3. Корн Г.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1970. 720с.

4. Машины для заготовки кормов: регулировка, настройка и эксплуатация [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Б.Г. Зиганшин [и др.]; под ред. Б.Г. Зиганшина. - Санкт-Петербург: Лань, 2017. - 200 с. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/95160.

5. Зыкова Е.П. Сравнительный анализ тюковых и рулонных пресс-подборщиков [Электронный ресурс] // Вестник Таджикского технического университета им. М.С. Осими - 2014. - № 2(26). - С. 35-37. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/journal/issue/294066.

6. Долгов И.А. Некоторые вопросы теории прессования сена и соломы с применением пуансонов. Труды ВИСХОМ, 1962, вып. 39.

References

1. Kolomejchenko V.V. Kormoproizvodstvo [Elektronnyj resurs]: uchebnik. - Sankt-Peterburg: Lan', 2015. - 656 s. - Rezhim dostupa: https://e.lanbook.com/book/56161.

2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. - M.: Agropromizdat, 1985. 315s.

3. Korn G.A. Spravochnik po matematike. M.: Nauka, 1970. 720s.

4. Mashiny dlya zagotovki kormov: regulirovka, nastrojka i ekspluataciya [Elektronnyj resurs]: ucheb. posobie / B.G. Ziganshin [i dr.]; pod red. B.G. Ziganshina. - Sankt-Peterburg: Lan', 2017. - 200 s. - Rezhim dostupa: https://e.lanbook.com/book/95160.

5. Zykova E.P. Sravnitel'nyj analiz tyukovyh i rulonnyh press-podborshchikov [Elektronnyj resurs] // Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta im. M.S. Osimi - 2014. - № 2(26). - S. 35-37. - Rezhim dostupa: http://e.lanbook.com/journal/issue/294066.

6. Dolgov I.A. Nekotorye voprosy teorii pressovaniya sena i solomy s primeneniem puansonov. Trudy VISKHOM, 1962, vyp. 39.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e.mail: aashwarz.ru.

Шварц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, ООО «Меридиан», Россия, г. Курск, e.mail: shwarz@inbox.ru.

Author credentials

Affiliations

Schwarz Anatoly – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: aashwarz.ru.

Schwarz Sergey – candidate of technical sciences, LLC “Meridian”, Russia, Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Поступила в редакцию (Received): 19.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.08.2019

УДК 631.017.3: 621.181
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-62-68

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СНИЖЕНИЯ АНТИПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЛНОЖИРНЫХ СОЕВЫХ БОБАХ

[1]Шувалов Анатолий Михайлович
[1]Машков Алексей Николаевич
[1]Чернов Денис Серафимович

[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Известно, что односторонняя термообработка зерна сои обладает существенным недостатком в виде неравномерности прогрева и необходимости увеличения температуры обработки. Исследовано воздействие комбинированного нагрева (снизу электронагревательной*

поверхностью транспортирующего устройства, сверху инфракрасными излучателями) на питательные свойства сои. Выявлены преимущества комбинированного нагрева: высокая равномерность прогрева по всему объему зерна (±5°С), снижение конечного значения температуры нагрева до 115-120 °С, уменьшение времени нагрева в 1,4 раза сои. Проведен многофакторный эксперимент для установления характера взаимного влияния режимных параметров термообработки сои: исходной влажности бобов, времени разогрева, времени темперирования. В качестве критерия оптимизации принят минимальный уровень активности уреазы. Получено уравнение регрессии. Анализ трехмерных графиков, полученных при его решении с использованием программы Mathcad 14.0, позволил определить, что наименьшее значение уровня активности уреазы достигается при времени разогрева 70 секунд и влажности зерна 20%, времени темперирования 15 мин. Установлено, что температура зерна сои за время нахождения в температоре не должна опускаться ниже 90 °С. Проведен расчет толщины термоизоляционного слоя бункера для темперирования сои при таких условиях. Он составил 36 мм. По определенным рациональным режимам темперирования сои создан действующий экспериментальный образец бункера, допускающий снижение температуры бобов на 5-7 °С, что вполне удовлетворяет условиям выполнения технологического процесса термической обработки сои.

