



DOI 10.5862/JEST/8

УДК 62–614

А.И. Епихин

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

A.I. Epikhin

TECHNOLOGICAL LIMITATIONS AND FEATURES OF BURNING COAL-WATER SLURRY FUELS IN SHIP POWER PLANTS

Дан анализ возможностей использования водоугольного топлива (ВУТ) вместо топочного мазута и тяжелого моторного топлива для судовых энергетических установок. Рассмотрены особенности сжигания водоугольного топлива в судовых энергетических установках. Проанализированы особенности технологического процесса, связанные с удалением продуктов сгорания ВУТ. Рассмотрены экологические параметры замены топлива. Использование ВУТ имеет перспективный экономический эффект, поскольку стоимость ВУТ в пересчете на его энергопроизводительность значительно более низкая в сравнении с мазутом и дизельным топливом; кроме того, существенны экологические преимущества.

ВОДУГОЛЬНОЕ ТОПЛИВО; ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА; ПОЛНОТА ВЫГОРАНИЯ; ЗОЛА; ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА; ФОРСУНКА.

The aim of the article is to analyze the possibilities of using coal-water fuel (CWF) instead of residual fuel oil and heavy fuel for ship power plants. The article is dedicated to reviewing the particular features of coal-water fuel burning in ship power plants instead of classically used fuel oil and diesel. There were analyzed the features of the technological process, related to the removal of combustion products. Moreover, the environmental aspects of the new fuel usage were analyzed. The use of CWF has a promising economic effect, because the cost of fuel in terms of its energy performance is significantly lower in comparison with fuel oil and diesel fuel, and also has significant environmental benefits.

COAL-WATER FUEL; POWER PROPERTIES; COMPLETENESS OF BURNOUT; CINDER; FUEL SYSTEM; INJECTOR.

Введение

Вопрос применения водоугольного топлива (ВУТ) в судовых энергетических установках имеет двойственный характер, поскольку ВУТ по совокупности свойств потенциально способен заменить собой не только мазут для вспомогательных котлоагрегатов, но и тяжелое моторное топливо для ДВС. При любом применении топлива наиболее важными параметрами являются теплотворная способность и удаление продуктов сгорания. Цель работы — анализ возможностей использования водоугольного топлива вместо топочного ма-

зута и тяжелого моторного топлива для судовых энергетических установок (СЭУ).

Энергетические характеристики ВУТ в сравнении с флотским мазутом и тяжелым моторным топливом

Анализ экспериментальных данных по лабораторному сжиганию различных видов водоугольного топлива установил, что средний показатель удельной теплоты сгорания для ВУТ в зависимости от массовой доли угля и его гранулометрического состава, находится в пределах 16750.–20300 кДж/кг. Аналогичные показатели

для дизельного топлива существенно выше — порядка 43100 кДж/кг, для флотских мазутов Ф-5 и Ф-12 — в пределах 40200–41050 кДж/кг, для топлива сортов СЛ, СВ, М — в диапазоне 41450–42300 кДж/кг [1–4]. Таким образом, для водоугольных суспензий основной энергетический показатель в два с лишним раза ниже, но при этом существует ряд технико-экономических, экологических и технологических факторов, позволяющих говорить о потенциальной целесообразности их применения вместо традиционно используемых топлив.

Вопросы технико-экономической целесообразности замены традиционно используемых видов судового топлива на ВУТ

Эти вопросы затрагиваются в рамках многих исследований, но большая их часть носит узконаправленный характер в силу применимости к одному конкретному агрегату, либо использования одного вида сырья для приготовления ВУТ.

В исследовании [8] проанализирована практика применения ВУТ как в различных видах теплоэнергетического оборудования, так и в двигателях внутреннего сгорания. Выводы, сформулированные авторами по результатам, представляются весьма интересными в контексте настоящей работы, поскольку носят критический характер: ВУТ целесообразно использовать не только как замену топочному мазуту, но и как тяжелое топливо для низкооборотных двигателей внутреннего сгорания, поскольку при этом снимается ряд вопросов, связанных с утилизацией избыточной теплоты сгорания, ввиду конденсации водяных паров непосредственно в двигателе.

Отдельно следует отметить экономический аспект использования ВУТ: несмотря на невысокие энергетические показатели, отношение его стоимости к теплотворной способности в три и более раз выше, чем у распространенных тяжелых моторных топлив и флотских мазутов [5, 13].

