УДК 662.75
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-79-87

# СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

[1]***Корнев Алексей Юрьевич***
[1]***Бусин Игорь Вячеславович***
[1]***Ликсутина Анна Павловна***
[1]*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»*

***Реферат.*** *Исследовали связь между параметрами комплексного воздействия механообработки, вихревых потоков и химических реагентов на дизельное топливо и его эксплуатационными свойствами – плотностью, кинематической вязкостью, температурой вспышки в закрытом тигле, содержанием фактических смол, низкотемпературными свойствами. Исследования проводили на специально собранной экспериментальной установке. Воздействие заключалось в пропускании исследуемого образца дизельного топлива через статический смеситель-активатор с заранее внесенным реагентом, представляющим собой водный раствор гидроперита, содержащий 30 – 35 % пероксида водорода и не менее 25 % карбамида или спиртовой раствор карбамида. Методика исследований включала проведение факторного эксперимента по ортогональному центрально-композиционному плану с варьированием трех параметров комплексной обработки дизельного топлива – времени обработки, давления на входе в смеситель, концентрации реагента – на пяти уровнях с последующим определением характеристик образцов по общепринятым методикам ГОСТ.Установлено, что плотность и вязкость топлива снижается (на 3 % и 7 % соответственно) с возрастанием времени обработки , и увеличивается по сравнению с исходным значением (на 0,5 % и 4 % соответственно). с возрастанием концентрации реагента. Определено, что температура вспышки уменьшается (9 % от исходного значения) с величением времени обработки топлива и давления на входе в смеситель. Уменьшилось практически на 80 % содержание фактических смол. Таким образом, оптимальными значениями параметров комплексной обработкиявляются концентрация реагента 3 – 5 %, время обработки в статическом смесителе 15 – 30 минут при давлении 5 – 6 кгс/см$^2$.*

***Ключевые слова:*** *дизельное топливо, вихревые потоки, эксплуатационные показатели, химические реагенты, качество, комплексная обработка.*

# COMMUNICATION BETWEEN OPERATIONAL INDICATORS OF DIESEL FUEL AND PARAMETERS OF COMPLEX PROCESSING

[1]***Kornev Aleksey***
[1]***Busin Igor***
[1]***Liksutina Anna***
[1]*FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"*

***Abstract.*** *The relationship between the parameters of the complex effect of mechanical treatment, vortex flows and chemical reagents on diesel fuel and its operational properties - density, kinematic viscosity, flash point in a closed crucible, the content of actual resins, low-temperature properties was investigated. The studies were carried out on a specially assembled experimental setup. The impact was to the transmittance of the test sample of diesel fuel using a static mixer-activator with a pre-made reagent, which is a water solution of peroxide containing 30 – 35 % hydrogen peroxide and at least 25 % of urea or an alcohol solution of urea. The research methodology included conducting a factorial experiment according to an orthogonal central composition plan with varying three parameters for complex processing of diesel fuel — processing time, pressure at the inlet to the mixer, reagent concentration — at five levels, followed by determining the characteristics of the samples according to the generally accepted methods of GOST.It was established that the density and viscosity of the fuel decreases (by 3% and 7%, respectively) with an increase in the processing time, and increases in*

*comparison with the initial value (by 0.5% and 4%, respectively). with increasing reagent concentration.It was determined that the flash point decreases (9% of the initial value) with the magnitude of the fuel treatment time and the inlet pressure to the mixer.The content of actual resins decreased by almost 80%.Thus, the optimal values of the complex processing parameters are the reagent concentration of 3–5%, the processing time in a static mixer is 15–30 minutes at a pressure of 5–6 kgf / cm$^2$.*

***Keywords:*** *diesel fuel, vortex flows, performance indicators, chemical reagents, quality, complex processing.*

**Введение.** Рациональное использования нефтепродуктов в АПК требует постоянного поддержания их качества на требуемом уровне во время транспортировки, хранения и применения.От этого зависит надежность и экономичность сельскохозяйственных машин, частота и трудоемкость их технического обслуживания, количество внеплановых ремонтных мероприятий.Однако проблема некачественного топлива продолжает оставаться достаточно актуальной. Одной из причин этого выступает ориентированность потребителя на стоимость топлива в силу постоянного роста акцизов и отпускной цены литра горючего.

Использование недоброкачественного дизельного топлива может привести к увеличению расхода топлива, снижения надежности работы двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры, негативно повлиять на сроки службы моторного масла и ресурс ЦПГ.