Ключевые слова: *соя, термическая обработка, комбинированный нагрев, антипитательные вещества*

REGIME PARAMETERS OF DECREASE IN ANTI-NUTRIENTS IN FULL-FAT SOYBEANS

[1]Shuvalov Anatoliy
[1]Mashkov Alexey
[1]Chernov Denis
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Annotation. *It is known that one-sided heat treatment of soybean grain has a significant drawback in the form of uneven heating and the need to increase the processing temperature. The effect of combined heating (from above by IR emitters, from below by the electric-heating surface of the conveying device) on the nutritional properties of soybean was studied. The advantages of combined heating were revealed: high uniformity of heating throughout the grain volume (± 5 ° C), reduction of the final value of the heating temperature to 115-120 ° C, reduction of heating time by 1.4 times soy. A multivariate experiment was conducted to establish the nature of the mutual influence of the regime parameters of soybean heat treatment: initial bean moisture, warm-up time, and tempering time. The minimum level of urease activity was adopted as an optimization criterion. The regression equation was obtained. Analysis of the three-dimensional graphs obtained by solving it using the Mathcad 14.0 program made it possible to determine that the smallest value of the urease activity level is achieved with a heating time of 70 seconds and a grain moisture of 20%, a tempering time of 15 minutes. It was established that the temperature of soybean grain during its stay in the temperature should not fall below 90 ° C. The thickness of the insulating layer of the hopper for soybean tempering under such conditions was calculated. It was 36 mm. The current experimental sample of the hopper, allowing the temperature of the beans to decrease by 5-7 ° C, which fully satisfies the conditions for the technological process of heat treatment of soybeans, was created according to certain rational modes of soybean tempering.*

Keywords: *soy, heat treatment, the combined heating, anti-nutrients*

Введение. Эффективность продукции животноводства напрямую зависит от состава и качества кормов. На сегодняшний день наиболее перспективной сельскохозяйственной культурой в производстве кормов для повышения их питательной ценности является соя, являющаяся источником протеина, занимающего важнейшую роль в обмене веществ у животных [1 – 5]. К сожалению, применение соевых бобов при кормлении невозможно без специальной обработки из-за присутствия антипитательных веществ, отрицательно воздействующих на здоровье и рост животных. Следует отметить, что протеин сои хорошо растворим в рубце жвачных животных. Классические методы снижения антипитательных веществ, большинство из которых представляет

собой термолабильные белки, основаны на высокотемпературной обработке соевых бобов, при которой происходит их денатурация и снижается степень растворимости фракций, что приводит к повышению биологической ценности протеина.

В последние годы широкое распространение получил способ сохранения питательной ценности сои с применением ее нагрева в потоке инфракрасного излучения, который принято называть – микронизацией [6].

Однако, как показали проведенные нами исследования [7 – 9], нагрев сои только с помощью инфракрасного излучения не обеспечивает равномерного разогрева по всему объему. На верхней поверхности наблюдается высокая температура, снизу – слишком низкая, разница достигает 55 - 60 °С. Было установлено, что для уменьшения неравномерности прогрева и обеспечения при этом снижения антипитательных веществ в зерне сои до нормируемого уровня, необходимо поднять конечную температуру до 140 - 150 °С и снизить скорость нагрева. Все это приводит к снижению качества обработки сои и увеличению энергозатрат.

В ФГБНУ ВНИИТиН предложен «Способ обработки полножирных соевых бобов» (новизна защищена патентом) [10] с двухсторонним быстропротекающим (50-70 с) нагревом: сверху ИК-излучатели, снизу электронагревательными элементами с последующей выдержкой нагретых бобов в бункере с усиленной термозащитой. Такой способ термической обработки соевых бобов позволяет уменьшить время нагрева в 1,4 раза по сравнению с односторонним ИК-нагревом, добиться высокой равномерности прогрева по всему объему соевых бобов (±5°С), понизить верхнюю границу температуры нагрева до 115-120 °С. В итоге это приводит к экономии расхода энергии до 29%, повышению производительности на 40 %, достижению более высоких качественных показателей продукта [7]. Следует отметить, что важным конструктивным элементом в цепочке технологического оборудования для обработки соевых бобов по этому способу является бункер с усиленной термозащитой (температор), в котором нагретая соя выдерживается с заданным временем.

