

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.22

АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ  
ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ДВИГАТЕЛЯМИ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

© 2020 А.В. Разуваев

*Балаковский инженерно-технологический институт НИЯУ МИФИ, Балаково, Россия*

В работе рассматривается гидравлическая схема системы охлаждения энергоустановок различного назначения на базе ДВС. Приводятся экспериментальные данные по обеспечению необходимого повышенного давления в системе высокотемпературного охлаждения на выходе из ДВС. Проведен анализ полученных результатов стендовых испытаний и предложены некоторые рекомендации по их использованию для повышения эффективности работы самой энергоустановки, путем повышения ее эксплуатационной экономичности.

*Ключевые слова:* высокотемпературное охлаждение ДВС, расширительный бак, система охлаждения ДВС, эксплуатационная экономичность энергоустановок.

Поступила в редакцию 21.03.2020

После доработки 17.08.2020

Принята к публикации 25.08.2020

Гидравлические системы энергетических установок выполняют различные функции. В энергетических установках с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) отводит теплоту от втулки и крышки цилиндра в радиатор, т.е. для отвода теплоты от ДВС в атмосферу. Анализ этой схемы показывает, что ее модернизация может повысить эффективность работы всей энергетической установки (ЭУ). Этому актуальному вопросу и посвящена настоящая работа.

Имеющиеся данные по работе энергетических установок на базе ДВС и с высокотемпературным режимом его охлаждения (температура охлаждающей воды на выходе из двигателя превышает 373К (100°C)), показывают [1] возможность повышения эксплуатационной топливной экономичности и снижения массогабаритных показателей радиаторных установок.

Это обстоятельство способствует сокращению эксплуатационного расхода топлива особенно на транспортных средствах. Так, применение этой системы на тепловозном двигателе дает заметное снижение топлива. Ведь магистральные тепловозы на номинальной мощности работают всего на 1-8% от суммарной наработки, а остальное время на средних и малых нагрузках. Маневровые тепловозы на номинальной нагрузке работают и того меньше, порядка 0,5-2%, а вот на малых нагрузках и средних нагрузках наработка составляет до 60% от суммарной. Как показывает анализ литературных источников и проведенные экспериментальные исследования – чем меньше нагрузка и выше температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя, тем меньше его удельный расход топлива и износ цилиндропоршневой группы [2]. Аналогичная ситуация имеет место и на энергетических установках с ДВС работающих в качестве дизель-генератора. И относительная наработка аналогична тепловозной, так, наработка на средних нагрузках составляет порядка 30-40%.

Специфика применяемой охлаждающей жидкости в системе охлаждения ДВС такова, что она начинает кипеть при температуре в районе 373К (100°C). Повышение температуры более 373К (100°C) требует определенного давления, при котором поток воды должен быть стабильным и целостным без образования пара в самом потоке. Это обстоятельство необходимо выполнять и для обеспечения стабильной работы центробежного водяного насоса ДВС. При этом должна быть обеспечена необходимая величина кавитационного запаса водяного насоса на его всасывании. Это повышенное давление в системе высокотемпературного охлаждения ДВС необходимо поддерживать во всем диапазоне мощностных нагрузок и при различных частотах вращения коленчатого вала. Только в этом случае удастся повысить эксплуатационную экономичность энергоустановки с ДВС на 2-5% и снизить массогабаритные показатели радиаторных установок до 15-20%, что очень актуально для применения их на транспортных средствах.

При отработке системы высокотемпературного охлаждения ДВС проводился эксперимент для всей системы и в частности с одним из элементов этой системы – расширительным баком (РБ), схема представлена на рисунке 1. Задача стояла в обеспечении повышенного давления охлаждающей жидкости в системе охлаждения ДВС. В него подавалась некоторая часть горячей воды из двигателя по пароотводной трубке (рис. 1, поз. 6), а от расширительного бака вода отводилась по трубе значительно большего диаметра, чем подводящая труба (рис. 1, поз. 4). При этом для РБ использовалась специальная емкость (при проведении эксперимента), способная работать под повышенным давлением, а на ее поверхность была нанесена термоизоляция толщиной 60 мм из стекловаты и обернута мешковиной. Пароотводная трубка диаметром 14х1 мм также была термоизолирована, но уже шнуровым асбестом диаметром 3 миллиметра. Проведенный оценочный расчет снижения температуры охлаждающей жидкости после двигателя (на входе в пароотводную трубку) и на входе в верхнюю часть РБ (в конце пароотводной трубки) составил 0,1-0,2 градуса.