Кроме этого следует обратить вниманиена недостаточный уровень готовности оборудования и резервуарного парка нефтебаз сельхозпредприятий к длительному хранению нефтепродуктов, распространенность закупки топлива «с колес», увеличенное число сливно-наливных операций. В таких условиях даже качественное топливо может быстро приходить в негодность.

В связи с этим, существует необходимость в совершенствовании и разработке новых способов повышения качества нефтепродуктов. Большой потенциал здесь имеют исследования по комплексному применению химических реагентов, средств обработки и активации жидких сред [1 – 5].

**Материалы и методы.** Определение влияния параметров комплексной обработки проводили по методике факторного эксперимента с использованием ортогонального центрально композиционного плана второго порядка для трех факторов. Каждый фактор фиксировался на пяти уровнях (–α, –1, 0, 1, +α, где α = 1,215 при трех факторах). Это позволило существенно сократить количество экспериментов, по сравнению с полным факторным экспериментом.

Из-за большого объема экспериментальных исследований для определения дисперсии воспроизводимости решено было ограничиться тремя параллельными опытами в центре плана [6].

Исследования по комплексному воздействию на дизельное топливо (ДТ) выполнялись на лабораторной установке по методике, описанной ранее [7 – 9].

В качестве модельного дизельного топлива использовалось некондиционное дизельное топливо с нефтебазы одного из хозяйств Тамбовской области. После обработки отбирались пробы для определения характеристик топлива с использованием стандартных методик.

В соответствии с методикой факторного эксперимента и основываясь на разработанном ранее способе обработки, были выделены факторы (параметры) обработки, влияющие на изменение физико-химических показателей и эксплуатационных свойств, определены интервалы их варьирования и произведено кодирование переменных уравнений регрессии (таблица 1).

Таблица 1 – Кодированные значения и интервалы варьирования параметров обработки в соответствии с методикой факторного эксперимента

| Параметр (фактор) | Верхний уровень +1 | Нижний уровень –1 | Основной уровень 0 | Интервал варьирования | Зависимость кодированной переменной от натуральной |
|---|---|---|---|---|---|
| τ – время обработки, мин | 30 | 1 | 15,5 | 14,5 | $x_1 = (\tau – 15,5) / 14,5$ |
| P – давление на входе в смеситель, кгс/см$^2$ | 8 | 1 | 4,5 | 3,5 | $x_2 = (P – 4,5) / 3,5$ |
| C – концентрация реагента, % | 5 | 1 | 3 | 2 | $x_1 = (C – 3) / 2$ |

Фактор температуры был отсеян как фактор, который в данных условиях невозможно варьировать независимо от других. По результатам предварительных экспериментов было установлено, что с увеличением времени обработки наблюдался рост температуры смеси реагента и нефтепродукта. В избранном временном промежутке обработки температура смеси в процессе эксперимента достигала 50 – 60 ºС, в зависимости от времени обработки.

В качестве функций отклика, зависящих от выбранных факторов (параметров обработки), рассматривали физико-химические показатели дизельного топлива, характеризующие его эксплуатационные свойства (таблица 2).

Таблица 2 – Обозначение функций отклика, зависящих от определяемых параметров

| Функция отклика | Обозначение | Кодированное обозначение |
|---|---|---|
| Плотность при 15 ºС, кг/м$^3$ | $\rho$ | $Y_I$ |
| Кинематическая вязкость при 20 ºС, мм$^2$/с | ν | $Y_{II}$ |
| Температура вспышки в закрытом тигле, ºС | $T_{всп}$ | $Y_{III}$ |
| Содержание фактических смол, мг/100см$^3$ | СФС | $Y_{IV}$ |
| Температура помутнения, ºС | $T_п$ | $Y_V$ |
| Температура застывания, ºС | $T_з$ | $Y_{VI}$ |

**Результаты и их обсуждение.** Как известно, плотность ($\rho$, кг/м$^3$) дизельного топлива при 15 °С характеризует цикловую подачу топлива в цилиндры двигателя, его качество распыла и испаряемость.В соответствии с матрицей планирования проведен эксперимент, получены результаты измерений и определены коэффициенты регрессии для зависимости плотности от исследуемых факторов. Учитывая значимость коэффициентов уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_I=819{,}515–7{,}344x_1–0{,}802x_2+5{,}452x_3+3{,}291x_1x_3+0{,}934x_2x_3+1{,}004x_1x_2x_3.$$

Оценка адекватности модели по критерию Фишера показала, что уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области. Как видно из полученного уравнения наибольшее влияние на плотность топлива после обработки оказывают время проведения обработки и концентрация реагента, а также сочетание этих факторов. Причем, исходя из знаков коэффициентов, с увеличением времени обработки плотность уменьшается, в то время как с увеличением концентрации реагента – увеличиватся. После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$\rho = 825{,}227 – 0{,}714\tau – 0{,}169P + 1{,}057C + 0{,}087\tau C – 0{,}020PC + 0{,}010\tau PC.$$

Поверхности отклика в разных координатах и их сечения представлены на рисунке 1 (Iа – Iв).