Результаты и их обсуждение. Исследования позволили выбрать оптимальное время выдержки соевых бобов в температоре – 15 минут. Было установлено (рисунок 1), если выдержка времени нахождения нагретой сои в теплоизолированном бункере -темперирование меньше 15 минут, то уровень уреазы (индикатор антипитательных веществ) выше нормы, а если выдержка 20-25 мин, то уреаза стремится к нулю, а это нецелесообразно (достаточно снизить уровень уреазы до 0,2-0,3 ΔpH.

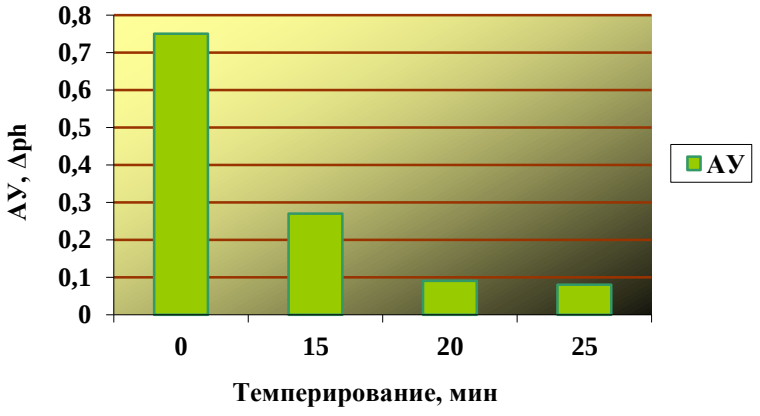

Рисунок 1 – Влияние выдержки в теплоизолирующей емкости на активность уреазы в соевых бобах

С помощью многофакторного эксперимента исследовали взаимное влияние различных факторов на интенсивность снижения уровня уреазы. Критерием оптимизации был выбран минимальный уровень активности уреазы. По результатам ранее проведенных экспериментальных исследований факторами были приняты – время разогрева τ влажность f, время темперирования $\tau_{темп}$. Диапазон варьирования факторов указан в таблице 1. Нижний уровень времени разогрева

соевых бобов выбран - 60 с, так как ниже этого уровня не удавалось достичь нормируемых значений активности уреазы, верхний уровень – 80 с)

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Факторы	Обозначение	Верхний уровень	Нижний уровень
Время разогрева соевых бобов τ, с	x_1	80	60
Влажность соевых бобов f, %	x_2	20	15
Время темперирования соевых бобов $\tau_{темп}$, с	x_3	900	600

По результатам многофакторного эксперимента установили взаимосвязь режимных параметров обработки сои и активности уреазы, выраженную следующим уравнением регрессии:

$$y = 1{,}02 - 0{,}7\left(\frac{\tau - 70}{10}\right) - 0{,}085\left(\frac{f - 17{,}5}{2{,}5}\right) - 0{,}1\left(\frac{\tau_{темп} - 750}{150}\right) - 0{,}055 \cdot \frac{\tau - 70}{10} \cdot \frac{\tau_{темп} - 750}{150} + \\ + 0{,}045 \cdot \frac{f - 17{,}5}{2{,}5} \cdot \frac{\tau_{темп} - 750}{150}, \quad (1)$$

где y – уровень активности уреазы (АУ); τ – время разогрева зерна сои, с; f – влажность зерна сои, %; $\tau_{темп}$ – время темперирования сои в температоре, с.

Используя программу Mathcad 14.0, решили уравнение регресии (1), получили трехмерные графики, позволяющие судить о динамике изменения уровня активности уреазы в зависимости от режимных параметров (рисунки 2, 3).

