

DOI
УДК 631.371

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГРУЗКИ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ С ГАЗОТУРБИННЫМ НАДДУВОМ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ И ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ТУРБОКОМПРЕССОРА

Иншаков Александр Павлович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Мобильные энергетические средства и сельскохозяйственные машины имени профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Курбаков Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мобильные энергетические средства и сельскохозяйственные машины имени профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: ivankurbakov@mail.ru

Курбакова Мария Сергеевна, аспирант кафедры «Мобильные энергетические средства и сельскохозяйственные машины имени профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: m.s.kurbakova@mail.ru

Гаранин Сергей Анатольевич, аспирант кафедры «Мобильные энергетические средства и сельскохозяйственные машины имени профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68

E-mail: garanin33@mail.ru

Ключевые слова: двигатель, температура, частота, стенд, турбокомпрессор, загрузка, дизельный, испытательный.

Цель исследований – разработка метода оценки загрузки автотракторного дизеля с газотурбинным наддувом по температуре отработавших газов и частоте вращения вала турбокомпрессора. Разнообразие машин и орудий, используемых в сельском хозяйстве, затрудняет выбор оптимального режима работы мобильных машин из-за ограниченности данных полевых испытаний, в свою очередь эффективность эксплуатации мобильной техники во многом зависит от правильного выбора режима работы её силовой установки. При усложнении техники становится труднее выбирать режим эффективной эксплуатации. В статье предлагается использовать информацию о тепловом состоянии отработавших газов совместно с частотой вращения вала турбокомпрессора. Для проведения исследования выбран двигатель Д-245 Минского моторного завода. Двигатели данной марки в составе машинно-тракторного агрегата не имеют встроенных систем контроля загрузки. Исследования проводились с использованием обкаточного тормозного стенда КИ-5543 ГОСНИТИ, позволяющего нагружать испытуемый дизель во всем диапазоне установившихся скоростных режимов, наиболее характерных для условий эксплуатации. Фиксирование данных осуществлялось с помощью аналогового-цифрового преобразователя и компьютера с установленной программой PowerGraph Professional (версия 3.3.9). Результатами исследований подтверждено, что изменение характера показателей теплового состояния и частоты вращения вала турбокомпрессора происходит в точке номинальной мощности, в условиях возникновения неисправностей мощностные параметры двигателя изменяются, смещается и точка перегиба. Информация о тепловом состоянии двигателя внутреннего сгорания и частоты вращения вала турбокомпрессора может быть использована при построении систем мониторинга показателей мощности двигателя, и в том числе для целей оценки технического состояния двигателя в процессе эксплуатации.

DETERMINATION OF DOWNLOADING OF AUTOTRACTOR DIESEL WITH GAS-TURBINE BACKGROUND ON THE TEMPERATURE OF WORKED GASES AND THE FREQUENCY OF ROTATION OF THE TURBOCOMPRESSOR SHAFT

Inshakov A. P., dr. of techn. sciences, prof. of the department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshankin», FSBEI HE Ogarev Mordovia State University.

430005, Saransk, Bolshevistskaya, 68 str.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Kurbakov I. I., cand of techn. sciences, associate professor of the department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshankin», FSBEI HE Ogarev Mordovia State University.

430005, Saransk, Bolshevistskaya, 68 str.

E-mail: ivankurbakov@mail.ru

Kurbakova M. S., post-graduate student of the department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshankin», FSBEI HE Ogarev Mordovia State University.

430005, Saransk, Bolshevistskaya, 68 str.

E-mail: m.s.kurbakov@mail.ru

Garanin S. A., post-graduate student of the department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshankin», FSBEI HE Ogarev Mordovia State University.

430005, Saransk, Bolshevistskaya, 68 str.

E-mail: garanin33@mail.ru

Keywords: engine, temperature, frequency, test bench, turbo, loaded, diesel, test.