С позиций экологии целесообразно также провести сравнительный анализ характеристик ВУТ с аналогичными показателями традиционно используемых видов топлива, при этом следует рассмотреть не только процесс рабочего

сжигания топлива, но и процессы, связанные с его добычей, производством и транспортированием, оказывающие комплексное влияние на состояние окружающей среды.

Очевидно, что с позиций экологии наименьший вред приносит использование газа, ввиду чего исключаем его из анализа. Дизельное топливо оказывает существенное воздействие на атмосферу, поскольку при его сгорании выделяются сажа, оксид азота, оксид углерода, а также сернистый ангидрид. Процессы добычи, переработки и транспортировки дизельного топлива не оказывают существенного воздействия на окружающую среду.

Мазут как топливо для сжигания является достаточно неблагоприятным для окружающей среды веществом, поскольку при его сжигании выделяются те же вещества, что и в случае дизельного топлива, но в большем количестве, а также многоядерные ароматические углеводороды, такие, как бензапирен и прочие высокомолекулярные углеводороды, представляющие собой сильные канцерогенные вещества [4].

Использование ВУТ позволяет добиться снижения газообразных выбросов в сравнении с мазутом примерно на 25 % (по данным Института Пенсильвании). Снижение выбросов оксида азота в сравнении с мазутом оказывается не менее 30 %; практически исключается выброс серы. Также отсутствуют опасные высокомолекулярные соединения [5, 7].

Особенности сжигания ВУТ как нового топлива для энергетических установок в сравнении с известными видами топлив определяются в значительной степени конструкцией существующих форсуночных устройств, которые не обеспечивают диспергирование жидких топлив на уровень меньше 100 мкм. В случае использования водоугольного топлива с эмульсионной водной фазой, например в капле эмульсии порядка 1–5 мкм, сошедшей с форсуночного устройства, содержится несколько тысяч микрокапель воды. В исследованиях, проведенных с эмульсиями на основе мазута, показано, что в высокотемпературной зоне топочной камеры капля эмульсии взрывается, и происходит вторичное диспергирование топлива, интенсификация процессов теплообмена и активизация химических процессов горения за счет ускоренного поступления окислителя из продуктов раз-

ложения микрокапель воды. Этот эффект особенно важен при сжигании ВУТ в тепловых двигателях, так как в этом случае обеспечивается максимальное выгорание топлива при малом времени пребывания в активной зоне горения [9].

На сегодняшний день практически неизвестны исследования, посвященные вопросам изучения особенностей использования водоугольных суспензий в качестве альтернативы традиционным видам топлива в двигателях внутреннего сгорания. Данный научно-практический пробел имеет очевидное объяснение: используемые и широко исследованные виды ВУТ обладают рядом недостатков, определяемых их физико-химическими и технологическими свойствами, которые требуют внесения значительных конструктивных изменений как в рабочую часть ДВС, так и практически во все вспомогательные системы; при этом КПД силовых агрегатов неизбежно снизится [7, 12].

Использование ВУТ в судовых вспомогательных энергетических установках в составе которых встречаются котлоагрегаты, работающие на мазуте, ограничено сегодня, в первую очередь, из-за меньшей теплотворной способности в сравнении с мазутом, различия же в остальных характеристиках данных видов топлива не имеют существенного значения ни в техническом, ни в экономическом плане.

Перевод судовых энергетических установок с дизельного на водоугольное топливо требует комплексного решения ряда технических и технологических вопросов, в числе которых:

достижение энергетических свойств ВУТ, аналогичных традиционному топливу;

обеспечение требуемых физических, реологических и седиментационных свойств ВУТ.

Учитывая, что существенное повышение удельной теплотворной способности на практике вряд ли возможно, можно пойти по пути увеличения массового расхода топлива и окислителя при сжигании, что не требует дополнительных исследований.

Обеспечение физических, реологических и седиментационных свойств водоугольных суспензий возможно посредством внесения изменений в состав и технологию его приготовления, что было подтверждено в ряде экспериментов [8, 9, 11, 13].

Использование ВУТ вместо тяжелого моторного топлива связано, в первую очередь, с более высоким уровнем зольности ВУТ по сравнению с другими видами топлива, ввиду чего требуется дополнительный анализ технологического процесса удаления продуктов сгорания. Вопрос удаления продуктов сгорания при использовании водоугольных суспензий в ДВС, по мнению ряда исследователей [6], является разрешимым в случае применения более современных видов ВУТ, поскольку при их сгорании практически не остается твердого остатка (зола), ввиду чего вопрос улавливания твердых частиц (сажи, зола) может быть частично или полностью снят без значительных конструктивных изменений в энергетических установках и их вспомогательных системах.

