

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

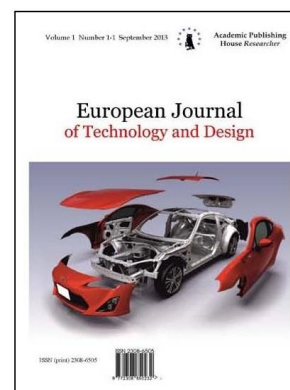
Published in the Russian Federation  
European Journal of Technology and Design  
Has been issued since 2013.

ISSN: 2308-6505

E-ISSN: 2310-3450

Vol. 7, Is. 1, pp. 27-35, 2015

DOI: 10.13187/ejtd.2015.7.27

[www.ejournal4.com](http://www.ejournal4.com)

UDC 621.182

## Modeling of Combustion of Watered Gasoline

<sup>1</sup> Dmitry V. Saitie<sup>2</sup> Aleksandr A. Smolnikov<sup>1-2</sup> Izhevsk State Technical University, Russian Federation

### Abstract

With helping of soft "Thermodynamic" there was numerical researching of the thermodynamic combustion's parameters of watered gasoline for conditions of carbureted engine as function of coefficients of oxidizer's surplus and water ballast. It is shown that the water ballast of about 5 % can be useful, as it gives a stoichiometric combustion of nearly 10 percent increase in RT while reducing the CO by 42 %.

**Keywords:** energy; enthalpy; burning; flooded fuel.

### Введение

Вода сопровождает нефтепродукты от буровой вышки до камеры сгорания. Причины ее попадания в нефть и нефтепродукты различны: от случайного проникновения водяных паров с их последующей конденсацией до преднамеренного введения с целью изменения физических свойств. Как правило, степень случайного обводнения зависит от температуры, давления, влажности воздуха, наличия свободных поверхностей и чистоты топливных емкостей. Общеизвестен факт, что в жарком и влажном климате вероятность накопления воды в топливе в 1,5...2 раза выше, чем при умеренном. Кроме того, нефтепродукты, как высокомолекулярные смолистые соединения – поверхностно-активные вещества, то есть природные эмульгаторы. Из случайных причин попадания воды в топливо можно выделить следующие: конденсация водяных паров в топливных баках и элементах арматуры; протечки воды через дефекты уплотнений, повреждения корпуса; ошибки обслуживающего персонала. Таким образом, вода почти всегда присутствует в топливе, и речь идет лишь о большем или меньшем ее содержании. Традиционно воду из топлива стремятся удалить различными способами, например, отстаиванием или сепарацией. Все они трудоемки, требуют затрат энергии и, как правило, малоэффективны [1, 2].

### Материалы и методы

В зависимости от того, как вода распределяется в объеме топлива, по-разному организуется процесс горения. Если вода распределяется неравномерно, то это может привести к срыву или выбросам пламени, вызывая вибрацию элементов камеры сгорания [5–7]. С другой стороны, равномерное распределение воды активизирует процесс горения и снижает вредные вещества в продуктах сгорания, повышает октановое число бензина.

Эффект обводненных топлив в настоящее время широко используется в котлах, использующих тяжелые жидкие нефтяные фракции. Применительно к ним создано

специальное оборудование по созданию гомогенной эмульсии (существует множество патентов на способы и устройства, например [3]). Как показали эксперименты, наибольшая экономичность наблюдается при содержании воды 10...12 %, при этом КПД котла увеличивается на 3-4 %, количество сажи снижется почти наполовину, а температура газов за котлом снижается до 190 °С [4].

