



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

В.Г. Злобин, Л.О. Зверев

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД),  
Высшая школа технологии и энергетики, г. Санкт-Петербург, Россия  
zlobin\_v@list.ru

**Резюме:** Вопросам экономии топливно-энергетических ресурсов, а также повышения эффективности оборудования придается большое значение во всех отраслях и особенно в энергетике-основной топливо-потребляющей отрасли. Повышение эффективности работы котельных установок и в настоящее время остается актуальным вопросом. На каждой станции разрабатываются организационно-технические мероприятия по совершенствованию технологических процессов.

В статье рассмотрены некоторые пути повышения эффективности котельных установок при использовании жидкого топлива. Проведены тестовые промышленные испытания очистителя форсунок на дизельном топливе в котельной установке, которые привели к следующим результатам:

– получена экономия расхода топлива 8,67 %. При этом количество передаваемого тепла в сеть ЛТЦ-4 увеличилось на 5,67 %.

– удельный показатель расхода топлива (отношение расхода дизельного топлива к количеству передаваемого тепла, кг/Гкал) снизился на 12,57 %, а также одновременно с показателями экономичности котлов, возрастут ресурсные показатели форсунок котлов, снизится время и уменьшатся затраты на технический осмотр форсунок.

**Ключевые слова:** эффективность, жидкое топливо, котельная, очиститель, форсунка, экономия, расход топлива.

**Для цитирования:** Злобин В.Г., Зверев Л.О. Повышение эффективности котельных установок на жидком топливе // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 4 С. 24-31. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-4-24-31.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF LIQUID FUEL BOILER PLANTS

VG. Zlobin, LO. Zverev

Graduate School of Technology and Energy SPbGUPTD  
St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract:** The issues of saving fuel and energy resources, as well as improving the equipment efficiency, are of great importance in all sectors and especially in the energy sector, the main fuel-consuming industry. Improving of the boiler plants efficiency and is currently an urgent issue. Organizational and technical measures to improve technological processes are being developed at each station.

The article discusses several ways to improve the boiler plants efficiency using liquid fuel. Industrial tests of the diesel nozzle cleaner in the boiler plant were carried out, which led to the following results:

- received fuel consumption savings of 8.67%. At the same time, the amount of heat transferred to the LTC-4 network increased by 5.86%.

- the specific indicator of fuel consumption (the ratio of diesel fuel consumption to the amount of heat transferred, kg / Gcal) decreased by 12.57%, and also at the same time as the efficiency of the boilers, the resource indicators of the boiler nozzles will increase, the time and the costs for the nozzles technical inspection will decrease.

**Keywords:** efficiency, liquid fuel, boiler plant, cleaner, nozzle, economy, fuel consumption.

**For citation:** Zlobin VG, Zverev LO. Investigation of the plane wave coupling to a linearly loaded transmission line network. *Power engineering: research, equipment, technology*.2020;22(4):24-31. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-4-24-31.

### **Введение**

В настоящее время объем потребления энергии непрерывно возрастает, что является следствием процесса индустриализации и увеличения энергозатрат на добычу природных ресурсов [1-4].

Несмотря на развитие топливобудующей промышленности в нашей стране, топливный баланс ее в течение многих лет является весьма напряженным: опережающими темпами растет потребность в топливе, и зачастую оно расходуется расточительно. Сегодня Россия в расчете на единицу национального дохода расходует топлива, электроэнергии, металла и других ресурсов более чем в 2 раза больше, чем экономически развитых странах [5-7].

Исходя из этого, на котельных существует потребность в увеличении эффективности котельных установок и достигается это опытным путем.

