

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ Д-65Н НА ДИЗЕЛЬНОМ БИОТОПЛИВЕ

*Вячеслав Чуба, Геннадий Голуб*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

*г. Киев, ул. Героев Оборона 15*

*Vyacheslav Chuba, Gennadii Golub*

*National university of life and environmental sciences of Ukraine*

**Аннотация.** Приведены результаты определения эксплуатационных и экологических показателей дизельного двигателя Д-65Н трактора ЮМЗ-6 АКЛ при работе на дизельном топливе, дизельном биотопливе на основе метиловых эфиров жирных кислот рапсового масла без нагрева и с применением нагрева топлива перед впрыском в цилиндры двигателя.

**Ключевые слова:** экологические показатели, дизельный двигатель, дизельное топливо, дизельное биотопливо, нагрев топлива.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Рост энергетических потребностей производства и уменьшение запасов минеральных топлив, побуждают к поиску альтернатив, а поэтому все большее применение получают моторные топлива, полученные из биологического сырья. Украина может обеспечить свои потребности за счет собственной нефти на 10-12 %, а за счет природного газа на треть, что создает угрозу энергетической безопасности страны.

Анализ прибыли от реализации рапса и пшеницы свидетельствует, что в 2000 году необходимо было вырастить и реализовать 27,5 т рапса или 14 т пшеницы для покупки 1 т дизельного топлива, в 2003 году – 4,9 т рапса или 9 т пшеницы, в 2005 году – 13,8 т рапса или 204 т пшеницы, в 2011 году – 14,1 т рапса или 54 т пшеницы [1]. В связи с этим, внедрение в сельскохозяйственном производстве технологий с использованием возобновляемых топлив, которые производятся из собственного сырья является одним из направлений обеспечения не только продовольственной безопасности страны, но и во многом может влиять на собственную энергетическую автономность, а также может создать конкуренцию на рынке нефтепродуктов, реализуемых в аграрном секторе.

При использовании топлив нефтяного

происхождения мы принудительно вносим в атмосферу соответствующее дополнительное количество парниковых и канцерогенных веществ, чем отрицательно влияем на окружающую среду, в противоположность применению растительного биотоплива, когда баланс парниковых газов остается неизменным.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время получены положительные результаты использования масел на основе рапса, подсолнечника, сои, арахиса, плодов пальм, хлопка и других масличных культур и биотоплива на их основе, в качестве моторного топлива [2].

В мае 2003 года была утверждена Директива ЕС 2003/30 "О развитии биотоплива в странах содружества". Согласно этой Директиве все страны-члены ЕС до 2005 года должны были увеличить использование биотоплива для дизелей до 2% от общего количества потребляемого топлива, а к 2010 году довести его использования до 5,75 %. Этот законодательный акт был обусловлен продвижением ЕС до улучшения экологических стандартов. Для выполнения этой Директивы Правительства стран-членов ЕС разработали собственные мероприятия по наращиванию производства дизельного биотоплива. Так, например Франция, отвела 70 % своих земель государственного резерва под культуры для производства биологического топлива и создала с этой целью 27 000 новых рабочих мест [3].

Дизельное биотопливо по сравнению с топливом, которое получено из нефти, имеет ряд преимуществ: не содержит серы, при попадании в почву за 7 суток разлагается почти на 95 %, тогда как нефтяное топливо лишь на 16 % за этот же период [4].

Одним из главных недостатков дизель-

ного биотоплива, полученного путем этерификации растительных масел, является отличие физико-химических свойств по сравнению с дизельным топливом, в первую очередь это касается большей вязкости и меньшей низшей теплоты сгорания дизельного биотоплива. Высокая вязкость приводит к ухудшению распыления топлива (увеличивается дисперсность распыла топлива, длина факела впрыска и уменьшается угол его раскрытия), что приводит к ухудшению смесеобразования и, как следствие, происходит уменьшение полноты сгорания топлива и увеличение интенсивности образования нагара на деталях цилиндропоршневой группы двигателя [5]. Меньшая теплотворная способность топлива приводит к ухудшению технико-эксплуатационных показателей, а именно увеличения часового и удельного расхода топлива [6, 7].

