

## POWER QUALITY in STAND-ALONE ELECTRIC-POWER SYSTEMS in TRANSITIONAL MODES

A. Pronina, K. Putilin, N. Peterson

The electricity quality questions in system were examined according to the voltage anharmonicity index for the modes of the disturbance load on the autonomous system generators on the basis of electromagnetic and electromechanical transients' analysis in the stand-alone electric-power systems contained the powerful non-linear consumers.

### Список использованных источников

1. Глинетрник С.Р. Электромагнитные процессы и режимы мощных статических преобразователей / С.Р. Глинетрник. – Л.: Наука, 1968. – 308 с.
2. Жежеленко И.В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко [и др.]. – К.: Техника, 1981. – 160 с.
3. Запальский В.Н. Влияние отклонения напряжения и частоты на качество электроснабжения морского подвижного объекта / К.Н. Запальский // Энергетика и энерго-ресурсосбережение: Вісник КДПУ им. М. Остроградского. – К.: КДПУ, 2009. – Вип. 3 (56). – С. 187 - 190.
4. Куско А. Качество энергии в электрических сетях /А. Куско. – М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2008. – 336 с. (Электротехника и энергетика.)
5. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания / В.И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1968. – 545 с.

Надійшла до редакції 12.09.2013 р.

УДК 629.122:621.352.

## АКТУАЛЬНОСТЬ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ТОПЛИВЕ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

О.П. Радченко<sup>1</sup>, к.т.н., доц., А.Н. Горбенко<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,  
В.В. Колодяжный<sup>3</sup>, к.т.н., доц., В.С. Хачиков<sup>2</sup>, асп.

<sup>1</sup>Севастопольский факультет Киевской государственной академии водного транспорта

<sup>2</sup>Керченский государственный морской технологический университет

<sup>3</sup>Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Проведен анализ действующих норм, регламентирующих содержание серы в топливах, используемых на морских судах. Рассмотрены проблемы, возникающие при эксплуатации судов относительно контроля содержания серы в топливе и продуктах сгорания, а также современные способы их решения. Приведен сжатый анализ основных существующих методов десульфурации. Предложены методы уменьшения содержания серы в топливе для внедрения в пределах судна.

### Введение

В связи с мировой экологической ситуацией имеет место постоянное ужесточение норм, предъявляемых к качеству судовых топлив. Содержание серы в судовых топливах нормируется для различных районов мирового океана. Расходы на топливо в

современных экономических условиях составляют до 85 % от затрат на эксплуатацию судов морского флота. Рост цены на топливо за последние 20 лет привел к интенсивному использованию относительно дешевых остаточных топлив, для которых содержание серы в различных формах является неизбежным сопутствующим фактором. Использование топлива с большим содержанием серы оказывает вредное влияние на атмосферу, снижает долговечность судовых технических средств и усложняет эксплуатацию судовых энергетических установок (СЭУ).

Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов, в том числе выбросами соединений серы, регулируется приложением VI конвенции МАРПОЛ, принятой в рамках Международной морской организации [1]. В публикациях классификационных обществ, таких как DetNorskeVeritas [2], а также публикациях ведущих судовладельцев, например MaerskMaritimeTechnology [3], отмечается актуальность проблемы и приводятся последние инновации в области методов снижения вредных выбросов серы применяемых на судах.

В связи с изложенным существует актуальная проблема совершенствования методов и средств снижения содержания серы в топливе для судовых энергетических установок.

Приложение VI Конвенции МАРПОЛ, вступившее в силу с 19 мая 2005 г., ограничивает максимальное содержание серы в топливе до 4,5 %. После 1 января 2012 г. вступило в силу ограничение до 3,5 % и после 2020 г. - до 0,5 % (или 2025, в зависимости от результатов рассмотрения в 2018 году.)

В районах контроля выбросов SO<sub>x</sub> (SECA), включающих Балтийское море (с мая 2006 г.), Северное море (с ноября 2007 г.), а с 1.08.2012 г. – двухсоткилометровую акваторию вокруг Восточного и Западного побережья Североамериканского континента, до 1 июля 2015 года предельное содержание серы в топливе допускается до 1 %, но далее предстоит его снижение до 0,1 %. Возможно включение в зону SECA также и Средиземного моря, Сингапура, а также водного пространства вокруг Австралии. В настоящее время на входе и выходе судна из зоны контроля выбросов SECA необходим переход с высокосернистого топлива (HSFO) на низкосернистое (LSFO). Соответственно возникает необходимость хранения на борту судна трех типов топлива: HSFO, LSFO и легкого судового топлива (MGO). При этом процедура перехода должна соответствовать инструкциям производителей дизельных двигателей и котлов.

