

A.N. БОРИСЕНКО, Н.Е. СЕРГИЕНКО, О.Н. АГАПОВ, Н.Г. МЕДВЕДЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОРРЕКЦИИ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ЗА СЧЕТ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ НА ВСАСЫВАНИИ

Проанализирована возможность применения систем топливоподачи с дросселированием на всасывании. Показана возможность за счет выбора конструктивно-регулирующих параметров влиять, в достаточно широких пределах, на вид скоростных характеристик.

Преимущества систем с дросселированием на всасывании проявляются в полной мере, если осуществлять дросселирование не изменением давления подкачки топлива, а изменением времени-сечения всасывающих органов, поэтому при выборе конструкции регулирующего органа необходимо обеспечить следующие условия: максимальной проходной площади должен соответствовать возможно больший ход рейки, а минимальная проходная площадь по своим размерам (ширина и высота) должна лежать вне зоны неустойчивого течения через нее топлива.

Предложенная конструкция топливного насоса отличается от обычных наличием на плунжере дозирующей щели и соответствующей канавки во втулке насоса.

Поворот плунжера рейкой вызывает увеличение или уменьшение длины щели, выходящей в канавку, и тем самым меняется проходная площадь, степень наполнения надплунжерного пространства топливом, а следовательно, и цикловая подача.

Скоростные характеристики опытного топливного насоса, снятые по всему ходу рейки, показывают их существенные улучшения. Это позволяет сравнительно просто обеспечить скоростную характеристику, соответствующую внешней характеристике дизеля с повышенным запасом по крутящему моменту.

Результаты экспериментов (прямолинейность регулировочных характеристики, достаточно большой ход рейки) подтвердили потенциальные возможности рассматриваемого насоса в обеспечении требуемой неравномерности топливоподачи при использовании его на многоцилиндровых дизелях.

Результаты обработки эксперимента, проведенного во всем рабочем диапазоне оборотов и нагрузок, показали, что колебание максимального давления топлива от цикла к циклу не превышает 1 МПа.

Ключевые слова: Топливоподача, дросселирование, время-сечение, ход рейки, плунжер, дозирующая щель, проходная площадь, цикловая подача.

A.M. БОРИСЕНКО, М.Є. СЕРГИЕНКО, О.М. АГАПОВ, М.Г. МЕДВЕДЕВ

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ КОРЕКЦІЇ ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ЗА РАХУНОК ДРОСЕЛЮВАННЯ НА ВСМОКТУВАННІ

Проаналізовано можливість застосування систем подачі палива з дроселюванням на всмоктуванні. Показана можливість за рахунок вибору конструктивно-регулювальних параметрів впливати, в досить широких межах, на вигляд швидкісних характеристик.

Переваги систем з дроселюванням на всмоктуванні проявляються в повній мірі, якщо здійснювати дросселирование не зміна тиску підкачки палива, а зміною часу-перетину всмоктувальних органів, тому при виборі конструкції регулюючого органу необхідно забезпечити такі умови: максимальної прохідної площі повинен відповідати якомога більший хід рейки, а мінімальна прохідна площа за своїми розмірами (ширина і висота) повинна лежати поза зоною нестійкого течії через неї палива.

Запропонована конструкція паливного насоса відрізняється від звичайних наявністю на плунжері дозуючої щілини і відповідної канавки у втулці насоса.

Поворот плунжера рейкою викликає збільшення або зменшення довжини щілини, виходить в канавку, і тим самим змінюється прохідна площа, ступінь наповнення надплунжерного простору паливом, а отже, і циклова подача.

Швидкісні характеристики досвідченого паливного насоса, зняті по всьому ходу рейки, показують їх істотні поліпшення. Це дозволяє порівняно просто забезпечити швидкісну характеристику, відповідну зовнішній характеристиці дизеля з підвищеним запасом по крутний момент.

Результати експериментів (прямолінійність регулювальних характеристики, досить великий хід рейки) підтвердили потенційні можливості розглянутого насоса в забезпеченні необхідної нерівномірності подачі палива при використанні його на багатоциліндрових дизелях.

