

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕПЛООВОГО МОДУЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИСАДКИ ВОДЫ К ТОПЛИВУ

А.Г. Кузьмин, А.Е. Свистула, Е.М. Калюжный, С.С. Дорофеева

В настоящее время производственный потенциал энергетики России составляет более 700 электростанций общей мощностью свыше 215 млн. кВт. Из них почти 70% - тепловые электростанции, примерно 20% - гидроэлектростанции и 10% - атомные. Протяженность линий электропередач всех классов более 2,5 млн. км. Свыше 90% этого потенциала сосредоточено в Единой энергетической системе (ЕЭС) [1].

Столь огромный энергокомплекс требует, с одной стороны, больших средств для поддержания его в состоянии высокой работоспособности, а, с другой, нуждается в хорошей организации потребления энергии, обеспечивающей возможность работы крупных электростанций с высоким КПД.

По данным РАО «ЕЭС России» в 2005-2008 годах 80 млн. кВт мощностей электростанций России выработают свой ресурс, т.е. треть их мощностей потребует замены. Износ линий электропередач ныне превышает в системе ЕЭС 25 %, подстанций – 45 %. Все это свидетельствует о нарастающей угрозе аварийных перебоев в электроснабжении.

Вместе с тем образовался существенный недогруз электроагрегатов, что объясняется спадом производства. Отсюда повышенный расход топлива из-за работы в неэкономичных режимах и удорожание стоимости вырабатываемой электроэнергии.

В этих условиях в стране наметилась тенденция на строительство децентрализованных комбинированных источников электро- и теплоснабжения – мини-ТЭЦ.

В настоящее время существует множество различных схем и конструкций когенерационных установок. Из этого множества для большинства потребителей наиболее подходящими являются когенерационные установки на базе поршневых ДВС. В них используются, как правило, дизельные и газовые двигатели.

На сегодняшний день широкое распространение получили дизель-генераторные станции с утилизацией «вторичного» тепла [1]. Однако их основным недостатком является тот факт, что теплоутилизационное оборудование таких установок работает в нерасчет-

ном режиме с низкими КПД, а поверхности теплообмена интенсивно засоряются частицами несгоревшего топлива, в частности сажи, масла и другими компонентами, содержащимися в большом количестве в отработавших газах поршневых ДВС, работающих на малых нагрузках. Это вызывает рост гидравлических сопротивлений в выпускных системах когенерационных установок, ухудшение технического состояния и топливной экономичности двигателей и, наконец, возрастание пожароопасности газоразводящих систем и теплоутилизационного оборудования.

Таким образом, снижение выброса сажи, а так же других токсичных компонентов содержащихся в отработавших газах – основной путь решения проблемы.

Одним из таких методов является использование воды в качестве присадки к топливу.

Положительный опыт искусственного введения воды в рабочий цикл с целью повышения технико-экономических и экологических характеристик тепловых машин отмечается для поршневых карбюраторных и дизельных двигателей, работающих как на топливах нефтяного происхождения, так и на альтернативных [2–5]. Способы введения воды в рабочий цикл можно разделить на четыре основные группы (рис. 1).

Большую известность получил способ, основанный на подготовке и использовании водотопливных эмульсий (ВТЭ) [3]. Только ВТЭ позволяют в совокупности использовать положительные свойства других трех способов, тем самым снизить содержание сажи и других токсических компонентов.

Механизм действия воды на рабочий процесс дизелей можно разделить на:

- физическое воздействие (гипотеза «микровзрыва», «микроструй»);
- химическое воздействие (газификации сажистых осадков, ускорение кинетики химических реакций и др.).

Одной из наиболее распространенных гипотез физического воздействия является гипотеза «микровзрывов». Она заключается в том, что при нагревании происходит вскипание водяного ядра капли, приводящее к «мик-

ровзрыву". Таким образом при горении ВТЭ происходит вторичное распыливание капель, лучше используется воздушный заряд и повышается эффективность процесса горения.