### Обсуждение

Для исследования горения водно-бензиновой смеси использовалась программа "Термодинамика" [8–11]. Расчетные исходные данные для нее приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Коэффициенты условной формулы и энтальпии водно-бензиновых смесей

| Бензин, % | Вода, % | Коэффициенты в условной формуле |     |    | Энтальпия, кДж/кг |
|-----------|---------|---------------------------------|-----|----|-------------------|
|           |         | С                               | Н   | О  |                   |
| 100       | 0       | 70                              | 160 | 0  | 419               |
| 95        | 5       | 66                              | 157 | 2  | -395              |
| 90        | 10      | 63                              | 155 | 5  | -1209             |
| 80        | 20      | 56                              | 150 | 11 | -2837             |
| 70        | 30      | 49                              | 145 | 16 | -4466             |
| 60        | 40      | 42                              | 140 | 22 | -6094             |
| 50        | 50      | 35                              | 135 | 27 | -7723             |
| 40        | 60      | 28                              | 130 | 33 | -9351             |
| 30        | 70      | 21                              | 125 | 38 | -10979            |
| 20        | 80      | 14                              | 120 | 44 | -12608            |
| 10        | 90      | 7                               | 116 | 50 | -14236            |
| 5         | 95      | 3                               | 113 | 52 | -15050            |

Результаты расчетов приведены на рис. 1–11. В качестве аргументов при построении графиков выступили коэффициент избытка окислителя  $\alpha$  и степень обводнения (балластировки) бензина: от 0 % воды до 80 % (при балластировке свыше 90 % горение прекращалось во всем диапазоне коэффициентов избытка окислителя).

Как видно из рис. 1, с увеличением доли балласта, температура горения снижается во всем диапазоне коэффициентов избытка окислителя. Например, для стехиометрического соотношения ( $\alpha = 1$ ) при горении чистого бензина адиабатическая температура составила 2432 К, при 5 % балласте – 2428 К, при 10 % балласте – 2416 К. Однако изменение средней молекулярной массы продуктов сгорания не так монотонно (рис. 2: при  $\alpha = 1$  и чистом бензине  $M = 31,3$  г/моль, при 5 % балласте – 28,5 г/моль, 10 % – 28,4 г/моль), а потому на графике  $RT$  виден ярко выраженный максимум, соответствующий 5 % балласту практически во всем диапазоне коэффициентов избытка окислителя.