Результати обробки експерименту, проведенного в усьому робочому діапазоні оборотів і навантажень, показали, що коливання максимального тиску палива від циклу до циклу не перевищує 1 МПа.

Ключові слова: Паливоподача, дроселювання, час-перетин, хід рейки, плунжер, дозуюча щілина, прохідна площа, циклова подача.

A.N. BORISENKO, N.Ye. SERGIENKO, O.N. AGAPOV, N.G. MEDVEDEV

RESEARCH METHODS FOR CORRECTION OF SPEED CHARACTERISTICS OF FUEL PUMPS THROUGH THROTTLE AT SUCTION

The possibility of using fuel supply systems with throttling at the intake is analyzed. The possibility of influencing, over a fairly wide range, the appearance of speed characteristics due to the choice of structural and adjusting parameters is shown.

The advantages of suction throttling systems are fully manifested if throttling is performed not by changing the fuel pumping pressure, but by changing the time-section of the suction bodies, therefore, when choosing the design of the regulatory body, it is necessary to ensure the following conditions: the maximum possible passage distance must correspond to the maximum passage area, and the minimum passage area in size (width and height) must lie outside the zone of unstable flow of fuel through it.

The proposed design of the fuel pump differs from the usual ones by the presence of a metering slit on the plunger and a corresponding groove in the pump sleeve.

The rotation of the plunger with a rail causes an increase or decrease in the length of the gap extending into the groove, and thereby the passage area, the degree of filling of the plunger space with fuel, and therefore the cyclic feed, are changed.

The speed characteristics of the pilot fuel pump, taken along the entire course of the rack, show their significant improvements. This makes it relatively easy to provide a speed response that matches the external performance of a diesel engine with a high torque margin.

The results of the experiments (the straightness of the adjusting characteristics, a sufficiently large stroke of the rack) confirmed the potential capabilities of the pump in question to ensure the required unevenness of fuel supply when used on multi-cylinder diesel engines.

The results of processing an experiment conducted in the entire operating range of revolutions and loads showed that the fluctuation of the maximum fuel pressure from cycle to cycle does not exceed 1 MPa.

Key words: Fuel supply, throttling, time cross-section, rail progress, plunger, metering slit, passage area, cycle feed.

Введение. Существенным недостатком широко распространенных топливных насосов золотникового типа [1] является неблагоприятное (пологое) протекание скоростных характеристик топливоподачи [2], что отражается на скоростных характеристиках дизельного двигателя и не отвечает требованиям, предъявляемым к транспортным дизелям, в части обеспечения ими повышенных запасов по крутящему моменту.

Анализ исследований. Один из путей устранения указанного недостатка – применение систем топливоподачи с дросселированием на всасывании, т. к. за счет выбора их конструктивно-регулирующих параметров представляется возможным в достаточно широких пределах влиять на вид скоростных характеристик [3].

В связи с этим, на протяжении многих лет в нашей стране и за рубежом не ослабевает интерес к топливной аппаратуре с дросселированием на всасывании. Например, оригинальная топливная аппаратура с дозированием топлива дросселированием на всасывании нашла применение на быстроходных дизелях мирового независимого производителя фирмы «CUMMINS».

Если проанализировать публикации об опытных и внедренных в производство конструкциях рассматриваемых систем, то можно отметить, что в большинстве случаев дросселирование на всасывании осуществлено путем изменения давления подкачки топлива [4,5] специальными гидравлическими регуляторами. Причем, выбор конструкции регулятора, обеспечивающего заданные законы изменения давления подкачки и стабильность процесса наполнения, представляет собой сравнительно сложную задачу [6].