Суть гипотезы «микроструй» заключается в том, что капля ВТЭ, испаряясь в условиях камеры сгорания дизеля, вследствие более раннего вскипания воды, фактически выбрасывает пары влаги с осколками топлива в

виде нестационарных «микроструй». Образующиеся «микроструи», во-первых, являются очагами горения, во-вторых, создают реактивную тягу, смещающую оставшуюся каплю в сторону, противоположную выбросу.

Таким образом, ослабляется основной недостаток объемного смесеобразования – переобогащение сердцевины факела топливом.

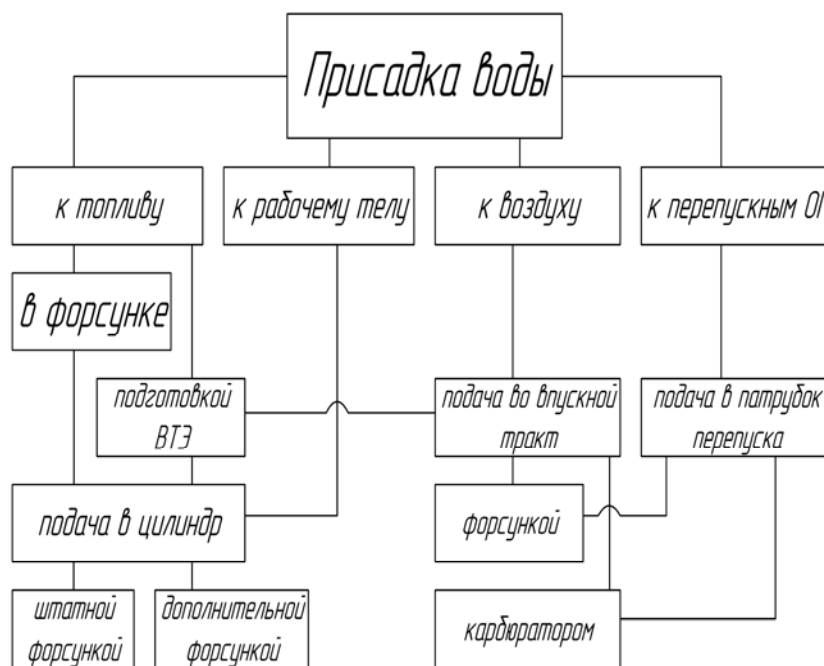


Рис. 1

Химический эффект действия воды на процесс горения заключается в диссоциации молекул воды на гидроксильную группу OH и атомарный водород H, способствующих вследствие высокой активности окислению топлива.

Как показали многие исследования, применение воды, в качестве присадки к топливу, положительно сказывается на экономических и экологических показателях двигателей. Уменьшается удельный эффективный расход топлива, уменьшаются максимальные температуры в цилиндре, увеличивается скорость сгорания смеси, возрастает скорость распространения и дальнобойность топливной струи. Наблюдается весьма существенное снижение вредных выбросов двигателя. В результате снижения максимальных температур цикла снижается тепловая напряженность деталей цилиндро-поршневой группы, уменьшается нагарообразование в камере сгорания, тем самым увеличивается моторесурс двигателя.

Однако невозможность оперативного управления составом эмульсии, расслаивание, коррозия и др. относятся к существенным недостаткам данного способа. Поэтому ВТЭ желательно готовить непосредственно перед впрыском в цилиндр двигателя.

Предложена система получения водотопливной эмульсии непосредственно перед впрыском топлива в цилиндр двигателя [6].

На рис. 2 изображена схема предлагаемой системы питания двигателей внутреннего сгорания; разрез форсунки.