В исследовании Звонова В.А., Козлова А.В., Теренченко А.С. [8] отмечено уменьшение выбросов СО на 41 % и 3 %,  $C_nH_m$  на 86 % и 75 % и рост концентрации  $NO_x$  на 21 % и 10 % при использовании дизельного биотоплива на основе соевого и подсолнечного масел в вихрекамерном (предкамерном) дизельном двигателе 2Ч 8 5/11. Авторами отмечено увеличение удельного расхода топлива на 7,2 % по сравнению с дизельным топливом, при меньшей на 13 % низшей теплоте сгорания подсолнечного биотоплива. В.Г. Семенов [9] для дизельных двигателей с вихревой камерой и непосредственным впрыском отмечает снижение соответственно СО на 12 и 10 %,  $C_nH_m$  на 35 и 10 %, твердых частиц на 36 и 24 %, сажи на 50 и 52 % и незначительное увеличение выбросов  $NO_x$ .

В исследованиях работы дизельного двигателя на метиловом эфире рапсового масла, выполненных И.В. Парсадановым [10], отмечено снижение дымности на 8-11 % и массового выброса твердых частиц на 42 %, увеличение расхода топлива до 10 %, в то же время концентрация выбросов СО и  $NO_x$  менялась незначительно.

Войтов В.А., Карнаух Н.В., Даценко М.С. [11] отмечают, что в сравнении с работой двигателя СМД-14 на дизельном топливе, при использовании дизельного биотоплива происходит значительное уменьшение вред-

ных выбросов СО (на 30-40 %), а также отмечено как увеличение так и уменьшение содержания  $NO_x$  в зависимости от оборотов и загрузки двигателя. Зафиксировано уменьшение эффективной мощности двигателя на 12 % при одновременном увеличении удельного расхода топлива до 17 %.

Попов Д.В. Линник И.И. [12] при исследовании работы двигателя Д-243 на рапсовом метиловом эфире отмечают существенное увеличение часового и удельного расхода топлива а также концентрации оксидов азота  $NO_x$  в отработанных газах.

Таким образом, анализ литературных источников свидетельствует, что на сегодня вопрос влияния дизельного биотоплива на эксплуатационные и экологические показатели требует дополнительного исследования, в том числе для тракторных дизельных двигателей которые широко используются при выполнении полевых работ.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить экологические и эксплуатационные показатели двигателя Д-65Н при его работе на дизельном нефтяном топливе, дизельном биотопливе и дизельном биотопливе с нагревом перед впрыском в цилиндры двигателя до температуры от 115 до 120 °С.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сжигание топлива в дизельном двигателе внутреннего сгорания состоит из впрыска топлива в цилиндр, смесеобразования, процесса задержки воспламенения, непосредственно горения топлива в цилиндре и удаления выхлопных газов. Все эти процессы тесно связаны между собой и зависят от совершенства процесса смесеобразования в двигателе и физико-химических свойств топлива.

Согласно общепринятой теории сгорания топлива [13, 14, 15], топливо в дизельных двигателях сгорает в результате протекания сложных процессов кинетического и диффузионного горения. Распыление топлива, как импульсной неоднородной струи в условиях дизеля, представляет собой сложный процесс, который характеризуется нестационарностью, сложной динамикой развития факела топлива и отдельных его капель, неодинаковой структурой факела по длине и сече-

нию, наличием капель топлива разного диаметра, которые находятся в цилиндре в разные периоды времени, со значительной температурно-концентрационной неоднородностью в зоне топливного факела [16].

При впрыске топлива с большей плотностью и вязкостью уменьшается угол распыления, увеличивается диаметр капель и дальность распространения факела распыления, что приводит к ухудшению смесеобразования в цилиндре и, как следствие, увеличивается время задержки самовоспламенения (которое для оптимизации сгорания необходимо уменьшать), уменьшается время и полнота сгорания топлива в цилиндре, ухудшаются экономические и экологические характеристики работы двигателя.

При применении нагрева, происходит снижение вязкости впрыскиваемого топлива, как следствие происходит улучшение характеристик впрыска (увеличивается угол распыла топлива, уменьшается дальноточность факела, уменьшается диаметр капель распыла [17, 18], что приводит к улучшению полноты распыления и сгорания топлива.