Вместе с тем, преимущества систем с дросселированием на всасывании могли бы проявиться в полной мере, если осуществлять дросселирование не изменением давления подкачки топлива, а изменением времени-сечения всасывающих органов. В этом случае можно конструктивно более простыми способами выполнять как коррекцию скоростных характеристик, так и дозирование топливоподачи. Как показали работы, проводимые в ведущих институтах [7], скоростные характеристики насосов с золотниковым регулированием подачи топлива могут быть улучшены применением дросселирования на всасывании за счет соответствующего выбора времени-сечения всасывающих окон. Время-сечения последних выбирается таким, чтобы на номинальных оборотах кулачкового вала надплунжерное пространство насоса заполнялось топливом лишь частично. При снижении скоростного режима и при постоянном положении рейки время, соответствующее процессу наполнения, увеличивается и соответственно, возрастает степень наполнения надплунжерного пространства топливом, обуславливая прирост цикловой подачи, осуществляя т. о. коррекцию скоростной характеристики.

Однако экспериментальные исследования показали, что рассмотренные способы дросселирования на всасывании, применительно к насосам с золотниковым регулированием (дозированием) подачи топлива, не могут обеспечить улучшения скоростных характеристик во всем поле скоростных режимов [8].

Цель работы – на основе анализа регулировок подачи топлива в дизелях предложить усовершенствованный метод дозирования топлива для коррекции характеристик топливного насоса.

Результаты исследований. Вид скоростных характеристик можно изменить коренным образом, если использовать принцип дросселирования на всасывании, как средство дозирования топлива.

Известные способы дозирования топлива дросселированием на всасывании за счет изменения проходной площади всасывающих отверстий не нашли широкого распространения в силу ряда причин, обусловленных невозможностью обеспечения требуемой стабильности цикловых подач и равномерности распределения топлива по цилиндрам дизеля [9]. Эти недостатки связаны, в основном, с конструктивным выполнением дозирующих органов (например, дросселирующая игла, регулирующая проходное сечение в окнах втулки плунжера) или различного рода кромки на плунжере, перекрывающие отверстия во втулке. Для этих конструкций характерными являются значительные изменения проходных сечений всасывающих отверстий при относительно малом ходе регулирующего органа (рейки) насоса, что при наличии люфтов и технологических отклонений размеров деталей в системе привода регулирующего органа, вызывает недопустимую неравномерность цикловых подач по секциям насоса. Кроме того, как показывает практика, при регулировании проходных сечений иглой и при малых ее подъемах имеется зона неустойчивого наполнения надплунжерного пространства топливом вследствие явления облитерации [10, 11, 12].

При выборе конструкции регулирующего органа, необходимо обеспечить следующие условия: максимальной проходной площади должен соответствовать возможно больший ход рейки, а минимальная проходная площадь по своим размерам (ширине и высоте) должна лежать вне зоны неустойчивого течения через него топлива. Этим требованиям отвечает конструкция топливного насоса, изображенная на рис. 1, с дозированием топлива дросселированием на всасывании при постоянном давлении подкачки топлива [7].

Отличие его от обычных топливных насосов золотникового типа заключается только в конструктивном выполнении плунжерной пары, имеющей на плунжере дозирующую щель 5 и соответствующую ей канавку 4 во втулке насоса.

Наполнение надплунжерного пространства топливом осуществляется через окно 3, канавку 4 во втулке и далее через щель 5 и паз 6 в плунжере.

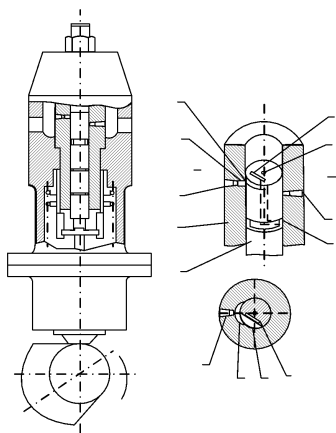


Рис. 1. Топливный насос с дозированием топлива дросселированием на всасывании

При рабочем ходе плунжера щель 5, выходя из канавки 4, перекрывается и поступившее в рабочую камеру насоса топливо подается к форсунке. Поворот плунжера рейкой вызывает увеличение или уменьшение длины щели, выходящей в канавку, и тем самым меняются проходная площадь и степень наполнения надплунжерного пространства топливом, а, следовательно, и цикловая подача. Ширина щели выбирается из условия обеспечения возможно большего рабочего хода рейки и стабильного процесса наполнения.

