

УДК 621.431.75

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДЯНОГО КОНДЕНСАТА, ОТОБРАННОГО ИЗ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2011 Ю. А. Кныш, Д. А. Угланов

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет)

Статья посвящена вопросу определения физико-химических характеристик водного конденсата выхлопных газов тепловых двигателей. Представлены и проанализированы данные его исследований с помощью хроматографического оборудования.

*Выхлопные газы, тепловой двигатель, водный конденсат, пары воды.*

Известно, что масса водного конденсата в продуктах сгорания может достигать более 1 кг (для природного газа) в расчёте на 1 кг сгоревшего в двигателе топлива [1]. То есть массовая доля воды в выхлопных газах может превышать массу собственно химических загрязнений. Ныне действующими нормативами вода не рассматривается как загрязняющее вещество [2]. Однако контакт паров воды с химическими соединениями загрязнителей приводит к образованию устойчивых наноструктурных фаз уже в парообразном и далее в сконденсированном жидком состоянии. Смешиваясь с атмосферной влагой и выпадающими осадками, наноструктурная фаза загрязнённой воды распространяется в окружающей атмосфере уже как загрязняющее вещество.

В данной работе представлены результаты экспериментов с двумя образцами водных конденсатов, полученных из выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания (ВАЗ-2108) и газотурбинного двигателя (НК-36). Конденсат выхлопных газов поршневого двигателя получен при работе на режиме малого газа (1000 об/мин). Конденсат выхлопных газов газотурбинного двигателя НК-37 был получен при работе на режиме, имеющем следующие параметры: мощность двигателя  $N=18$  МВт, расход топлива (газа)  $Q_{газа}=5607$  м<sup>3</sup>/ч, температура

окружающей среды  $T_n=1^\circ\text{C}$ , температура уходящих газов  $T_{yx.г.}=90^\circ\text{C}$ , температура газа после турбины  $T_m=630^\circ\text{C}$ , коэффициент избытка воздуха  $a=8$ , состав выхлопных газов, определенный с помощью газоанализатора:  $O_2=18,63\%$ ,  $NO_2=57$  мг/м<sup>3</sup>,  $NO=6$  мг/м<sup>3</sup>,  $CH_4=84$  мг/м<sup>3</sup>,  $CO=522$  мг/м<sup>3</sup>,  $CO_2=1,35$  мг/м<sup>3</sup>.

После сбора конденсата осуществлялась тщательная фильтрация обоих образцов от твёрдых включений (сажи). Предварительный анализ химического состава образца конденсата автомобильного двигателя показал, что водная составляющая конденсата представляет собой концентрированный водный раствор множества химических соединений, среди которых нитраты – до 2,14 мг/л, органические соединения – до 1,016 мг/л.

На первом этапе осуществлялся контроль физико-химических свойств воды. Их принято оценивать по величине водородного показателя рН и окислительно-восстановительного потенциала Eh (ОВП). Эти параметры измерялись прибором рН-метром типа HI-223 с погрешностью 0,001 ед., а силы поверхностного натяжения – тензиометром К9 с погрешностью  $\pm 1$  мН/м. Результаты измерений представлены на рис. 1 и 2, из рассмотрения которых следует:

1) водный конденсат продуктов сгорания по структурно-зависимым показателям рН и Eh значительно отличается от чистой воды;

2) силы поверхностного натяжения конденсата существенно ниже относительно дистиллированной воды.