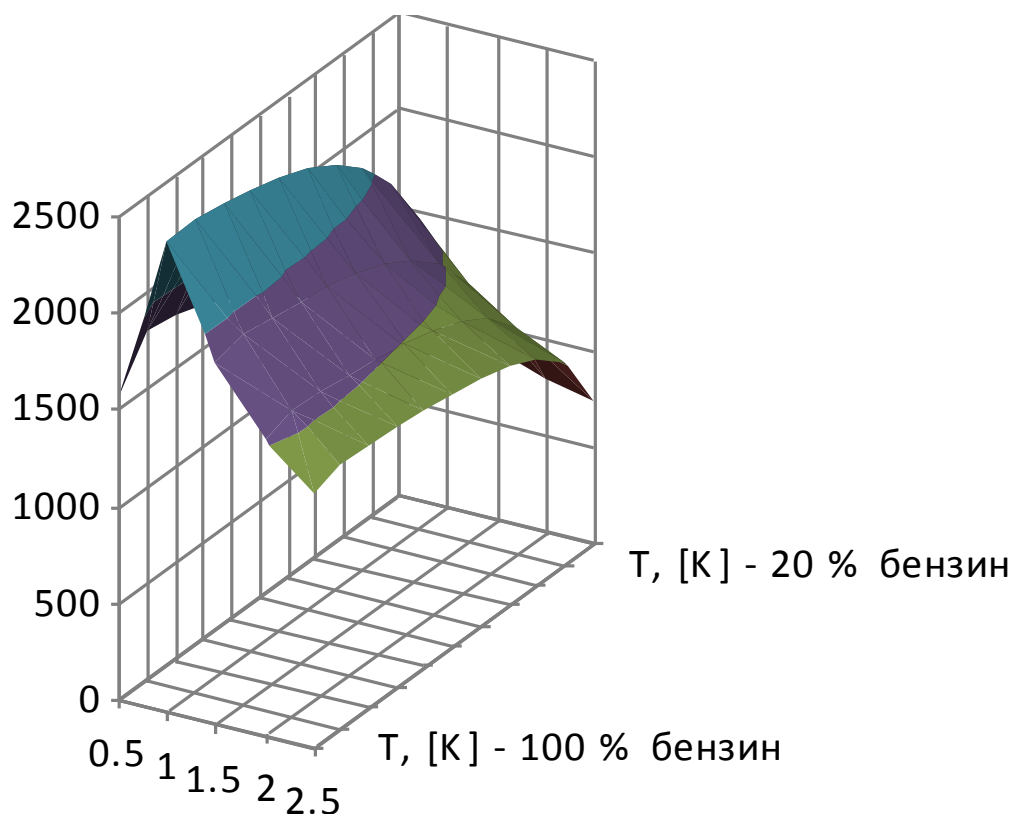


Рис. 1. Адиабатическая температура горения  $T$ , К

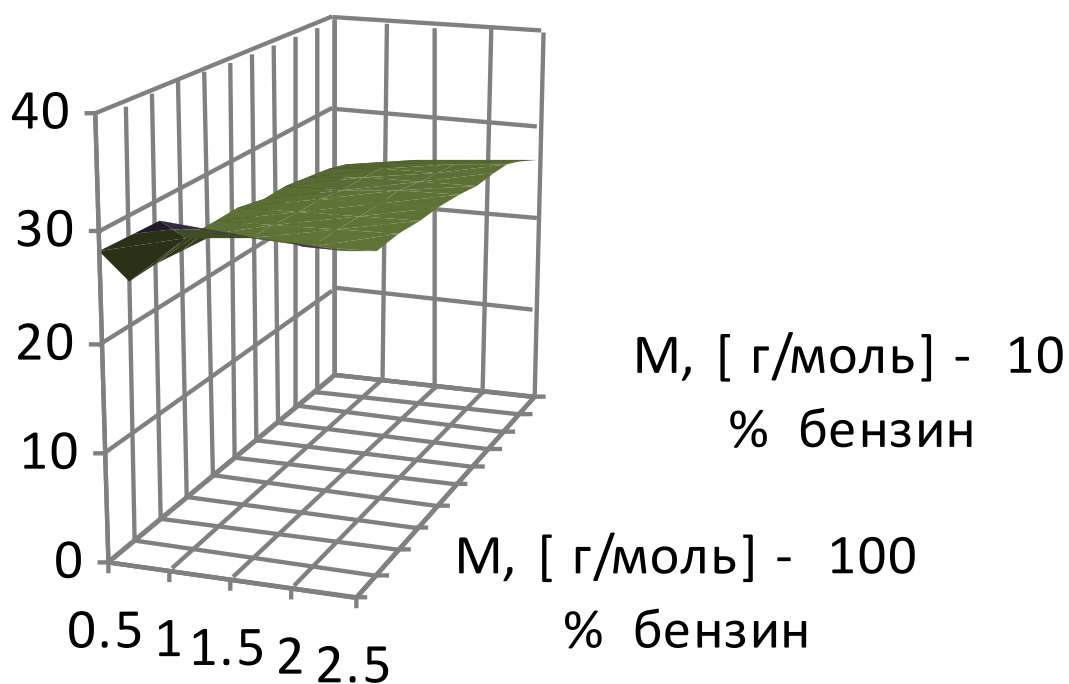


Рис. 2. Средняя молекулярная масса продуктов сгорания  $M$ , г/моль

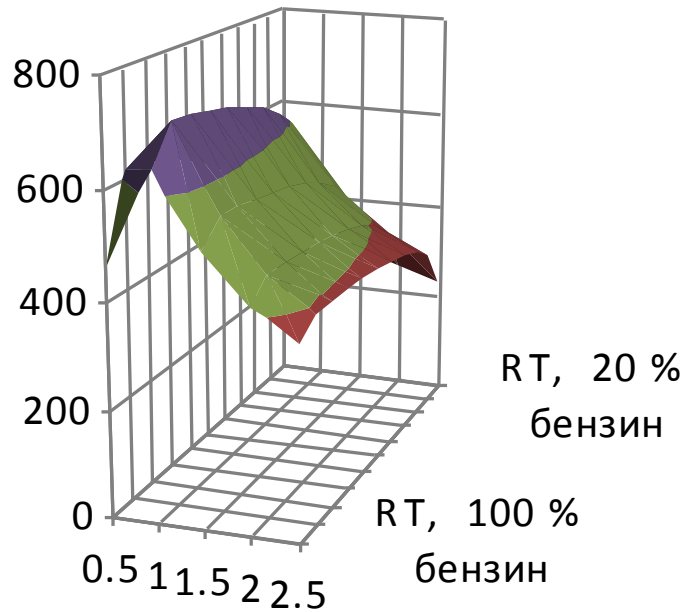


Рис. 3. *RT* продуктов сгорания

Изменение состава продуктов сгорания также получается нетривиальным. Так 5-процентный водяной балласт при коэффициенте избытка окислителя  $\alpha = 0,5$  уменьшает содержание CO почти в два раза: с 34,6 % до 16,6 %, дальнейшая балластировка еще более снижает долю CO в продуктах сгорания (рис. 4). Содержание углекислого газа с балластировкой также снижается во всем диапазоне коэффициентов избытка окислителя, но не столь значительно (рис. 5).

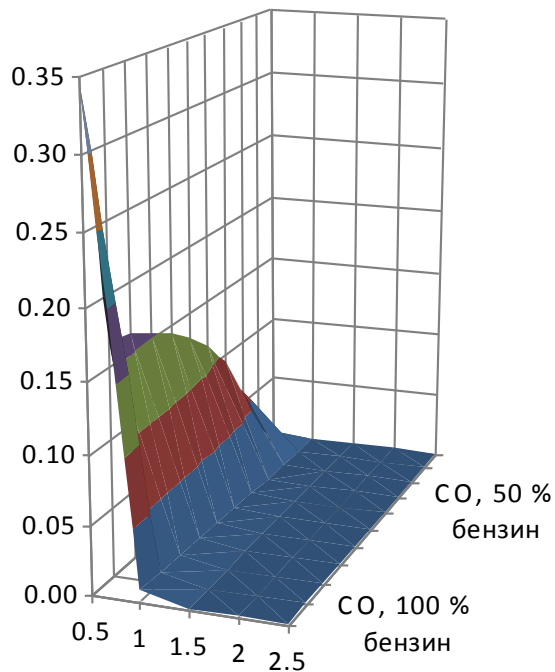