Для исследования влияния температуры нагрева дизельного биотоплива на эксплуатационные и экологические показатели работы дизельного двигателя Д-65Н, нами выполнена модернизация системы питания двигателя в соответствии с патентом [19]. Температура нагрева дизельного топлива поддерживалась в пределах от 115 до 120 °С, согласно проведенным ранее исследованиям [19, 20].

Исследования по определению экологических и эксплуатационных показателей проведены с использованием двигателя Д-65Н трактора ЮМЗ-6 АКЛ и обкаточно-тормозного стенда КИ-5543-ГОСНИТИ. В результате проведенных экспериментальных испытаний получены регуляторные характеристики работы двигателя при использовании дизельного топлива, дизельного биотоплива без нагрева и дизельного биотоплива с нагревом и получены значения показателей выбросов угарного газа (СО), углеводородных соединений ( $C_nH_m$ ) и окислов азота ( $NO_x$ ) на соответствующих режимах регуляторных характеристик, которые фиксировались с помощью газоанализатора 325 ФА 02-01.

Полученные значения удельного расхода топлива (рис. 1), величины выбросов СО

(рис. 2),  $C_nH_m$  (рис. 3) и  $NO_x$  (рис. 4), дали возможность оценить влияние температуры нагрева на процесс сгорания дизельного биотоплива в сравнении с дизельным топливом нефтяного происхождения.

Анализ полученных эксплуатационных характеристик показывает, что двигатель на дизельном биотопливе развивает почти такую же мощность что и на обычном топливе, однако имеет худшие показатели удельного расхода топлива (рис. 1). При работе на дизельном топливе двигатель развил мощность 46,31 кВт при частоте вращения коленчатого вала 1771 об/мин. и удельном расходе топлива 248 г/кВт ч, что соответствует ТУ 23.1.120-78. На дизельном биотопливе без подогрева мощность составила 46,13 кВт при 1764 об/мин. и удельном расходе топлива 297 г/кВт ч, на дизельном биотопливе с подогревом мощность составила 45,99 кВт при 1759 об/мин. и удельном расходе топлива 280 г/кВт ч, что соответственно на 19,75 % и 12,9 % больше, чем расход топлива при работе на дизельном топливе. Увеличение расхода дизельного биотоплива без его подогрева связано с меньшей теплотой сгорания. Несколько улучшает ситуацию применения нагрева дизельного биотоплива перед впрыском в цилиндр, уменьшается перерасход топлива на величину от 3 до 10 % в зависимости от нагрузки двигателя.

В дизельных двигателях СО образуется в локальных зонах с богатой смесью В дальнейшем угарный газ доокисляется в углекислый газ ( $CO_2$ ) в процессе расширения, поскольку в цилиндре всегда есть в избытке кислород.

Анализ показателей выбросов угарного газа (рис. 2) показывает, что при загрузке в пределах 10 кВт удельные выбросы СО почти одинаковы и составляют на дизельном топливе 21,16 г/кВт ч, На дизельном биотопливе без нагрева 21,72 г/кВт ч, а с нагревом – 22,92 г/кВт ч. При увеличении нагрузки до 20 кВт происходит уменьшение значений удельных выбросов для дизельного топлива почти в два раза и в три – для дизельного биотоплива. В интервале нагрузок от 20 до 30 кВт удельные выбросы СО для дизельного топлива остаются почти неизменными и достигают своего минимального значения около 10 г/кВт ч.