Как видно из полученных данных, с возрастанием времени обработки плотность несколько снижается (максимум на 3 %), в то время как с возрастанием концентрации реагента – незначительно (на 0,5 %) увеличивается по сравнению с исходным значением.

Следующим количественным критерием оценки влияния параметров обработки была принята кинематическая вязкость ($\nu$, мм$^2$/с) модельного дизельного топлива при 20 °С. Она определяет качество распыливания и сгорания топлива в двигателе. Повышение вязкости, как правило, вызывает ухудшение распыливания топлива, обуславливающее неравномерность распределения рабочей смеси и неполное ее сгорание.Учитывая значимость коэффициентов уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_{II}=3{,}657–0{,}126x_1+0{,}090x_3–0{,}035x_1x_3+0{,}018x_2x_3+0{,}031x_1^2+0{,}024x_2^2.$$

Как видно из полученного уравнения, наиболее значимыми для изменения вязкости обрабатываемого топлива являются такие параметры как время, давление и концентрация реагента. Причем влияние концентрации проявляется линейно и зависит от давления, а также времени обработки.

После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$\nu = 3{,}710 – 0{,}017\tau + 0{,}052C – 0{,}001\tau C + 0{,}003PC + 0{,}00015\tau^2 + 0{,}002C^2.$$

Поверхности отклика в разных координатах и их сечения представлены на рисунке 1 (IIа – IIв).

При максимальном времени обработки и половине от максимального значения концентрации вязкость снизилась на 7 %, относительно исходного значения, в то время как при максимальной концентрации реагента и практически минимальных значениях времени обработки и давления вязкость увеличивается на 4 % по сравнению с исходным значением.

В первом приближении это можно объяснить тем, что при малом давлении и времени перемешивания реагент не успевает равномерно распределиться по всему объему, а возможные кавитационные воздействия не успевают оказать заметный эффект.Вместе с тем, топливо, имеющее меньшую кинематическую вязкость, способно обеспечить работу двигателя при более низких температурах, лучше прокачивается по трубопроводам и через фильтры, распыливается и образует горючую смесь в цилиндре двигателя, что способствует снижению периода задержки воспламенения и полноте сгорания, получению большей мощности.Исследовали зависимость температуры вспышки ($T_{всп}$, °С) модельного дизельного топлива от влияния параметров обработки.Уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_{III}=59,756–2,400x_1–0,496x_2+1,758x_1^2+1,081x_2^2.$$

После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$T_{всп} = 66,75503 – 0,42472\tau – 0,93592P + 0,008361\tau^2 +0,088244P^2.$$

Поверхности отклика в разных координатах и их сечения представлены на рисунке 2.

Температура вспышки определяет условия безопасности применения топлива. Как видно из уравнения регрессии значимыми факторами для изменения температуры вспышки являются время обработки топлива и давление на входе в смеситель. С увеличением этих параметров температура вспышки уменьшается. Максимальное снижение составило 6 °С (9 %), что не является критичным значением изменения температуры вспышки для модельного топлива, однако может быть полезно при обработке топлив утяжеленного фракционного состава с высоким значением этого показателя.

Нагарообразование в двигателе зависит и от содержания фактических смол в топливе. Чем больше в дизельном топливе фактических смол, тем выше склонность его к нагарообразованию. Результаты изменения содержания фактических смол (СФС, мг / 100 см$^3$) в дизельном топливе в зависимости от исследуемых параметров обработки представлены ниже.С учетом значимость коэффициентов уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$Y_{IV} = 62,511–30,875x_1–4,102x_2–11,365x_3–4,250x_1x_3+14,911x_1^2+6,787x_3^2.$$

Как видно из полученного уравнения наибольшее влияние на содержание фактических смол в топливе после обработки оказывают время проведения обработки и концентрация реагента, а также сочетание этих факторов. После раскодирования уравнения и перехода к натуральным значениям уравнение регрессии принимает вид:

$$СФС=143,3315–3,88819\tau–1,172P–13,59145C–0,17\tau C+0,07092\tau^2+1,69675C^2.$$