Проблемы перехода на ВУТ связаны с необходимостью реализации ряда дополнительных конструктивных и технологических мероприятий, направленных как на внесение изменений в конструкции топливных систем энергетических установок и изменение параметров технологического процесса, так и на оптимизацию структуры и состава водоугольных суспензий с целью обеспечения требуемых физико-химических параметров.

Реализация данных мероприятий требует значительных материальных затрат на соответствующие исследования и конструктивно-технологические разработки. Следует отметить фактическое отсутствие производственной и транспортной инфраструктуры для нового вида топлива.

Перспективы практической реализации внедрения ВУТ для использования в судовых энергетических установках определяются экономическими и экологическими соображениями, поскольку энергетические показатели ВУТ, приведенные к его стоимости, предполагают валовую экономию в 50–65 % на топливных затратах при более низком уровне выброса вредных веществ [6].

В рамках научного поиска было обнаружено несколько частных решений вышеперечисленных проблем внедрения ВУТ. Наиболее интересно с практической точки зрения в контексте настоящего исследования применение паропневматических форсунок для суспензий, содержащих абразивные включения, разработанных

компаний «Альматеа» [8]. Вопросам усовершенствования реологических и седиментационных свойств водоугольного топлива посвящено немало современных научных трудов, имеющих хорошие с практической точки зрения результаты.

Следует отметить возможность использования новых видов ВУТ, таких, как ультрадисперсное водоугольное топливо, характеризующееся более высокой степенью сгорания, что позволит упростить задачу отвода продуктов сгорания из ДВС ввиду меньшего уровня зольности.

Выводы

Применение водоугольного топлива вместо традиционно используемых в судовых энергетических установках мазута и дизельного топлива представляет собой достаточно сложную организационно-техническую задачу, поскольку

для этого требуются не только модернизация соответствующих топливных систем и режимов работы СЭУ, но и организация производства нового топлива со всей соответствующей логистической цепочкой. При этом следует отметить перспективный экономический эффект, поскольку стоимость ВУТ в пересчете на его энергопроизводительность значительно более низкая в сравнении с мазутом и дизельным топливом; кроме этого, существенны экологические преимущества. Практическая реализация идеи использования ВУТ взамен традиционных видов судового топлива связана с решением ряда технических и технологических вопросов, основными из которых являются удаление продуктов сгорания и обеспечение диспергирования топлива в камерах сгорания, что при использовании последних разработок потенциально возможно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Грибиниченко М.В.** Судовые энергетические установки. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2010.
2. **Овсянников М.К., Петухов В.А.** Судовые автоматизированные энергетические установки. М., Транспорт, 1989.
3. **Зайденварг В.Е., Трубецкой К.Н., Мурко В.И., Нехороший И.Х.** Производство и использование водоугольного топлива. М.: Академия горных наук, 2001.
4. **Морозов А.Г., Мосин С.И., Мурко В.И.** ВУТ в теплоэнергетике // Энергия: экономика, техника, экология. 2007, № 4, с. 29–33.
5. **Делягин Г.Н., Корнилов В.В., Кузнецов Ю.Д., Чернегов Ю.А.** Совершенствование водоугольного топлива и перспектива его применения // Приложение к научно-техническому журналу «Экономика топливноэнергетического комплекса России». М., ВНИИОЭНГ, 1993.
6. **Волков Н.А.** Перспективы промышленного использования и трубопроводного транспортирования водоугольного топлива. М.: Спутник+, 2010.
7. **Мурко В.И., Федяев В.А., Хамляйнен В.А.** Физико-технические основы водоугольного топлива. Кемерово: «Кузбассвуиздат», 2009.
8. **Леонов А.М., Данилов О.С.** Обоснование возможности эффективного использования водоугольных суспензий в котлах средней и малой мощности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) / 2009. Вып. 12, Т. 10. С. 409–416.
9. Приготовление и сжигание водоугольного топлива в различных топочных устройствах / А.И. Цепенюк, С.В. Луценко, Ф.А. Серант, Е.Г. Карпов // Материалы международной конференции по теплоэнергетике и ее устойчивому развитию. г. Угльевик, Республика Сербская, Босния и Герцеговина. 2010. С. 61–66.
10. Теплотехника / Под ред. Луканина В.Н. М.: Высшая школа, 2003.
11. **Мурко В.И., Федяев В.И., Дзюба Д.А., Сейбель В.Я., Столяров Н.А.** Опыт использования водоугольного топлива // Новости теплоснабжения, 2006. №4(68), с. 31–36.
12. **Листратов И.В., Делягин Г.Н., Кондратьев А.С., Сараф Б.А.** Опыт промышленного внедрения чистой угольной технологии кипящего слоя на водоугольном топливе // Новости теплоснабжения, 2005, №5(49), с. 26–29.