### **Литературный обзор**

Очистка топливной системы, и в том числе форсунок, представляет собой серьезную проблему. Связана она с целым рядом аспектов, а главной причиной появления загрязнений всегда становится низкое качество топлива. Загрязнение распылительных отверстий форсунок ухудшает образование топливовоздушной смеси, в регуляторе давления нарушается герметичность, а в топливном насосе высокого давления существенно уменьшается производительность. К примеру, слой отложений на форсунках толщиной 5мкм может изменить пропускную способность этого канала на 25%. Для унижения степени загрязнения форсунок при эксплуатации применяются методы: совершенствуют конструкцию форсунок, применяют новые материалы, достигают очень высокой точности изготовления, используют очищающие жидкости. Большое количество специальных исследований, испытаний и многолетний опыт эксплуатации показали, что при хорошем состоянии топочных форсунок и их регистров, и правильной организации топочного процесса, работа топок с избытком воздуха 1,05-1,1 вполне возможна без значительной потери от химического недожога и при уменьшенной потере с уходящими газами при этом значительно уменьшаются затруднения из-за загрязнения и коррозии поверхностей нагрева, удлиняется срок работы между остановками для ремонта и очистки, снижается расход топлива, себестоимость пара и электроэнергии [8-11].

### **Материалы и методы**

В ООО «Леноблтеплоснаб» была проведена тестовая обработка дизельного топлива котельной установки STAVAN-250 № 2 котельной ЛТЦ-4 д. Иссад Волховского района Ленинградской области присадкой «Очиститель форсунок котлов «Супротек».

До выполнения тестовой обработки дизельного топлива для котельной установки STAVAN-250 №2, был согласован с руководством котельного участка и оператором котельной, порядок регистрации параметров работы котельной установки STAVAN-250 №2 4 (четыре) раза в сутки (08-00, 12-00, 16-00, 20-00); разработан и согласован с руководством котельного участка и оператором котельной порядок обработки дизельного топлива в резервной емкости и подачи его в расходный бак.

Тестовые испытания проводились по следующей методике:

В резервный бак с двумя тоннами дизельного топлива через горловину бака заливается три литра «Очистителя форсунок котлов «Супротек» и тщательно перемешивается.

В момент, когда в расходном баке останется одна тонна дизельного топлива, расходный бак пополняется из резервного бака, так, чтобы общая масса топлива в расходном баке составила 3 тонны. При этом достигается требуемая концентрация «Очистителя форсунок котлов «Супротек» из расчета 1 литр очистителя на 1 тонну дизельного топлива.

Регистрация параметров работы котельной установки проводилась в штатном режиме в «Журнале учета работы котельной» в течение всего периода тестовой обработке. Начало перекачки обработанного дизельного топлива с резервного бака в расходный фиксировалась в журнале одномоментно. С этого времени считалось, что котельная установка начала работу на дизельном топливе с «Очистителем форсунок котлов «Супротек».

В период тестовой обработки настройки и регулировки форсунки «Ecoflam» котла, насосов и другого вспомогательного оборудования не менялись.

При регистрации параметров работы котельной до и в процессе обработки используются штатные средства измерения температуры окружающего воздуха, температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, а также уровня дизельного топлива в расходном баке.

Целесообразность и уровень снижения расхода дизельного топлива определялась путем прямого сравнения показателей работы котельной до и после обработки дизельного топлива «Очистителем форсунок котлов «Супротек».

По окончании испытания был произведён расчет количества тепла, передаваемого в сеть.

Расчет количества тепла, передаваемого в сеть, произведен по формуле:

$$Q = G \cdot C_p (t_{\text{под}} - t_{\text{обр}}) ,$$

где  $G$  – подача насоса теплоносителя в сеть (из графика характеристики насоса ВРН 120/340.65Т (рис.1),  $G = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $C_p$ – теплоемкость теплоносителя,  $C_p = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $t_{\text{под}}$  – температура в подающем трубопроводе от насоса в сеть,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{обр}}$  – температура в обратном трубопроводе из сети,  $^\circ\text{C}$ .