The purpose of the research is to develop a method for assessing the loading of a motor diesel engine with gas turbine supercharging by the exhaust gas temperature and the speed of the turbocharger shaft. The variety of machines and tools used in agriculture makes it difficult to choose the optimal mode of operation of mobile machines due to the limited data of field tests, in turn, the efficiency of operation of mobile equipment depends largely on the correct choice of the mode of operation of its power plant. With the complication of technology becomes more difficult to choose the mode of effective operation. The article proposes to use information about the thermal state of exhaust gases together with the speed of the turbocharger shaft. The D-245 engine of Minsk motor plant was selected for the study. Engines of this brand as part of the machine and tractor unit do not have built-in load control systems. The studies were carried out using the KI-5543 GOSNITI brake test bench, which allows to load the tested diesel in the entire range of the established speed modes, the most typical for the operating conditions. Data recording was carried out using an analog-to-digital Converter and a computer with the installed program PowerGraph Professional (version 3.3.9). The results of the research confirmed that the change in the nature of the thermal state and speed of the turbocharger shaft occurs at the point of rated power, in the conditions of faults, the power parameters of the engine change, and the inflection point shifts. The use of information on the thermal condition of the internal combustion engine and the speed of the turbocharger shaft can be used in the construction of monitoring systems of engine power, including for the purpose of assessing the technical condition of the engine during operation.

Эффективность эксплуатации мобильной техники во многом зависит от правильного выбора режима работы её силовой установки. От режима работы двигателя зависит надежность и экономичность мобильной техники. Опытный оператор мобильной машины интуитивно может выбрать режим загрузки двигателя на уровне 90-100 процентов, добиваясь минимального удельного расхода топлива. При усложнении техники становится труднее выбирать режим эффективной эксплуатации. Часто работа мобильных машин происходит в режиме перегрузки [2, 6, 7].

Цель исследования – разработка метода оценки загрузки автотракторного дизеля с газотурбинным наддувом по температуре отработавших газов и частоте вращения вала турбокомпрессора.

Задача исследования – изучение закономерностей изменения мощностных показателей ДВС с ГТН в условиях регуляторной характеристики с перегрузочной ветвью.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследования был выбран двигатель Д-245 Минского моторного завода, имеющий широко распространение. Двигатели данной марки не имеют встроенных систем контроля загрузки в составе машинно-тракторного агрегата.

Исследования проводились с использованием обкаточного тормозного стенда КИ-5543 ГОСНИТИ, позволяющего нагружать испытуемый дизель во всем диапазоне установившихся скоростных режимов, наиболее характерных для условий эксплуатации. Фиксирование данных осуществлялось с помощью аналогового-цифрового преобразователя и компьютера с установленной программой PowerGraph Professional (версия 3.3.9).

В ходе исследований фиксировалась частота вращения коленчатого вала двигателя, частота вращения вала турбокомпрессора и температура отработавших газов перед турбиной, мощностные показатели двигателя. Измерение частоты вращения коленчатого вала двигателя осуществлялось штатным датчиком. Для измерения частоты вращения вала турбокомпрессора был разработан оптический датчик частоты вращения [3]. Датчик встраивается во впускной коллектор перед компрессорным колесом турбокомпрессора. На компрессорное колесо наносится световозвращающая метка. Фотодиод датчика фиксирует отраженный оптический луч и формирует импульс. Измерение температуры отработавших газов осуществлялось хромель алюмелевой термопарой. Для её крепления был изготовлен переходник. Переходник устанавливался между турбокомпрессором и выпускным коллектором. Использование переходника позволяет измерять температуру газа внутри коллектора [5].

Сигналы с датчиков через АЦП заносятся в ПК, где в дальнейшем обрабатываются в программном комплексе PowerGraph Professional (версия 3.3.9). Использование комплекса позволяет проводить частотную модуляцию сигнала.

