



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

ИНШАКОВ Александр Павлович, д-р техн. наук, профессор кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, kafedra_mes@mail.ru

УСПЕНСКИЙ Иван Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта», Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, ivan.uspensckij@yandex.ru

ТИМОХИН Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электроэнергетика и электротехника», Пензенский государственный университет, timohinsv@gmail.com

КУРБАКОВ Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина, trsu2@mail.ru

КУРБАКОВА Мария Сергеевна, аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина, m.s.kurbakova@mail.ru
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

Проблема и цель. В настоящее время работы по разработке новых и модернизации выпускаемых дизелей не представляются возможными без проведения лабораторных испытаний, в ходе которых на стендах получают различные характеристики двигателей, проводят настройку и оптимизацию систем ДВС. В этой связи исследования, направленные на повышение эффективности испытания ДВС путем совершенствования методов и средств испытания, использования ПК и современных программных комплексов, являются несомненно актуальными. Таким образом, целью исследования является совершенствование методов и средств испытания тракторных двигателей. Задачами данного исследования является разработка эффективной методики и средств для испытания ДВС, моделирования его характеристик в программных комплексах и его апробация с представлением результатов экспериментальных исследований.

Методология. Для выполнения задач исследования была проведена модернизация стенда КИ-5543 ГОСНИТИ, которая позволила расширить его функциональные возможности добавлением функции регистрации быстро протекающих процессов в ходе испытания как в режиме холостого хода, так и в режиме нагружения. Использование АЦП, программного комплекса Power Graph в составе стенда позволяет получать характеристики ДВС в зависимости от различных аргументов, в частности, от оборотов ДВС. Для целей моделирования была использована программа «ДИЗЕЛЬ-РК», предназначенная для расчета и оптимизации двухтактных и четырехтактных двигателей внутреннего сгорания.

Результаты. С целью определения эффективности предложенных методов и средств, примененных для испытания двигателей внутреннего сгорания, в данном исследовании был проведен ряд опытов. В результате были получены характеристики переходных процессов ДВС, решены оптимизационные задачи и смоделированы характеристики ДВС в программе «ДИЗЕЛЬ РК».

Заключение. Таким образом, в ходе выполнения исследований был представлен современный комплекс, позволяющий на высоком уровне проводить научные исследования и испытания автотракторных двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: дизельный двигатель, стенд, программный комплекс, испытание, характеристики.

Введение

Действующие сегодня методики испытания двигателей внутреннего сгорания предполагают получение различных типов характеристик с применением дорогостоящих и сложных испытательных стендов и нагрузочных устройств. Свойства нагрузочного устройства определяются его характеристикой – зависимостью максимального тормозного момента, обеспечиваемого в режиме торможения (или поглощаемой тормозом мощностью N_c), от частоты вращения n . Для получения показателей ДВС применяют также как стандартные первичные преобразователи, так и специально разработанные датчики, часто совмещенные с деталями ДВС.

Целью испытаний является получение характеристик ДВС. Среди них скоростные и регулировочные характеристики, многомерные и регули-

ровочные в зависимости от настройки различных систем, а также характеристики переходных режимов в соответствии с испытательными циклами [1,2].

Двигатели представляют собой сложные технические системы, и испытания относятся к числу наиболее ответственных и трудоемких этапов жизненного цикла ДВС. На этом этапе осуществляется окончательная оценка конструкции, определяется ее соответствие техническим и технологическим параметрам. На всех стадиях жизненного цикла двигатели подвергаются различного рода испытаниям, объем и трудоемкость которых, как показывает практика, непрерывно возрастают. Одно из наиболее эффективных решений по удовлетворению данных требований – применение на испытательных стендах автоматизированных систем испытаний двигателей и внедрение программных



комплексов, позволяющих сократить сроки при снижении себестоимости проведения стендовых испытаний.

В связи с этим целью исследования является повышение эффективности испытания ДВС путем совершенствования методов и средств испытания с использованием ПК и современных программных комплексов.

Объект исследования – система испытаний двигателей внутреннего сгорания.

Предмет исследования – механизмы и методики испытания двигателей внутреннего сгорания в составе системы стендовых испытаний.

Задачи исследования.

1. Разработать эффективную методику и средства для испытания ДВС и моделирования его характеристик в программных комплексах.

2. Представить результаты экспериментальных исследований.

Оборудование, применяемое в исследовании: обкаточно-тормозной стенд КИ-5543 ГОСНИТИ, двигатель Д-245-35, персональный компьютер ASUS, аналогово-цифровой преобразователь L-CARD E-14-140, плата клеммников DB-37F-INCREASER, программное обеспечение «PowerGraph 3.3 Professional», программный комплекс «Дизель РК» [3,4,5].

В лаборатории испытания автотракторных двигателей кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина института механики и энергетики была реализована экспериментальная программа, в рамках которой было использовано экспериментальное оборудование, в состав которого входили: стенд КИ-5543 ГОСНИТИ, модуль АЦП L-CARD E-14-140 и персональный компьютер с программным обеспечением «PowerGraph 3.3 Professional». Для целей моделирования характеристик ДВС и решения оптимизационных задач был применен программный комплекс «Дизель РК».

Для выполнения задач исследования была проведена модернизация стенда, которая позволила расширить функциональные возможности стенда КИ-5543 ГОСНИТИ добавлением функции регистрации быстро протекающих процессов в ходе испытания как в режиме холостого хода, так и в режиме нагружения на стенде. Использование АЦП, программного комплекса Power Graph в составе стенда позволяет получать характеристики ДВС в зависимости от различных аргументов, в частности, от оборотов ДВС.

Для целей моделирования в данном исследовании была использована программа ДИЗЕЛЬ-РК, предназначенная для расчета и оптимизации двухтактных и четырехтактных двигателей внутреннего сгорания. Программа позволяет проводить тепловой расчет, анализ и исследование всех типов ДВС.