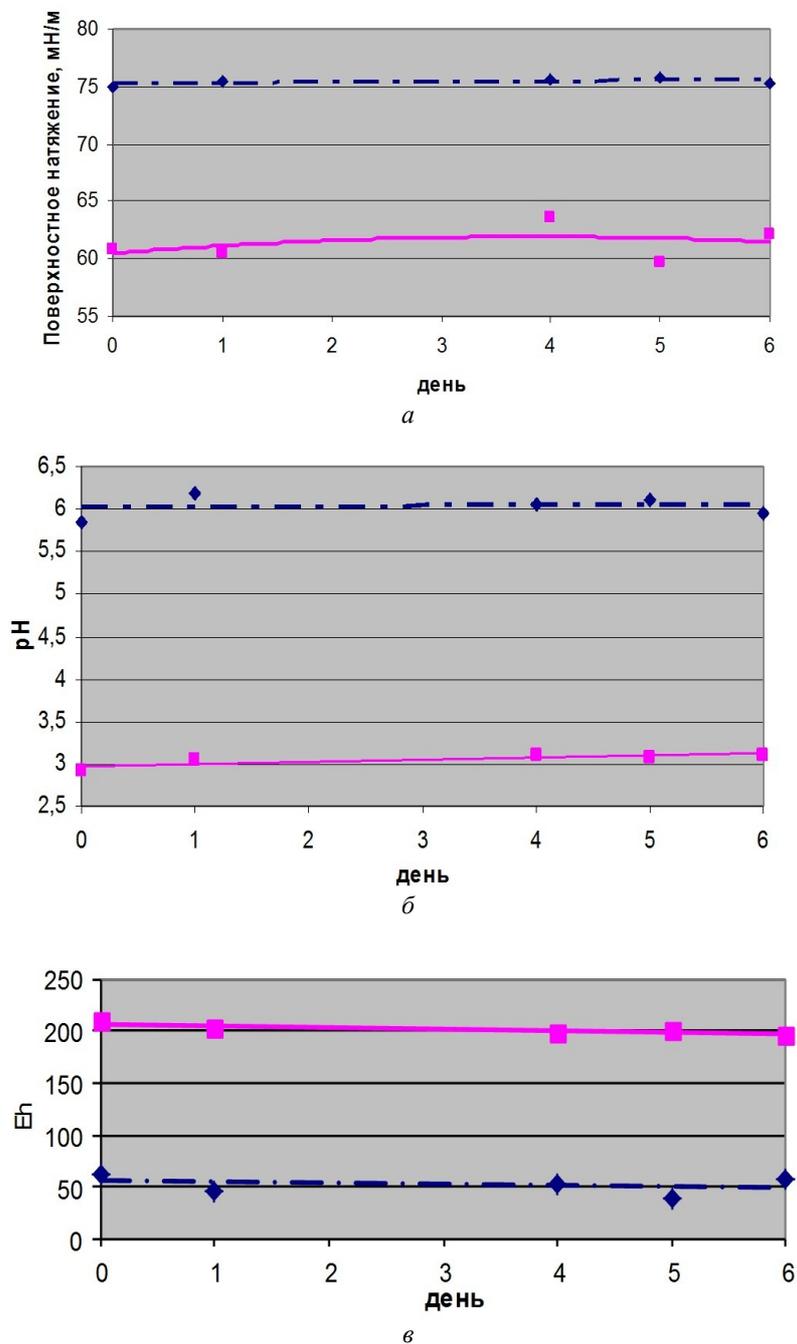


Рис. 1. Изменение физико-химических параметров водного бидистиллята (♦) и конденсата продуктов сгорания (ПС) топлива в автомобильном двигателе (■) с течением времени (в сутках): а - поверхностное натяжение; б - рН; в – ОВП