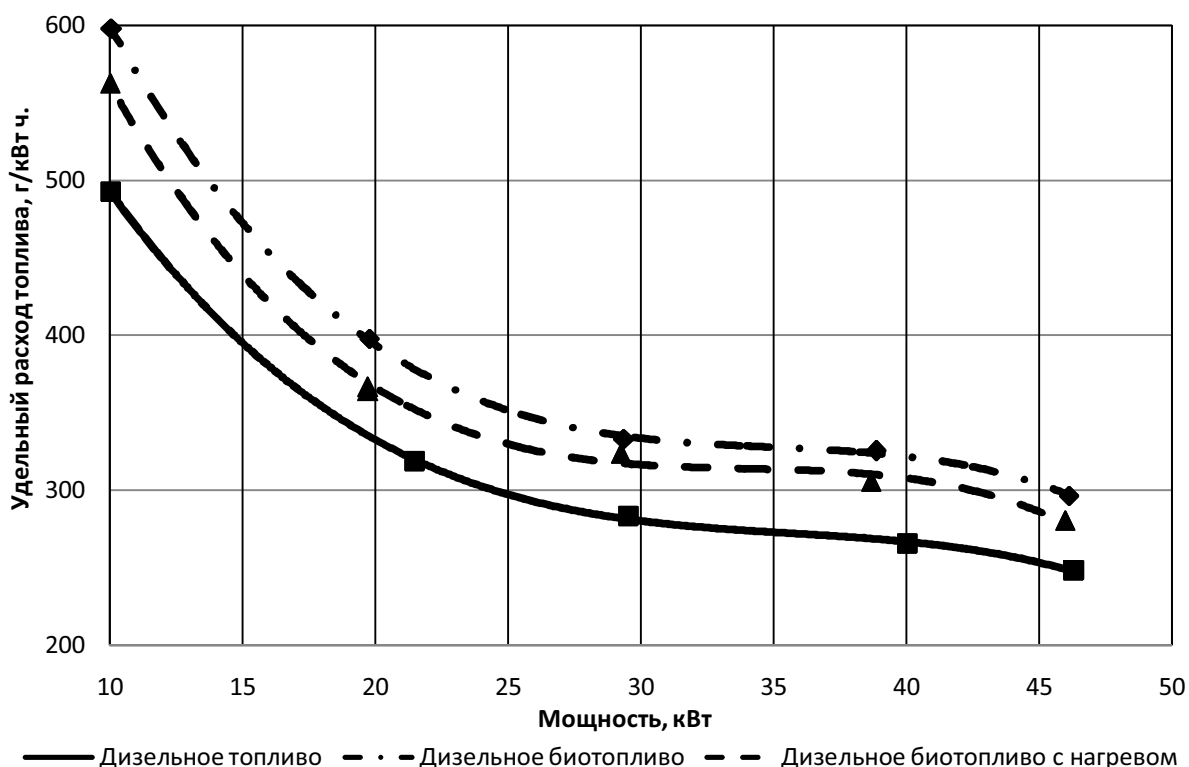


Рис. 1. Изменение удельного расхода топлива от нагрузки двигателя  
 Fig. 1. Changing of specific fuel consumption in depending of motor load