Топливный насос 1 высокого давления (рис. 2а) снабженный управляющим органом 2 подключен к резервуару с углеводородным топливом (не показан) и сообщен при помощи трубопроводов 3-6 высокого давления с форсунками 7-10. Источник присадки 11 соединен через электроподкачивающий насос 12 и обратный клапан 13 с баллоном с водой 14. Баллон с водой 14 соединен через регулятор 18 с воздушным баллоном высокого давления 16 и через магистраль 15 с форсунками

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕПЛОГО МОДУЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИСАДКИ ВОДЫ К ТОПЛИВУ

7-10. Регулятор 18 кинематически связан с управляющим органом 2 топливного насоса 1 при помощи рычага 19 и тяги 20.

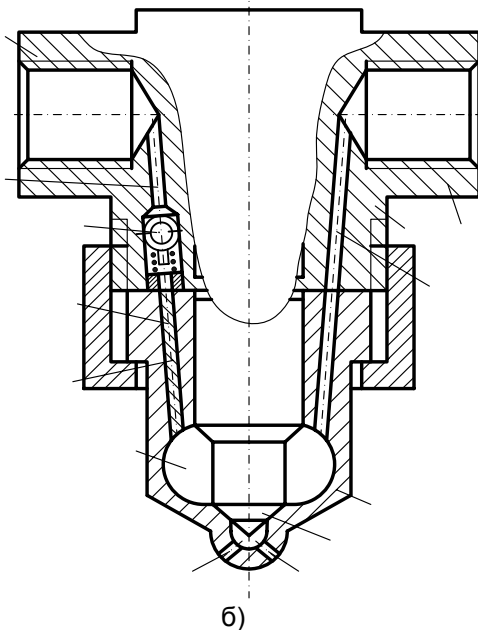
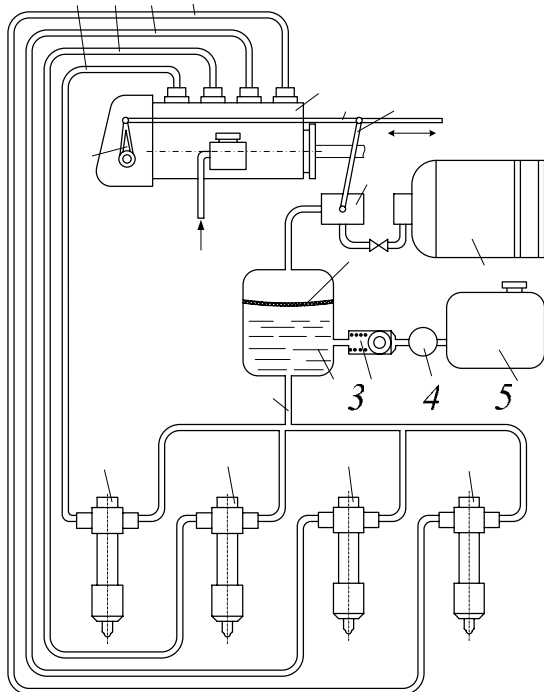


Рис. 2

Форсунки 7-10 имеют одинаковую конструкцию и каждая из них снабжена корпусом 33 (рис.2б), в котором выполнен канал 21 подачи углеводородного топлива к распылителю 30. Канал 23 подачи присадки содержит

смесительно-аккумулирующую камеру 24, в которой установлен обратный клапан 25. В смесительно-аккумулирующей камере 24 размещена вставка 26 с косой винтовой нарезкой, имеющей шаг, равный  $(1-2)d$ , где  $d$  – диаметр смесительно-аккумулирующей камеры 24. В распылителе 30 выполнена подплунжерная полость 27 и распыливающие отверстия 28 и 29, отделенные от полости 27 при помощи иглы 22. Трубопровод высокого давления (рис.2а) подключен к штуцеру 31 и соединяет канал подачи углеводородного топлива с топливным насосом 1 (рис.2а). Магистраль 15 соединена со штуцером 32 (рис.2б) и сообщает канал 23 подачи присадки с топливным насосом 1 (рис.2а).

