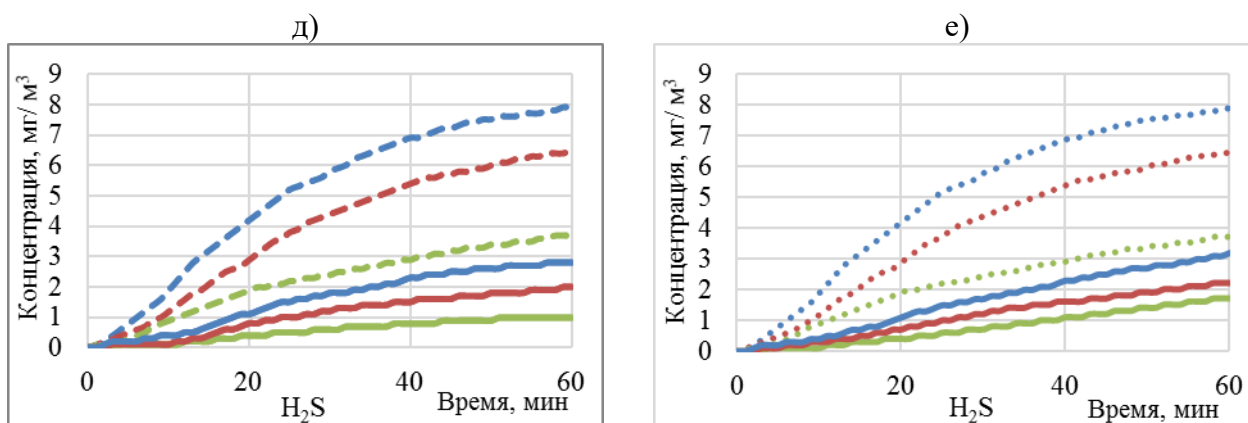


Рисунок 3 – Результаты исследования кинетики эмиссии сероводорода H_2S в зависимости от вида нейтрализатора: а) – CuO ; б) – ZnO ; в) – Zn ; г) – MnO_2 ; д) – доломит; е) – диатомит.

- — — — — эмиссия сероводорода (H_2S), в отсутствии нейтрализаторов, при введении 10% серы;
- — — — — то же, при введении 20% серы;
- — — — — то же, при введении 30% серы;
- — — — — эмиссия сероводорода (H_2S), в присутствии нейтрализаторов, при введении 10% серы;
- — — — — то же, при введении 20% серы;
- — — — — то же, при введении 30% серы.