Согласно нормативным документам, содержание фактических смол не должно превышать 30 мг на 100 мл для зимних ДТ и 60мг на 100мл для летних ДТ. В результате проведенных экспериментов их содержание уменьшилось со 106 мг / 100 мл до 21 мг / 100 мл, (практически на 80 %), что является отличным результатом, так как такое снижение должно оказать значительное влияние на работу топливной аппаратуры улучшив процесс сгорания, термическую стабильность и коррозионную активность теплив, а также способствуя уменьшению закоксованности форсунок. Известно, что уменьшение содержания смол в топливе в 2 – 3 раза способствует увеличению срока службы двигателя в среднем на 15 – 20 %[10].

Дизельные топлива с высокой температурой помутнения, склонны к расслоению за счет образованию твердой фазы при низких температурах. Выпадение кристаллов твердых углеводородов вызывает большие осложнения при перекачках и транспортировке топлив, при заправке, пуске и работе дизельных двигателей в условиях низких температур.

Уравнения регрессии в кодированных переменных для температур помутнения и застывания соответственно имеют вид:

$$Y_V = –5,511–1,321x_1–0,329x_2–0,500x_1x_3+0,546x_1^2+0,546x_3^2,$$

$$Y_{VI} = –13,591–1,412x_1–0,421x_2–0,625x_1x_3+0,518x_1^2+0,518x_3^2.$$

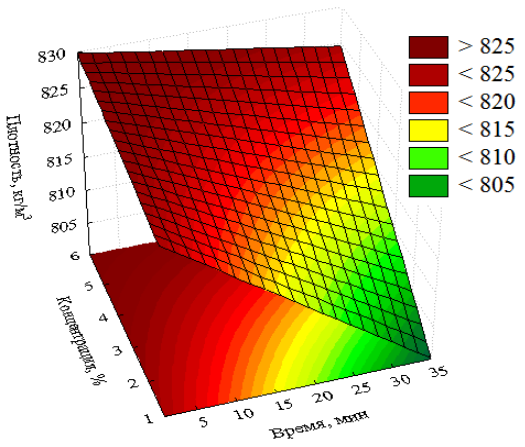
Как видно из полученных уравнений на температуры помутнения и застывания в той или иной мере оказывают влияние все факторы, в первую очередь – время обработки и его сочетание с концентрацией реагентов.Максимальная депрессия температуры помутнения после проведения обработки составила 3 °С, для температуры застывания – 3,5 °С.

После раскодирования и перехода к натуральным значениям уравнения регрессии примут вид:

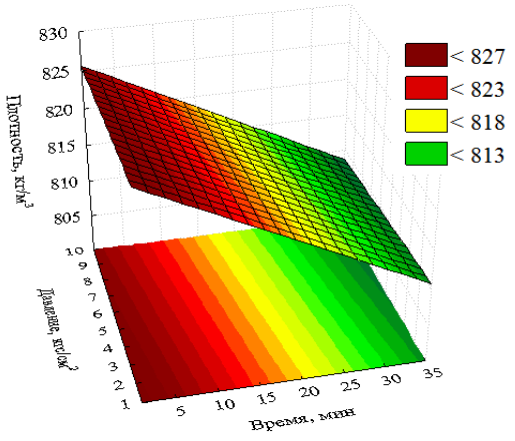
$$T_п = –2,62521–0,11988\tau–0,094P–0,02\tau C+0,002597\tau^2+0,1365C^2,$$

$$T_з = –10,7851–0,1091\tau–0,12029P–0,025\tau C+0,002464\tau^2+0,1295\ C^2.$$

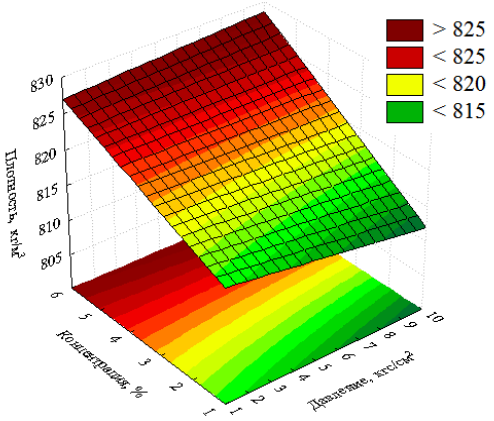
Поверхности отклика и их сечения представлены на рисунке 3.