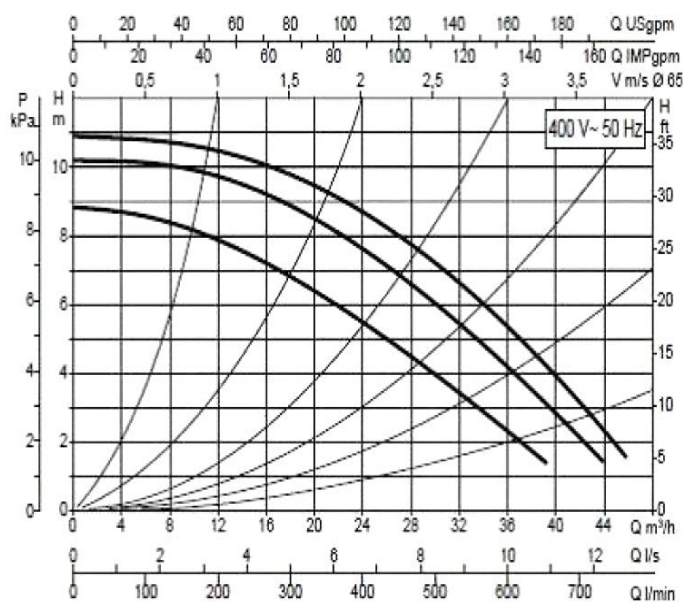


Рис.1. Характеристика насоса ВРН 120/340.65Т

### Обсуждение результатов

В результате обработки данных построены температурные графики котельной – зависимость расхода дизельного топлива и количества передаваемого тепла в сеть от температуры наружного воздуха. На графиках представлены зависимости расхода дизельного топлива и количества теплоты, передаваемой в сеть, за период тестовой обработки (рис. 2, 3), а также изменение удельного расхода топлива котельной (рис. 4).

### Изменение расхода дизельного топлива в котельной ЛТЦ-4



### Изменение количества передаваемого тепла в котельной ЛТЦ-4



Таким образом, в результате прямого сравнения показателей работы котельной до и после обработки дизельного топлива «Очистителем форсунок котлов «Супротек» получена экономия расхода дизельного топлива – 8,67 %.

Количество передаваемого тепла в сеть ЛТЦ-4 увеличилось на 5,67 %.

## Изменение удельного расхода топлива в котельной ЛТЦ-4

Разница составляет  $\Delta = -12,57\%$ 

Расчет изменений расхода дизельного топлива, количества тепла, передаваемого в сеть и удельного расхода топлива представлен в табл. 1.

Таблица 1

Расчет изменения расхода дизтоплива, количества тепла, передаваемого в сеть, %

2	1	0	-1	-2	-3	-4	Температура наружного воздуха, °C	
Изменение количества тепла, %								
1,8	2,12	1,84	2,16	2,2	2,04	2,28	без присадки	
2,16	1,92	1,92	2,16	2,4	2,16	2,4	с присадкой	
20,00	-9,43	4,35	0,00	9,09	5,88	5,26	среднее, %	+5,86
Изменение расхода топлива, %								
243	24	243	270	270	243	270	без присадки	
216	216	216	216	297	243	270	с присадкой	
-11,11	-11,11	-11,11	-20,00	10,00	0,00	0,00	среднее, %	-8,67
Изменение удельного расхода топлива, %								
135,00	114,62	132,07	125,00	122,73	119,12	118,42	без присадки	
100	112,5	112,5	100,00	123,75	123,75	12,5	с присадкой	
-25,93	-1,85	-14,81	-20,00	0,83	3,89	-5,00	среднее, %	-12,57

Удельный показатель расхода топлива (отношение расхода дизельного топлива к количеству передаваемого тепла, кг/Гкал) снизился на 12,57 %. Данное снижение косвенно подтверждает расчет суммарного удельного расхода топлива за декабрь-февраль 2018 до обработки и суммарного удельного расхода топлива за период обработки с 04 по 14 февраля 2019 г. Данные представлены в табл. 2. В результате получено снижение удельного расхода топлива на 11,61 %.

Таблица 2

Расчет суммарного удельного расхода топлива за периоды				
Период расчета	Расход ДТ, кг	Тепло в сеть, Гкал	Суммарный удельный расход до обработки, кг/Гкал	Снижение удельного расхода топлива, %
За период до обработки декабрь 2018 г.-февраль 2019 г.	18792,00	148,40	126,63	
За период обработки 04-14 февраля 2019 г.	2646,00	23,64	111,93	-11,61

### Заключение

По результатам, полученным в ходе выполнения тестовой обработки дизельного топлива в котельной ЛТЦ-4 д. Исследованы следующие выводы:

1. В результате прямого сравнения показателей работы котельной до и после обработки дизельного топлива «Очистителем форсунок котлов «Супротек» получена экономия расхода топлива 8,67 %. При этом количество передаваемого тепла в сеть ЛТЦ-4 увеличилось на 5,67 %.