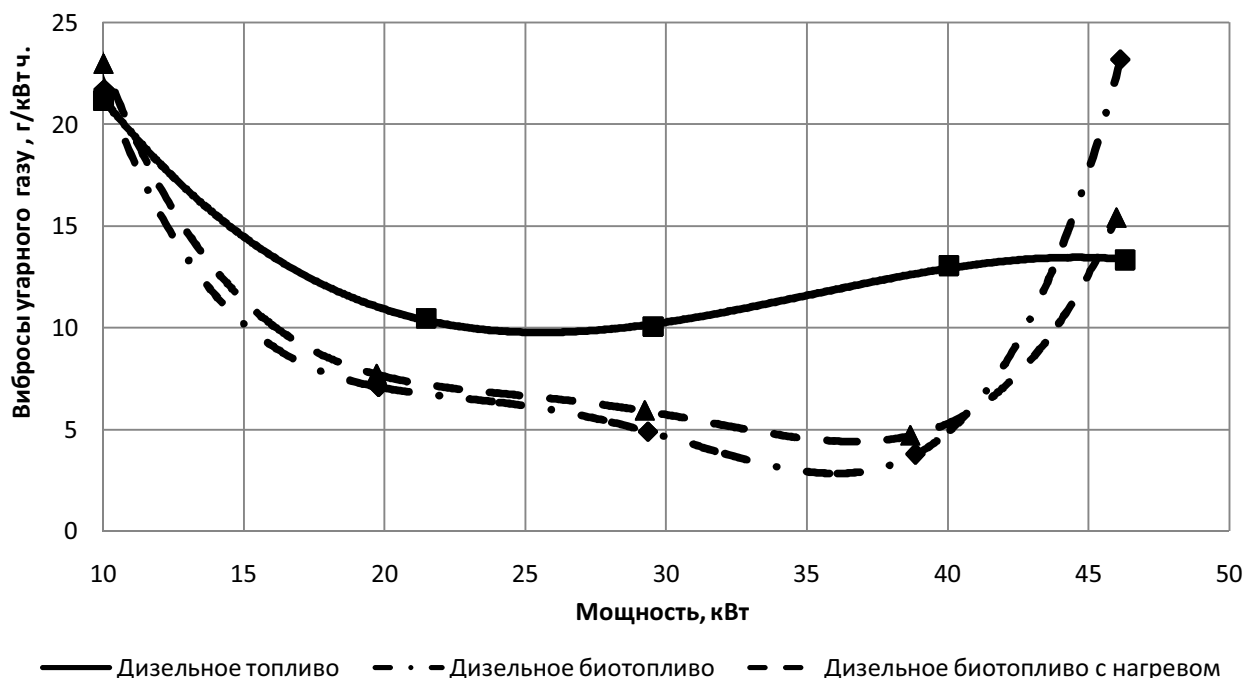


Рис. 2. Изменение удельных выбросов угарного газа от нагрузки двигателя  
 Fig. 2. Changing specific emissions of carbon monoxide in depending of motor load

С дальнейшим ростом нагрузки происходит постепенное увеличение показателя выбросов в 13,33 г/кВт ч. при максимальной на-

грузке. При работе на биотопливе, с увеличением нагрузки, удельные выбросы CO постепенно снижаются и достигают своего ми-

нимального значения 3,80 г/кВт ч на биотопливе без подогрева и 4,72 г/кВт ч на биотопливе с подогревом при загрузке близком к 39 кВт. При максимальной нагрузке двигателя происходит резкое увеличение значений удельных выбросов СО до значения 23,17 г/кВт ч при работе на дизельном биотопливе без подогрева и 15,42 г/кВт ч при работе на дизельном биотопливе с нагревом, что превышает на 81,3 % и 15,6 % значения выбросов для дизельного топлива.

Снижение удельных выбросов СО при использовании дизельного биотоплива по сравнению с дизельным топливом почти на всем диапазоне загрузки объясняется наличием в структуре молекулы биотоплива свободного кислорода, что способствует более полному его окислению.

Углеводородные соединения это продукты частичного разложения и неполного окисления топлива.

Анализ характеристик изменения удельных выбросов углеводородных соединений от вида топлива (рис. 3) показывает, что характер изменения значений выбросов в диапазоне от 10 до 40 кВт почти одинаковый. Причем с ростом нагрузки происходит уменьшение удельных значений выбросов углеводородных соединений. Следует отметить что значение удельных выбросов  $C_nH_m$  для дизельного биотоплива без подогрева

несколько ниже чем у дизельного топлива. При максимальной нагрузке наблюдается резкое увеличение удельных выбросов углеводородов для дизельного биотоплива без подогрева, которые в 2 раза превышает значение выбросов при работе на дизельном топливе.

Резкий рост показателей удельных выбросов вредных соединений СО и  $C_nH_m$  дизельного двигателя на максимальной мощности при работе на дизельном биотопливе без подогрева по сравнению со значениями для дизельного топлива, связано с недостаточным качеством распыления и смесеобразования (капли топлива при распыле больше чем у дизельного топлива, из за высокого значение вязкости), что на фоне максимальной цикловой подачи топлива приводит к увеличению количества зон с недостаточным количеством кислорода вокруг капель топлива, где молекулы биотоплива имея большую молекулярную цепочку не успевают пройти полную деструкцию и окисление, как следствие происходит ухудшение полноты сгорания топлива и рост вредных выбросов угарного газа и углеводородов.

Анализ зависимостей приведенных на рис. 2 и 3 также показал, что значение удельных выбросов СО и  $C_nH_m$  для дизельного