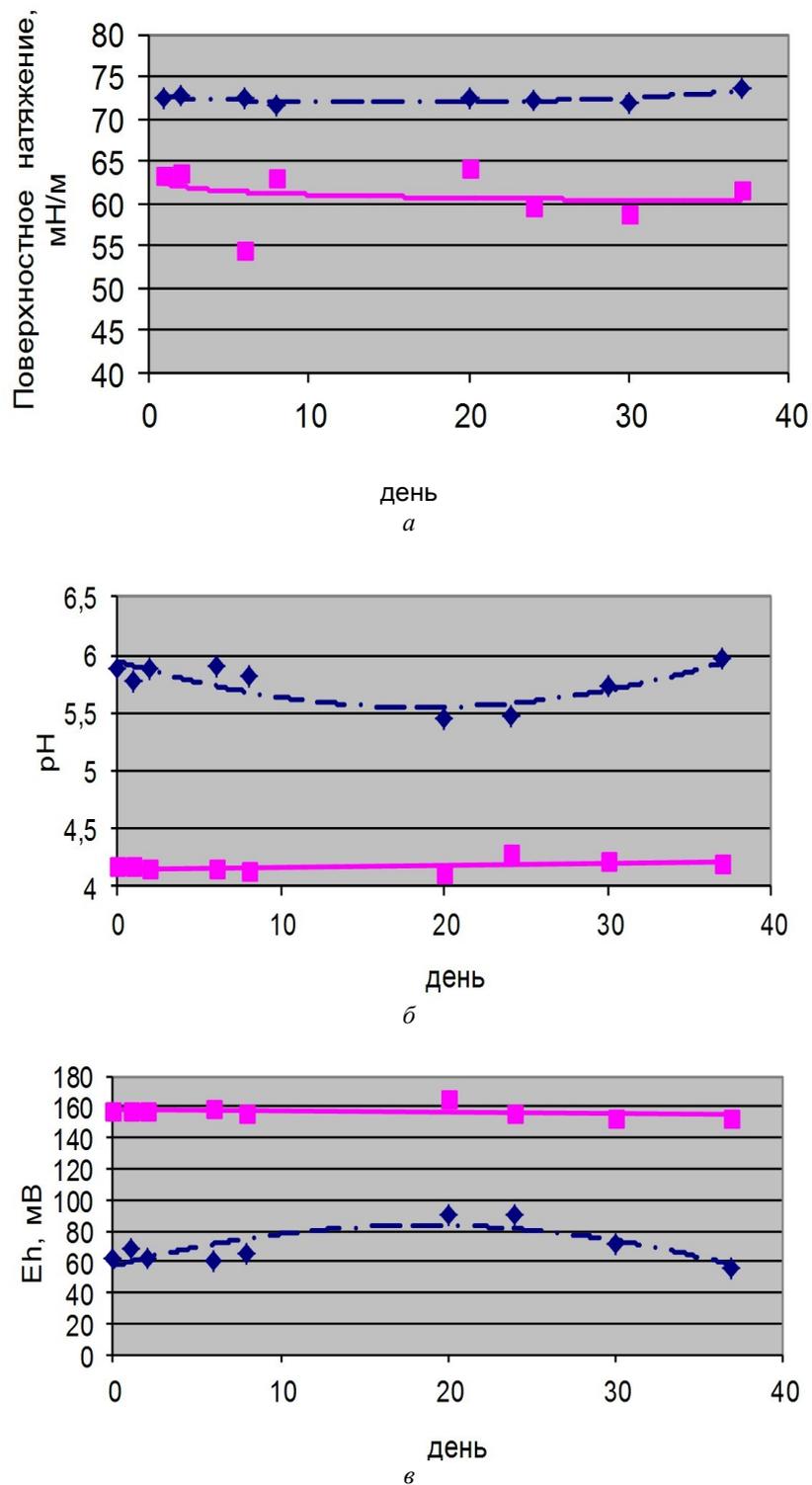


Рис. 2. Изменение физико-химических параметров водного бидистиллята (♦) и конденсата продуктов сгорания (ПС) топлива в газотурбинном двигателе (■) с течением времени (в сутках): а - поверхностное натяжение; б - рН; в- ОВП

Затем проводились исследования состава водяного конденсата выхлопных газов. Для этого использовалось следующее аналитическое лабораторное оборудование: ИОННЫЙ ХРОМАТОГРАФ ICS-2000 и жидкостный масс-спектрометр 3200 QTRAP производства Applied Biosystems.

Результаты анализа на хроматографе ICS-2000 вышеуказанных водяных конденсатов представлены соответственно на рис.3 и 4, а также в табл.1 и 2.

Таблица 1. Состав водяного конденсата и продуктов сгорания газотурбинного двигателя

No.	Time min	Peak Name	Type	Area $\mu\text{S}\cdot\text{min}$	Height $\mu\text{S}$	Amount mg/L
3	12,40	chloride	BMB*	0,619	4,502	1,6251
4	13,52	nitrite	BMB	6,322	31,854	25,4925
5	18,03	nitrate	BMB**	19,322	52,506	156,7937
6	20,26	sulphate	BMB^	3,953	16,766	16,2457
TOTAL:				30,22	105,63	200,16