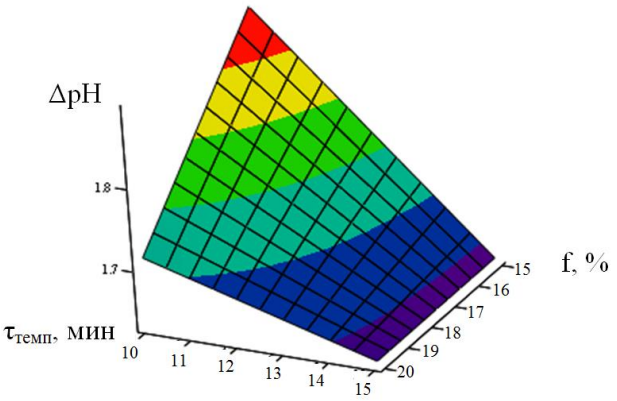

Рисунок 2 – Динамика изменения уровня активности уреазы в зависимости от первоначальной влажности зерна сои и времени темперирования при времени разогрева 60 секунд.

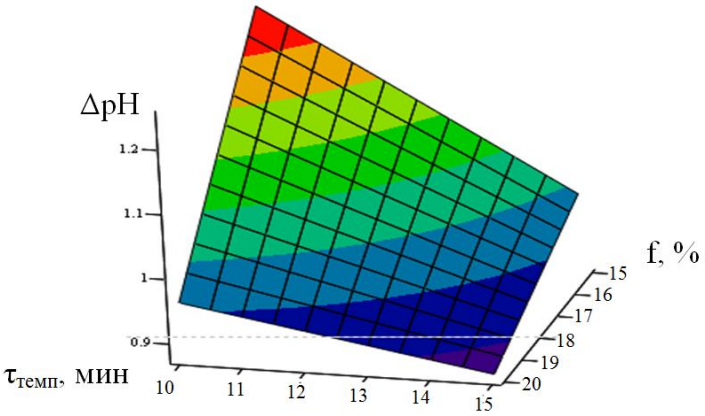

Рисунок 3 – Динамика изменения уровня активности уреазы в зависимости от первоначальной влажности зерна сои и времени темперирования при времени разогрева 70 секунд

Из данных трехмерных графиков (рисунки 2, 3) следует что наименьшее значение уровня активности уреазы, равное 0,1 ΔpH, которое достигается при времени разогрева 70 секунд и влажности зерна 20%, времени темперирования 15 мин. С увеличением влажности зерна сои и времени темперирования уровень активности уреазы снижается (рисунок 3). Так при исходной влажности 15% с темперированием 10 минут уровень активности уреазы равен 0,69 ΔpH, тогда как для влажности соевых бобов 20% и темперированиия в15 минут этот показатель - 0,1 ΔpH. Таким образом, для обработки сои рекомендуются следующие режимные параметры: исходная влажность зерна -20 %, время разогрева -70 с, время темперирования - 15 минут.

Исследования показали так же, что в конце выдержки (отстоя) сои в теплоизолированном бункере, конструктивная схема которого приведена на рисунке 4, за счет теплопотерь через его стенки температура бобов не должна быть ниже 90-92 °С.

При более низкой температуре бобов в теплоизолированном бункере уровень уреазы превышает норму (ΔpH=0,2 - 0,3, безопасную для животных. Необходимо провести расчет толщины для термоизоляционного слоя бункера, чтобы не допустить снижения в нем температуры до уровня 90 °С.

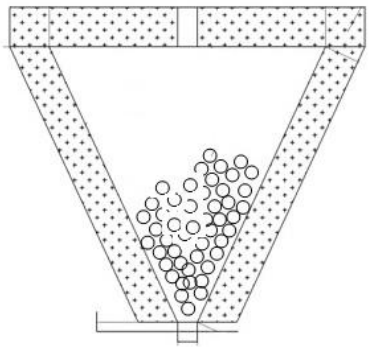

Рисунок 4 – Конструктивная схема теплоизолированного бункера.