Использование программного комплекса Дизель РК позволило провести исследование по влиянию угла опережения впрыска от 12 до 28 градусов на испытуемом двигателе с получением оптимизационных графиков мощности, крутяще-

го момента, удельного расхода топлива и других. Проведено одномерное сканирование показателей при изменении степени сжатия от 12 до 22, а также получена регуляторная характеристика двигателя Д-240. Протокол испытания в программном комплексе включает в себя мощностные и эффективные показатели двигателя, параметры окружающей среды, наддува и газообмена, значение температур во впускном и выпускном трактах, параметры сгорания и др.

Система мастеров настроек – специальных средств создания файлов данных позволит легко и быстро создать файл данных для расчета любого двигателя, что особенно полезно для экспресс-анализа ДВС, а также для первоначальной настройки эмпирических коэффициентов математических моделей. Мастер настройки (рис.1) устанавливает значения эмпирических коэффициентов применительно к двигателям разного класса и назначения.

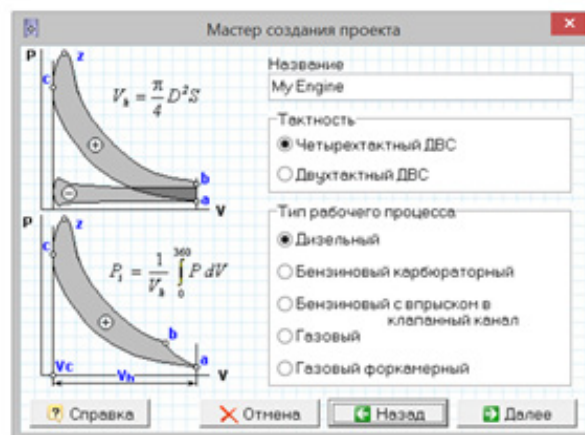


Рис. 1 – Мастер настройки программного комплекса «Дизель РК»

В программе реализован современный метод расчета эмиссии оксидов азота на основе схемы Зельдовича для обычных двигателей, а также на основе детального кинетического механизма для перспективных двигателей с высокой степенью рециркуляции ОГ и многоразовым впрыском. В программу заложен расчет нескольких схем системы рециркуляции отработавших газов и др.

Результаты исследований

С целью определения эффективности предложенных методов и средств, применимых для испытания двигателей внутреннего сгорания, в данном исследовании был проведен ряд опытов.

Изначально в ходе лабораторных исследований на стенде КИ-5543 ГОСНИТИ в научной лаборатории испытания автотракторных двигателей Института механики и энергетики были получены экспериментально характеристики двигателя Д-245-35, раскрывающие особенности формирования показателей двигателя в эксплуатации. Как видно из характеристики, представленной на рисунке 2, эффективная мощность $N_e = 77$ кВт двигателя Д-245-35 реализуется при частоте вращения $n_d = 2100$ об/мин, что соответствует паспортным данным завода-изготовителя на данную конструкцию двигателя [6,7].

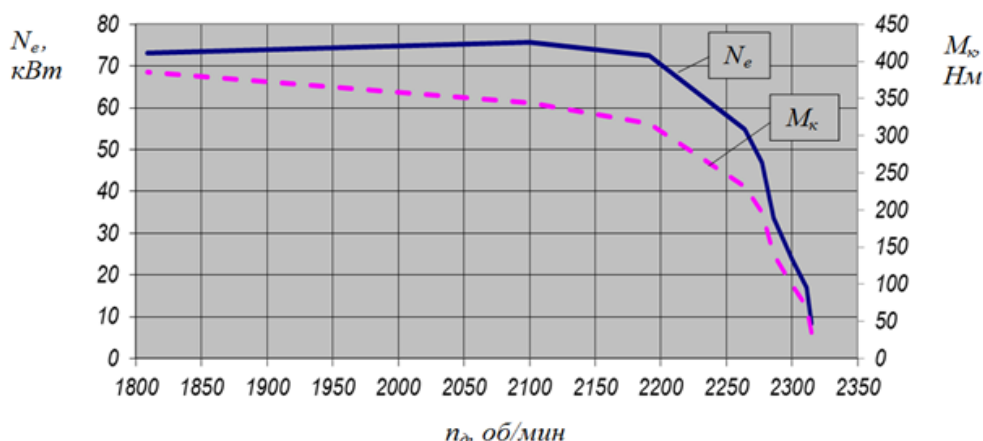


Рис. 2 – Изменение мощности и крутящего момента двигателя Д-245-35 в условиях регуляторной характеристики.

Характеристика снималась при положении рычага управления подачей топлива, соответствующем максимальному натяжению пружины регулятора и различной частоте вращения коленчатого вала. Изменение скоростного режима двигателя достигается варьированием нагрузки тормоза.

Снятие характеристики тракторного двигателя с регулярной ветвью производилось в соответствии с требованиями ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

На каждой ветви характеристики получено не менее шести равномерно расположенных точек.

Регуляторную ветвь скоростной характеристики определяли в диапазоне от максимальных оборотов холостого хода при работе двигателя без нагрузки до номинальной частоты вращения.

Первый опыт проведен на режиме 85 % крутящего момента при номинальной частоте вращения.

При установившемся режиме работы были измерены и записаны следующие величины:

- частота вращения вала тормоза n_T ;
- нагрузка на тормозе P_T ;
- расход топлива за опыт ΔG_T ;
- время расхода топлива τ ;
- температуры охлаждающей жидкости $t_{ж}$, масла t_m .

Во втором опыте нагрузку снижали до нуля и

после того, как был достигнут устойчивый скоростной режим, измеряли и записывали в протокол испытаний те же величины, что и в первом опыте.