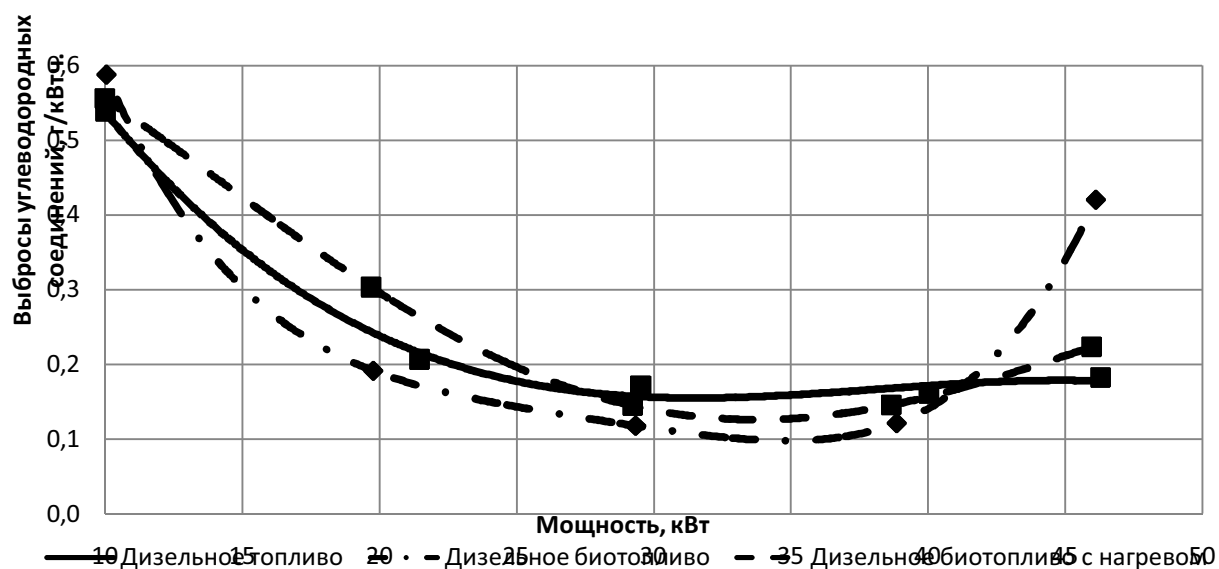


Рис. 3. Изменение удельных выбросов углеводородных соединений от нагрузки двигателя

Fig. 3. Changing specific emissions of hydrocarbon compounds in depending of motor load