Рис. 4. Содержание CO в продуктах сгорания

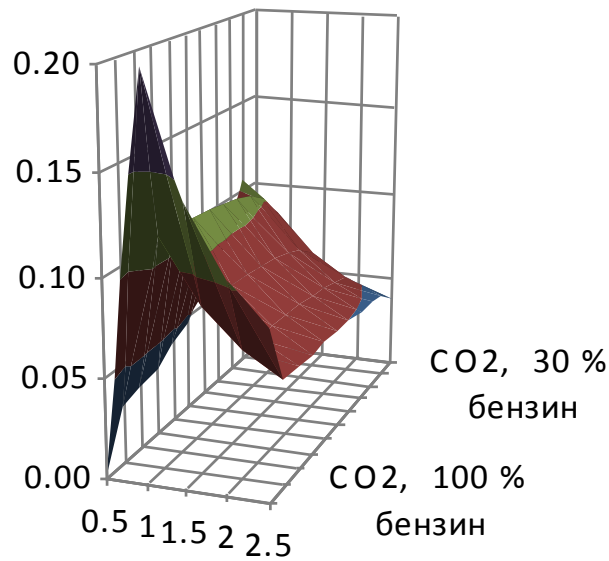


Рис. 5. Содержание  $\text{CO}_2$  в продуктах сгорания

Доля водорода, воды и кислорода в продуктах сгорания (рис. 6–8) полностью соответствует прогнозируемому. Так содержание водорода резко увеличивается для  $\alpha = 0,5$  с практически нулевого значения при балластировке в 5 % до 13,9 %, после чего следует дальнейшее незначительное увеличение до 16,4 % при 80-процентной балластировке (рис. 6). Содержание воды в продуктах сгорания прогнозируемо растет с увеличением доли водяного балласта (рис. 7), а содержание кислорода (рис. 8) снижается с 10,4 % при горении чистого бензина до 8,4 % при 80-процентной балластировке (в обоих случаях  $\alpha = 2$ ).