2. Удельный показатель расхода топлива снизился на 12,57 %.

Таким образом, эффективность добавления в дизельное топливо «Очистителя форсунок котлов «Супротек» состоит в снижении расхода дизельного топлива на 7÷8 % при одновременном увеличении количества тепла, передаваемого в сеть. Удельные показатели расхода топлива снижаются на 10÷12 %, а также одновременно с показателями экономичности котлов, возрастут ресурсные показатели форсунок котлов, снизится время и уменьшатся затраты на технический осмотр форсунок.

### Литература

1. Плаксин А.М., Гриценко А.В., Глемба К.В., и др. Диагностирование электромагнитных форсунок по изменению качественного состава топливной смеси // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 2380-2384.
2. Oliskewych M., Bochenski C., Majewski Z.A Method of designing the diagnostic test for a diesel engine injection system // Ann. Warsaw Agr.Univ.Agr. 2001. N.40. pp. 17-23.
3. Vieweg F., Verlagsges mbH S. Das Common Rail System, ein neues Kapitel der Dieseleinspritztechnik // Motortechnische Zeitschrift. 1997. N.10. pp. 574-575.
4. Vier Ventile, Common Rail // DLZ Agrarmag.AgroBonus. 2002. V.53. N.12. pp. 63-130.
5. Зверева Э.Р., Дмитриев А.В., Шагеев М.Ф., и др. Результаты промышленных испытаний карбонатной присадки к мазуту // Теплоэнергетика. 2017. №8. С. 50-56.
6. Марков В.А., Девянин С.Н., Тихонов А. В. Влияние конструкции распылителя форсунки на показатели транспортного дизеля // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2004. №1. С. 60-81.
7. Малахов А.Ю., Юрин П.А., Лихачева Т.Е., и др. Исследование причин выхода из строя топливных форсунок современных автомобилей // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. №4(51). С. 38-47.
8. Лазарев В.Е., Ломакин Г.В., Лазарев Е.А. Совершенствование конструкции распылителей топливной форсунки дизеля для реализации повышенных давлений впрыскивания топлива // Ползуновский Вестник. 2017. №4. С. 70-75.
9. Kyshchun V., Nesterenko I. Diagnostic methods of diesel fuels spray nozzle with piezoelectric driver // Наукові нотатки. 2018. №61. pp. 77-82.
10. Неговора А.В., Махиянов У.А., Костарев К.В. Совершенствование технологии ремонта форсунок автотракторных дизелей // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015. №3 (35). С. 64-68.
11. Мильман О.О., Ленев С.Н., Голов П.В., и др. Исследование режима работы сухой вентиляционной градирни на ТЭЦ-12 ПАО "Мосэнерго" // Теплоэнергетика. 2020. №4. С. 41-51
12. Огнев И. И., Огнев И. Г., Брусницин Ф.А., и др. Анализ влияния параметров форсунок на показатели дизельного двигателя // Труды Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию кафедры подъемно-транспортных машин и роботов "Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта"; 06 декабря 2019 г., Екатеринбург, Россия.

Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2020. С. 50-52.

13. Солдатова М.С. Разработка приложения для выделения процесса распыления жидкости форсунки на изображении // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. №4 (14). С. 173-175.

14. Савастенко Э.А., Яковенко А.Л., Савастенко А.А. Использование ультразвукового метода очистки деталей топливной аппаратуры дизеля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. №4(55). С. 22-27.

15. Thiemann W., Finkbeiner H., Brüggemann H. Der neue Common-Rail-Dieselmotor mit Direkteinspritzung für den Smart. 1999. MTZ Motortech. N.60. pp. 722-733. <https://doi.org/10.1007/BF03226535>.