Третий и последующие опыты выполняли при нагрузках, соответствующих приблизительно $0,25M_{кн}$, $0,5M_{кн}$, $0,75M_{кн}$, $M_{кн}$.

В области номинальной частоты вращения для выявления точек перегиба кривых эффективной мощности и крутящего момента число опытов увеличивали.

Корректорную ветвь скоростной характеристики определяли последовательным уменьшением частоты вращения от номинальной до составляющей не более 85 % при максимальном крутящем моменте.

Следующим этапом была проведена серия опытов на модернизированном стенде КИ-5543 ГОСНИТИ, в который дополнительно были включены АЦП, компьютер с программным обеспечением Power Graph и ряд первичных преобразователей, позволивших зафиксировать изменение нагрузки тормоза и частоты вращения двигателя при проведении испытаний, и позволили автоматизировать процесс снятия и обработки данных. В результате был получен ряд характеристик переходных процессов ДВС, позволяющих расширить возможности стенда КИ-5543 ГОСНИТИ при испытаниях (рисунки 3,4).

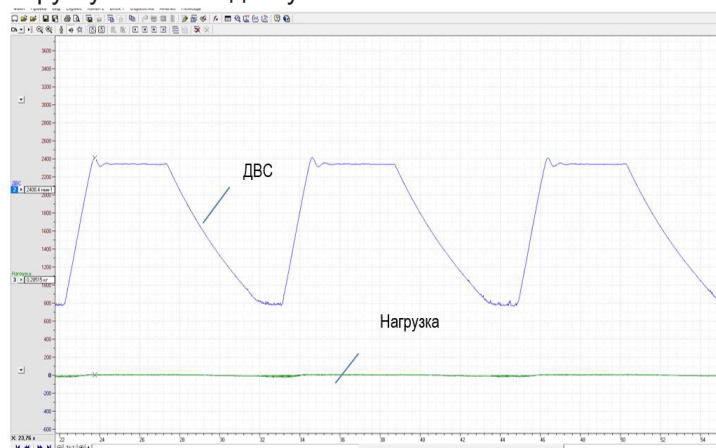


Рис. 3 – Запись переходных характеристик двигателя Д-245-35 на модернизированном стенде КИ-5543 ГОСНИТИ (холостой ход)



Рис. 4 – Запись переходных характеристик двигателя Д-245-35 на модернизированном стенде КИ-5543 ГОСНИТИ (под нагрузкой)

Использование программного комплекса позволяет проводить как анализ полученных данных, так и их математическую обработку. С целью автоматизированного построения характеристик данные с АЦП были сохранены в формате txt. Фрагмент записанных данных приведен ниже:

Блок 1 Title:

ADC: E-140

Started: 05.05.2017 14:37:41

Channels: 2

Rate: 50

Step: 0, 02

Duration: 5,64

Size: 282

Время, s	ДВС, мин-1	Нагрузка, кг
0,38	1650,4	-4,032
0,4	1666,3	-2,554
0,42	1681,25	-1,236
0,44	1695,475	0,324
0,46	1707,475	2,382
0,48	1720,75	3,534
0,5	1731,9	6,068

Данные могут быть импортированы в программы EXEL и другие программы для математической обработки и построения диаграмм в соответствии с задачами исследований. Таким образом, можно получить характеристики испытуемых двигателей как по стандартным, так и частным методикам.

С целью моделирования различных характеристик ДВС был использован программный комплекс Дизель РК, применение которого позволяет сократить ресурсы времени и материальных средств при проведении испытаний и в ходе научных исследований.

Были проведены опыты по построению различных характеристик. Изначально была получена регулировочная характеристика по углу опереже-

ния впрыска.

Как видно из рисунка 5, для данных скоростного и нагрузочного режимов наиболее выгодным является такой угол опережения начала впрыска топлива, при котором двигатель развивает максимальную мощность и имеет наименьший удельный расход топлива. Значение этого угла на графике характеристики определяется отрезком на оси абсцисс, который ограничен перпендикуляром, опущенным на эту ось из точки перегиба кривой мощности.

В связи с тем, что регулировочную характеристику по углу опережения начала впрыска снимают при постоянной частоте вращения и неизменном положении рейки топливного насоса, часовой расход топлива практически остается постоянным.

Так как часовой расход топлива во время испытаний двигателя постоянен, то удельный расход топлива изменяется в зависимости от угла опережения начала впрыска топлива как функция, обратная мощности. При оптимальном угле опережения начала впрыска топлива для данной частоты вращения двигатель развивает максимальную мощность и имеет наибольшую экономичность.

В случае поздней подачи значительная часть топлива впрыскивается в цилиндр, когда поршень уже миновал ВМТ. Процесс сгорания протекает во время расширения в условиях увеличивающегося объема надпоршневого пространства.

Максимальные давление и температура газов при сгорании становятся меньше, а потери тепла в охлаждающую среду и с отработанными газами увеличиваются. В целом это существенно уменьшает индикаторную мощность двигателя и при незначительном изменении мощности механических потерь снижает механический КПД. Следовательно, при поздней подаче топлива снижается эффективная мощность и ухудшается экономич-



ность работы двигателя.

Если угол опережения начала подачи больше оптимального и топливо впрыскивается слишком рано, то оно вводится в среду сжимаемого воздуха, имеющего пониженные температуру и давление. Период задержки самовоспламенения топлива увеличивается, и к моменту самовоспламенения в камере сгорания накапливается излишнее количество топлива. Вследствие этого, а также из-за сокращения периода видимого сгорания, резко повышается давление и увеличиваются скорость его нарастания по углу поворота коленчатого вала

$\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}$ и максимальное давление цикла p_z .

Ускоренное повышение давления $\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}$ вызывает жесткую работу дизеля. При слишком ранней подаче топлива мощность двигателя уменьшается и удельный расход топлива увеличивается.