В опытной конструкции насоса ширина щели равна 0,42 мм. На рис. 2 для сравнения приведены графики изменения относительной проходной

площади $\frac{f}{f_{max}}$ окон во втулке насоса в зависимости от хода рейки m для различных конструктивных решений изменения упомянутой площади: кромкой на плунжере, иглой в окне втулки и щелью на плунжере. Из графиков видно, что, в последнем случае, эта зависимость имеет прямолинейный вид

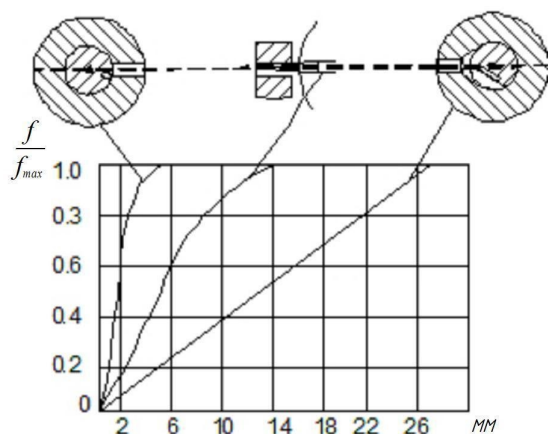


Рис. 2. Зависимость относительной проходной площади всасывающего отверстия от величины хода регулирующего органа (рейки) при различных способах дросселирования на всасывании

во всем рассматриваемом диапазоне изменения

$\frac{f}{f_{max}}$ при сравнительно большом максимальном ходе рейки и, таким образом, отвечает сформулированным выше требованиям

Экспериментальное исследование дозирования топлива путём изменения проходной площади щели проведено на опытной топливной аппаратуре (применительно к дизелям типа ЧН26/26) с параметрами:

- диаметр плунжера – 17 мм;
- ход плунжера – 22 мм;
- максимальная скорость плунжера – 2,47 м/с;
- ширина щели – 0,42 мм;
- максимальный ход рейки – 32 мм;
- распылитель – $10 \times 0,4 \text{ с } f_c 0,65 \text{ мм}^2$
- давление подкачки – 0,2 МПа

Скоростные характеристики опытного топливного насоса, снятые по всему ходу рейки в диапазоне оборотов вала насоса n_k от 500 до 175 мин^{-1} [12], приведены на рис. 3.

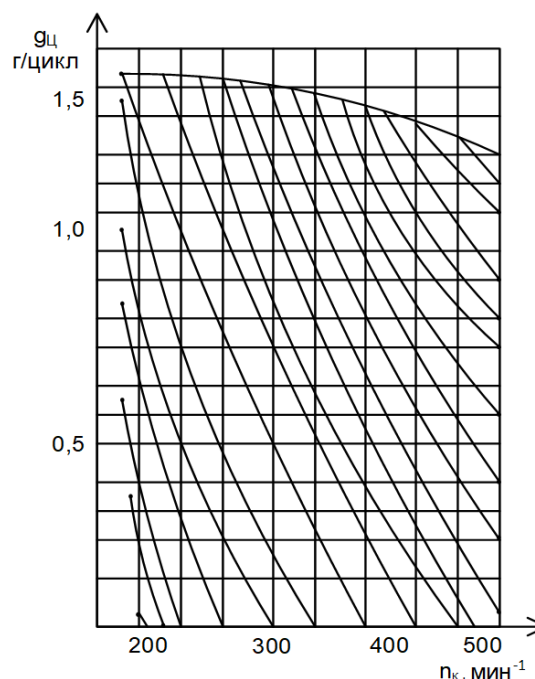


Рис. 3. Скоростные характеристики топливного насоса с дозированием топлива дросселированием на всасывании

Графики показывают существенное улучшение скоростных характеристик, которые до режимов, соответствующих моменту полного заполнения рабочей камеры насоса (верхняя кривая), имеют вид резко падающих кривых с увеличением n_k и практически могут рассматриваться как регуляторные с увеличенной степенью неравномерности. Указанные свойства насоса позволяют сравнительно просто обеспечить скоростную характеристику, соответствующую внешней характеристике дизеля с повышенным

запасом по крутящему моменту. Как видно из графиков, она может быть получена путем соответствующего выбора положения упора рейки максимальной подачи.