Из ранее проведенных опытов приняли в качестве допустимого снижения температуры в температоре Δt = 10 °С. В этом случае потери теплоты в температоре составят

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 240 \cdot 2,01 \cdot 10 = 2400\,\text{кДж} = 667\,\text{Вт} \quad (2)$$

где m - масса зерна сои, кг; C – теплоемкость бобов, кДж/кг·°С.

Тепловой поток (q) эквивалентен потерям теплоты в температоре за один час. $\Delta Q=q$, тогда коэффициент теплопередачи (k) через кожух температора будет равен:

$$k = \frac{q}{F_{\text{т}} \cdot \Delta t} = 1,6\,\text{Вт/ м}^2 \cdot {}^\circ\text{С} \quad (3)$$

где $F_{\text{т}}$ – поверхность кожуха, м^2.

Толщину термоизоляционного слоя определяем по следующей формуле:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}}(1 - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_2})}{k} = 36\,\text{мм} \quad (4)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от нагретой сои к кожуху температора, Вт/(м^2·°С); α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной стенки температора к окружающему воздуху, Вт/(м^2·°С);

$\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности термоизоляции, Вт/(м·°С).

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при температуре окружающего воздуха 25 °С средняя температура на поверхности кожуха составляет 27 °С (±2), а температура зерна сои в температоре уменьшается на 5 - 7 °С, позволяя уменьшить уровень активности уреазы до нормированных значений.

Следует отметить, что выбор материала термоизоляции должен проводиться с учетом того, что она будет подвергаться воздействию высокой температуры (120 - 115·°С).

Заключение. Определены режимные параметры для снижения антипитательных веществ в полножирных соевых бобах при комбинированном нагреве сои и установлен характер их взаимного влияния. На основе результатов расчета термоизоляции был создан действующий экспериментальный образец бункера для темперирования сои, допускающий снижение температуры бобов на 5-7 °С, при котором уровень активности уреазы находится в допустимых пределах.

Список литературы

1. Баканов В.Н., Менькин В.К. Кормление сельскохозяйственных животных. М.: Агропромиздат, 1989.-505с.

2. Macleod G.K., Grieve D.G. Обеспечение протеином рационов для молочного скота (США). Protein nutrition of dairy cattle. Proceedings, 1983. p. 14-19. Cornell nutrition conference for Feed Manufacturers. Syracuse, N.Y. 0103.11,1983.

3. Melli M.; Hochkoeppler A. Кормовые характеристики сои (Италия) Soia: caratteristicho alimentari. Terra Vita, 1984. vol. 25. - № 13. - p. 41-42.

4. Morrill J. Использование необезжиренной сои в рационах молочных коров и свиней (США). Full Fat Soy Products for Dairy and Swine Feeds. Proceedings, 1983. p. 1 - 17. 38. Annual Kansas formula feed conference. Manhattan, Kans. 31.01 —01.02, 1983.

5. Plegge S.D. Urea as nitrogen source for growing. Prjceedings, 1983. - p. 2832.

6. Автореф. диссерт. Стребкова В.Б. «Разработка нового способа обработки соевых бобов на основе инфракрасного энергоподвода». М.: ГОУ «Московский государственный университет пищевых производств». – 2008. – С. 25.

7. Шувалов, А.М. Исследование качественных показателей зерна сои в процессе термообработки / А.М. Шувалов, Н.А. Вотановская, Д.С. Чернов, Г.М. Шулаев, А.Н. Машков. // Наука в центральной России. –2015. –№1. – С. 12–18.

8. Шувалов, А.М. Теоретический анализ тепловых процессов в системе энергообеспечения с комбинированным нагревом зерна сои / А.М. Шувалов, Д.С. Чернов, А.Н. Машков, Г.М. Шулаев, Н.А. Вотановская. // Наука в центральной России. –2015. –№2. С. 12–21.

9. Машков, А.Н. Расчет показателей процесса нагрева зерна сои / А.Н. Машков, А.М. Шувалов, Д.С. Чернов, В.Ф. Калинин, К.А. Набатов // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – №6. – С. 7–9.

