

Том 64, номер 6, 2024

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К СТАТЬЕ

ПРОСТЫЕ АЛКИЛОВЫЕ ЭФИРЫ ГЛИЦЕРИНА КАК
КОМПОНЕНТЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

©2024 г. В. А. Лаврентьев^{1,*}, М. У. Султанова¹, Д. Н. Рамазанов¹, В. О. Самойлов¹,
Т. И. Столоногова², Ю. В. Кожевникова², Е. А. Чернышева², В. М. Капустин²

¹Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчева РАН, Москва, 199991 Россия

²Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, Москва,
119991, Россия

*E-mail: lavrentev@ips.ac.ru

Поступила в редакцию 10.10.2024

После доработки 26.11.2024

Принята в печать 26.12.2024

СОДЕРЖАНИЕ

Приложение А. Хроматограммы синтетических образцов эфиров глицерина

Приложение В. Свойства коммерческого образца биодизеля B100 FAME.

Приложение С. Измерение плотности: калибровка, исходные данные, погрешности.

Приложение А. Хроматограммы синтетических образцов эфира глицерина.

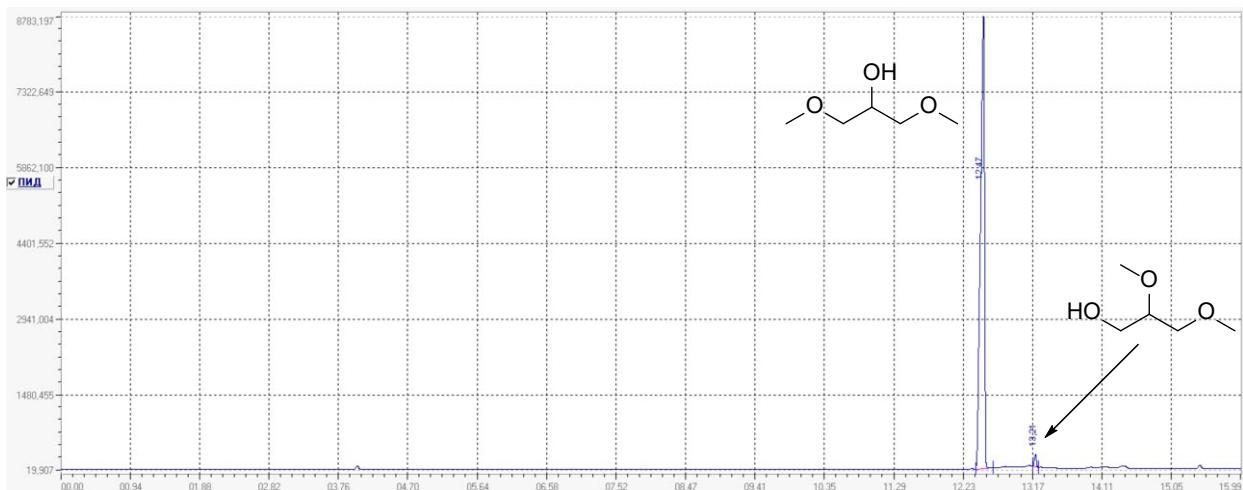


Рисунок А.1. ГХ-ПИД хроматограмма образца ДМЭГ.

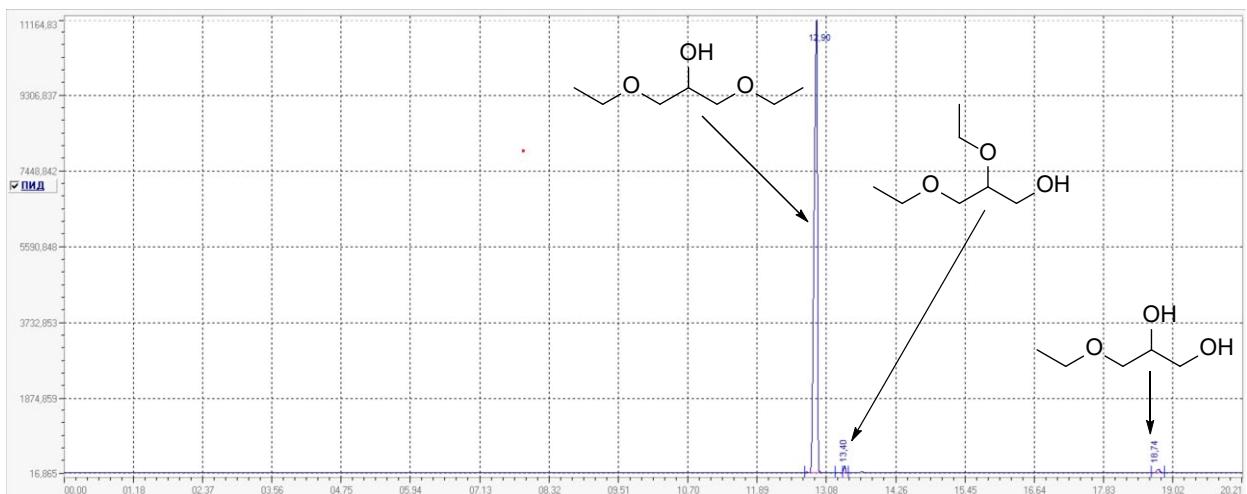


Рисунок А.2. ГХ-ПИД хроматограмма образца ДЭЭГ.