### **Постановка цели и задач научного исследования**

Целью научной работы является обоснование возможности снижения содержания серы в топливе судовых энергетических установок и его очистки непосредственно на борту судна.

Для достижения поставленной цели необходимо произвести анализ существующих методов очистки и предложить новые пути решения проблемы.

### **Анализ существующих методов очистки**

В связи с необходимостью ограничения эмиссии вредных газов с судов до указанных пределов при их эксплуатации следует учитывать следующие обстоятельства:

1. Получаемое при бункеровке низкосернистое топливо не всегда имеет соответствующее качество. В случае с LSFO вместо топлива с содержанием серы значительно меньше 1 % можно получить топливо с содержанием серы, близким к 1 % или даже превышающим его.

2. При переходе судовых энергетических установок с высокосернистого на низкосернистое топливо требуется определенное время. Если топливная система судна не предусматривает 2 сервисных танка и 2 танка отстоя, то это время может быть длительным, особенно в ситуации, когда содержание серы максимально приближено к границе, к примеру 0,998 %. Это обстоятельство существенно усложняет не только техническую, но и коммерческую эксплуатацию морских судов, снижая их экономические показатели.

3. Более того, современный подход определенных стран зачастую не ограничен процедурой формальной проверки сопроводительных документов. Представители портов самостоятельно производят контрольный забор проб и на основе их анализа делают заключение, действительно ли судно пользуется топливом с соответствующим содержанием серы.

4. Сложности соответствия предъявляемым нормам приводят к необходимости бункеровать суда топливом со значительно пониженным содержанием серы, так называемым "ultra-low-sulfur", что еще более повышает эксплуатационные расходы и экономические показатели.

Одним из путей, позволяющих соответствовать жестким экологическим требованиям, является переход на другие типы топлива, изначально имеющие низкое содержание серы или не содержащие ее, например сжиженный газ (LNG). Но это направление сдерживается высокой стоимостью таких видов топлива.

Наиболее типичные серосодержащие соединения, обнаруженные в нефтях [5], приведены ниже.

1. *Меркаптаны* или *тиолы* – это серосодержащие аналоги спиртов и фенолов органические соединения, имеющие в своем составе функциональную группу - SH, называемую тиольной или меркаптановой. Общая формула – RSH.

2. *Сульфиды* – это серосодержащие аналоги простых эфиров. Общая формула - RSR.

3. *Дисульфиды* - это серосодержащие аналоги органических пероксидов. Общая формула их – RSSR.

4. *Тиофены* - это серосодержащие ароматические гетероциклы, включающие серу в качестве гетероатома.

Обзор публикаций по очистке нефтепродуктов от серосодержащих соединений показал, что известные методы очистки нефти и нефтяных дистиллятов можно условно разделить на две группы: методы, использующие разрушение сероорганических соединений с удалением их из топлива, и методы селективного удаления соединений серы [6]. Сегодня основным промышленным способом обессеривания природных углеводородов на нефтеперерабатывающих заводах является *гидроочистка* – процесс взаимодействия водорода с сероорганическими соединениями.

Гидроочистка дистиллятных фракций под давлением до 10 МПа с применением катализаторов — окислов молибдена, кобальта и никеля — в настоящее время достаточно хорошо разработана технически и, как правило, эффективна, но не всегда экономически целесообразна из-за высокой стоимости катализаторов. Кроме того, большой расход водорода требует сооружения специальных весьма дорогих установок для его генерации. В результате глубокое обессеривание топлива приводит к практически удвоению его стоимости. Недостатком данного способа является и значительное количество непрореагировавшего сероводорода при проведении процесса гидроочистки и его утилизация в условиях моря.