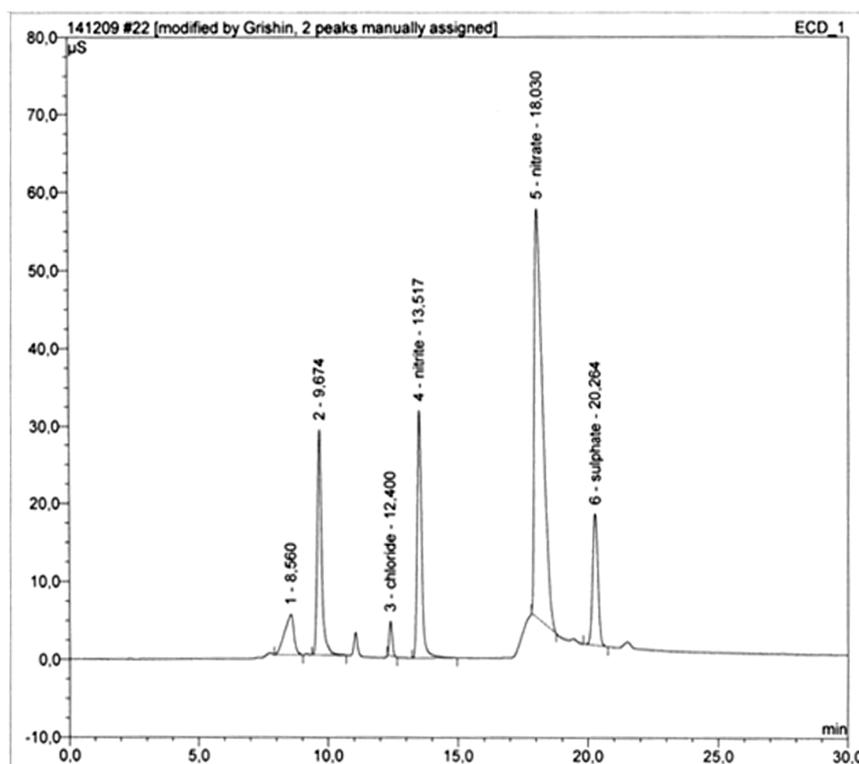


Рис. 3. Результаты хроматографического исследования водяного конденсата продуктов сгорания (ПС) топлива в газотурбинном двигателе

Из рис.3 в водяном конденсате следует, что при работе ГТД в нём содержатся нитраты и нитриты (около 181 мг/л), сульфаты (около 16 мг/л) и хлорид (около 1,6 мг/л), а в водяном конденсате, полученном

при работе поршневого ДВС (рис.4), содержатся нитраты и нитриты (около 7 мг/л), сульфаты (около 110 мг/л) и хлорид (около 10 мг/л).

Таблица 2. Состав водяного конденсата и продуктов сгорания поршневого двигателя

No.	Time min	Peak Name	Type	Area $\mu\text{S} \cdot \text{min}$	Height $\mu\text{S}$	Amount mg/L
1	12,42	chloride	BMB	3,556	24,434	9,3322
2	13,50	nitrite	BMB*	0,112	0,784	0,4535
3	18,49	nitrate	BMB*	0,804	3,210	6,5217
4	20,12	sulphate	BMB^	26,623	103,989	109,4191
TOTAL:				31,10	132,42	125,73