Предлагаемая система работает следующим образом: топливный насос 1 нагнетает через канал 21 жидкое топливо под плунжерную полость 27 (рис.2б). Под воздействием давления топлива игла 22 перемещается, и топливо через отверстия 28 и 29 впрыскивается в цилиндр двигателя. В конце впрыска давление в полости 27 падает и через обратный клапан 25 в смесительно-аккумулирующую камеру 24 и в полость 27 поступает присадка воды. После запираания форсунки иглой 22 давление в полости 27 нарастает, часть воды растворится в топливе, а часть сожмется в аккумулялирующей камере 20. При следующем впрыске через отверстия 28 и 29 происходит стечение водотопливной эмульсии.

Исследования проведены на модернизированной математической модели рабочего процесса двигателя, разработанной Рубцовым В.Ю. и реализованной на основе методики Разлейцева Н.Ф. [7]. Модель позволяет исследовать рабочий процесс дизеля с расчетом содержания вредных веществ в отработавших газах с учетом эффективности использования воздушного заряда цилиндра. К модели с целью проведения численного анализа индикаторного КПД и статей неиспользования теплоты добавлен блок расчета формирования индикаторного КПД дизеля на основе теории Матиевского Д.Д. [8].

Структурная схема математической модели «ТОХИС» представлена на рис. 3.

Модель содержит следующие расчетные блоки или подпрограммы:

- расчета характеристик впрыска и испарения;
- расчета тепловыделения;
- расчета эффективности использования теплоты;
- расчета температуры пламени;

А.Г. КУЗЬМИН, А.Е. СВИСТУЛА, Е.М. КАЛЮЖНЫЙ, С.С. ДОРОФЕЕВА

- расчета образования термических окислов азота;
- расчета выбросов углеводородов и окиси углерода;
- выражения для учета влияния турбулентности воздушного заряда на рабочий процесс дизеля;
- расчета индикаторных показателей и показателей эффективности использования теплоты.