Наряду с гидроочисткой в практике, особенно в лабораторной, широко применяются адсорбционные методы выделения сернистых соединений, основным из которых является метод адсорбционной хроматографии. В качестве адсорбентов используют силикагели, окись алюминия, глинистые минералы, ионообменные смолы. Однако требуемые при этом объемы адсорбентов не позволяют рассматривать перспективу широкого применения данного метода на судах.

Биотехнологический метод микробной десульфуризации нефти включает трансформации соединений серы, ведущие к образованию легкоудаляемых водорастворимых продуктов. При этом главное условие состоит в избирательном удалении серы и ее соединений без деструкции остальных компонентов нефти. Этот метод требует стабильных условий существования бактерий.

Окислительные методы основаны на модификации функциональных групп и издавна использовались для удаления сернистых соединений из нефтепродуктов, что связано с легкостью отделения углеводов от кислородсодержащих продуктов окисления соединений серы. Сероорганические соединения в составе нефтяных фракций окисляются растворами перекиси водорода, азотной кислоты, мягким озонлизом, органическими гидроперекисями, кислородом.

Использование многих из названных окислителей может быть неприемлемо из-за низкой селективности, малых выходов целевых продуктов, побочных явлений или недоступности и дороговизны окислителя.

В настоящее время в судовых условиях наиболее эффективным способом ограничения серы в выпускных газах является очистка газов путем применения скрубберов. Так, еще в 2009 году первое судно получило сертификат соответствия классификационного общества (DNV), позволяющий ему использовать обычное высокосернистое топливо в зоне SECA. Применение такого способа очистки требует выделения значительного пространства на судне, поскольку скруббер представляет собой достаточно сложное и громоздкое сооружение. Для наглядности на рисунке показан внешний вид скруббера, оборудование которого необходимо разместить на судне [4].

Установка данных систем на уже эксплуатируемые суда предполагает не только изменение проектной конструкции надстройки судна, но и принятие дополнительных мер по хранению и утилизации продуктов нейтрализации. По этим причинам данная система является дорогостоящей, а во многих случаях даже неприменима технически. Поэтому применение скруббера рационально лишь на стадии проектирования нового судна и его постройки.

### **Возможные пути решения проблемы**

Информации о попытках снижения серы в полученном топливе непосредственно в рамках СЭУ авторами не обнаружено, за исключением незначительного снижения

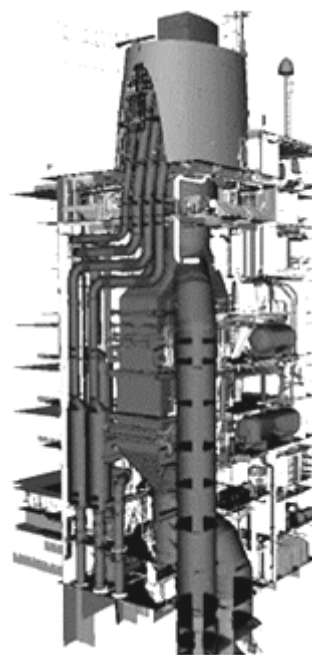


Рис. Внешний вид скруббера [4]

серы при процессах сепарации и фильтрации, в которых это явление является побочным. Авторам статьи представляется возможным удаление соединений серы из топлива на стадии его подготовки к сгоранию непосредственно на судне, а реализация данного процесса возможна на действующих судах.

Наиболее приемлемым и технологичным для применения в судовых условиях является метод, основанный на окислении сульфидов перекисью водорода в присутствии доступных катализаторов, обеспечивающих высокую селективность и скорость процесса, а также простоту технологии получения и выделения сульфоксидов. Для интенсификации процесса окисления серосодержащих органических соединений в топливе предполагается использование ультразвукового воздействия. Объяснение этого эффекта кроется в явлении кавитации, возникающей в поле ультразвуковых колебаний большой интенсивности, которое приводит к интенсификации процессов тепло- и массообмена в объеме реакционной смеси и диффузии реагентов и продуктов реакции вблизи поверхности катализатора, а также ее эффективной регенерации за счет вторичных ударных волн, акустических течений и зон локального перегрева и повышения давления. Повышение температуры вследствие кавитации способствует эффективной десорбции продуктов реакции с поверхности катализатора, а ультразвуковая обработка интенсифицирует процесс обессеривания нефти и нефтепродуктов [7].