Дозирование топлива изменением проходной площади щели обеспечивает, как видно из рис. 4, практически линейную зависимость цикловых подач от хода рейки при постоянном числе оборотов. Фактический ход рейки для каждой из приведенных регулировочных характеристик, в силу принципа работы насоса, получился несколько меньше, чем для золотникового насоса (прототипа). Однако, это может быть исправлено уменьшением ширины щели, выбором угла всасывания кулака и давления подкачки топлива. Например, влияние угла

всасывания кулака $\varphi_{вс}$ наклон регулировочных характеристик можно проанализировать также из графиков на рис. 4, где приведенные регулировочные

характеристики сняты с кулаками, у которых $\varphi_{вс}$ соответственно равны 115° и 236° . Из графиков следует, что с уменьшением $\varphi_{вс}$ ход рейки, обеспечивающий равные $q_{ц}$, увеличивается.

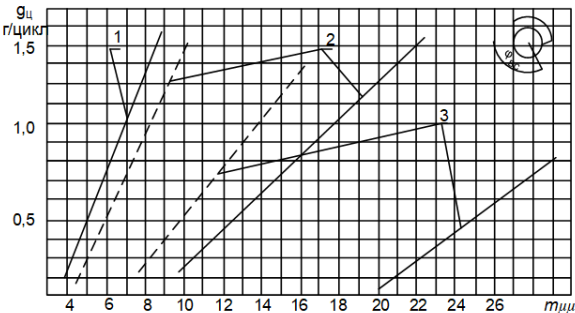


Рис. 4. Зависимость цикловых подач от хода рейки топливного насоса с дозированием топлива дросселированием на всасывании при разных значениях угла всасывания $\varphi_{вс}$ профиля кулака

Таким образом, результаты экспериментов (прямолинейность регулировочных характеристик, достаточно большой ход рейки) подтвердили потенциальные возможности рассматриваемого насоса в обеспечении требуемой неравномерности топливоподачи при использовании его на многоцилиндровых дизелях [12]. Причем регулирование неравномерности топливоподачи для исследуемого насоса (так же, как и у золотниковых насосов) может быть осуществлено дополнительным разворотом плунжера.

Особое внимание при экспериментальном исследовании дозирования топлива дросселированием на всасывании было обращено на стабильность параметров впрыска.

Существующее мнение о повышенной нестабильности процесса впрыска дросселированием на всасывании для опытного топливного насоса не подтвердилось. Результаты обработки осциллограмм, снятых во всем рабочем диапазоне оборотов и нагрузок, показали, что колебание максимального

давления топлива от цикла к циклу не превышает 1МПа.

Выводы. Коррекция скоростных характеристик золотниковых топливных насосов для дизелей с повышенным запасом по крутящему моменту реально может быть выполнена за счет набора уменьшенных значений времени-сечения всасывающих органов. Разработанная конструкция топливного насоса с дозированием топлива дросселированием на всасывании позволяет существенно улучшить скоростные характеристики топливоподачи, приближая их к виду регуляторных во всем поле рабочих режимов, что создаст реальные предпосылки для упрощения всей системы питания и регулирования двигателя.