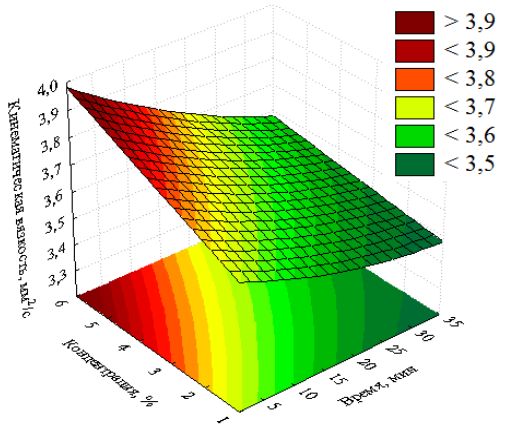

Iа



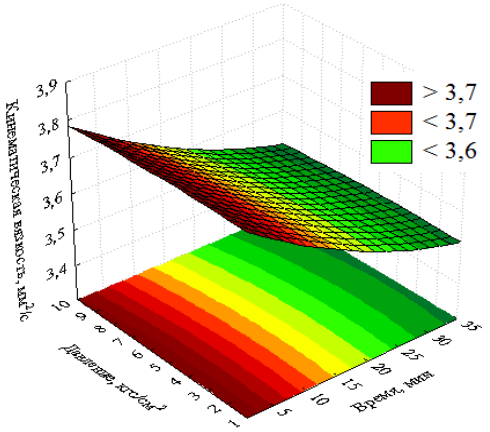

Iб



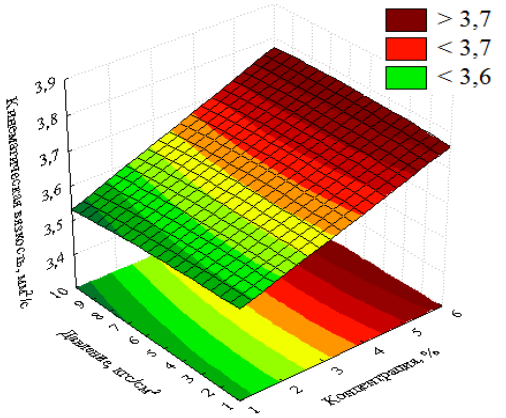

Iв




IIа




IIб




IIв

Рисунок 1 – Поверхности отклика плотности (Iа – Iв)и кинематической вязкости (IIа – IIв) обрабатываемого топливав зависимости от исследуемых факторов:
Iа, IIа –от времени обработки и концентрации реагента(давление 4,5 кгс/см$^2$)
Iб, IIб –от давления и времени обработки(концентрация реагента 3 %)
Iв, IIв –от давления и концентрации реагента(время обработки 15,5 мин)