Отклонение (увеличение или уменьшение) угла опережения начала впрыска топлива от его оптимального значения вызывает резкое повышение интенсивности износа деталей поршневой группы.

На значение оптимального угла опережения начала впрыска топлива оказывает влияние це-

лый ряд факторов.

Основные из них – частота вращения коленчатого вала, нагрузка двигателя, способ смесеобразования, закон подачи топлива, начальные условия на впуске и выпуске. Например, при повышении частоты вращения коленчатого вала угол опережения начала впрыска должен быть увеличен, а при понижении – уменьшен.

С уменьшением нагрузки падает цикловая подача топлива, снижаются средняя температура цикла и температура стенок камеры сгорания и надпоршневого пространства. Все это способствует увеличению продолжительности запаздывания самовоспламенения топлива. Поэтому, чтобы впрыскивать топливо в среду более нагретого воздуха, угол опережения начала впрыска следует уменьшать.

Таким образом, была реализована методика снятия характеристики, установили и проанализировали закономерности изменения выходных показателей работы двигателя (N_e , G_T , g_e) в зависимости от угла опережения впрыска топлива $\Theta_{впр}$, определили для заданного скоростного режима двигателя оптимальное его значение $\Theta_{впр\text{ опт}}$ (рис. 5)

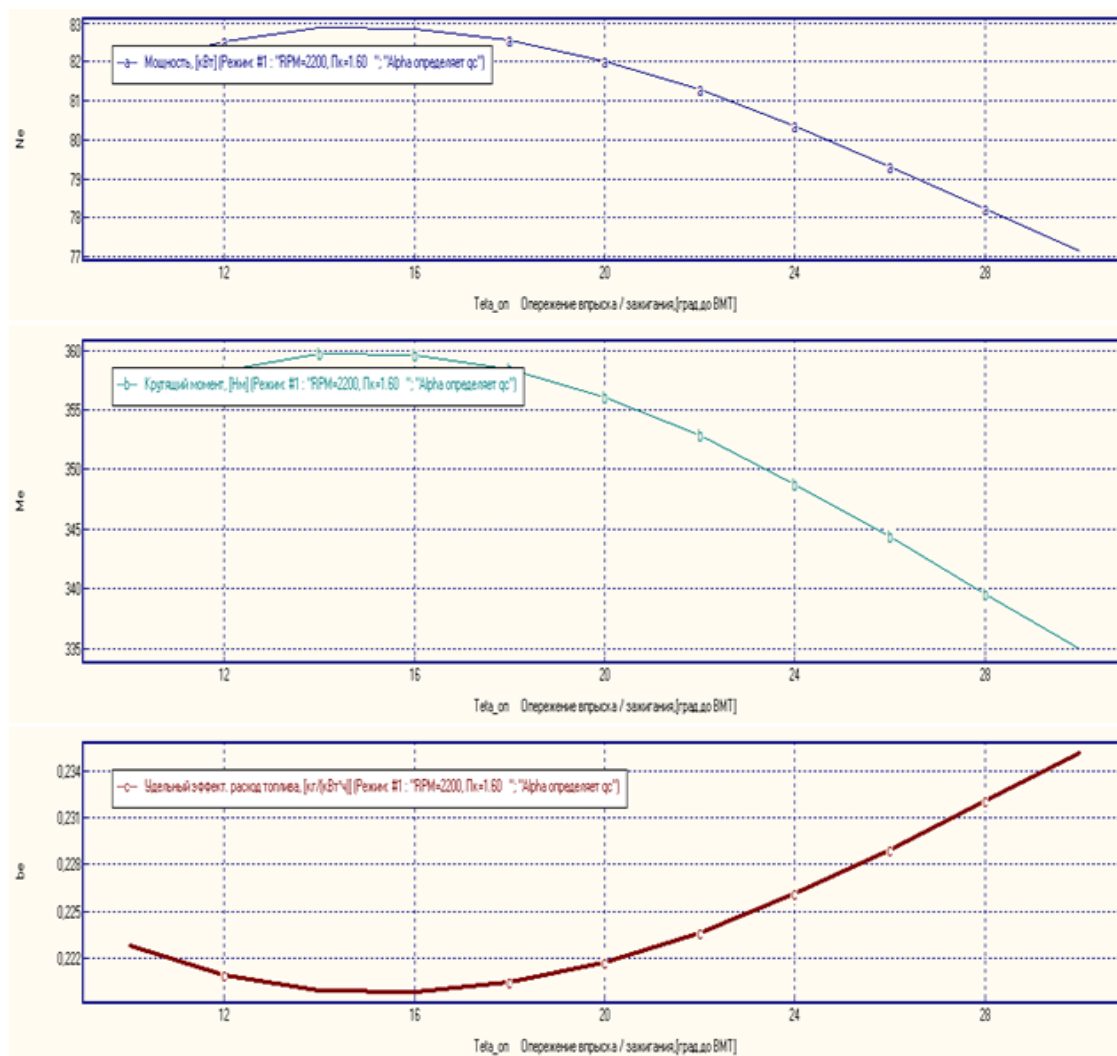


Рис. 5 – Результаты одномерного сканирования при изменении угла опережения впрыска, реализованные в программном комплексе Дизель РК, для двигателя Д-245-35



Также проведены исследования характеристик двигателя в зависимости от степени сжатия; зависимости, полученные при одномерном сканировании, приведены на рисунке 6.