Приложение В. Свойства коммерческого образца биодизеля B₁₀₀ FAME.

Таблица В.1. Состав жирных кислот и содержание глицерина в образце биодизеля B₁₀₀, определенных методом ГХ-ПИД.

| Компонент | Содержание, % мас. |
|--------------------------------------|--------------------|
| Метиловый эфир миристиновой кислоты | 2.3 |
| Метиловый эфир пальмитиновой кислоты | 7.9 |
| Метиловый эфир стеариновой кислоты | 3.3 |
| Метиловый эфир олеиновой кислоты | 38.1 |
| Метиловый эфир линолевой кислоты | 47.7 |
| Глицерин | 0.1 |

Приложение С. Исходные данные (био) дизельных смесей

Низкотемпературные свойства

Таблица С.1. Исходные данные и средние значения (С3) измеренных низкотемпературных свойств.

| Образец | T _{заст.} , °C | | | T _{пом.} , °C | | | ПТФ, °C | | |
|--|-------------------------|------------|-------|------------------------|------------|-------|------------|------------|-------|
| | Значение 1 | Значение 2 | C3 | Значение 1 | Значение 2 | C3 | Значение 1 | Значение 2 | C3 |
| Базовые топлива | | | | | | | | | |
| B ₁₀₀ | -4 | -4 | -4,0 | 1 | 1 | 1,0 | -5 | -6 | -6,0 |
| B ₀ | -8 | -7 | -7,5 | -2 | -1 | -1,5 | -5 | -5 | -5,0 |
| B ₁ | -39 | -40 | -39,5 | -20 | -20 | -20,0 | -25 | -25 | -25,0 |
| Смеси биодизеля B ₁₀₀ FAME + петродизеля | | | | | | | | | |
| B ₂₀ (с летним петродизелем B ₀) | -7 | -7 | -7,0 | -2 | -1 | -1,5 | -4 | -4 | -4,0 |
| B ₂₀ (с зимним петродизелем B ₁) | -24 | -25 | -24,5 | -15 | -15 | -15,0 | -28 | -27 | -27,5 |
| Смеси эфиров глицерина + летний петродизель B ₀ | | | | | | | | | |
| 5% ДМЭГ | -9 | -9 | -9,0 | -2 | -1 | -1,5 | -5 | -5 | -5,0 |
| 10% ДМЭГ | -9 | -8 | -8,5 | 3 | 2 | 2,5 | -6 | -7 | -6,5 |
| 5% ДЭЭГ | -9 | -9 | -9,0 | -2 | -1 | -1,5 | -5 | -6 | -5,5 |
| 10% ДЭЭГ | -9 | -9 | -9,0 | 0 | -1 | -0,5 | -5 | -5 | -5,0 |
| Смеси эфиров глицерина + биодизеля B ₁₀₀ FAME | | | | | | | | | |
| 5% ДМЭГ | -4 | -4 | -4,0 | -1 | -1 | -1,0 | -7 | -7 | -7,0 |
| 10% ДМЭГ | -6 | -5 | -5,5 | -1 | -1 | -1,0 | -7 | -7 | -7,0 |
| 15% ДМЭГ | -6 | -5 | -5,5 | -1 | -2 | -1,5 | -8 | -9 | -8,5 |
| 20% ДМЭГ | -6 | -6 | -6,0 | -3 | -2 | -2,5 | -7 | -8 | -7,5 |
| 40% ДМЭГ | -7 | -7 | -7,0 | -3 | -3 | -3,0 | -8 | -8 | -8,0 |
| 5% ДЭЭГ | -4 | -4 | -4,0 | -1 | -1 | -1,0 | -8 | -8 | -8,0 |
| 10% ДЭЭГ | -4 | -4 | -4,0 | -1 | -1 | -1,0 | -6 | -7 | -6,5 |
| 15% ДЭЭГ | -4 | -4 | -4,0 | -2 | -1 | -1,5 | -10 | -9 | -9,5 |
| 20% ДЭЭГ | -6 | -5 | -5,5 | -2 | -1 | -1,5 | -9 | -8 | -8,5 |
| 40% ДЭЭГ | -8 | -7 | -7,5 | -4 | -3 | -3,5 | -8 | -9 | -8,5 |
| Смеси эфиров глицерина + зимний петродизель B ₁ | | | | | | | | | |
| 5% ДМЭГ | -44 | -44 | -44,0 | 15 | 15 | 15,0 | -27 | -27 | -27,0 |
| 10% ДМЭГ | -45 | -46 | -46,0 | 12 | 13 | 13,0 | -26 | -26 | -26,0 |
| 5% ДЭЭГ | -48 | -48 | -48,0 | -19 | -20 | -20,0 | -26 | -26 | -26,0 |
| 10% ДЭЭГ | -49 | -48 | -49,0 | -21 | -21 | -21,0 | -27 | -27 | -27,0 |