Продолжение рисунка 3

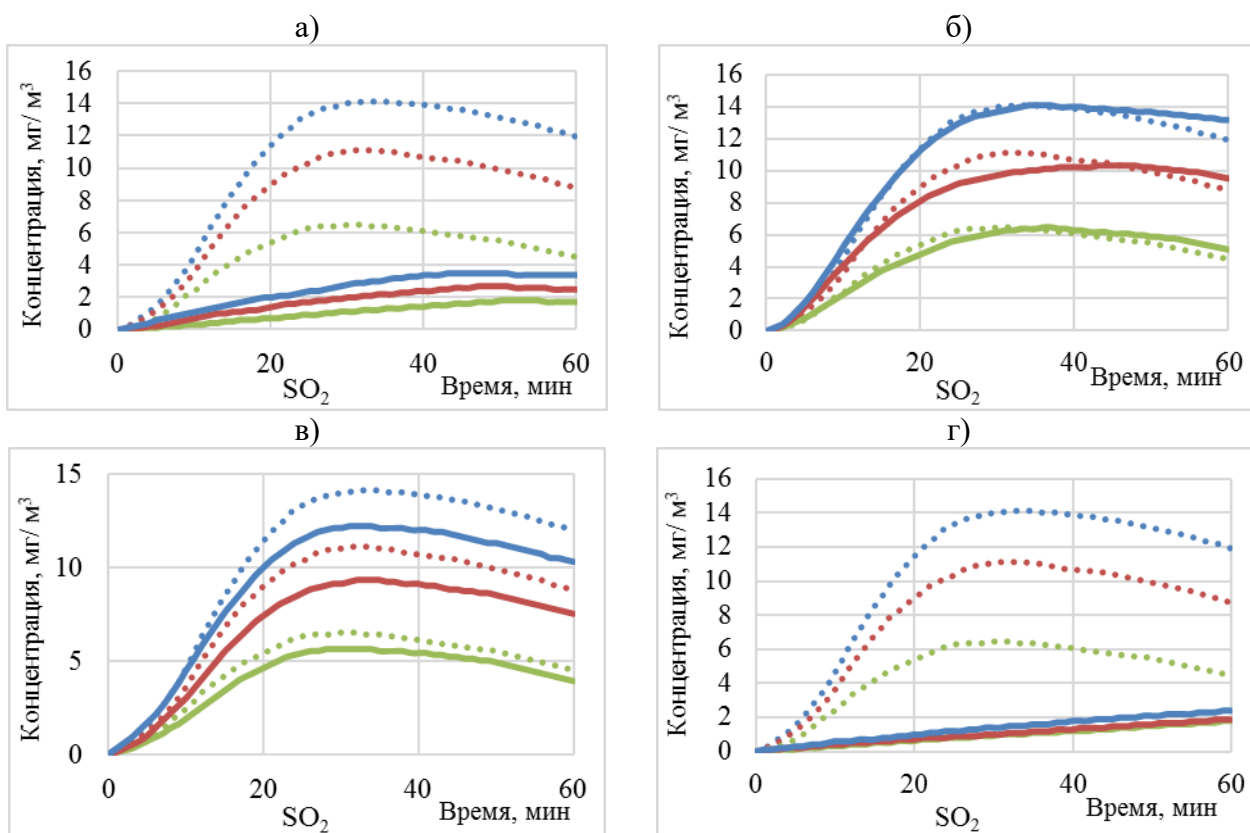
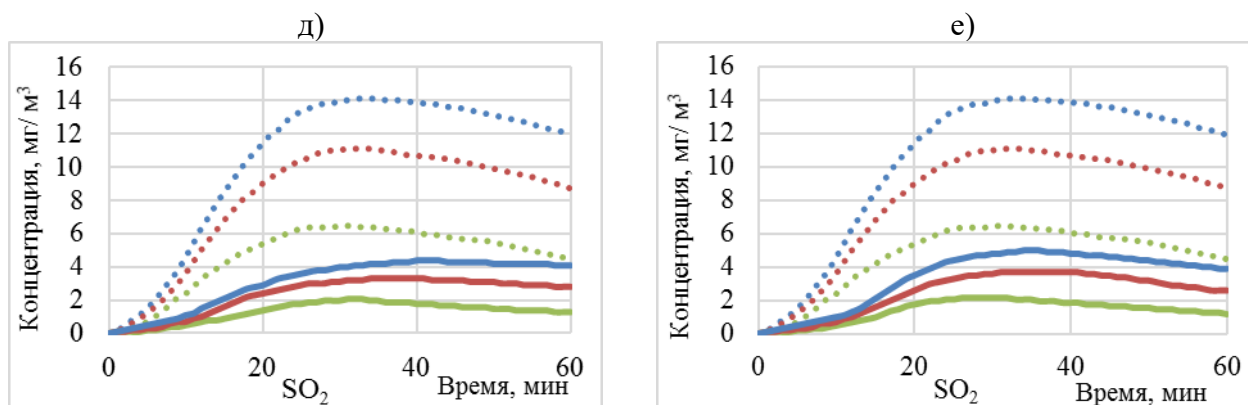


Рисунок 4 – Результаты исследования кинетики эмиссии диоксида серы SO_2 в зависимости от вида нейтрализатора: а) – CuO ; б) – ZnO ; в) – Zn ; г) – MnO_2 ; д) – доломит; е) – диатомит

- — — — — эмиссия диоксида серы (SO_2), в отсутствии нейтрализаторов, при введении 10% серы;
- — — — — то же, при введении 20% серы;
- — — — — то же, при введении 30% серы;
- — — — — эмиссия диоксида серы (SO_2), в присутствии нейтрализаторов, при введении 10% серы;
- — — — — то же, при введении 20% серы;
- — — — — то же, при введении 30% серы;



Продолжение рисунка 4

В таблице 1 представлены сводные результаты параметров эмиссии диоксида серы и сероводорода.

