



УДК 62-1/-9

## ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ СУДОВ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

**Вопилов Артём Вячеславович**, студент пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта  
Пермский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»  
614060 г. Пермь, Бульвар Гагарина,33

**Уфимцев Виталий Алексеевич**, студент пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта  
Пермский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»  
614060 г. Пермь, Бульвар Гагарина,33

**Москотина Надежда Алексеевна**, старший преподаватель английского и немецкого языков отделения высшего образования «Специальности водного транспорта и управления на транспорте»  
Пермский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»  
614060 г. Пермь, Бульвар Гагарина,33

*Аннотация. В работе проведен анализ способов внедрения зарубежного опыта в сфере контроля за выбросами загрязнений окружающей среды с судов в судоходную отрасль Волжского бассейна. Актуальность проблемы обусловлена отсутствием мер по контролю выбросов с судов в режиме реального времени. Вместе с тем, защита окружающей среды в связи с возрастающими темпами судоходства, загрязнением моря и атмосферы выбросами с судов становится неоспоримым фактом, требующим принятия необходимых мер.*

*Ключевые слова: Мониторинг выброса загрязнений, метод расчета, загрязнение, разработка информационной платформы, морской надзор, измерение значения газа, анализ и хранение данных.*

Все большее внимание уделяется загрязнению атмосферы судовыми выбросами. Оксиды серы и азота, а также твердые частицы (ТЧ), выбрасываемые судовыми выхлопами, наносят вред здоровью человека и окружающей среде. В настоящее время международные

конвенции и правила соответствующих регионов и стран ужесточили требования к выбросам загрязнителей атмосферы, особенно оксидов серы, с судов. Положения о содержании серы в судовом топливе постоянно издаются, пересматриваются и внедряются.

В работе рассматривается способ внедрения системы контроля выбросов на основе китайского опыта работы по измерению дымовых шлейфов от судов. Система испытывалась в период с начала 2020 года по март 2022 года и в неё входили суда, стоявшие у пристани Вайгаоцяо и плотины Три ущелья. Вся система состоит из двух частей:

(1) переносное устройство контроля выхлопа, которое устанавливается на судно для ведения всепогодного мониторинга судовых выбросов;

(2) облачный сервер, который получает данные измерений выбросов судов в режиме реального времени и сохраняет их после проверки и анализа для расчета коэффициентов выбросов загрязняющих газов и твердых частиц. После разработки эта система использовалась для мониторинга выбросов речных судов внутреннего плавания. Анализ полученных данных показал, что система может эффективно измерять коэффициенты выбросов судовых выхлопных газов в течение всего рабочего дня при различных погодных сценариях.

Коэффициенты выбросов могут использоваться для составления кадастра выбросов судов и последующей оценки воздействия этих выбросов, а также они могут использоваться морскими регулирующими органами для проверки оснований чрезмерных сбросов или содержания серы в топливе. Поэтому разработка методов измерения коэффициентов выбросов судовых выхлопных газов и ТЧ является важной исследовательской целью.

Проведённые в Китае эксперименты в первую очередь, ориентированы на исследовательскую деятельность, а не на комплексный мониторинг, который отвечает потребностям морских властей в сфере надзора за выбросами [1]. В процессе исследований было:

1. Разработано портативное устройство мониторинга выхлопных газов, которое может быть установлено на беспилотники, патрульные катера, доки, мостовые краны или другое морское оборудование, для проведения всепогодного онлайн-мониторинга выбросов судов. За счёт активного всасывания выхлопных газов устройство производило также измерение их содержания в атмосфере и отправляло результаты обнаружения на облачный сервер с помощью передачи 4G, а в случае отсутствия соединения, сохраняло результаты и отправляло их при первом подключении к сети.