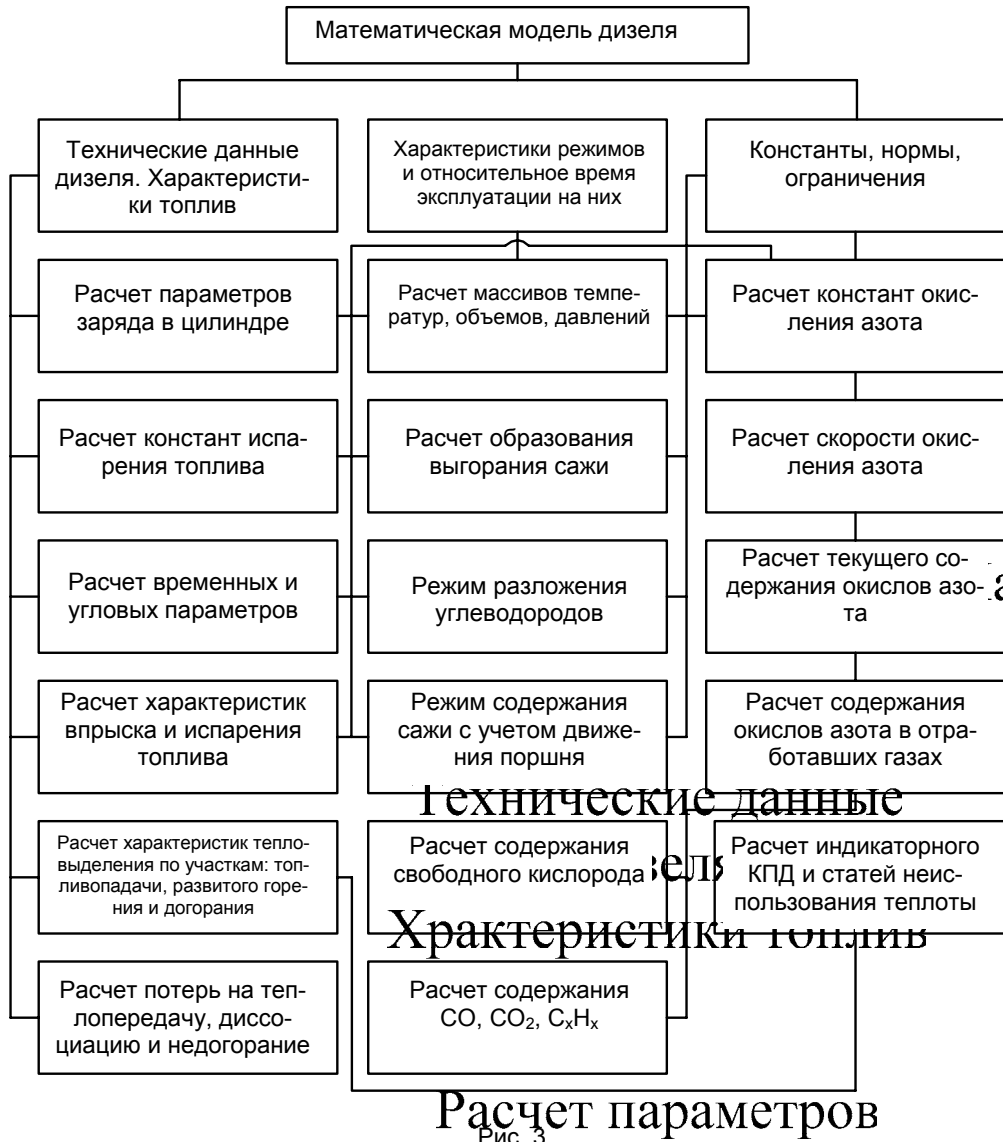


Рис. 3

Константы и коэффициенты в расчетных зависимостях приняты с учетом рекомендаций Н.Ф. Разлейцева [7], А.С. Хачияна, В.А. Звонова, С.А. Батурина, А.Л. Новоселова.

Преимуществом модели является то, что она позволяет не только учесть динамику впрыска, испарения и сгорания топлива, развития топливного факела, но и оценить влияние некоторых параметров рабочего тела на динамику изменения индикаторного КПД и статей неиспользования теплоты.

На начальном этапе рассчитываются параметры заряда (количество свежего заряда, отработавших газов, цикловая подача топлива и др.), затем рассчитываются константы испарения топлива [7].

Расчет временных и угловых параметров диаграммы включает в себя расчет температуры и давления газов, периода задержки воспламенения, моментов воспламенения, окончания впрыска, окончания горения и доставки теплоты.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕПЛООВОГО МОДУЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИСАДКИ ВОДЫ К ТОПЛИВУ

тижения факелом стенки камеры сгорания, продолжительности испарения и сгорания.

Далее ведется расчет характеристик впрыска и испарения топлива с учетом динамики развития факела.

После этого идет расчет тепловыделения на участках топливоподачи, развитого горения и догорания. Затем рассчитывается индикаторный КПД и его составляющие.

В завершении ведется расчет образования сажи и окислов азота.

Расчетные исследования (рис. 4) показали, что при использовании присадки воды в количестве  $\xi_{\text{во}}$  с 0,2 до 1, максимальное содержание сажи в цикле  $C_{\text{max}}$  снижается более чем на 20 %, а на выхлопе  $C_r$  - на 30-40 %. Кроме того, показано, что изменение  $\xi_{\text{во}}$  с 0,4 до 0,6 приведет к снижению температуры цикла - к уменьшению  $\text{NO}_x$  до 30% [9, 10].