Таблица 1 - Параметры эмиссии диоксида серы и сероводорода

Вид нейтрализатора	Содержание серы, %	Время, мин							
		15	30	45	60	15	30	45	60
		SO ₂ , мг/м³				H ₂ S, мг/м³			
Без нейтрализатора	10	<u>4,2*</u> -	<u>6,5</u> -	<u>5,8</u> -	<u>4,5</u> -	<u>1,4</u> -	<u>2,4</u> -	<u>3,2</u> -	<u>3,7</u> -
	20	<u>6,8</u> -	<u>11</u> -	<u>10,4</u> -	<u>8,7</u> -	<u>2,1</u> -	<u>4,4</u> -	<u>5,7</u> -	<u>6,5</u> -
	30	<u>8,5</u> -	<u>14</u> -	<u>13,6</u> -	<u>11,9</u> -	<u>3,2</u> -	<u>5,8</u> -	<u>7,2</u> -	<u>7,9</u> -
Цинк	10	<u>3,4</u> 1,2	<u>5,6</u> 1,2	<u>5,2</u> 1,1	<u>3,9</u> 1,2	<u>1,1</u> 1,3	<u>2,2</u> 1,1	<u>2,9</u> 1,1	<u>3,5</u> 1,0
	20	<u>5,5</u> 1,2	<u>9,1</u> 1,2	<u>8,8</u> 1,2	<u>7,5</u> 1,2	<u>1,8</u> 1,2	<u>3,8</u> 1,2	<u>5,1</u> 1,1	<u>5,9</u> 1,1
	30	<u>7,6</u> 1,1	<u>12,1</u> 1,2	<u>11,7</u> 1,2	<u>10,3</u> 1,2	<u>2,7</u> 1,2	<u>5</u> 1,2	<u>6,4</u> 1,1	<u>7,2</u> 1,0
Оксид марганца (IV)	10	<u>0,5</u> 8,4	<u>0,9</u> 7,2	<u>1,3</u> 4,5	<u>1,8</u> 2,5	<u>0,2</u> 7	<u>0,5</u> 4,8	<u>0,7</u> 4,6	<u>0,8</u> 4,6
	20	<u>0,6</u> 11,3	<u>1</u> 11	<u>1,5</u> 6,9	<u>1,9</u> 4,6	<u>0,3</u> 7	<u>0,6</u> 7,3	<u>0,8</u> 7,1	<u>1</u> 6,5
	30	<u>0,7</u> 12,1	<u>1,4</u> 10	<u>1,9</u> 7,2	<u>2,4</u> 5	<u>0,5</u> 6,4	<u>0,7</u> 8,3	<u>0,9</u> 8	<u>1,2</u> 6,6
Оксид меди (II)	10	<u>0,5</u> 8,4	<u>1,1</u> 5,9	<u>1,6</u> 3,6	<u>1,7</u> 2,6	<u>0,3</u> 4,7	<u>0,6</u> 4	<u>0,8</u> 4	<u>1</u> 3,7
	20	<u>1,1</u> 6,2	<u>2</u> 5,5	<u>2,6</u> 4	<u>2,5</u> 3,5	<u>0,5</u> 4,2	<u>0,9</u> 4,9	<u>1,2</u> 4,8	<u>1,5</u> 4,3
	30	<u>1,6</u> 5,3	<u>2,8</u> 5	<u>3,5</u> 3,9	<u>3,4</u> 3,5	<u>0,6</u> 5,3	<u>1,2</u> 4,8	<u>1,7</u> 4,2	<u>2</u> 4
Оксид цинка (II)	10	<u>3,8</u> 1,1	<u>6,2</u> 1,0	<u>6,1</u> 0,9	<u>5,1</u> 0,9	<u>1,6</u> 0,9	<u>2,8</u> 0,9	<u>3,6</u> 0,9	<u>4,3</u> 0,9
	20	<u>6,4</u> 1,0	<u>9,7</u> 1,1	<u>10,3</u> 1,0	<u>9,5</u> 0,9	<u>2,4</u> 0,9	<u>4,7</u> 0,9	<u>6,2</u> 0,9	<u>7</u> 0,9
	30	<u>8,6</u> 1,0	<u>13,7</u> 1,0	<u>13,8</u> 1,0	<u>13,2</u> 0,9	<u>3,5</u> 0,9	<u>6,2</u> 0,9	<u>7,5</u> 1,0	<u>8,3</u> 1,0