10. Патент на изобретение № 2615004 Российская Федерация. МПК A23L 11/00.Способ обработки полножирных соевых бобов. / Шувалов А.М., Чернов Д.С., Шулаев Г.М., Вотановская Н.А., Машков А.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. - №2015153579, заяв. 14.12.2015; опубл. 03.04.2017. Бюл. №10.

References

1. Bakanov V.N., Men'kin V.K. Kormlenie sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh. M.: Agroprom-izdat, 1989.-505s.

2. Macleod G.K.; Grieve D.G. Obespechenie proteinom racionov dlya molochnogo skota (SSHA). Protein nutrition of dairy cattle. Proceedings, 1983. p. 14-19. Cornell nutrition conference for Feed Manufacturers. Syracuse, N.Y. 0103.11,1983.

3. Melli M.; Hochkoeppler A. Kormovye harakteristiki soi (Italiya) Soia: caratteristicho alimentari. Terra Vita, 1984. vol. 25. - № 13. - p. 41-42.

4. Morrill J. Ispol'zovanie neobezzhirennoj soi v racionah molochnyh korov i svinej (SSHA). Full Fat Soy Products for Dairy and Swine Feeds. Proceedings, 1983. p. 1 - 17. 38. Annual Kansas formula feed conference. Manhattan, Kans. 31.01 —01.02, 1983.

5. Plegge S.D. Urea as nitrogen source for growing. Prjceedings, 1983. - p. 2832.

6. Avtoref. dissert. Strebkova V.B. «Razrabotka novogo sposoba obrabotki soevyh bobov na osnove infrakrasnogo energopodvoda». M.: GOU «Moskovskij gosudarstvennyj universitet pi-shchevyh proizvodstv». – 2008. – S. 25.

7. SHuvalov, A.M. Issledovanie kachestvennyh pokazatelej zerna soi v processe termoobra-botki / A.M. SHuvalov, N.A. Votanovskaya, D.S. CHernov, G.M. SHulaev, A.N. Mashkov. // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№1. – S. 12–18.

8. SHuvalov, A.M. Teoreticheskij analiz teplovyh processov v sisteme energoobespecheniya s kombinirovannym nagrevom zerna soi / A.M. SHuvalov, D.S. CHernov, A.N. Mashkov, G.M. SHulaev, N.A. Votanovskaya. // Nauka v central'noj Rossii. –2015. –№2. S. 12–21.

9. Mashkov, A.N. Raschet pokazatelej processa nagreva zerna soi / A.N. Mashkov, A.M. SHuva-lov, D.S. CHernov, V.F. Kalinin, K.A. Nabatov // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2014. – №6. – S. 7–9.

10. Patent na izobretenie № 2615004 Rossijskaya Federaciya. MPK A23L 11/00.Sposob obra-botki polnozhirnyh soevyh bobov. / SHuvalov A.M., CHernov D.S., SHulaev G.M., Votanovskaya N.A., Mashkov A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBNU VNIITiN. - №2015153579, zayav. 14.12.2015; opubl. 03.04.2017. Byul. №10.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Шувалов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Машков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Чернов Денис Серафимович – 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: vniiti@mail.ru.

Author credentials
Affiliations

Shuvalov Anatoliy – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Mashkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Chernov Denis – 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: vniiti@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 19.08.2019

УДК 629.3.018.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-68-78

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА К ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА РАБОТУ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

[1]Доровских Дмитрий Владимирович
[1]Глазков Юрий Евгеньевич
[1]Доровских Ирина Юрьевна
[1]Глазкова Марина Михайловна
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Бензиновые двигатели находят широкое применение в качестве источников энергии сельскохозяйственных машин. В процессе их эксплуатации значительное место занимают режимы малых нагрузок и холостого хода, которые неблагоприятны с точки зрения топливной экономичности и экологических показателей. Изучали влияние добавки водородосодержащего газа на эти характеристики. Объектом экспериментальных исследований являлся двигатель с искровым зажиганием Volkswagen BBY. Водородосодержащий газ получали в электролизере SuperKit10 из 10 % -ного раствора гидроксида калия. Предложена*