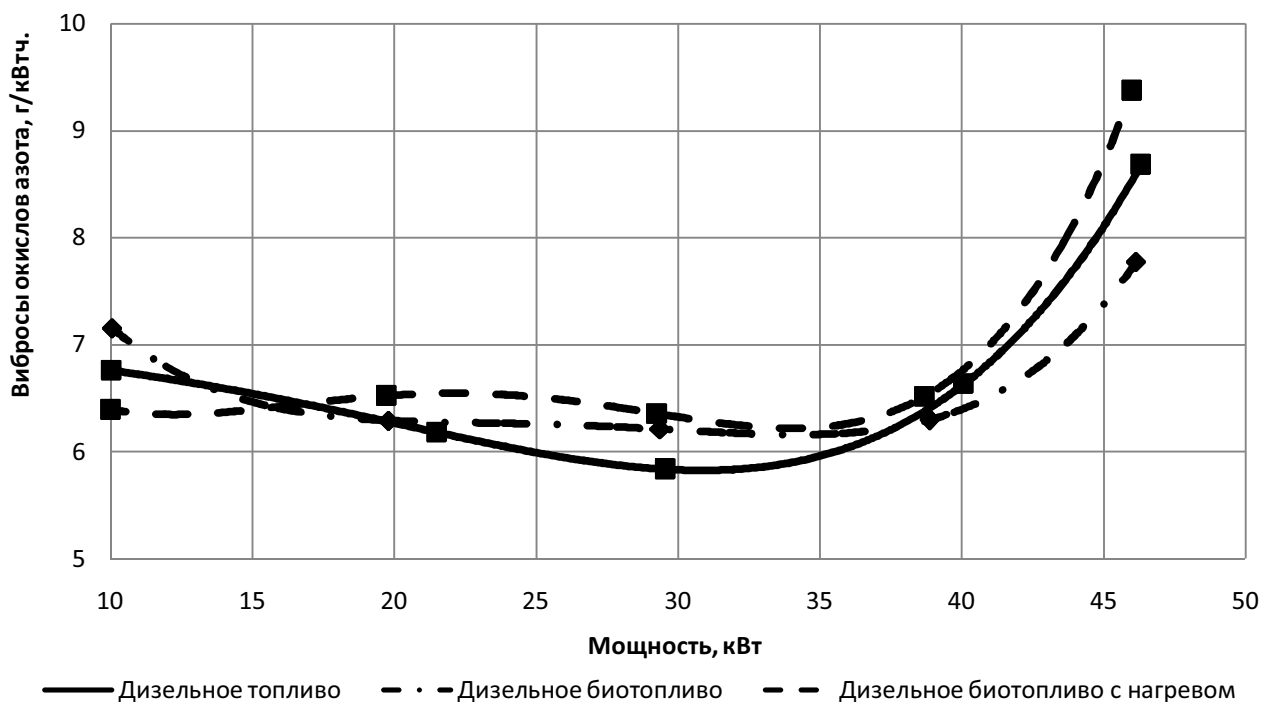


Рис. 4. Изменение удельных выбросов окислов азота от нагрузки двигателя  
 Fig. 4. Changing specific emissions of nitrogen oxides in depending of motor load

биотоплива с применением нагрева почти на всем интервале нагрузки несколько выше, чем у дизельного биотоплива без подогрева. При нагреве дизельного биотоплива происходит улучшение распыления и смесеобразования, в результате чего увеличивается полнота сгорания хвостовой части топлива состоящей из высокомолекулярных углеводов, что приводит к увеличению количества вредных выбросов и снижению удельного расхода топлива (рис. 1) при применении нагрева. Особенно это ощутимо при максимальной нагрузке двигателя, когда в цилиндре складываются неблагоприятные условия для полного сгорания топлива. Удельные выбросы CO и C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> на этом режиме для дизельного топлива без подогрева на 50 % и 90 %, соответственно, превысили показатели дизельного биотоплива с нагревом.

Анализ полученных экспериментальных зависимостей (рис. 4) показал, что удельные значения выбросов окислов азота меняются почти идентично с изменением нагрузки и незначительно отличаются для исследуемых видов топлива. При максимальной мощности показатель удельных выбросов NO<sub>x</sub> для дизельного биотоплива с подогревом превысил на 7,7 % и 17 % значения выбросов для ди-

зельного топлива и биотоплива без подогрева.

Большее значение удельных выбросов окислов азота, для дизельного биотоплива с подогревом, связано с увеличением температуры локальных зон сгорания топлива за счет увеличения полноты его сгорания, что в свою очередь интенсифицирует образование NO<sub>x</sub>.

#### ВЫВОДЫ

При использовании дизельного биотоплива на основе растительного масла происходит увеличение расхода по сравнению с нефтяным топливом, удельные выбросы угарного газа уменьшаются. При загрузке двигателя в пределах от 30 до 40 кВт удельные выбросы угарного газа в два раза меньше, чем у дизельного топлива. Выбросы углеводородных соединений и окислов азота имеют идентичный характер изменений и существенно не отличаются друг от друга для исследуемых видов топлива. Существенное отличие от общего изменения вредных выбросов наблюдается при максимальной нагрузке двигателя, из-за возникновения неблагоприятных условий для смесеобразования и сгорания, но данный режим работы не является характерным, учитывая рабочую

нагрузку дизельных двигателей тракторов при выполнении технологических операций в сельскохозяйственном производстве.