Вид нейтрализат ора	Содержа ние серы, %	Время, мин							
		15	30	45	60	15	30	45	60
		SO ₂ , мг/м ³				H ₂ S, мг/м ³			
Доломит	10	<u>0,9</u> 4,7	<u>2</u> 3,3	<u>1,7</u> 3,4	<u>1,3</u> 3,5	<u>0,2</u> 7	<u>0,6</u> 4	<u>0,9</u> 3,6	<u>1</u> 3,7
		<u>1,6</u> 4,3	<u>3,1</u> 3,5	<u>3,2</u> 3,3	<u>2,8</u> 3,1	<u>0,4</u> 5,3	<u>1,2</u> 3,7	<u>1,6</u> 3,6	<u>2</u> 3,3
	20	<u>2,1</u> 4,0	<u>4</u> 3,5	<u>4,3</u> 3,2	<u>4,1</u> 2,9	<u>0,7</u> 4,6	<u>1,8</u> 3,2	<u>2,5</u> 2,9	<u>2,8</u> 2,8
		<u>1</u> 4,2	<u>2,2</u> 2,9	<u>1,7</u> 3,4	<u>1,2</u> 3,8	<u>0,3</u> 4,7	<u>0,7</u> 3,4	<u>1,2</u> 2,7	<u>1,7</u> 2,2
	30	<u>1,6</u> 4,3	<u>3,6</u> 3,1	<u>3,5</u> 3,0	<u>2,6</u> 3,3	<u>0,5</u> 4,2	<u>1,2</u> 3,7	<u>1,7</u> 3,6	<u>2,2</u> 3,0
		<u>2,1</u> 4,0	<u>4,8</u> 2,9	<u>4,6</u> 3,0	<u>3,9</u> 3,0	<u>0,7</u> 4,6	<u>1,7</u> 3,4	<u>2,5</u> 2,9	<u>3,2</u> 2,5
Диатомит	10	<u>0,9</u> 4,7	<u>2</u> 3,3	<u>1,7</u> 3,4	<u>1,3</u> 3,5	<u>0,2</u> 7	<u>0,6</u> 4	<u>0,9</u> 3,6	<u>1</u> 3,7
		<u>1,6</u> 4,3	<u>3,1</u> 3,5	<u>3,2</u> 3,3	<u>2,8</u> 3,1	<u>0,4</u> 5,3	<u>1,2</u> 3,7	<u>1,6</u> 3,6	<u>2</u> 3,3
	20	<u>2,1</u> 4,0	<u>4</u> 3,5	<u>4,3</u> 3,2	<u>4,1</u> 2,9	<u>0,7</u> 4,6	<u>1,8</u> 3,2	<u>2,5</u> 2,9	<u>2,8</u> 2,8
		<u>1</u> 4,2	<u>2,2</u> 2,9	<u>1,7</u> 3,4	<u>1,2</u> 3,8	<u>0,3</u> 4,7	<u>0,7</u> 3,4	<u>1,2</u> 2,7	<u>1,7</u> 2,2
	30	<u>1,6</u> 4,3	<u>3,6</u> 3,1	<u>3,5</u> 3,0	<u>2,6</u> 3,3	<u>0,5</u> 4,2	<u>1,2</u> 3,7	<u>1,7</u> 3,6	<u>2,2</u> 3,0
		<u>2,1</u> 4,0	<u>4,8</u> 2,9	<u>4,6</u> 3,0	<u>3,9</u> 3,0	<u>0,7</u> 4,6	<u>1,7</u> 3,4	<u>2,5</u> 2,9	<u>3,2</u> 2,5
Примечания: * - в числителе отражена концентрация токсичного газа, определенная в указанное время; в знаменателе показана кратность снижения количества выделения токсичного газа.									