REFERENCES

1. **Gribinichenko M.V.** Sudovyye energeticheskiye ustanovki [Vessel's power units]. Vladivostok: Izd-vo DVGТУ, 2010. (rus.)
2. **Ovsyannikov M.K., Petukhov V.A.** Sudovyye avtomatizirovannyye energeticheskiye ustanovki [Automatic vessel's power units]. M.: Transport, 1989. (rus.)
3. **Zaydenvarg V.Ye., Trubetskoy K.N., Murko V.I., Nekhoroshiy I.Kh.** Proizvodstvo i ispolzovaniye vodougolnogo topliva [The production and usage of coal-water flurry fuels]. M.: Akademiya gornykh nauk, 2001. (rus.)
4. **Morozov A.G., Mosin S.I., Murko V.I.** VUT v teploenergetike [CWS in heat supply]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2007. № 4. S. 29–33. (rus.)
5. **Delyagin G.N., Kornilov V.V., Kuznetsov Yu.D., Chernegov Yu.A.** Sovershenstvovaniye vodougolnogo topliva i perspektiva yego primeneniya [The enhancement of coal-water flurry fuels and the perspectives of it's usage]. *Prilozheniye k nauchno-tekhnicheskomu zhurnalu «Ekonomika toplivnoenergeticheskogo kompleksa Rossii»*. M.: VNIIOENG, 1993. (rus.)
6. **Volkov N.A.** Perspektivy promyshlennogo ispolzovaniya i truboprovodnogo transportirovaniya vodougolnogo topliva [The perspectives of industrial usage and pipeline transportation of coal-water flurry fuels]. M.: Sputnik+, 2010. (rus.)
7. **Murko V.I., Fedyayev V.A., Khamlyaynen V.A.** Fiziko-tekhnicheskiye osnovy vodougolnogo topliva [The physical and technical basics of coal-water flurry fuels]. Kemerovo: «Kuzbassvuzizdat», 2009. (rus.)
8. **Leonov A.M., Danilov O.S.** Obosnovaniye vozmozhnosti effektivnogo ispolzovaniya vodougolnykh suspenziy v kotlakh sredney i maloy moshchnosti [Rationale opportunities for efficient use of coal-water suspensions in the boilers of medium and low power]. *Gornyy informatcionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* 2009. Vyp. 12, T. 10. (rus.)
9. Prigotovleniye i szhiganiye vodougolnogo topliva v razlichnykh topochnykh ustroystvakh [Preparation and combustion of coal-water fuel in various combustion devices]/ A.I. Tsepenyuk, S.V. Lutsenko, F.A. Serant, Ye.G. Karpov. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii po teploenergetike i yeye ustoychivomu razvitiyu*. g. Uglzhevik, Respublika Serbskaya, Bosniya i Gertsegovina. 2010. S. 61–66. (rus.)
10. Teplotekhnika [Heat-technics] / Pod red. Lukanina V.N. M.: Vysshaya shkola, 2003. (rus.)
11. **Murko V.I., Fedyayev V.I., Dzyuba D.A., Seybel V.Ya., Stolyarov N.A.** Opyt ispolzovaniya vodougolnogo topliva [Experience in the use of coal-water fuel]. *Novosti teplosnabzheniya*. 2006. №4(68). S. 31–36. (rus.)
12. **Listratov I.V., Delyagin G.N., Kondratyev A.S., Saraf B.A.** Opyt promyshlennogo vnedreniya chistoy ugolnoy tekhnologii kipyashchego sloya na vodougolnom toplive [Experience in industrial implementation of clean coal fluidized bed technology for coal-water fuel]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2005. №5(49). S. 26–29. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ЕПИХИН Алексей Иванович — кандидат технических наук доцент Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. 353918, Россия, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93. E-mail: a.epikhin@inbox.ru

AUTHOR

ЕПИХИН Aleksei I. — Admiral Ushakov Maritime State University. 93 Linin av., Novorossiysk, Krasnodar reg., Russia, 353918. E-mail: a.epikhin@inbox.ru