Применение нагрева дизельного биотоплива до температуры в пределах от 115 до 120 °С, улучшает распыление, смесеобразование и полноту сгорания топлива, в результате чего уменьшается расход топлива, при несущественном увеличении показателей вредных выбросов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Golub G.A., Lukyanez S.V. 2013. Investiciyna privablyvist vyrobnyztva i vykorystannya diselnogo biopalyva. – *Economika APK*. – № 2. – 54-60.
- Onion G., Bodo L.D. 1983. Oxygenate fuel for diesel engines: a survey of world-wide activities // *Bio-mass*. – № 2. – 77-133.
- Kobec M.I. 2004. Stan ta problemy vyrobnyztva ripaku v Ukraini // *Naukoviy visnyk Nacionalnogo agrarnogo universytetu*. – K., - 1987. – Vyp.73. – 354.
- Kovalskiy V., Golydnykov A., Grygorak M., kosarov A., Kuzmenko V. 2000. Pro pidvychshennya rivnya energetychnoi bezpeky Ukrainy // *Ekonomika Ukrainy*. – №10. – 34-41.
- Itinskaya P.I., Kuznecov N.A. 1982. Spravochnik po toplyvu, maslam i texnicheskym zydkostyam. – M.: Kolos, – 208.
- Zaharchuk V., Tkachuk V. 2010. Biodiselnoe toplivo na osnove izopropilovyh ehirov rapsovogo masla // *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 12*. 188–193.
- Polichuk V., Dubrovin V., Polichuk A. 2012. Alternativnye dislnie topliva // *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 14*. 20-31.
- Zvonov V.A., Kozlov A.V., 2008 Issledovanie ehektivnoe priminenie v diselnih dvigatelyah toplivnyh smesey i biotopliv // *Rossiyskiy himicheskij zurnal*. - №6.- 47-151.
- V. Semenov. 2007 Biodiselnoe palyvo dlya Ukraini // *Visn. Nan Ukrainy*, , № 4. – 18-21.
- Parsadinov I.V. 2005. Resultaty issledovaniy pokazateley toplivnoy ekonomichnosti i tosicnosti otrabotavchih gazov diselya pry rabote na rapsovometilovom ehire // *Vestnik nauki i tehniki*. – HNTU (HPI). – Vyp.1.–21-26.
- Voytov V.A., Karnauh M.V., Dazenko M.S. 2009. Tehniko-eksploataziyni ta ekodogichni pokaznyky diselnih dviguniv pry zastosuvanni biodiselya // *Tehnika i tehnologii APK*. – № 1. – 13-18.
- Popov D. V., Linnik I. I. 2011. Pokrachennya ekodogichnih pokaznykiv diselnih dviguniv // *Visnik donezkoï akademii avtomobilnogo transportu*. – №4. – 79-82.
- Razleycev N.H. 1980. Modelirovanie i optimizatsiya prozsesa sgoraniya v diselyah. – Harkov: Vishcha sh. Izd-vo pry Hark. un-te. – 169.
- Sviridov U.B. 1972. Smeseobrazovanie i zgoranya v diselyah. – L.: Mashinostroenie. – 224.
- D. N. Virubov, N. A. Ivashchenko, V. I Ivin i dr. 1983. Uchebnyk dlya vtuzov po spezialnosti «Dvigately vnutrennego sgoraniya»; Pod red. A. S. Orlina, M. G. Kruglova. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie. – 372.
- Dviguny vnutrishnogo zgorannya: Serya pidruchnykiv u 6 tomah. T.5. Ekologizatsiya DVZ. – Pidruchnyk dlya studentiv VNZ, sho navchautsya za napryamom “Ingenerna mehanika” / Za redakcieu proh. A.P. Marchenka, zasl. Diyacha nauky Ukrainy proh. A.H. Shehovcova – harkiv: Vidavnychiy zentr NTU “HPI”, 2004. – 360.
- Puchkov N.G. 1953. Diselnie topliva // Gosudarstvennoe nauchno-rehnicheskoe izdatelstvo nehtyanoy i gorno-toplivnoy literatury. – Moskva-Leningrad. – 194.
- Astahov V.I. Diselestroenie №2, 1937. patent na korisnu model № 21673 Ukraina, MPK (2006), P02M 31/02. Sposib temperaturnoi pidgotovky palnogo na dvigunah / – Zayav. 13.11.2006, № u200611918; Opubl. 15.03.2007, Bul. № 3.
- Golub G.A., Chuba V.V., Pavlenko M.U. 2012. Napryamky udoskonalennya virobnyztva i vikorystannya diselnogo biopaliva // zbirnyk naukovykh praz Vinnyzkogo dergavnogo agrarnogo universitetu. – Vinnyza. – Vypusk 10 t.1. – 20-23.
- Golub G.A., Chuba V.V., Ivanichuk V.V. 2012. Vykorystannya diselnogo biopaliva dlya roboty mashino-traktornykh agregativ // Zbirnyk tez mignarodnoi naukovopraktychnoi konherenzii "Rozvytok agrarnoi nauky u suchasnykh umovah". – Lviv. – 5-9.

**OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL  
PERFORMANCE OF THE ENGINE D-65N  
ON DIESEL BIOFUEL**

**Summary.** The results of determination of operational and environmental performance of diesel engine Д-65Н of tractor ПМЗ-6 АКЛ

when running on diesel fuel, biodiesel from fatty acid methyl esters of rapeseed oil without heat and using heating fuel before injection into the engine cylinder are given.

**Key words:** environmental performance, diesel motor, diesel fuel, biodiesel, heating fuel.