### Авторы публикации

**Злобин Владимир Германович** – канд. техн. наук, зав. кафедрой «Теплосиловые установки и тепловые двигатели» Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург.

**Зверев Леонид Олегович** – студент Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург.

### References

1. Plaksin AM, Gritsenko AV, Glemba KV, et al. Diagnostirovaniye elektromagnitnykh forsunok po izmeneniyu kachestvennogo sostava toplivnoy smesi. *Fundamen-tal'nyye issledovaniya*. 2014;11:2380-2384.

2. Oliskewych M., Bochenski C., Majewski Z. A Method of designing the diagnostic test for a diesel engine injection system. *Ann. Warsaw Agr. Univ. Agr.* 2001;40:17-23.

3. Vieweg F, Verlagsges mbHS. Das Common Rail System, ein neues Kapitel der Dieseleinspritztechnik. *Motortechnische Zeitschrift*. 1997;10:574-575.

4. Vier Ventile, Common Rail. *DLZ Agrarmag. AgroBonus*. 2002;53(12):63-130.

5. Zvereva ER, Dmitriev AV, Shageev MF, et al. Results of industrial tests of carbonate additive to fuel oil. *Thermal Engineering*. 2017;64 (8):591-596.

6. Markov VA, Devyanin SN, Tikhonov AV. Vliyaniye konstruktssii raspylitelya forsunki na pokazateli transportnogo dizelya. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. Mashinostroyeniye*. 2004;1:60-81.

7. Malakhov AYU, Yurin PA, Likhacheva TYe, et al. Is-sledovaniye prichin vykhoda iz stroya toplivnykh forsunok sovremennykh avtomobiley. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2017; 4(51):8-47.

8. Lazarev VYe, Lomakin GV, Lazarev YeA. Sovershenstvovaniye konstruktssii raspyliteley toplivnoy forsunki dizelya dlya realizatsii povyshennykh davleniy vpryskivaniya topliva. *Polzunovskiy Vestnik*. 2017; 4:70-75.

9. Kyshchun V, Nesterenko I. Diagnostic methods of diesel fuels spray nozzle with piezoelectric driver. *Scientific Notes*. 2018;61:77-82.

10. Negovora AV, Makhyanov UA, Kostarev KV. Improving the technology of repairing nozzles of automotive diesel engines. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2015;3(35):64-68.

11. Mil'man OO, Lenev SN, Golov PV, et al. Investigation into Operating Conditions of a Dry Mechanical Draft Cooling Tower at the TETs-12 Cogeneration Power Station of PAO Mosenergo. *Thermal Engineering*. 2020;4:41-51.

12. Ognev II, Ognev IG, Brusnitsin FA, et al. Analiz vliyaniya parametrov forsunok na pokazateli dizel'nogo dvigatelya. In: Pyatayev MV, Zyryanov AP. *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 90-letiyu kafedry pod"-yemno-transportnykh mashin i robotov "innovatsionnoye razvitiye tekhniki i tekhnologiy nazemnogo transporta"*; 06 dekabrya 2019; Yekaterinburg, Rossiya. Yekaterinburg: Ural'skiy federal'nyy universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Yel'tsina, 2020. pp. 50-52.

13. Soldatova MS. Razrabotka prilozheniya dlya vydeleniya protsessa raspyleniya zhidkosti forsunki na izobrazhenii. *Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavтики*. 2018;4(14):173-175.

14. Savastenko EA, Yakovenko AL, Savastenko AA. Ispol'zovaniye ultrazvukovogo metoda ochistki detaley toplivnoy apparatury dizelya. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2018;4(55):22-27.

15. Thiemann W, Finkbeiner H, Brüggemann H. Der neue Common-Rail-Dieselmotor mit Direkteinspritzung für den Smart. *MTZ Motortech*. 1999;60:722-733. <https://doi.org/10.1007/BF03226535>.

**Authors of the publication**

**Vladimir G. Zlobin** – Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia. Email: zlobin\_v@list.ru.

**Leonid O. Zverev** – Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia.

**Поступила в редакцию**

**03 августа 2020г.**