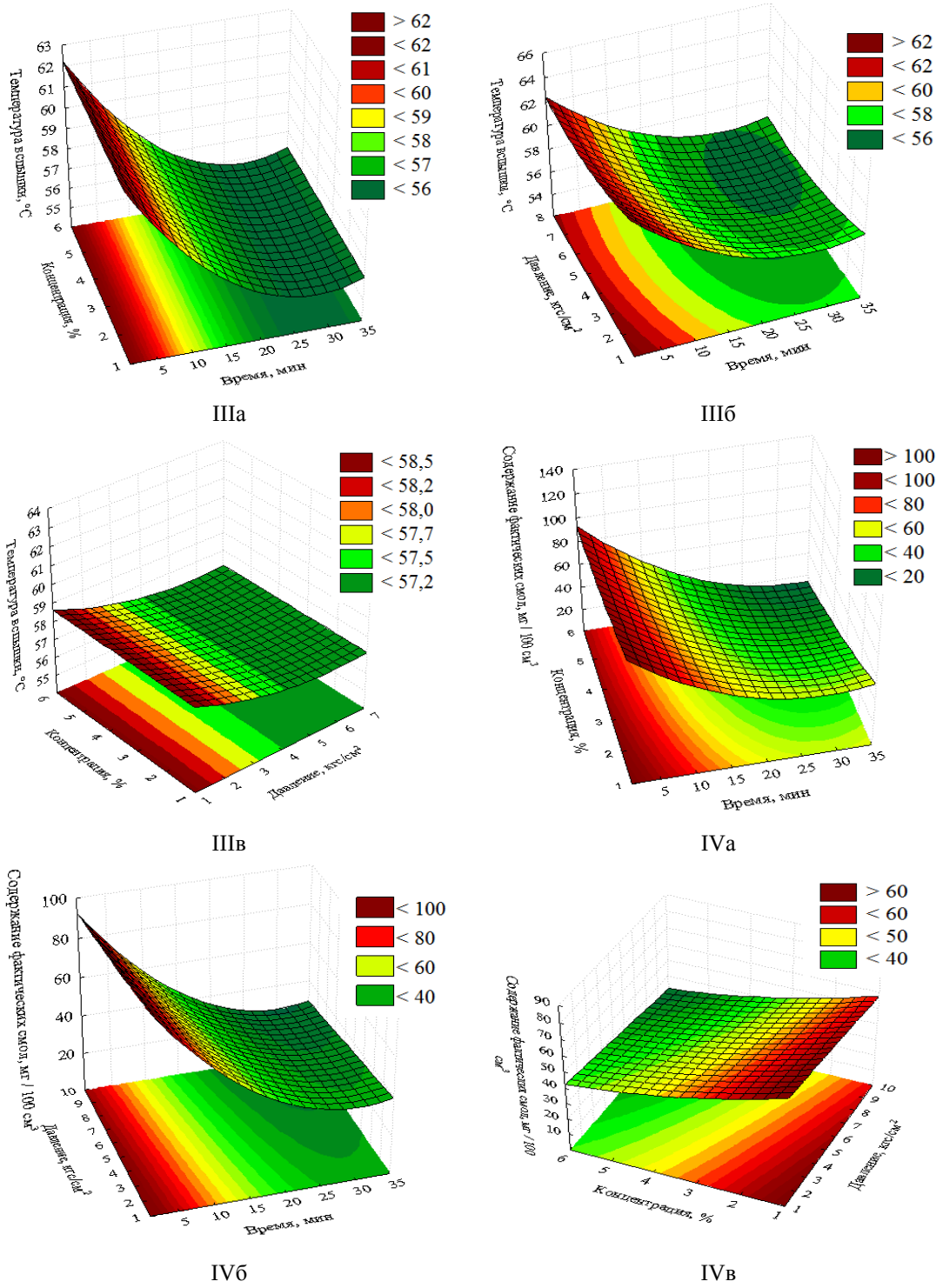



Рисунок 2 – Поверхности отклика температуры вспышки (IIIа – IIIв)и содержания фактических смол (IVа – IVв)вобрабатываемом топливе в зависимости от исследуемых факторов:
IIIа, IVа –от времени обработки и концентрации реагента(давление 4,5 кгс/см$^2$)
IIIб, IVб –от давления и времени обработки(концентрация реагента 3 %)
IIIв, IVв –от давления и концентрации реагента(время обработки 15,5 мин)