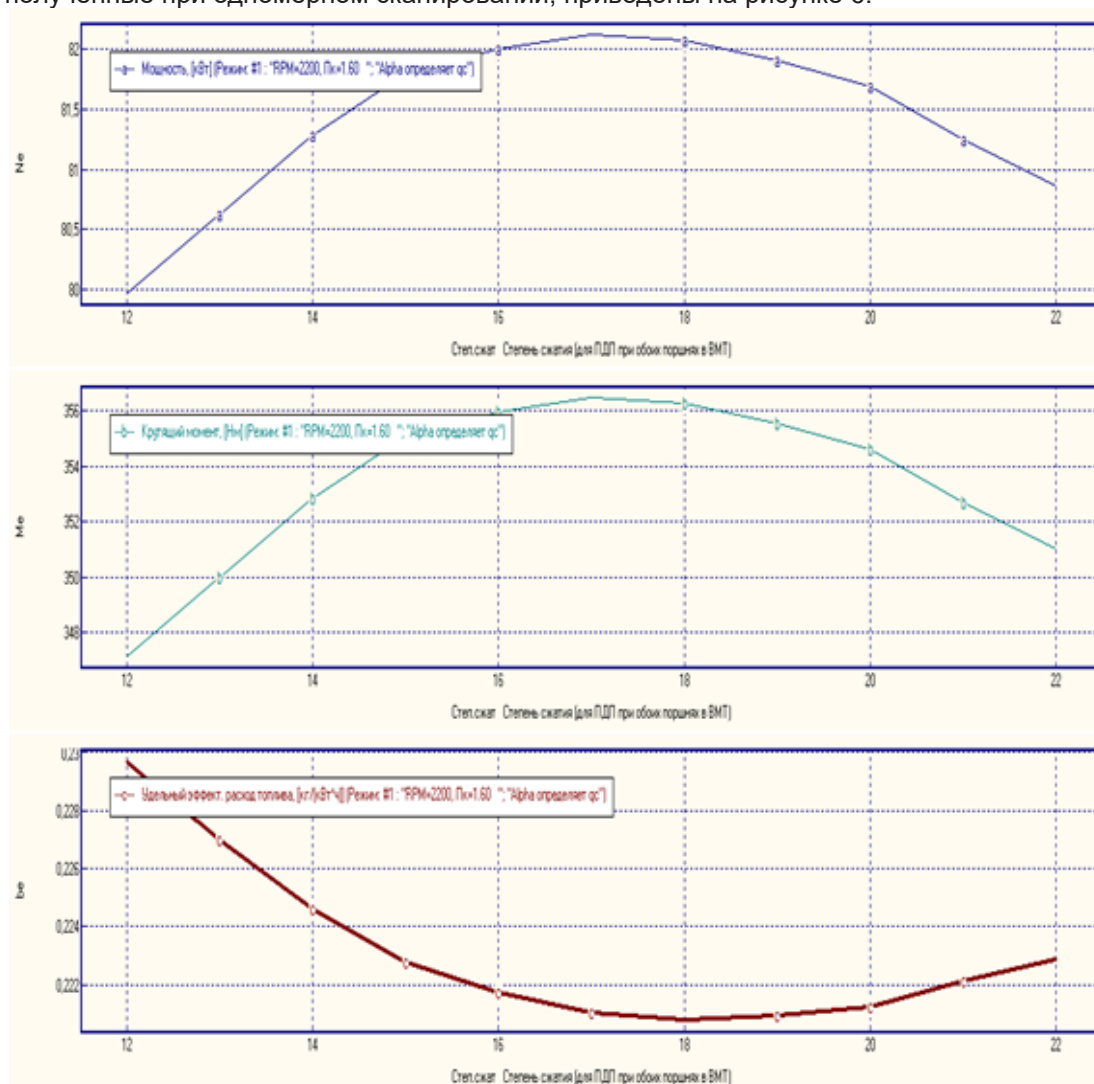


Рис.6 – Результаты одномерного сканирования при изменении степени сжатия, реализованные в программном комплексе Дизель РК, для двигателя Д-245-35

Была получена также регуляторная характеристика двигателя Д-240 (рис 7).