Список літератури

1. Марков В. А., Шатров В.И. Современное состояние и перспективы развития систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок / *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Машиностроение"*. 2019. № 1. С. 101 – 119.
2. *Системы управления дизельными двигателями* / Перевод с немецкого. Первое русское издание - М.: ЗАО «КЖИ «За рулем»», 2004. 480с.
3. Вальехо Мальдонадо П. Р., Марков В. А., Трифонов В. Л., Маркова И. Г. Характеристики подачи топлива в дизелях и система двухфазной подачи топлива дизеля / *Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное Топливо*. 2019. Т. 18, № 1. С. 12 - 20.
4. *Конструирование двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов* / Н.Д. Чайнов, Н.А. Ивашенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков; под ред. Н.Д. Чайнова. М.: Машиностроение, 2008. 496 с.
5. Дьяченко В.Г. *Теория двигателей внутреннего сгорания: Учебник для студентов высших учебных заведений* / В.Г. Дьяченко. Харьков: ХНАДУ, 2009. 499с.
6. Гутаревич Ю.Ф. *Випробування двигунів внутрішнього згорання*: навч. посіб., 2-е вид., перероб. і доп. /Ю.Ф. Гутаревич, А.О. Корпач, А.Г. Говорун. К.:НТУ, 2013. 252 с.
7. *Труды Центрального научно-исследовательского дизельного института*. Развитие конструкций, повышение технического уровня и надежности дизелей / ЦНИДИ; ред. В.И. Балакин - Ленинград: ЦНИДИ, 1989. 164с.
8. Бараев В.И. Исследование зависимости параметров процесса впрыска от объемной скорости подачи топлива в широком диапазоне работы топливной аппаратуры / В.И. Бараев // *Труды ЦНИИТА*. М., 1972. С. 9-16.
9. Трусов В.И. Совершенствование топливной аппаратуры дизелей путем уменьшения объема нагнетания и создания предварительного давления перед впрыскиванием / В.И. Трусов, Д.М. Смирнов, Б.А. Смирнов // *Сб. науч. тр. МАДИ*, М., 1984. С. 43-48.
10. Файнлейб Б.Н. *Топливная аппаратура автотракторных дизелей*: Справочник / Б.Н. Файнлейб. - Л.: Машиностроение, 1990. 352 с.
11. Богаевський О.Б., Борисенко А.М., Сергієнко М.Є., Косарев О.В. Перспективні технічні засоби регулювання моменту початку подачі палива в транспортному дизелі // *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. Серія: *Автомобіле- і тракторобудування*, № 13 (1235). С. 32-38.
12. Борисенко А.Н., Сергиенко Н.Е., Кубрик Б.И., Соболев Е.Ф. Стенд для диагностики, управления и оценки ДВС // *Тези доповідей XXVI міжн. н.-практ. конф. У чотирьох частинах. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*. (16-18 травня 2018 р. Харків) за ред. Сокола Є.І. / – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. Ч.1. С. 149.

References (transliterated)

1. Markov V. A., Shatrov V.I. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya sistem avtomaticheskogo upravleniya i regulirovaniya teploenergeticheskikh ustanovok [Current status and development prospects of automatic control systems and regulation of heat power plants] / *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman*. Seriya "Mashinostroyeniye". 2019. № 1. S. 101 – 119.
2. *Sistemy upravleniya dizel'nymi dvigatelyami* / Perevod s nemetskogo. Pervoye russkoye izdaniye - M.: ZAO «KZHI «Za rulem»», 2004. 480s.
3. Val'yekho Mal'donado P. R., Markov V. A., Trifonov V. L., Markova I. G. Kharakteristiki podachi topliva v dizelyakh i sistema dvukhfaznoy podachi topliva dizelya [Characteristics of the fuel supply in diesel engines and a two-phase diesel fuel supply system]/*Avto gazozapravochnyy kompleks + Al'ternativnoye Toplivo*. 2019. T. 18, № 1. S. 12 – 20/
4. *Konstruyrovanye dvyhatelyi vnutrenneho shoranyia* [Design of internal combustion engines]: Uchebnyk dlia vuzov / N.D. Chainov, N.A. Yvashchenko, A.N. Krasnokutskiy, L.L. Miahkov; pod red. N.D. Chainova. - M.: Mashinostroyeniye, 2008. 496s.
5. Diachenko V.H. *Teoriya dvyhatelyi vnutrenneho shoranyia* [Theory of internal combustion engines]: Uchebnyk dlia studentov vysshnykh uchebnykh zavedenyi [Theory of internal combustion engines]/ V.H. Diachenko. Kharkov: KhNADU, 2009. 499 s.
6. Hutarevych Yu.F. *Ispytuvannya dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia* [Testing of internal combustion engines]: navch. posibnyk, 2-he vyd., pererob. i dop. /Yu.F. Hutarevych, A.O. Korpach, A.H. Hovorun. K.: NTU, 2013. – 252 s.
7. *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo dizel'nogo instituta*. Razvitiye konstruktсий, povysheniye tekhnicheskogo urovnya i nadezhnosti dizeley [Development of designs, improving the technical level and reliability of diesel engines] / TSNIDI; red. V.I. Balakin. Leningrad: TSNIDI, 1989. 164s.
8. Barayev V.I. Issledovaniye zavisimosti parametrov protsessa vpryska ot ob'yemnoy skorosti podachi topliva v shirokom diapazone raboty toplivnoy apparatury [Investigation of