| Трехкомпонентные смеси с летним петродизелем В ₀ | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|
| ДМЭГ | | | | | | | | | |
| B18/2 | -10 | -11 | -10,5 | 1 | 0 | 0,5 | -4 | -4 | -4,0 |
| B16/4 | -10 | -10 | -10,0 | -1 | 0 | -0,5 | -4 | -4 | -4,0 |
| B12/8 | -9 | -9 | -9,0 | -1 | 0 | -0,5 | -4 | -4 | -4,0 |
| B10/10 | -9 | -9 | -9,0 | 0 | 0 | 0,0 | -8 | -8 | -8,0 |
| ДЭЭГ | | | | | | | | | |
| B18/2 | -10 | -10 | -10,0 | 0 | 1 | 0,5 | -4 | -4 | -4,0 |
| B16/4 | -11 | -10 | -10,5 | 0 | 0 | 0,0 | -3 | -4 | -3,5 |
| B12/8 | -9 | -10 | -9,5 | -1 | 0 | -0,5 | -4 | -4 | -4,0 |
| B10/10 | -9 | -9 | -9,0 | 1 | 0 | 0,5 | -7 | -8 | -7,5 |
| Трехкомпонентные смеси с зимним петродизелем В ₁ | | | | | | | | | |
| ДМЭГ | | | | | | | | | |
| B16/4 | -24 | -25 | -25,0 | -19 | -19 | -19,0 | -28 | -28 | -28,0 |
| B10/10 | -29 | -28 | -29,0 | -17 | -16 | -17,0 | -27 | -26 | -27,0 |
| ДЭЭГ | | | | | | | | | |
| B16/4 | -25 | -26 | -26,0 | -17 | -17 | -17,0 | -27 | -28 | -28,0 |
| B10/10 | -30 | -31 | -31,0 | -15 | -14 | -15,0 | -29 | -29 | -29,0 |

Измерение плотности

Прибор: «ВИП-2МР» вибрационный плотномер (‘Термэкс’, Томск, Россия).

Калибровка:

- a) Сухой воздух, T=20°C, индивидуальные значения 0.0012; 0.0012; 0.0012 г/мл; контрольное значение 0.0012 г/мл.
- b) Дистиллированная вода (стандартный контрольный образец), T=20°C, индивидуальные значения 0.9982; 0.9982; 0.9982 г/мл; контрольное значение 0.9982 г/мл.

Исходные данные плотности смесей эфиров глицерина с (био)дизелем представлены в таблице С.2.

Таблица С.2. Исходные данные по плотности образцов смесей (био)дизельного топлива. С3 – среднее значение

| Образец | Плотность при 20 °C, кг/м ³ | | | |
|---|--|------------|------------|-------|
| | Значение 1 | Значение 2 | Значение 3 | С3 |
| Базовые топлива | | | | |
| B ₁₀₀ | 889,5 | 889,5 | 889,5 | 889,5 |
| B ₀ | 835,1 | 835,1 | 835,1 | 835,1 |
| Смесь биодизеля B ₁₀₀ FAME + петродизель | | | | |
| B ₂₀ (с летним петродизелем B ₀) | 845,5 | 845,5 | 845,5 | 845,5 |