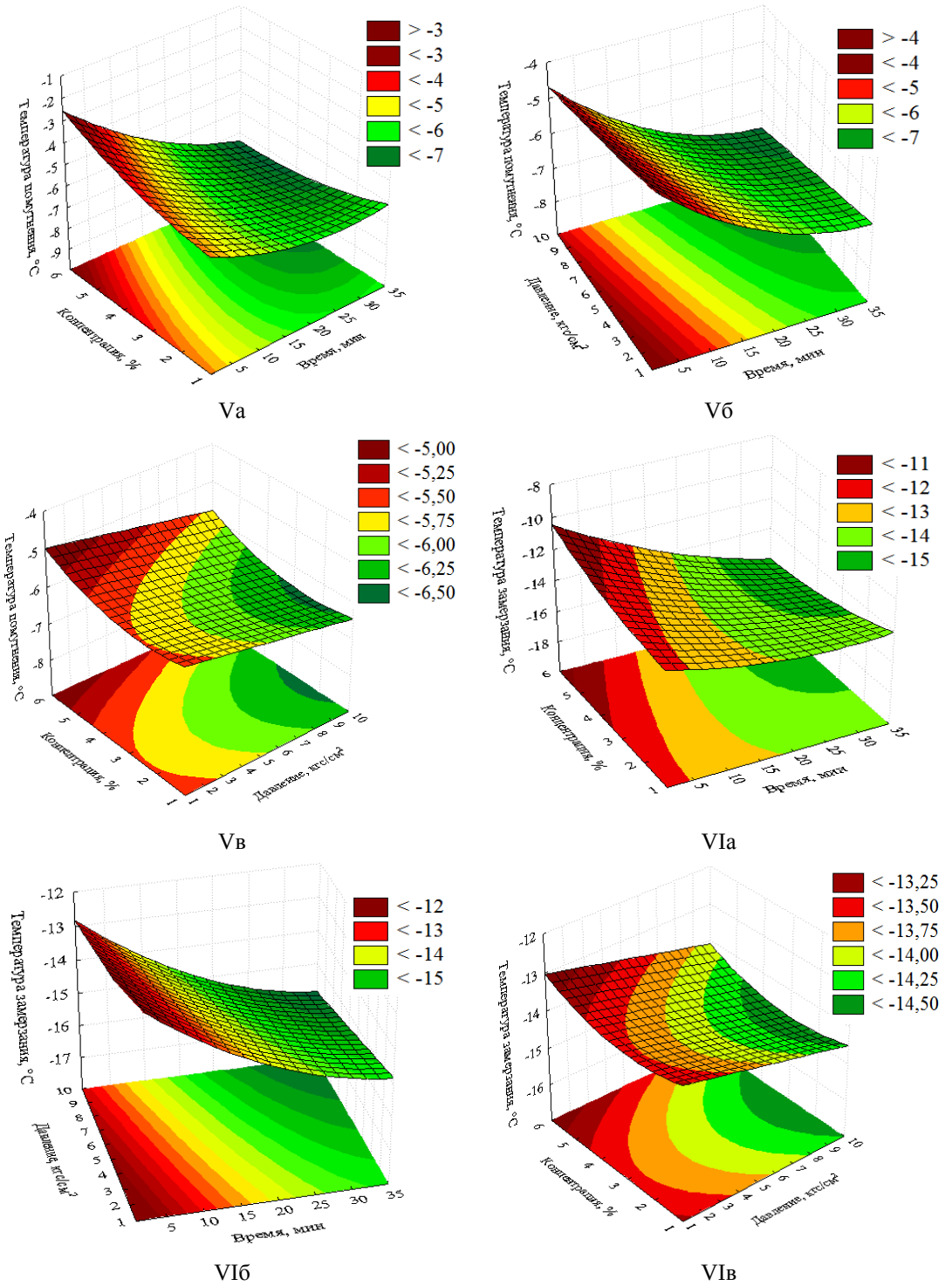



Рисунок 3 – Поверхности отклика температуры помутнения (Va – Vв)и температуры замерзания (VIa – VIв) обрабатываемого топливав зависимости от исследуемых факторов:
Va, VIa –от времени обработки и концентрации реагента(давление 4,5 кгс/см$^2$)
Vб, VIб –от давления и времени обработки(концентрация реагента 3 %)
Vв, VIв –от давления и концентрации реагента(время обработки 15,5 мин)

**Выводы.** На основании проведенных экспериментов определены параметры комплексной обработки нефтепродуктов на примере модельного дизельного топлива – концентрация реагента, время обработки и давление смеси на входе в смеситель-активатор.

Установлено, что с возрастанием времени обработки плотность топлива снижается максимум на 3 %, в то время как с возрастанием концентрации реагента – незначительно (на 0,5 %) увеличивается по сравнению с исходным значением.

При максимальном времени обработкии половине от максимального значения концентрации вязкость снизилась на 7 %, относительно исходного значения, в то время как при максимальной концентрации реагента и практически минимальных значениях времени обработки и давления вязкость увеличивается на 4 % по сравнению с исходным значением.

С увеличением времени обработки топлива и давления на входе в смеситель температура вспышки уменьшается. Максимальное снижение составило 6 °С (9 % от исходного значения), что может быть полезно для топлив утяжеленного фракционного состава с высоким значением этого показателя.

Содержание фактических смол уменьшилось практически на 80 %, что должно оказать значительное влияние на работу топливной аппаратуры улучшив процесс сгорания и термическую стабильность теплива, а также способствуя уменьшению закоксованности форсунок.

На низкотемпературные свойства оказывают влияние все факторы, в первую очередь – время обработки в сочетании с концентрацией реагента.Максимальная депрессия температуры помутнения после проведения обработки составила 3 °С, для температуры застывания – 3,5 °С.

Таким образом, по итогам проведенных исследований оптимальными значениями параметров обработки, влияющих на эксплуатационные свойства дизельных топлив, являются концентрация реагента 3 – 5 %, время обработки в статическом смесителе 15 – 30 минут при давлении 5 – 6 кгс/см$^2$.Это обеспечит снижение содержание смолистых соединений, общей и меркаптановой серы, уменьшение коксуемость 10 % остатка и облегчение фракционного состава, при незначительномснижении температуры вспышки, вязкости и плотности топлива.