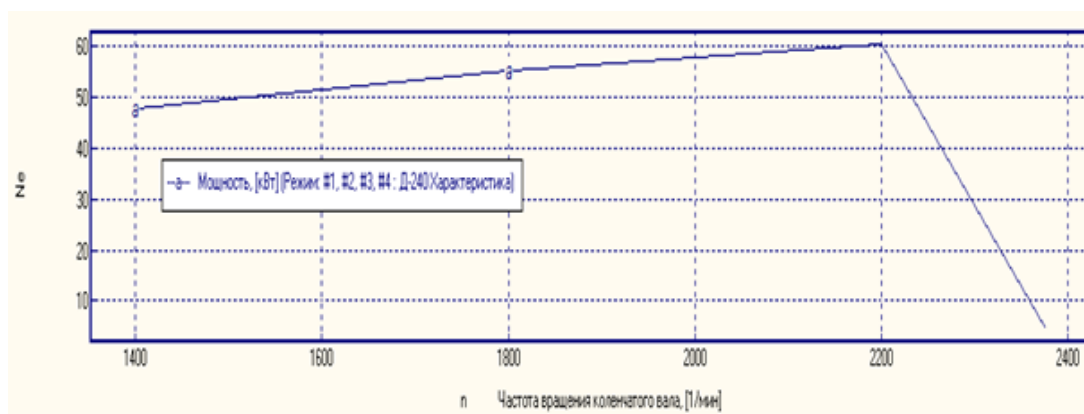


Рис. 7 – Регуляторная характеристика двигателя Д-240

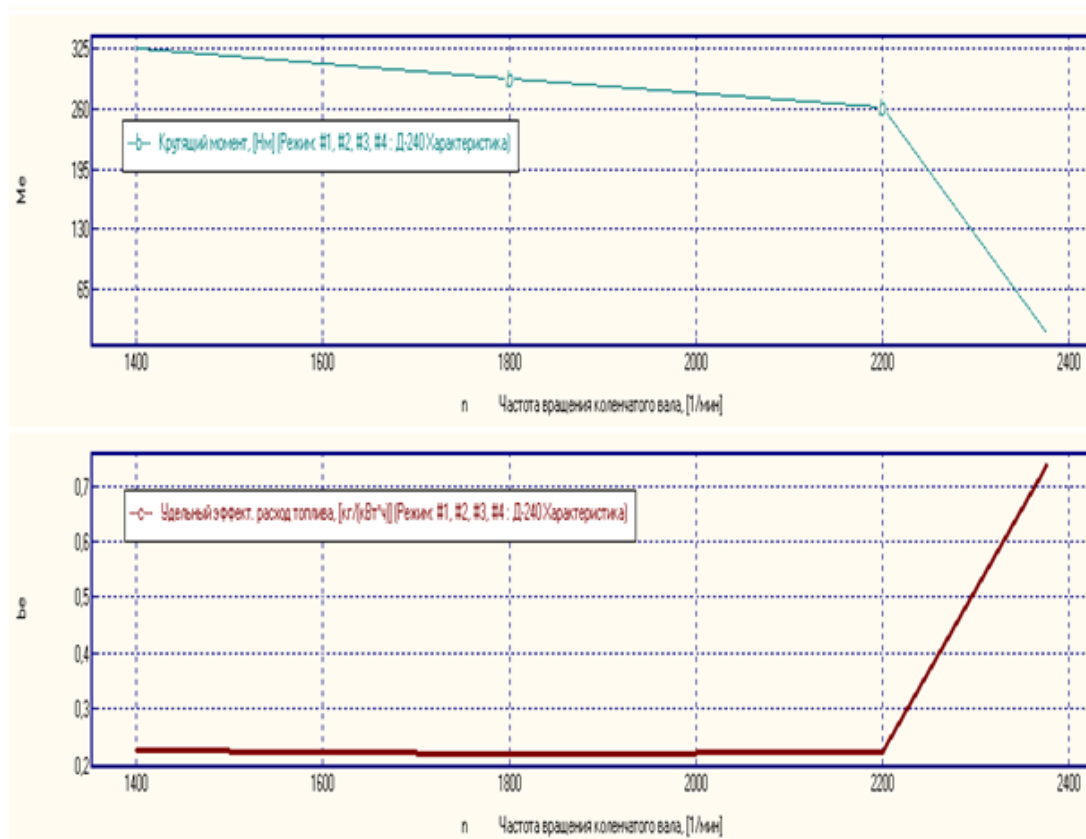


Рис. 7 – Регуляторная характеристика двигателя Д-240

Таким образом, можно отметить, что в настоящее время наиболее перспективным методом, используемым при разработке тракторных двигателей и их систем управления, является испытание и доводка двигателей на современных испытательных стендах и моделирование, в рамках которого элементы системы сопрягаются с компьютерной моделью двигателя и энергетической установки. Такой подход позволяет одновременно проводить проектирование и испытание двигателя и системы управления, что сокращает время научных исследований и разработки и обеспечивает экономию материальных затрат на испытания и доводку системы управления.

Заключение

В ходе выполнения исследований был представлен современный комплекс, позволяющий проводить научное исследование и испытание автотракторных двигателей внутреннего сгорания за счет оснащения современными контрольно-измерительными приборами и компьютерной системой регистрации прямых входных и выходных параметров двигателя на высоком уровне. Применение программного комплекса «Дизель РК» позволило провести разнообразные исследования в области моделирования характеристик двигателя.

Список литературы

1. Доводка поршневого двигателя с помощью математического моделирования рабочего процесса/ Кочев Н.С., Плотиных Л.В.// В сборнике: Труды первой научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. Ответственный редактор А. В. Косты-

лев. 2016. С. 78-80. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26849766>

2. Исследование влияния параметров дизеля на его экономические и экологические показатели Карышев Ю.Д., Свечников А.А. Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 1 (55). С. 79-83. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25732085>

3. Формирование статических характеристик дизельного двигателя /Кузнецов А.Г., Харитонов С.В.// Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2020. № 1 (718). С. 43-50. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41833436> DOI: 10.18698/0536-1044-2020-1-43-50

4. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. Кулешов А.С., Грехов Л.В. Москва, 2000. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

5. Методы оценки работоспособности систем газотурбинного наддува автотракторных двигателей./ Иншаков А.П., Курбаков И.И., Кувшинов А.Н. Саранск, 2015. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25551710>

6. Моделирование рабочего процесса мало-размерного дизеля 4Ч8,5/11 с использованием программного комплекса ДИЗЕЛЬ – РК/ Дадиллов А.С., Габалов Г.М., Алиева Х.Р. //В сборнике: Актуальные вопросы развития транспортной системы. сборник научных трудов международной научно-практической конференции. 2016. С. 73-78. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29856600>

7. Применение программного комплекса



"ДИЗЕЛЬ-РК" при решении задач химмотологии/ Шаталов К.В., Адамов И.Ф. // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2019. № 9. С. 43-47. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41199645>

8. Проектирование топливной аккумуляторной системы дизеля с возможностью управления характеристиками впрыскивания /Грегов Л.В., Бовина С.В. //Евразийский союз ученых. 2017. № 3-1 (36). С. 49-56. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32352629>

9. Программа ДИЗЕЛЬ-РК: моделирование и оптимизация рабочих процессов ДВС /Кулешов А.С., Козлов А.В., Фадеев Ю.М., Барченко Ф.Б. //Двигатель. 2010. Т. 2010. С. 287. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

10. Результаты исследований взаимосвязей показателей работы тракторного дизеля с ГТН с помощью программного комплекса "ДИЗЕЛЬ РК"/ Иншаков А.П., Курбаков И.И., Кувшинов А.Н., Курбакова М.С., Гаранин С.А., Ладиков С.А. //В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов. Саранск, 2017. С. 233-235. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32436626>