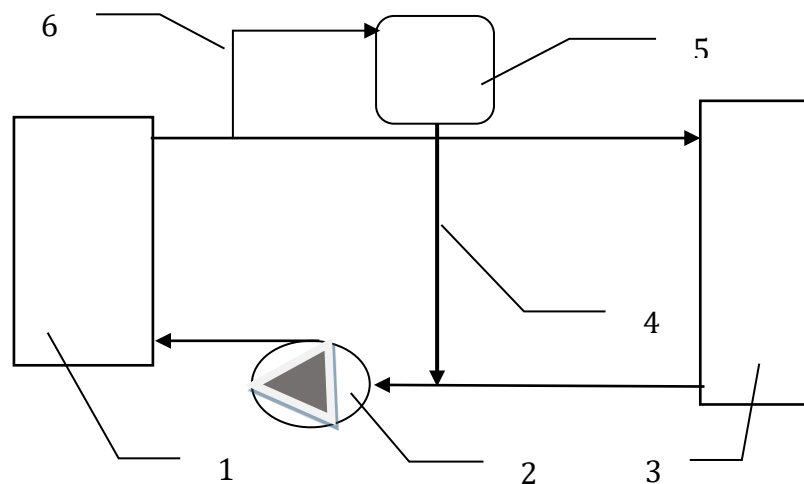


Рисунок 1 – Принципиальная гидравлическая схема ЭУ с ДВС: 1 – энергетическая установка с ДВС, 2 – водяной насос, 3 – радиатор, 4 – сливная трубка с расширительного бака, 5 – расширительный бак, 6 – пароотводящая трубка [Basic hydraulic diagram of a power plant with an internal combustion engine: 1 – a power plant with an internal combustion engine, 2 – a water pump, 3 – a radiator, 4 – a drain pipe from an expansion tank, 5 – an expansion tank, 6 – a steam outlet pipe]

В верхней части РБ установлен предохранительный паровоздушный клапан, отрегулированный на давление срабатывания 120 кПа (1,2 кг/см<sup>2</sup>), и в средней части

установлена термопара (находилась в объеме охлаждающей жидкости РБ). Общий вид этого расширительного бака представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид расширительного бака с термоизоляцией в системе высокотемпературного охлаждения ДВС [General view of the expansion tank with thermal insulation in the high-temperature cooling system of the internal combustion engine]

По мере прогрева охлаждающей жидкости ДВС поднималась величина давления и температуры в расширительном баке (в верхней части бака установлен был манометр).

График зависимости давления паровоздушной смеси в расширительном баке, от температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя, представлен на рисунке 3. Кривая 1 показывает изменение давления паровоздушной смеси в расширительном баке с увеличением температуры охлаждающей жидкости на выходе из дизеля, причем герметизация (закрытие заливной горловины расширительного бака) была проведена при температуре 318 К (45°C) (температура в боксе). Далее воздух, имевшийся в свободном от жидкости объеме расширительного бака, нагревался за счет тепла жидкости, поступающей в него, и создавал дополнительное давление. При достижении давления 120 кПа срабатывал паровоздушный клапан. При этом полость расширительного бака сообщалась с атмосферой и определенная масса воздуха (совместно с паром) сбрасывалась в атмосферу.