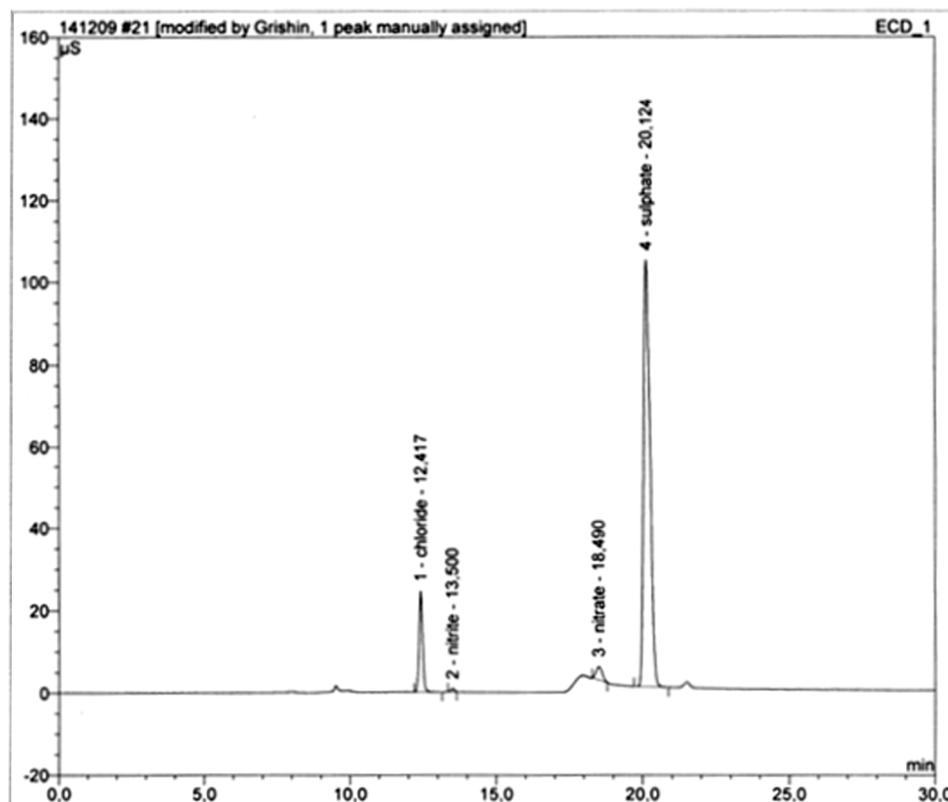


Рис. 4. Результаты хроматографического исследования водяного конденсата продуктов сгорания (ПС) топлива в поршневом двигателе

Следует отметить, что эти результаты не полностью характеризуют состав водяного конденсата, поскольку приборы не имели полного спектра калибровочных веществ, используемых в ионном хроматографе ICS-2000. Поэтому дополнительно к данному методу использовался метод анализа на жидкостном масс-спектрометре. Исследование двух образцов проводили на жидкостном масс-спектрометре 3200 QTRAP производства Applied Biosystems [3]. Растворы вводили прямой инфузией. В

эксперименте применяли ионизацию в электроспрее. При этом в предоставленных образцах были обнаружены следующие группы соединений: алкановые соединения с разветвлённой цепью в различных стадиях распада на продукты окисления; предположительно азотсодержащие гетероциклические соединения в различных стадиях окисления и соединения, которые по косвенным признакам относятся к гидразиновым производным; полициклические соединения, в том числе в различных стадиях

полимеризации (образование ди-, и предположительно, тримеров).

Все это говорит о том, что водный конденсат продуктов сгорания в жидком, а также в газообразном состоянии является очень сложной структурой, которую необходимо исследовать и подвергать тщательному анализу для выяснения фактического негативного воздействия на окружающую среду.

### **Библиографический список**

1. Мингазов, Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей [Текст] / Б.Г. Мингазов. – Казань: изд-во Казанского технического университета, 2006. - 220 с.
2. Христич, В.А. Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды [Текст] / В.А. Христич, А.С. Тумановский - Киев: Техника, 1983. - 144 с.
3. [www.spektronika.ru](http://www.spektronika.ru) – сайт фирмы «Спектроника»

## **ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF WATER CONDENSATE OBTAINED FROM HEAT ENGINE EXHAUST GASES**

© 2011 Yu. A. Knysh, D. A. Uglanov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

The paper deals with the analysis of physical and chemical characteristics of water condensate obtained from exhaust gases of heat engines. The data obtained with the help of chromatographic equipment are presented and analysed.

*Exhaust gases, heat engine, water condensate, water steam.*

### **Информация об авторах**

**Кныш Юрий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [knysh194@mail.ru](mailto:knysh194@mail.ru). Область научных интересов: рабочие процессы тепловых двигателей, вихревые течения и структуры, процессы горения и смесеобразования.

**Угланов Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [dmitry.uglanov@mail.ru](mailto:dmitry.uglanov@mail.ru). Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

**Knysh Yuriy Alekseevich**, Dr.Sci.Tech., professor of the department of theory of aircraft engines, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), e-mail: [knysh194@mail.ru](mailto:knysh194@mail.ru). Area of research: working processes of thermal engines, vortex flows and structures, processes of burning and mixing.

**Uglanov Dmitriy Aleksandrovich**, candidate of technical science, associate professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), e-mail: [dmitry.uglanov@mail.ru](mailto:dmitry.uglanov@mail.ru). Area of research: working processes of heat engines and refrigerators, airborne power equipment, energy saving.