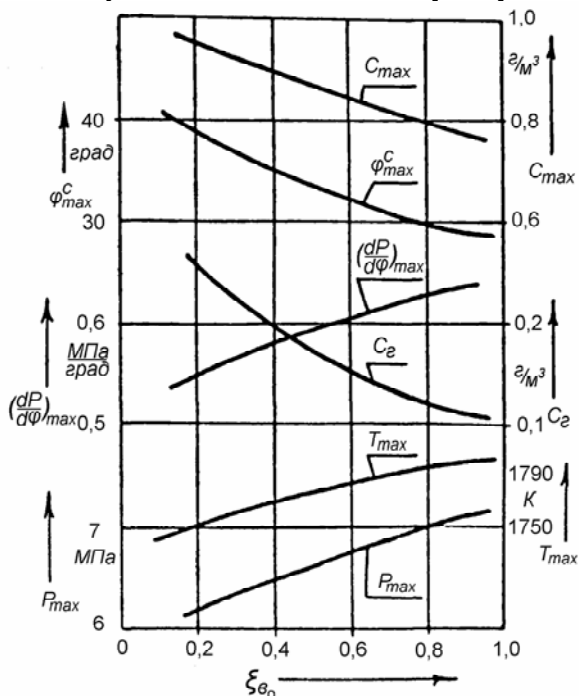


Рис. 4

Использование данной разработки поможет довольно эффективно решить проблему загрязнения котлов-утилизаторов, повысить к.п.д. установки в целом, а также снизить токсичность отработавших газов и трудоемкость обслуживания. Это в свою очередь подымет конкурентоспособность поршневых мини-ТЭЦ как на внутреннем, так и на внешнем рынке [1].

Разрабатываемые конструкции мини-ТЭЦ планируются к внедрению в серийное производство ООО «Сибэнергопром», ООО

«Газэнергопром», ОАО «Президент-Нева Алтай», ОАО «АлСЭН» с последующим использованием в качестве источников тепловой и электрической энергии преимущественно в труднодоступных и удаленных районах, а также в качестве резервных в системе централизованного энергоснабжения и аварийных источников для энергоснабжения социально-значимых объектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин А.Г., Матиевский Д.Д., Логвиненко В.В. Перспективы использования поршневых ДВС в качестве источника тепловой и электрической энергии для энергоснабжения промышленных объектов. Исследование, моделирование и управление в технических системах и природной среде // Ползуновский вестник. - 2003. - № 1-2.
2. Воржев Ю.И. Применение водотопливных эмульсий в судовых дизелях // Двигателестроение. - 1986. - №12. - С. 30-33.
3. Давтян О.К. Способы диспергирования и другие факторы, способствующие полному сгоранию в двигателях внутреннего сгорания (ДВС). Доклады АН Армянской ССР. Т. 23, 1981. - №4. - С. 234-240.
4. Иванов В.М. Топливные эмульсии. - М.: АН СССР, 1962. - С. 216.
5. Матиевский Д.Д., Свистула А.Е., Тактак А. Анализ воздействия присадки воды к рабочему телу в дизеле на показатели цикла и индикаторный КПД // Вестник Алтайской науки. - 2004. - Вып.1. - С. 234-237.
6. Система питания дизеля/ Свистула А.Е., Матиевский Д.Д., Калужный Е.М., Тактак А.Р. // Патент на полезную модель № 42073. Заявка №2004121938 от 20.11.2004.
7. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. - Харьков: Виша школа, 1980. - 169 с.
8. Матиевский Д.Д. Метод анализа индикаторного КПД рабочего цикла двигателя // Двигателестроение, 1984. - N 6. - С. 7 - 11.
9. Матиевский Д.Д., Свистула А.Е., Тактак А. Повышение качества рабочего процесса дизеля использованием присадки воды к топливу // Науковий прац: Техногенна безпека. - Т.43. - Вип.30. - Миколаїв: Вид-во МДГУ, 2005. - С.89-92.
10. Свистула А.Е., Матиевский Д.Д. Анализ эффективности использования теплоты в цикле дизеля с присадкой воды к рабочему телу // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2004. - №1. - С. 68-73.
11. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. - Л.: Судпромгиз, 1958. - 558 с.
12. Школьный А.А., Семенов К. А., Сенчилов В.В. Физическая модель воздействия воды в составе водотопливной эмульсии на процесс смесеобразования и сгорания в дизелях. Рукопись деп. В ЦНИИТЭНтяж маш, № 1380тм-84 деп., 1984. - 29 с.