Анализ результатов эмиссии диоксида серы и сероводорода (рисунки 3, 4 и таблица 1) показывает, что эмиссия токсичных газов наиболее эффективно снижается при введении MnO₂ и CuO в количестве 10% от массы серы. После 15 минут взаимодействия, при использовании MnO₂ с концентрацией серы 10%, концентрация токсичных газов SO₂ и H₂S уменьшается в 8,4 и 7 раз соответственно, а при концентрации серы 30% концентрация токсичных газов SO₂ и H₂S уменьшается в 12,1 и 6,4 раза, соответственно. Через 60 минут взаимодействия, эффективность снижения эмиссии сероводорода не изменяется, а концентрация диоксида серы уменьшается в 2,5 и 5 раз при концентрации серы 10% и 30%, соответственно.

Цинк и оксид цинка (II) являются неэффективными нейтрализаторами. После 15 минут взаимодействия, при использовании Zn с концентрацией серы 10%, концентрация токсичных газов SO₂ и H₂S уменьшается в 1,2 и 1,3 раза соответственно, а при концентрации серы 30% концентрация токсичных газов SO₂ и H₂S уменьшается на 1,1 и 1,2 раз, соответственно. Через 60 минут взаимодействия, эффективность снижения эмиссии токсичных газов не изменяется. Использование ZnO приводит к увеличению количества выделения токсичных газов из серно-битумной смеси.

Анализ результатов исследований показывает, что использование доломита и диатомита позволяет значительно снижать эмиссию токсичных газов. Таким образом, данные материалы являются перспективными для дополнительной нейтрализации сероводорода и диоксида серы, в том числе благодаря их невысокой себестоимости.

4 Выводы

Анализ результатов исследования кинетики эмиссии газа сероводорода и диоксида серы, в присутствии нейтрализаторов показывает, что наиболее эффективными нейтрализаторами являются оксид меди (II) и диоксид марганца (IV). Низкую эффективность имеет порошок металлического цинка Zn, а использование оксида цинка ZnO увеличивает выделение токсичных газов из серобитумной смеси. Использование минеральных добавок доломита и диатомита позволяет значительно снижать эмиссию токсичных газов, поэтому указанные добавки являются перспективным для дополнительной нейтрализации сероводорода и диоксида серы, благодаря их невысокой себестоимости.