Результаты исследований. Построены зависимости частоты вращения коленчатого вала двигателя, температуры отработавших газов от мощности на коленчатом валу двигателя (рис. 1). Из рисунка видно, что на участке от 0 до 67 кВт графики имеют практически линейную зависимость и достигают значений 536°C, а обороты коленчатого вала – 2200 об/мин. На участке перегрузки графики изменяют свой характер, но при этом не изменяют своего вектора.

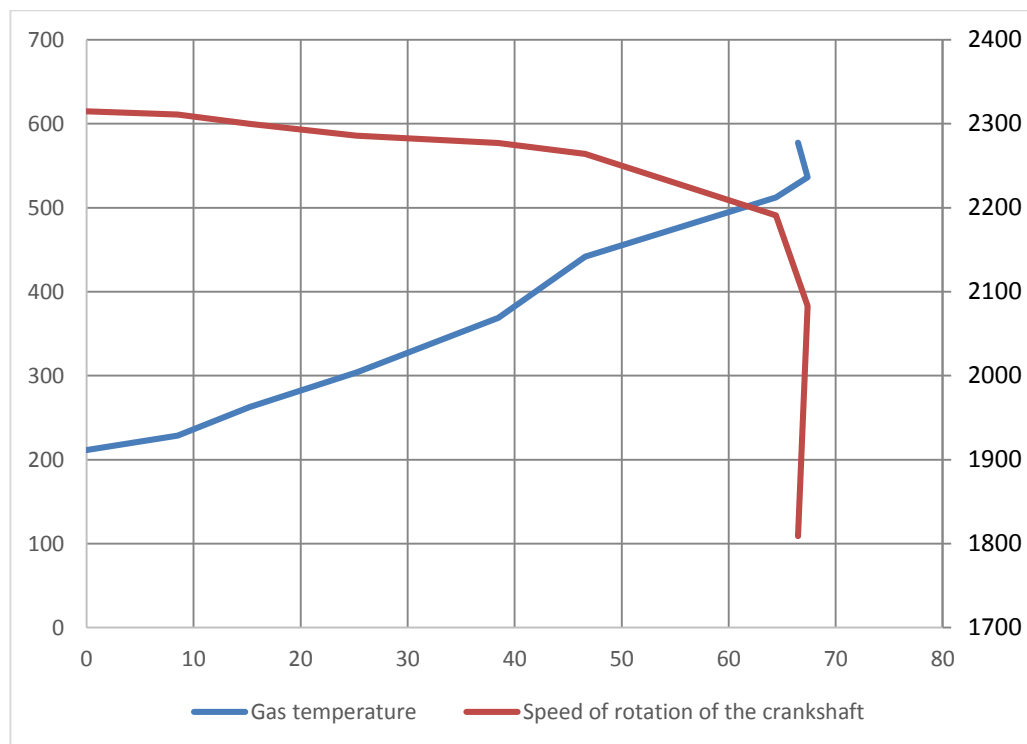


Рис. 1. Зависимость частоты вращения коленчатого вала двигателя, температуры отработавших газов от мощности двигателя ММЗ Д-245

Получены зависимости частоты вращения вала турбокомпрессора и температуры отработавших газов от мощности двигателя ММЗ Д-245 (рис. 2). Зависимости интенсивности нарастания температуры и частоты вращения вала турбокомпрессора на участке от 0 до 67 кВт практически

линейные, температура достигает значений 536°C, а обороты вала турбокомпрессора – 101400 об/мин. На участке перегрузки графики изменяют свой характер, причем изменяется и вектор: для температуры он также возрастает, но с большей интенсивностью, а для частоты вращения вала турбокомпрессора – снижается. Причем для графиков при соблюдении масштабности наблюдается характерное пересечение в точке, соответствующей номинальным оборотам двигателя. В связи с этим авторы статьи предлагают использовать данную особенность в процессе эксплуатации мобильной техники для определения оптимальной загрузки двигателя, оснащенного системой наддува.