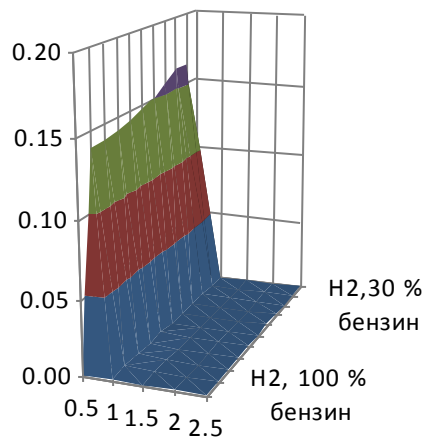


Рис. 6. Содержание  $\text{H}_2$  в продуктах сгорания

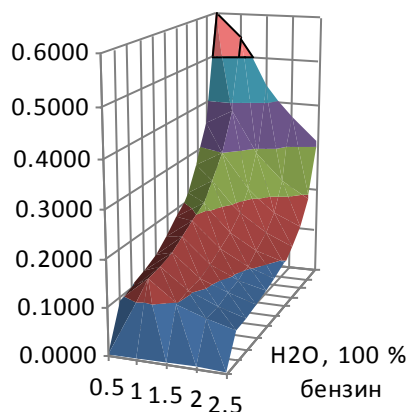


Рис. 7. Содержание  $H_2O$  в продуктах сгорания

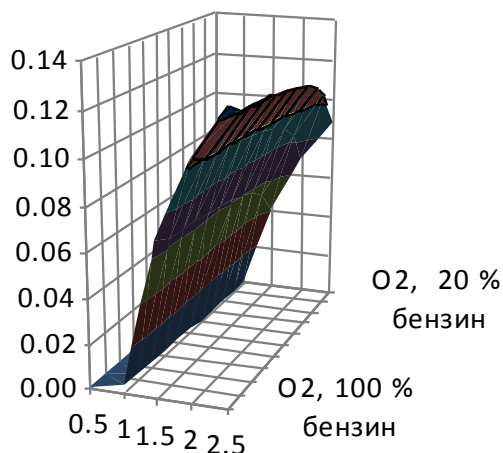


Рис. 8. Содержание  $O_2$  в продуктах сгорания

На рис. 9–11 показаны содержания азота и азотсодержащих соединений в продуктах сгорания, при этом доля азота изменяется незначительно (рис. 9). Доля оксидов азота в составе продуктов сгорания топологически практически повторяет график  $RT$ . Так максимальное значение  $NO$  составляет 0,3 % при  $\alpha = 1,5$  и 5-процентной балластировке. Содержание  $NH_3$  в продуктах сгорания практически нулевое, но при высоких степенях балластировки и низких  $\alpha$  идет его серьезный заброс, достигая максимума в 9,16 % при  $\alpha = 0,5$  и 90-процентной балластировке.