Использование эффективных нейтрализаторов позволит решить санитарно-гигиенические проблемы и расширить объемы применения сероасфальтобетонных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Ю.Э., Ивачев А.В., Братищев И.С. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износному колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным // Вестник евразийской науки. 2014. No 5 (24). С. 20.
2. Дошлов Олег Иванович, Калапов Иван Анатольевич. Новые дорожные битумы на основе органического вяжущего, модифицированного технической серой и полимерными добавками // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. No 11 (106). С. 107-111.
3. Тураев Ф.Т., Бекназаров Х.С., Джалилов А.Т. Исследование модификации дорожного битума элементной серой // Universum: технические науки. 2019. No 2 (59). С. 65-69.
4. Vitaliy Gladkikh, Evgeniy Korolev, Dmitrij Husid and Ilya Sukhachev. Properties of sulfur- extended asphalt concrete // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. DOI: 0.1051/mateconf/20168604024
5. R Yang, H Ozer, Y Ouyang, A. Alarfaj, K Islam, M I Khan, K M Khan, and F. I. Shalabi. Life-Cycle Assessment of Using Sulfur-Extended Asphalt (SEA) in Pavements // International Airfield and Highway Pavements Conference 2019: Innovation and Sustainability in Highway and Airfield Pavement Technology. 2019. Pp. 183-192.
6. Gladkikh V, Korolev E and Smirnov V. Structure and physical properties of sulfur with nanoscale carbon modifiers // E3S Web of Conferences. 2019. 91. 07014.
7. Inozemtcev S., Korolev E. Method of Modifying of Mineral Fillers for Asphalt Concrete by Calcium Polysulfide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 661(1). 012136.
8. Vasiliev, Yu E. Methodological fundamentals of automation of processes of industrial production of sulfur-asphalt concrete mixtures with optimization of the components of the mineral part according to particle size distribution. Moscow, 2012. 40 p.
9. Andronov S.Yu., Vasiliev Yu.E., Timokhin D.K., Repin A.M., Repina O.V. and Talalay V.V. Production and use of sulfur-asphalt composite coatings on roads and bridges // Bulletin of Eurasian Science 8. 2016. (3 (34). Pp. 107.
10. Sulfur asphalt concrete against sharp temperature changes [Electronic resource]. URL: <http://rosavtodor.ru/activity/news-from-regions/14062.html> (accessed March 16, 2015).
11. David Yeoh, Koh Heng Boon and Norwati Jamaluddin. Exploratory study on the mechanical and physical properties of concrete containing sulfur // Journal Technology Sciences & Engineering. 2015. 77:32) p 179–188.
12. Gladkikh V A and Korolev E V. Reducing emissions of hydrogen sulfide and sulfur dioxide from sulfur-bitumen materials // Internet Herald VolgGASU. 2014. No. 2 (33). Pp. 3.
13. Pat. 2585540 United States. A method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt. Majid Jamshed Chughtai, Helen Jayne Davies, Richard Walter May and David Strickland. Publ. 05/01/2013.
14. Vitaliy A Gladkikh, Evgeniy V Korolev. Suppressing the Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide Emission from Sulfur-bituminous Concrete // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1040. Pp. 387-392.
15. Pat. US8,523,994B2 United States Method for reducing hydrogen sulfide evolution from asphalt. Publ. Sep.3,2013.
16. Pat. 2585540 United States. A method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt. Majid Jamshed Chughtai, Helen Jayne Davies, Richard Walter May, David Strickland. Publ. 01.05.2013.

REFERENCES

1. Vasil'yev YU. E., Ivachev A. V., Bratishchev I. S. Issledovaniye ustoychivosti dorozhno-stroitel'nykh materialov k iznosnomu koleyeobrazovaniyu v usloviyakh, priblizhennykh k ekspluatatsionnym [Investigation of the stability of road-building materials to wear rutting under conditions close to operational]. *Vestnik yevraziyskoy nauki*. 2014. No 5 (24). Pp. 20.
2. Doshlov O.I., Kalapov I.A. Novyye dorozhnyye bitумы na osnove organicheskogo vyazhushchego, modi fitsirovannogo tekhnicheskoy seroy i polimernymi dobavkami [New road bitumens based on an organic binder modified with technical sulfur and polymer additives]. *Vestnik IGTU*. 2015. 11 (106). Pp. 107-111.
3. Turayev, F.T., Beknazarov, K.S., Dzhaliilov, A.T. Issledovaniye modifikatsii dorozhnogo bituma elementnoy seroy. *Universum: tekhnicheskkiye nauki* [Study of the modification of road bitumen with elemental sulfuric]. *Universum: tekhnicheskkiye nauki*. 2019. 2 (59). Pp. 65-69.
4. Vitaliy Gladkikh, Evgeniy Korolev, Dmitrij Husid and Ilya Sukhachev. Properties of sulfur- extended asphalt concrete. *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 86. DOI: 0.1051/mateconf/20168604024
5. R Yang, H Ozer, Y Ouyang, A. Alarfaj, K Islam, M I Khan, K M Khan, and F. I. Shalabi. Life-Cycle Assessment of Using Sulfur-Extended Asphalt (SEA) in Pavements. *International Airfield and Highway Pavements Conference 2019: Innovation and Sustainability in Highway and Airfield Pavement Technology*. 2019. Pp. 183-192.
6. Gladkikh V., Korolev E., Smirnov V. Structure and physical properties of sulfur with nanoscale carbon modifiers. *E3S Web of Conferences*. 2019. 91. 07014.
7. Inozemtcev S., Korolev E. Method of Modifying of Mineral Fillers for Asphalt Concrete by Calcium Polysulfide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 661(1). 012136.