**Список литературы**

1. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Вязинкин В.С., Белогорский В.В. Контроль качества моторных масел // Сельский механизатор – 2009. – №3. – С. 28–29.

2. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Манаенков К.А., Бектилевов А.Ю. Повышение смазывающих свойств топлива // Сельский механизатор – 2012. – № 4. – С. 34–35.

3. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива // Техника и оборудование для села – 2012. – № 6. – С. 10–11.

4. Ликсутина А.П., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Алибаев Б.Т. Контроль качества светлых нефтепродуктов на сельскохозяйственных предприятиях // Современные задачи инженерных наук сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ – 2017» – 2017. – С. 80–85.

5. Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю., Алибаев Б.Т. Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Наука в центральной России – 2016. – №4 (22). – С 15–26.

6. Маслов Г.Г., Дидманидзе О.Н., Цибулевский В.В. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: Учебн. пособие для сельскохозяйственных вузов – М.:УМЦ «Триада» – 2007. – 292 с.

7. Бусин И.В., Корнев А.Ю. Исследование влияния эффектов механоактивации на характеристики дизельного топлива // Наука в центральной России – 2019. – № 2 (38). – С 123-129.

8. Корнев А.Ю., Бусин И.В., Ликсутина А.П. Комплексное воздействие механообработки, вихревых потоков и химических реагентов на дизельное топливо // Наука в центральной России – 2019. – № 3 (39). – С 123-129.

9. Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Бусин И.В., Мещеряков А.Г. Способ очистки дизельного топлива. Патент РФ № 2645676. 2017

10. Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям М.: Колос. 1982. 208 с.

**References**

1. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Vyazinkin V.S., Belogorskij V.V. Kontrol' kachestva motornyh masel // Sel'skij mekhanizator – 2009. – №3. – S. 28–29.

2. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Manaenkov K.A., Bektilevov A.YU. Povyshenie smazyvayushchih svojstv topliva // Sel'skij mekhanizator – 2012. – № 4. – S. 34–35.

3. Ostrikov V.V., Kornev A.YU., Bektilevov A.YU. Povyshenie ekspluatacionnyh svojstv dizel'nogo topliva // Tekhnika i oborudovanie dlya sela – 2012. – № 6. – S. 10–11.

4. Liksutina A.P., Nagornov S.A., Busin I.V., Alibaev B.T. Kontrol' kachestva svetlyh nefteproduktov na sel'skohozyajstvennyh predpriyatiyah // Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk sbornik nauchnyh trudov VI-ogo Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo Simpoziuma «Sovremennye energo- i resursosberegayushchie tekhnologii SETT – 2017» – 2017. – S. 80–85.

5. Kornev A.YU., Bektilevov A.YU., Alibaev B.T. Prichiny snizheniya kachestva svetlyh nefteproduktov, ispol'zuemyh v sel'skom hozyajstve // Nauka v central'noj Rossii – 2016. – №4 (22). – S 15–26.

6. Maslov G.G., Didmanidze O.N., Cibulevskij V.V. Optimizaciya parametrov i rezhimov raboty mashin metodami planirovaniya eksperimenta: Uchebn. posobie dlya sel'skohozyajstvennyh vuzov – M.:UMC «Triada» – 2007. – 292 s.

7. Busin I.V., Kornev A.YU. Issledovanie vliyaniya effektov mekhanoaktivacii na harakteristiki dizel'nogo topliva // Nauka v central'noj Rossii – 2019. – № 2 (38). – S 123-129.

8. Kornev A.YU., Busin I.V., Liksutina A.P. Kompleksnoe vozdejstvie mekhanoobrabotki, vihrevyh potokov i himicheskih reagentov na dizel'noe toplivo // Nauka v central'noj Rossii – 2019. – № 3 (39). – S 123-129.

9. Alibaev B.T., Kornev A.YU., Nagornov S.A., Busin I.V., Meshcheryakov A.G. Sposob ochistki dizel'nogo topliva. Patent RF № 2645676. 2017

10. Itinskaya N.I., Kuznecov N.A. Spravochnik po toplivu, maslam i tekhnicheskim zhidkostyam M.: Kolos. 1982. 208 s.

**Сведения об авторах**

**Принадлежность к организации**

Корнев Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Бусин Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Ликсутина Анна Павловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

**Author credentials**

**Affiliations**

Kornev Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Busin Igor – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Liksutina Anna – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 03.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 06.08.2019