| Смеси эфиров глицерина + летний петродизель В ₀ | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 5% ДМЭГ | 840,6 | 840,6 | 840,6 | 840,6 |
| 10% ДМЭГ | 846,6 | 846,6 | 846,6 | 846,6 |
| 5% ДЭЭГ | 838,4 | 838,4 | 838,4 | 838,4 |
| 10% ДЭЭГ | 843,2 | 843,2 | 843,2 | 843,2 |
| Смеси эфиров глицерина + биодизель В ₁₀₀ FAME | | | | |
| 5% ДМЭГ | 895,1 | 895,1 | 895,1 | 895,1 |
| 10% ДМЭГ | 899,7 | 899,7 | 899,7 | 899,7 |
| 15% ДМЭГ | 905,0 | 905,0 | 905,0 | 905,0 |
| 20% ДМЭГ | 910,3 | 910,3 | 910,3 | 910,3 |
| 40% ДМЭГ | 933,9 | 933,9 | 933,9 | 933,9 |
| 5% ДЭЭГ | 892,1 | 892,1 | 892,1 | 892,1 |
| 10% ДЭЭГ | 894,5 | 894,5 | 894,5 | 894,5 |
| 15% ДЭЭГ | 896,7 | 896,7 | 896,7 | 896,7 |
| 20% ДЭЭГ | 900,0 | 900,0 | 900,0 | 900,0 |
| 40% ДЭЭГ | 911,8 | 911,8 | 911,8 | 911,8 |
| Трёхкомпонентные смеси с летним петродизелем В ₀ | | | | |
| ДМЭГ | | | | |
| B18/2 | 847,2 | 847,2 | 847,2 | 847,2 |
| B16/4 | 848,6 | 848,6 | 848,6 | 848,6 |
| B12/8 | 853,2 | 853,2 | 853,2 | 853,2 |
| B10/10 | 853 | 853 | 853 | 852,5 |
| ДЭЭГ | | | | |
| B18/2 | 846,3 | 846,3 | 846,3 | 846,3 |
| B16/4 | 847,1 | 847,1 | 847,1 | 847,1 |
| B12/8 | 848,2 | 848,3 | 848,2 | 848,2 |
| B10/10 | 848,4 | 848,4 | 848,4 | 848,4 |

Измерения кинематической вязкости

Прибор: «ВПЖ-4» стеклянный капиллярный вискозиметр («ЭКРОС», Москва, Россия) С метрологическим сертификатом, Термостат КРИО-ВИС-Т-06-01 («Термекс», Томск, Россия).

Калибровка: для дополнительного контроля точности измерений измерялось вязкость подготовленной в лаборатории дистиллированной воды

Измеренные значения: 1.004 мм²/с при 20°C, 0.658 мм²/с at 40°C, 0.365 мм²/с при 80°C.

Эталонные значения: 1.0034 мм²/с при 20°C, 0.6579 мм²/с при 40°C, 0.3643 мм²/с при 80°C.

Эталонные значения были взяты из открытого источника Anton Paar (<https://wikianton-paar.com/be-en/water/>).

Исходные данные по вязкости образцов смесей глицериновых эфиров и (био)дизеля представлены в таблице С.3.

Таблица С.3. Исходные данные вязкость (био)дизельных смесей. С3 – среднее значение.

| Образец | Вязкость 20 °C, мм ² /с | | |
|---|------------------------------------|------------|-------|
| | Значение 1 | Значение 2 | С3 |
| Базовые топлива | | | |
| B ₁₀₀ | 5,41 | 5,409 | 5,4 |
| B ₀ | 3,258 | 3,253 | 3,3 |
| Смесь биодизеля B₁₀₀ FAME + петродизелем | | | |
| B ₂₀ (с летним петродизелем B ₀) | 3,585 | 3,590 | 3,6 |
| Смеси эфиров глицерина + летний петродизель B₀ | | | |
| 5% ДМЭГ | 2,986 | - | 3,0 |
| 10% ДМЭГ | 2,893 | - | 2,9 |
| 5% ДЭЭГ | 3,064 | - | 3,1 |
| 10% ДЭЭГ | 2,954 | - | 3,0 |
| Смеси эфиров глицерина + биодизель B₁₀₀ FAME | | | |
| 5% ДМЭГ | 4,972 | 4,973 | 5,0 |
| 10% ДМЭГ | 4,731 | 4,766 | 4,7 |
| 15% ДМЭГ | 4,402 | 4,402 | 4,4 |
| 20% ДМЭГ | 4,083 | 4,079 | 4,1 |
| 40% ДМЭГ | 3,349 | 3,357 | 3,4 |
| 5% ДЭЭГ | 5,154 | 5,215 | 5,2 |
| 10% ДЭЭГ | 4,795 | 4,788 | 4,8 |
| 15% ДЭЭГ | 4,638 | 4,652 | 4,6 |
| 20% ДЭЭГ | 4,342 | 4,294 | 4,3 |
| 40% ДЭЭГ | 3,570 | 3,571 | 3,6 |
| Трёхкомпонентные смеси с летним петродизелем B₀ | | | |
| ДМЭГ | | | |
| B18/2 | 3,448 | 3,452 | 3,5 |
| B16/4 | 3,252 | 3,267 | 3,3 |
| B12/8 | 3,141 | 3,103 | 3,1 |
| B10/10 | - | 2,619 | 2,619 |
| ДЭЭГ | | | |
| B18/2 | 3,452 | 3,428 | 3,4 |
| B16/4 | 3,365 | 3,367 | 3,4 |
| B12/8 | 3,162 | 3,154 | 3,2 |
| B10/10 | - | 3,069 | 3,069 |