2. Создан облачный сервер, получавший данные, которые были проверены и проанализированы, а затем их использовали для расчета коэффициентов выбросов загрязняющих газов и твердых частиц. Содержание серы в топливе, которое необходимо для повышения эффективности надзора, было рассчитано путем анализа измеренных данных. Таким образом, морские правоохранительные органы могут предварительно определить, использовало ли исследуемое судно топливо с чрезмерным содержанием серы, не поднимаясь на борт судна для отбора проб топлива.

Датчики для расчёта выбирались с учетом удобства и низкого энергопотребления; информация о выбранных датчиках приведена в таблице 1. Диапазон датчиков определялся в соответствии с условиями мониторинга. В случае нахождения далеко от корабля или при малых выбросах с судна выбирался датчик малой дальности. В противном случае выбирался датчик высокого диапазона. Диапазоны датчиков представлены в таблице 1 и являются вариантами выбора.

### Параметры и тип приборов

Определяемое вещество	Принцип	Диапазон частей на миллион	Точность
SO <sub>2</sub> Оксид серы	Электрохимия	0-2	±5%
CO <sub>2</sub> Диоксид углерода	Не дисперсионное инфракрасное излучение	0-5000	±3%
NO <sub>2</sub> Оксид азота	Электрохимия	0-2	±5%
NO Нобелий	Электрохимия	0-2	±5%

Устройство работает от солнечной энергосистемы, так как оно имеет низкое энергопотребление, небольшой объем и высокую точность мониторинга, которое подходит для мониторинга выхлопных газов судов в условиях речного надзора.

Платформа SSM (менеджер систем обслуживания) относительно распространенная корпоративная среда языка Java EE с открытым исходным кодом, подходящая для создания различных крупномасштабных корпоративных приложений. Платформа SSM имеет следующие преимущества: (1) низкую стоимость, (2) экономию времени на разработку, (3) хорошую масштабируемость и (4) высокую модульность. Поэтому в эксперименте для создания серверной программы была выбрана платформа SSM с несколькими уровнями.

Уровень сбора данных выполнял функцию получения данных измерения выхлопных газов от контрольного оборудования. Уровень обработки данных включал проверку, анализ и хранение данных, а также запрос обратной связи пользователей с информацией о выбросах корабля. Статистика, фильтрация, извлечение и другие подобные модули анализа данных были одновременно настроены на этом уровне для предоставления информационных услуг, которые можно было бы использовать для научных исследований или морского надзора. На стороне облачного сервера данные анализируются и обрабатываются, в первую очередь, для расчета коэффициентов выбросов газов и ТЧ. В настоящее время существует две основные категории коэффициентов выбросов: основанные на топливе (г/кг) и на основе мощности (г/кВтч). Коэффициенты на основе топлива рассчитывались путем измерения концентрации углекислого газа и других загрязняющих веществ. Коэффициент мощности требовал доступа в режиме реального времени к энергопотреблению корабля. Таким образом, оборудование в первую очередь измеряет коэффициенты выбросов, связанные с топливом. Коэффициенты выбросов, связанные с топливом и мощностью, были преобразованы друг в друга. Коэффициенты выбросов на основе топлива были рассчитаны с использованием метода углеродного баланса (уравнение 1) [1].

ER<sub>X</sub> (коэффициент выбросов) определяется как отношение избыточной концентрации X, выбрасываемого из источника, к избыточной концентрации CO<sub>2</sub>, выбрасываемого источником:

$$ER_X = \frac{X_{max} - X_b}{CO_{2,b} - CO_{2,p}} = \frac{\Delta X}{\Delta CO_2} \quad (1)$$

где: X<sub>peak</sub> — пиковое измеренное значение газа (SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>) или массовая концентрация (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>);

CO<sub>2, peak</sub> — концентрация CO<sub>2</sub>;

X<sub>bg</sub> и CO<sub>2, bg</sub> — фоновые концентрации.