the dependence of the parameters of the injection process on the volumetric rate of fuel supply in a wide range of fuel equipment operation] / V.I. Barayev // *Trudy TSNITA*. M., 1972. S. 9-16.

9. Trusov V.I. Sovershenstvovaniye toplivnoy apparatury dizeley putem umen'sheniya ob'yema nagnetaniya i sozdaniya predvaritel'nogo davleniya pered vpryskivaniyem [Improvement of diesel fuel equipment by reducing the injection volume and creating pre-injection pressure] / V.I. Trusov, D.M. Smirnov, B.A. Smirnov // *Sb. nauch. tr. MADI*, M., 1984. S. 43-48.
10. Faynleb B.N. *Toplivnaya apparatura avtotraktornykh dizeley* [Fuel equipment of automotive diesel engines]: Spravochnik / B.N. Faynleyb. - L.: Mashinostroyeniye, 1990. 352 s.
11. Bogaevskiy O.B., Borisenko A.N., Sergienko N.Ye., Kosarev O.V. Perspektivni tekhnichni zasoby rehulyuvannya momentu kachana podachi palyvo v transportnomu dizeli [Promising technical means of regulating the moment of starting fuel supply in the transport diesel]// *Visnyk NTU "KHPI"*. 2017. Seriya: *Avtomobile- y traktorobuduvannya*, № 13 (1235). S. 32-38.
12. Borysenko O.M., Sergienko M.Ye., Kubryk B.I., Sobolyev E.F. *Stend dlya diahnozyky, upravlinnya i otsinky DVS* [Stand for the diagnosis, control and evaluation of ICE]// *Tezy dopovidey XXVI mizhn. n.-prakt. konf. U chotir'okh chastyn*. Informatsiyi tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya. (16-18 travnya 2018 r. Kharkiv) za red. Sokola Ye.I. / - Kharkiv: NTU «KHPI», 2018. Ch.1. S. 149.

Надійшло (received) 13.04.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Борисенко Анатолій Миколайович (Борисенко Анатолий Николаевич, Borisenko Anatoliy Nikolaevich)

– доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Теоретичні основи електротехніки», м. Харків, Україна; ORCID:<https://orcid.org/0000-002-9160-4488>; e-mail: borisenkoge@gmail.com

Сергієнко Микола Єгорович (Сергиенко Николай Егорович, Sergienko Nikolay Yegorovich)

– кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», м. Харків, Україна; ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5168-1924>; e-mail: nesergienko@gmail.com

Агапов Олег Миколайович (Агапов Олег Николаевич, Agapov Oleg Nikolaevich)

– кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автомобіле-і тракторобудування», м. Харків, Україна; ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-0652-2593>; e-mail: agapovoleg@gmail.com

Медведев Микола Григорович (Медведев Николай Григорьевич, Medvedev Nikolay Grigoryovych)

– кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний автомобільно-дорожній коледж, викладач, м. Харків, Україна; ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-8409-7721>; e-mail: nursus@ukr.net