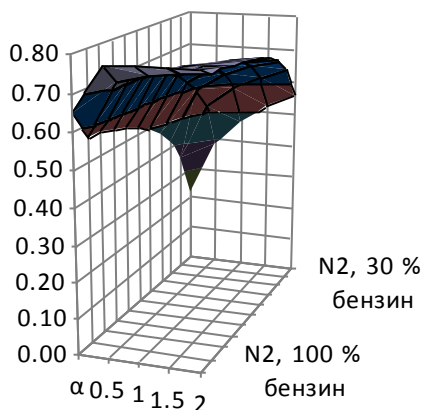


Рис. 9. Содержание  $N_2$  в продуктах сгорания

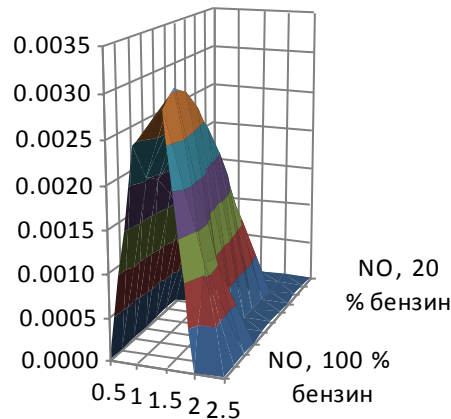


Рис. 10. Содержание NO в продуктах сгорания

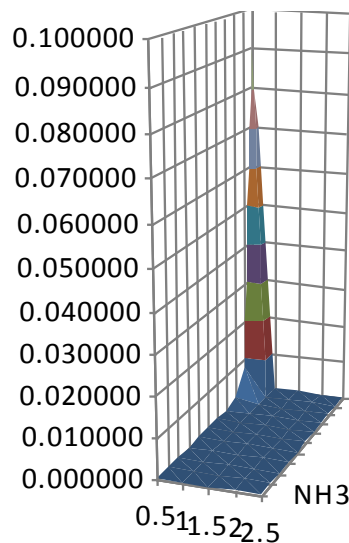


Рис. 11. Содержание NH<sub>3</sub> в продуктах сгорания

### Выводы и результаты

Как показали проведенные расчеты, водная балластировка около 5 % может быть полезной для условий двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием. Это дает при стехиометрическом сжигании почти 10-процентное увеличение RT при одновременном снижении содержания CO на 42 %.

### Примечания:

1. Митюков Н.В., Бусыгина Е.Л. Термодинамические характеристики обводненных топлив // Новый университет. Сер. "Технические науки". 2012. № 4. С. 32–33.
2. Митюков Н.В., Семакин Ю.А., Миллер Ю.В., Лучкин И.В. Об эффективности обводненных топлив // Тез. докл. V Российск. университетско-академической научн.-практ. конф. Ижевск: Изд-во УдГУ, 2001.Т. 9. С. 125–128.
3. Пат. 2460943. МПК F23K5/08. Способ подготовки жидкого топлива к сжиганию / А.Д. Пинтюшенко. Заявл.: 2011125549/06, 21.06.2011.
4. Петий И. и др. Водотопливные эмульсии // Морской сборник. 1987. № 3. С. 67–70.
5. Митюков Н.В. К определению акустических свойств многофазной жидкости // Вестник КИГИТ. 2010. № 4. С. 65–86.
6. Митюков Н.В. К вопросу о влиянии фазового состава топлива на характеристики импульсного ракетного двигателя // Газоструйные импульсные системы. Вып. 2. Т. 1. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003. С. 81–104.

7. Митюков Н.В., Семакин Ю.А., Тарасов Д.Л. К вопросу об определении фазового состава топлива в энергетических установках // Тез. докл. I Всеросс. научн.-практ. конф. молод. учен. «Материалы и технологии XXI века» (Бийск, 22–24 марта 2000 г.). М.: Изд-во ЦЭИ «Химмаш», 2000. С. 244–245.

8. Корепанов М.А. Программа "Термодинамика" // Каталог инновационных разработок ИжГТУ. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2001. С. 95.

9. Храмов С.Н., Корепанов М.А., Митюков Н.В. Моделирование процесса горения в энергетических установках с учетом динамики топливных магистралей // Современные проблемы внутренней баллистики РДТТ. Ижевск: Изд-во УрО РАН, 1996. С. 207–217.

10. Исследование принципов создания измерительно-управляющего комплекса для испытания объектов на воздействие пожара (шифр «Пламень»): отчет о по 3-му этапу х/д НИР № 695 от 14.10.94 с в/ч 31600. (промежуточ.) / Ижевский гос. техн. ун-т. ИжГТУ; рук. Алексеев В.А. Ижевск, 1996. 48 с. Исполн.: Заболотских В.И., Храмов С.Н. [и др.]. Инв. № 435.