8. Vasiliev, Yu E. Methodological fundamentals of automation of processes of industrial production of sulfur-asphalt concrete mixtures with optimization of the components of the mineral part according to particle size distribution. Moscow, 2012. 40 p.
9. Andronov S.Yu., Vasiliev Yu.E., Timokhin D.K., Repin A.M., Repina O.V. and Talalay V.V. Production and use of sulfur-asphalt composite coatings on roads and bridges. *Bulletin of Eurasian Science*. 2016. 3 (34). Pp. 107.
10. Sulfur asphalt concrete against sharp temperature changes [Electronic resource]. URL: <http://rosavtodor.ru/activity/news-from-regions/14062.html> (accessed March 16, 2015).
11. David Yeoh, Koh Heng Boon and Norwati Jamaluddin. Exploratory study on the mechanical and physical properties of concrete containing sulfur. *Journal Technology Sciences & Engineering*. 2015. 77:32) p 179–188.
12. Gladkikh V A and Korolev E V. Reducing emissions of hydrogen sulfide and sulfur dioxide from sulfur-bitumen materials. *Internet Herald VolgGASU*. 2014. No. 2 (33). Pp. 3.
13. Pat. 2585540 United States. A method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt. Majid Jamshed Chughtai, Helen Jayne Davies, Richard Walter May and David Strickland. Publ. 05/01/2013.
14. Vitaliy A Gladkikh, Evgeniy V Korolev. Suppressing the Hydrogen Sulfide and Sulfur Dioxide Emission from Sulfur-bituminous Concrete. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 1040. Pp. 387-392.
15. Pat. US8,523,994B2 United States Method for reducing hydrogen sulfide evolution from asphalt. Publ. Sep.3,2013.
16. Pat. 2585540 United States. A method providing for a low release of H₂S during the preparation of sulfur-extended asphalt. Majid Jamshed Chughtai, Helen Jayne Davies, Richard Walter May, David Strickland. Publ. 01.05.2013.

Информация об авторах

Ле Хыу Туан

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, аспирант кафедры строительных материалов и материаловедения, E-mail: huutuan1511@gmail.com

Гладких Виталий Александрович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, кандидат технических наук, директор НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ. E-mail: gladkikh_87@mail.ru

Королев Евгений Валерьевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, доктор технических наук, профессор, директор НОЦ НТ. E-mail: korolev@nocnt.ru

Information about authors

Le Huu Tuan

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, postgraduate student of Department of building materials and materials science. E-mail: huutuan1511@gmail.com

Gladkikh Vitaly A.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, candidate in tech. sc., director laboratory «MGSU STROY-TEST». E-mail: gladkikh_87@mail.ru

Korolev Evgenij V.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, doctor of Technical Sciences, professor, director «Nanomaterials and Nanotechnology» Scientific and Educational Center. E-mail: korolev@nocnt.ru