11. Совершенствование методов и средств диагностирования турбокомпрессоров двигателей мобильной сельскохозяйственной техники/ Курбаков И.И.// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Саранск, 2014 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24691791>

12. Совершенствование технологии и средств холодной обкатки автотракторных ДВС./ Тимохин С.В., Королев И.С.// Нива Поволжья. 2015. № 1 (34). С. 61-65. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23817168>

13. Усовершенствованный цикл динамического нагружения дизелей при обкатке. /Тимохин С.В., Родионов Ю.В. //Мир транспорта и технологических машин. 2013. № 3 (42). С. 40-46. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20655430>

14. Удаленный доступ к современным программам моделирования рабочих процессов в ДВС и его топливных системах. /Иващенко Н.А., Кулешов А.С., Грегов Л.В., Фадеев Ю.М., Кулешов А.А. //В сборнике: Двигатель-2010. Материалы международной конференции. 2010. С. 255-257. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

15. Model for predicting air-fuel mixing, combustion and emissions in di diesel engines over whole operating range Kuleshov A.S. SAE Technical Papers. 2005. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

16. Multi-zone diesel fuel spray combustion model for the simulation of a diesel engine running on biofuel Kuleshov A., Mahkamov K. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2008. Т. 222. № 3. С. 309. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

17. Optimization of mixture formation and combustion in two-stroke op engine using innovative diesel spray combustion model and fuel system simulation software. Grekhov L., Mahkamov K., Kuleshov A. SAE Technical Papers. 2015. Т. 2015-September. № September. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

18. Use of multi-zone di diesel spray combustion model for simulation and optimization of performance and emissions of engines with multiple injection Kuleshov A.S. SAE Technical Papers. 2006. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43205025> DOI: 10.4271/2006-01-1385

IMPROVEMENT OF METHODS AND MEANS OF TESTING AGRICULTURAL TRACTOR ENGINES

Inshakov Alexander P., doctor of technical sciences, professor department of Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A.I. Leshankina, Ogarev Mordovia State University, kafedra_mes@mail.ru

Uspenskiy Ivan A., doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department "Technical operation of transport", Ryazan state agrotechnological University named after P. A. Kostychev, ivan.uspensckij@yandex.ru

Timokhin Sergey V., doctor of technical Sciences, Professor, Professor of the Department of "Electric power and electrical engineering", Penza state University, timohinsv@gmail.com

Kurbakov Ivan I., Ph.D., Associate Professor of the Department of Mobile Power Means and Agricultural Machines named after Professor A.I. Leshankina, ivankurbakov@mail.ru

Kurbakova Maria S., post-graduate student of the Department of Mobile Energy Facilities and Agricultural Machines named after Professor A.I. Leshankina, m.s.kurbakov@mail.ru Ogarev Mordovia State University.

Problem and purpose. Currently, work on the development of new and modernization of manufactured diesel engines is not possible without conducting laboratory tests, during which various engine characteristics are obtained on stands, and internal combustion engine systems are configured and optimized. In this regard, research aimed at improving the efficiency of internal combustion engine testing by improving testing methods and tools, using PCs and modern software systems, is undoubtedly relevant. Thus, the purpose of the study is to improve methods and means of testing tractor engines. The objectives of this study are to develop an effective methodology and tools for testing the internal combustion engine, modeling its characteristics in software systems, and testing it with the presentation of the results of experimental studies.



Methodology. To perform the research tasks, GOSNITI Ki-5543 stand was upgraded, which allowed expanding its functionality by adding the function of registering fast-moving processes during the test both in idle mode and in loading mode. Using ADC and Power Graph software package as a part of the stand allows to get characteristics of the internal combustion engine depending on various arguments, in particular, on the engine speed. For modeling purposes, program "DIESEL-RK" was used, designed for calculating and optimizing two-stroke and four-stroke internal combustion engines.

Results. In order to determine the efficiency of the proposed methods and tools used for testing internal combustion engines, a number of experiments were conducted in this study. In the result, the characteristics of the transients of the internal combustion engine solved the optimization problem and the simulated characteristics of the engine in DIESEL RK program.

Conclusion. Thus, in the course of the research, a modern complex was presented allowing high-level research and testing of automotive internal combustion engines.

Key words: diesel engine, stand, software package, test, characteristics.