11. Юманова И.Ф., Воеводина О.А. Определение химически равновесного состава продуктов сгорания органического топлива // Вестник ИжГТУ. 2013. № 2. С. 154–156.

### References:

1. Mityukov N.V., Busygina E.L. Termodinamicheskie kharakteristiki obvodnennykh topliv // Novyi universitet. Ser. "Tekhnicheskie nauki". 2012. № 4. С. 32–33.

2. Mityukov N.V., Semakin Yu.A., Miller Yu.V., Luchkin I.V. Ob effektivnosti obvodnennykh topliv // Tez. dokl. V Rossiisk. universitetsko-akademicheskoi nauchn.-prakt. konf. Izhevsk: Izd-vo UdGU, 2001. T. 9. S. 125–128.

3. Pat. 2460943. МПК F23K5/08. Sposob podgotovki zhidkogo topliva k szhiganiyu / A.D. Pintyushenko. Zayavl.: 2011125549/06, 21.06.2011.

4. Petii I. i dr. Vodotoplivnye emul'sii // Morskoi sbornik. 1987. № 3. S. 67–70.

5. Mityukov N.V. K opredeleniyu akusticheskikh svoystv mnogofaznoi zhidkosti // Vestnik KIGIT. 2010. № 4. S. 65–86.

6. Mityukov N.V. K voprosu o vliyaniy fazovogo sostava topliva na kharakteristiki impul'snogo raketnogo dvigatelya // Gazostrui nye impul'snye sistemy. Vyp. 2. T. 1. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2003. S. 81–104.

7. Mityukov N.V., Semakin Yu.A., Tarasov D.L. K voprosu ob opredelenii fazovogo sostava topliva v energeticheskikh ustanovkakh // Tez. dokl. I Vseross. nauchn.-prakt. konf. mlad. uchen. «Materialy i tekhnologii XXI veka» (Biisk, 22–24 marta 2000 g.). M.: Izd-vo TsEI «Khim mash», 2000. S. 244–245.

8. Korepanov M.A. Programma "Termodinamika" // Katalog innovatsionnykh razrabotok IzhGTU. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2001. S. 95.

9. Khramov S.N., Korepanov M.A., Mityukov N.V. Modelirovanie protsessa goreniya v energeticheskikh ustanovkakh s uchetom dinamiki toplivnykh magistralей // Sovremennye problemy vnutrennei ballistiki RDТТ. Izhevsk: Izd-vo UrO RAN, 1996. S. 207–217.

10. Issledovanie printsipov sozdaniya izmeritel'no-upravlyayushchego kompleksa dlya ispytaniya ob'ektov na vozdeistvie pozhara (shifr «Plamen'»): otchet o po 3-mu etapu kh/d NIR № 695 ot 14.10.94 s v/ch 31600. (promezhutoch.) / Izhevskii gos. tekhn. un-t. IzhGTU; ruk. Alekseev V.A. Izhevsk, 1996. 48 s. Ispoln.: Zabolodskikh V.I., Khramov S.N. [i dr.]. Inv. № 435.

11. Yumanova I.F., Voevodina O.A. Opredelenie khimicheskii ravnovesnogo sostava produktov sgoraniya organicheskogo topliva // Vestnik IzhGTU. 2013. № 2. S. 154–156.



УДК 621.182

### **Моделирование горения обводненного бензина**

<sup>1</sup>Дмитрий Владимирович Сайтиев

<sup>2</sup>Александр Андреевич Смольников

<sup>1-2</sup> Ижевский государственный технический университет, Российская Федерация

**Аннотация.** С помощью программы "Термодинамика" проведено численное исследование термодинамических параметров горения обводненного бензина для условий карбюраторного двигателя в зависимости от коэффициента избытка воздуха и степени водной балластировки. Показано, что водная балластировка около 5 % может быть полезной, так как дает при стехиометрическом сжигании почти 10-процентное увеличение RT при одновременном снижении содержания CO на 42 %

**Ключевые слова:** энергетик; энтальпия; сжигание; обводненные топлива.