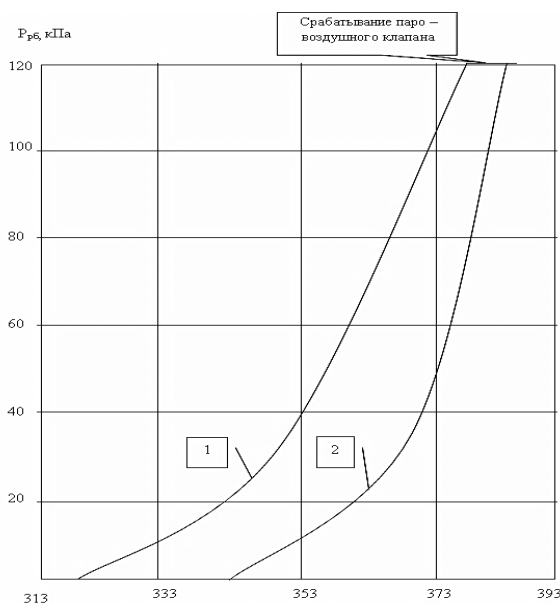


Рисунок 3 – Зависимость давления паровоздушной смеси в расширительном баке ДВС от температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя [Dependence of the air-vapor mixture pressure in the expansion tank of the internal combustion engine on the temperature of the coolant at the engine outlet]

Кривая 2 показывает зависимость роста давления в баке от температуры жидкости на выходе из дизеля после срабатывания паро-воздушного клапана и охлаждения жидкости до 343 К (70 °С). Как видно, кривая 2 расположена правее кривой 1. Дело в том, что масса пара и воздуха в расширительном баке стала меньше на величину массы сброшенного воздуха и пара при срабатывании паровоздушного клапана.

Здесь следует отметить, что давление во всей системе охлаждения ДВС также изменялось (увеличивалось или уменьшалось) аналогично изменению давления в РБ. При экспериментальных исследованиях перед водяным насосом и после него были установлены манометры для контроля поведения всей гидравлической системы ДВС и для контроля стабильности потока воды. Этот параметр стабильности потока воды определялся по частоте колебаний стрелки манометра. Очень частые колебания стрелки манометра были зафиксированы при наличии воздуха или частичного вскипания воды в системе охлаждения.

Проведенные экспериментальные исследования дают возможность сделать следующие выводы и предложения, которые можно использовать для повышения эффективности других энергоустановок с подобными гидравлическими системами.

Герметизация РБ должна проводиться при температуре окружающего воздуха цеха или бокса расположения энергоустановки; давление паровоздушной смеси в РБ повышалось пропорционально повышению температуры охлаждающей жидкости после ДВС; термоизоляция стенок РБ и паропроводной трубки способствует стабилизации давления воды в системе ДВС; при сбросе части объема паровоздушной смеси из РБ снижает давление в РБ и это момент необходимо учитывать при проектировании или создании гидравлических систем энергоустановок. Также и, наоборот, при подачи дополнительного объема воздуха (или газа) можно повысить давление паровоздушной смеси в РБ; это дает основание считать возможным, перед окончательной заправкой охлаждающей жидкостью расширительного бака предварительно его загерметизировать. Затем добавить в него определенное (расчетное по требованию необходимой температуры) давление воздуха для гарантированного отсутствия вскипания этой жидкости при номинальных параметрах работы энергетической установки с определенным запасом по температуре.

Учитывая перспективность развития атомной отрасли [3, 4], можно предложить, наряду с другими способами повышения эффективности АЭС [5], провести анализ параметров работы гидравлической схемы двухконтурной АЭС с реакторами типа ВВЭР. В частности, схему по работе, [6] которая может стать основанием для проведения теоретического и, по возможности, экспериментального моделирования [7] ее работы с параметрами реальных условий эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Разуваев А. В.* Поршневые двигатели внутреннего сгорания с высокотемпературным охлаждением // А. В. Разуваев. – Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2001. – 128 с.
2. *Разуваев А. В.* Повышение эффективности энергетических установок // А. В. Разуваев, Е. А. Разуваева, Е. А. Соколова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – № 3. – С. 150-159.
3. *Лебедев, В. А.* Ядерные энергетические установки / В. А. Лебедев. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2015. – 189 с.
4. *Зарецкий, А. И.* Атомная электростанция: преимущества и перспективы / А. И. Зарецкий. – Минск : Беларусь, 2013. – 119 с.
5. *Аминов, Р. З.* Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями / Р. З. Аминов. – Москва : Наука, 2016. – 949 с.
6. Патент 2685220 Российская Федерация, МПК G21C 15/00 (2006/01). Устройство первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки : заявитель и патентообладатель