Literatura

1. Dovodka porshneвого двигателя с помозхч'ю математического моделирования рабочего процесса Kochev N.S., Plotnikov L.V. V sbornike: Trudy pervoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii molodyh uchenykh Ural'skogo energeticheskogo instituta. Otvetstvennyj redaktor A. V. Kostylev. 2016. S. 78-80. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26849766>
2. Issledovanie vliyaniya parametrov dizelya na ego ekonomicheskie i ekologicheskie pokazateli Karyshev YU.D., Svechnikov A.A. Vestnik transporta Povolzh'ya. 2016. № 1 (55). S. 79-83. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25732085>
3. Formirovanie staticheskikh harakteristik dizel'nogo dvigatelya Kuznecov A.G., Haritonov S.V. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Mashinostroenie. 2020. № 1 (718). S. 43-50. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41833436> DOI: 10.18698/0536-1044-2020-1-43-50
4. Matematicheskoe modelirovanie i komp'yuternaya optimizatsiya toplivopodachi i rabochih processov dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Kuleshov A.S., Grekhov L.V. Moskva, 2000. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1
5. Metody ocenki rabotosposobnosti sistem gazoturbinnogo nadduva avtotraktornykh dvigatelej./ Inshakov A.P., Kurbakov I.I., Kuvshinov A.N. Saransk, 2015. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25551710>
6. Modelirovanie rabochego processa malorazmernogo dizelya 4CH8,5/11 s ispol'zovaniem programmogo kompleksa DIZEL' – RK Dadilov A.S., Gabalov G.M., Alieva H.R. V sbornike: Aktual'nye voprosy razvitiya transportnoj sistemy. sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2016. S. 73-78. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29856600>
7. Primenenie programmogo kompleksa "DIZEL'-RK" pri reshenii zadach himmotologii SHatalov K.V., Adgamov I.F. Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoj opyt. 2019. № 9. S. 43-47. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41199645>
8. Proektirovanie toplivnoj akkumulyatornoj sistemy dizelya s vozmozhnost'yu upravleniya harakteristikami vpryskivaniya Grekhov L.V., Bovina S.V. Evrazijskij soyuz uchenykh. 2017. № 3-1 (36). S. 49-56. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32352629>
9. Programma DIZEL'-RK: modelirovanie i optimizatsiya rabochih processov DVS Kuleshov A.S., Kozlov A.V., Fadeev YU.M., Barchenko F.B. Dvigatel'. 2010. T. 2010. S. 287. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1
10. Rezul'taty issledovaniy vzaimosvyazey pokazatelej raboty traktorного dizelya s GTN s pomozhch'ю programmogo kompleksa "DIZEL' RK" Inshakov A.P., Kurbakov I.I., Kuvshinov A.N., Kurbakova M.S., Garanin S.A., Ladikov S.A. V sbornike: Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy. Mezhvuzovskij sbornik nauchnykh trudov. Saransk, 2017. S. 233-235. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32436626>
11. Sovershenstvovanie metodov i sredstv diagnostirovaniya turbokompressorov dvigatelej mobil'noj sel'skohozyajstvennoj tekhniki Kurbakov I.I. dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogareva. Saransk, 2014 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24691791>
12. Sovershenstvovanie tekhnologii i sredstv holodnoj obkatki avtotraktornykh DVS./ Timohin S.V., Korolev I.S.// Niva Povolzh'ya. 2015. № 1 (34). S. 61-65. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23817168>
13. Usovershenstvovannyj cikl dinamicheskogo nagruzheniya dizelej pri obkatke. /Timohin S.V., Rodionov YU.V. Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2013. № 3 (42). S. 40-46. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20655430>
14. Udalennyj dostup k sovremennym programmam modelirovaniya rabochih processov v DVS i ego toplivnykh sistemah. Ivashchenko N.A., Kuleshov A.S., Grekhov L.V., Fadeev YU.M., Kuleshov A.A. V sbornike: Dvigatel'-2010. Materialy mezhdunarodnoj konferencii. 2010. S. 255-257. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1
15. Model for predicting air-fuel mixing, combustion and emissions in di diesel engines over whole operating range Kuleshov A.S. SAE Technical Papers. 2005. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1
16. Multi-zone diesel fuel spray combustion model for the simulation of a diesel engine running on biofuel



Kuleshov A., Mahkamov K. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. 2008. T. 222. № 3. S. 309. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

17. Optimization of mixture formation and combustion in two-stroke op engine using innovative diesel spray combustion model and fuel system simulation software. Grekhov L., Mahkamov K., Kuleshov A. *SAE Technical Papers*. 2015. T. 2015-September. № September. https://www.elibrary.ru/author_items.asp?authorid=715916&show_refs=1&show_option=1

18. Use of multi-zone di diesel spray combustion model for simulation and optimization of performance and emissions of engines with multiple injection Kuleshov A.S. *SAE Technical Papers*. 2006. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43205025> DOI: 10.4271/2006-01-1385



УДК 631.347.084.13

10.36508/RSATU.2020.48.4.015

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА ДОЖДЕВАЛЬНЫХ АППАРАТОВ МАШИНЫ «КУБАНЬ-ЛК1»

РЯЗАНЦЕВ Анатолий Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ryazantsev.41@mail.ru

КОСТЕНКО Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, kostenko.mihail2016@yandex.ru

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева

АНТИПОВ Алексей Олегович, канд. техн. наук, зав. кафедрой общетехнических дисциплин, теории и методики профессионального образования Государственного социально-гуманитарного университета, antipov.aleksei2010@yandex.ru

ЕВСЕЕВ Евгений Юрьевич, аспирант кафедры технологии металлов и ремонта машин, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

АНТИПОВ Олег Владимирович, аспирант кафедры технологии металлов и ремонта машин, oleg.antipov@mail.ru

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева

Проблема и цель. В статье отмечается сложность работы дождевальной машины (ДМ) «Кубань-ЛК1» на склоновых землях, определяемых перепадом геодезических высот, вызывающих переполив, особенно в концевой части. Это приводит к нарушению технологического процесса полива из-за снижения тягово-сцепных характеристик последних тележек ДМ, что и послужило целью данного исследования.

Методология. Для достижения цели исследования и ответа на поставленные вопросы было проанализировано обеспечение автоматизированной групповой работы машин с дистанционным управлением, возможность реверсивного движения с поливом и без подачи воды в машину, проходимость на полях с низкой несущей способностью почв. Обосновывается возможность стабилизации расхода в концевой части ДМ дождевальных аппаратов в пределах 1,8-2,0 л/с при установке мембранного регулятора расхода типа Valtec VT.085 (масса ≈ 19,0 Н). При оснащении в указанной части трубопровода регулирующими устройствами большего количества аппаратов (десять и более) материалоемкость в разы возрастет. Приводится расчет по обоснованию соответствующих размеров регулятора с проведением поисковых исследований по их уточнению.

Результаты. Результаты настоящего исследования показали, что для снижения весовых характеристик регулирующего устройства на 50-60 % должна быть задача замены его на более легкую, усовершенствованную, малорасходную модификацию.

Заключение. Отмечается, что проведенные теоретико-поисковые исследования позволили уста-