Время отклика различных датчиков не было одинаковым. Поэтому для расчетов использован интеграл измеренных значений. Газы измерялись в ppm, а концентрация PM — в мкг·м<sup>-3</sup>. Коэффициент выбросов EF<sub>X</sub> (г/кг) представляет собой количество соединения X, высвобождаемое на количество сожженного топлива, выраженное как:

$$EF_X = \begin{cases} ER_X \cdot \frac{M_X}{M_{CO_2}} \cdot EF_{CO_2}, \text{ для } SO_2, NO, NO_2 \\ ER_{PM} \cdot EF_{CO_2}, \text{ для } PM_{2.5}, PM_{10} \end{cases} \quad (2)$$

где  $M_X$  и  $M_{CO_2}$  — молярные массы газа  $X$  и  $CO_2$ ;

$EF_{CO_2}$  — коэффициент выбросов сожженных эталонных частиц  $CO_2$  (3107 г/кг). Единицами  $ER_X$  является концентрация частиц для ТЧ, если концентрация  $CO_2$  преобразуется в единицы массы по закону идеального газа при нормальных условиях температуры и давления ( $T = 293,15$  К).

Согласно конвенции ИМО, судам во всем мире не разрешается использовать топливо с  $FSC \geq 0,5\%$  (м/м) после 2020 года. Речные суда внутреннего плавания имеют относительно низкий уровень выбросов и в основном регулируются местными органами власти. Измеренные шлейфы дыма включали  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO$  и  $NO_2$ . По состоянию на март 2022 года установленное оборудование работало стабильно и могло вести круглосуточный мониторинг. Морские инспекторы могли легко контролировать судно, стоящее у причала. Это привело к относительно низким выбросам судов в течение всего периода наблюдения. В качестве стандартных данных для анализа и расчета были выбраны две группы данных с наибольшими значениями по записям о стоянке судов.

В последние годы возросло осознание вреда, наносимого судовыми выбросами здоровью человека и окружающей среде. Чтобы эффективно продвигать реализацию политики контроля выбросов с судов и способствовать пониманию характеристик выбросов в различных пространственных и временных масштабах, необходимо проводить всесторонний, интеллектуальный мониторинг в режиме реального времени [3].

В работе рассмотрена возможность применения системы измерения и моделирования выбросов с судов в режиме реального времени в Волжском бассейне. Проведён анализ портативного устройства, которое можно установить на речные суда для проведения круглосуточного мониторинга выбросов судов в режиме реального времени [1]. Затем на основе SSM-Фреймворка была описана информационная платформа. С помощью облачного сервера был рассчитан коэффициент выбросов загрязняющих газов и твердых частиц. Используя эту систему, сотрудники речных правоохранительных органов могут удобно контролировать общую ситуацию и получать в режиме реального времени данные о выбросах отдельно взятого судна.

### Список литературы:

1. Фан Чжоу, Джин Луи, Ханг Чжу, Ао Дунъян Ю. Система измерения и моделирования в реальном времени коэффициентов выбросов загрязняющих атмосферу судов. *Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 760. <https://doi.org/10.3390/jmse10060760>
2. EU RiverWiki. База данных проектов. Информационный портал Европейского центра по восстановлению рек / Режим доступа: <http://www.ecrr.org/Home/tabid/2335>
3. Приказ Минприроды России от 13.04.2009 N 87 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» (ред. от 26.08.2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_88197/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88197/).

## VOLGA BASIN SHIPS EMISSIONS MEASURING SYSTEM IMPLEMENTATION

Artemiy V. Vopilov, Vitaliy A.Ufimtsev, Nadeyzhda A.Moskotina

*Abstract. The analysis of implementing foreign experience methods in the field of ships emissions environmental pollution control in the Volga basin shipping industry has been presented in this*

*article. The relevance of the issue is conditioned by the lack of emissions control measures in 24/7 monitoring mode. Nevertheless, protection of the environment due to the increasing rate of shipping, marine and atmospheric pollution from ships emissions is becoming an indisputable fact that needs to be addressed.*

*Key words: environmental monitoring, calculation method, pollution, information platform development, sea inspection, exhausted gas values measuring, analysis and storage of data.*