В результате анализа условий реализации данного метода авторами предполагается три варианта решения проблемы удаления серы из топлива в судовых условиях:

1. Аварийный, предполагающий быстрое снижение содержания серы. Может применяться в том случае, если есть значительное превышение нормы. В этом методе используется химический реагент - перекись водорода. Возможно введение перекиси водорода в топливо непосредственно перед сепаратором или подача ее в фильтр питательного насоса. В таком случае  $H_2O_2$  взаимодействует с соединениями серы до сепаратора и непосредственно в сепараторе, где серосодержащие продукты реакций отводятся в шлам, тем самым снижая содержание серы в выбросах.

2. Второй метод предполагает ультразвуковую обработку топлива в автоматическом топливном фильтре. При этом серосодержащие соединения удаляются в шлам при автоматической промывке фильтра.

В качестве альтернативного может быть рассмотрен метод снижения содержания серы в топливе с использованием сепаратора без подачи химических реагентов. Это обработка топлива ультразвуком в присутствии катализатора. При этом серосодержащие соединения удаляются в шлам при разгрузке сепаратора.

### **Выводы**

Проведенный анализ способов снижения выбросов серы, применяемых на судах, показал необходимость применения новых подходов к обеспечению сокращения эмиссии серы.

Предложенные методы, позволяющие снижать содержание серы непосредственно в топливе до его использования, ориентированы на внедрение как на проектируемых судах, так и на уже находящихся в эксплуатации.

## АКТУАЛЬНІСТЬ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ СІРКИ У ПАЛИВІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

**О.П. Радченко, О.М. Горбенко, В.В. Колодяжний, В.С. Хачиков**

Проведено аналіз чинних норм, що регламентують вміст сірки в паливах, використовуваних на морських судах. Розглянуто проблеми, що виникають при експлуатації суден відносно контролю вмісту сірки в паливі та продуктах згоряння, а також сучасні способи їх вирішення. Наведено стислий аналіз основних існуючих методів десульфурації. Запропоновано методи зменшення вмісту сірки в паливі для впровадження в межах судна.

## ACTUALITY of FUEL SULFUR CONTENT DILUTION in FUEL of MARINE POWER PLANTS

**O. Radchenko, A. Gorbenko, V. Kolodiyajny, V. Nachikov**

The existing standards regulating the fuel sulfur content of seagoing crafts have been analyzed. The problems arising during the ships running regards to the fuel and combustion products sulfur content control as well as up-to-date methods for their solving have been considered. The main existing desulphurization methods were compressed analyzed. The methods of the fuel sulfur content dilution for their introduction within the sea craft were suggested.

### Список использованных источников

1. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ-73/78). – Кн. III, пересм. издание. – СПб.: ЗАО "ЦНИИМФ", 2012. – 336 с.
2. DNV Technical eNewsletter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.dnv.com/industry/maritime/publicationsanddownloads/publications/Newsletters/technical\\_regulatory/](http://www.dnv.com/industry/maritime/publicationsanddownloads/publications/Newsletters/technical_regulatory/)
3. MaerskMaritimeTechnology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maersktechnology.com/Pages/default.aspx>
4. *Bent Orndrup Nielsen* GSF Container Ship Concept Study / Bent Orndrup Nielsen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.skibstekniskelskab.dk/public/dokumenter/Skibsteknisk/Download%20materiale/2009/Er%20groen%20teknologi%20en%20god%20forretning/Bent%20Orndrup.pdf>
5. *Большаков Г.Ф.* Сераорганические соединения нефти / Г.Ф. Большаков. – Новосибирск – М.: Наука, 1986. – 243 с.
6. *Ляпина Н.К.* Химия и физикохимия сераорганических соединений нефтяных дистиллятов / Н.К. Ляпина. - М.: Наука, 1984. – 120 с.
7. *Мэйсон Т.* Химия и ультразвук: пер. с англ. / Т. Мэйсон; под ред. Т. Мейсона. – М.: Мир, 1993. – 191 с.
8. *Байманова А.Е.* Серосодержащие соединения нефти и основные методы очистки нефти и нефтяных фракций от них: учеб. пособие / А.Е. Байманова, Г.Ж. Жакупова. – Актобе: АГУ им. К. Жубанова, 2010. – 36 с.

Надійшла до редакції 04.09.2003 р.  
Після доопрацювання 14.09.2003 р.