- Разуваев А.В. – № 2018114884 ; заявл. 18.09.2017 ; опубл. 17.04.2019 Бюл. № 11, А.В. Разуваев. – 6 с.
7. Петров, А. Г. Аналитическая гидродинамика: Идеальная несжимаемая жидкость / А. Г. Петров. – Москва : Ленанд, 2017. – 368 с.

## REFERENCES

- [1] Razuvayev A.V. Porshnevyye dvigateli vnutrennego sgoraniya s vysokotemperaturnym okhlazhdeniyem [Piston Internal Combustion Engines with High-Temperature Cooling]. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. [Saratov: Saratov State Technical University]. 2001. 128 p.
- [2] Razuvayev A.V., Razuvaeva E.A., Sokolova E.A. Povysheniye effektivnosti energeticheskikh ustanovok [Improving the Efficiency of Power Plants]. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Saratov State Technical University]. № 3. 2010. P. 150-159.
- [3] Lebedev V.A. Yadernyye energeticheskiye ustanovki [Nuclear Power Plants]. Sankt-Peterburg; Moskva; Krasnodar: Lan' [St. Petersburg; Moscow Krasnodar: Lan]. 2015. 189 p. (in Russian).
- [4] Zaretsky A.I. Atomnaya elektrostantsiya: preimushchestva i perspektivy [Nuclear Power Plant: Advantages and Prospects]. Minsk: Belarus' [Minsk: Belarus]. 2013. 119 p. (in Russian).
- [5] Aminov R.Z. Kombinirovaniye vodorodnykh energeticheskikh tsiklov s atomnymi elektrostantsiyami [Combination of Hydrogen Energy Cycles with Nuclear Power Plants]. Moskva: Nauka [Moscow: Science]. 2016. 949 p. (in Russian).
- [6] Patent 2685220 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G21C 15/00 (2006/01). Ustroystvo pervogo kontura dvukhkonturnoy yadernoy energeticheskoy ustanovki: zayavitel' i patentoobladatel' Razuvayev A.V. – № 2018114884; zayavl. 18.09.2017; opubl. 17.04.2019 [Patent 2685220 Russian Federation, IPC G21C 15/00 (2006/01). The Device of the First Circuit of a Dual-Circuit Nuclear Power Plant: Applicant and Patent Holder A. Razuvaev. No. 2018114884; declared 09/18/2017; publ. 04/17/2019 Bull. No. 11, Razuvaev A.V. 6 p.] (in Russian).
- [7] Petrov A.G. Analiticheskaya gidrodinamika: Ideal'naya neszhimayemaya zhidkost' [Analytical Hydrodynamics: Ideal Incompressible Fluid]. Moskva: Lenand [Moscow: Lenand]. 2017. 368 с. (in Russian).

## Analysis of Hydraulic Circuit of Power Plants with Internal Combustion Engines

**A.V. Razuvaev**

*Balakovo Engineering and Technological Institute the branch of NRNU MEPhI, Chapaev st., 140,  
Balakovo, Russia 413850  
ORCID iD: 0000-0002-4593-0653  
e-mail: AVRazuvaev1@mephi.ru*

**Abstract** – The work examines the hydraulic circuit of the cooling system of power plants of various purposes on the basis of the internal combustion engines. Experimental data are provided to ensure the necessary high pressure in the high-temperature cooling system at the exit of the internal combustion engines. The results of the stand tests are analysed and some recommendations have been proposed for their use to improve the efficiency of the power plant itself by improving its operational efficiency.

*Keywords:* high-temperature cooling of the internal combustion engine, expansion tank, internal combustion engine cooling system, operational economy of power plants.