Методика получения исходных графиков может быть различной, но на взгляд авторов оптимальным будет метод получения их при пробном проезде трактора с агрегатом, осуществив получение характеристики путем изменения сопротивления рабочей машины, либо изменением скоростного режима (если возможно технологически), причем необходимость измерения тягового сопротивления отсутствует. В практике использования мобильных машин также необходимо учитывать и то, что в процессе работы параметры машины могут изменяться, в том числе и по причине возникновения неисправности [1]. В этой связи, используя данный подход, были получены аналогичные зависимости в условиях развития различных неисправностей двигателя при испытании на стенде
КИ 5543 ГОСНИТИ.

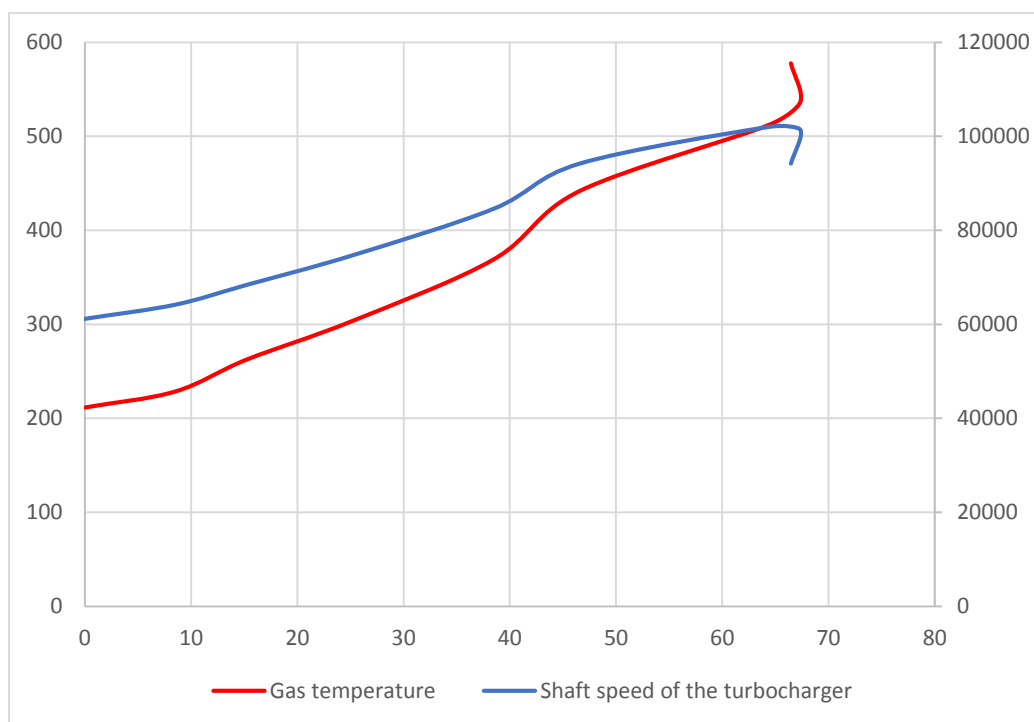


Рис. 2. Зависимость частоты вращения вала турбокомпрессора и температуры газа от мощности двигателя ММЗ Д-245

Построены графики для предельного состояния засоренности воздушного фильтра (рис. 3), полученного при помощи устройства имитации засоренности, разработанного авторами статьи, основанного на принципе дросселирования и динамического измерения разряжения на участке воздушный фильтр – турбокомпрессор. Эксперимент показал, что характер графиков совпадает с таковым для исправного состояния, но при этом точка условного пересечения графиков смещается, снижение частоты вращения вала турбокомпрессора происходит при 96600 об/мин при мощности 61 кВт.

Получены графики для случая некорректной работы байпасного клапана (рис. 4), а именно для случая раннего открытия клапана. Эксперимент показал, что характер графиков совпадает с таковым для исправного состояния, но при этом точка условного пересечения графиков смещается,

изменение вектора частоты вращения вала турбокомпрессора происходит при 61600 об/мин при мощности 61,6 кВт.

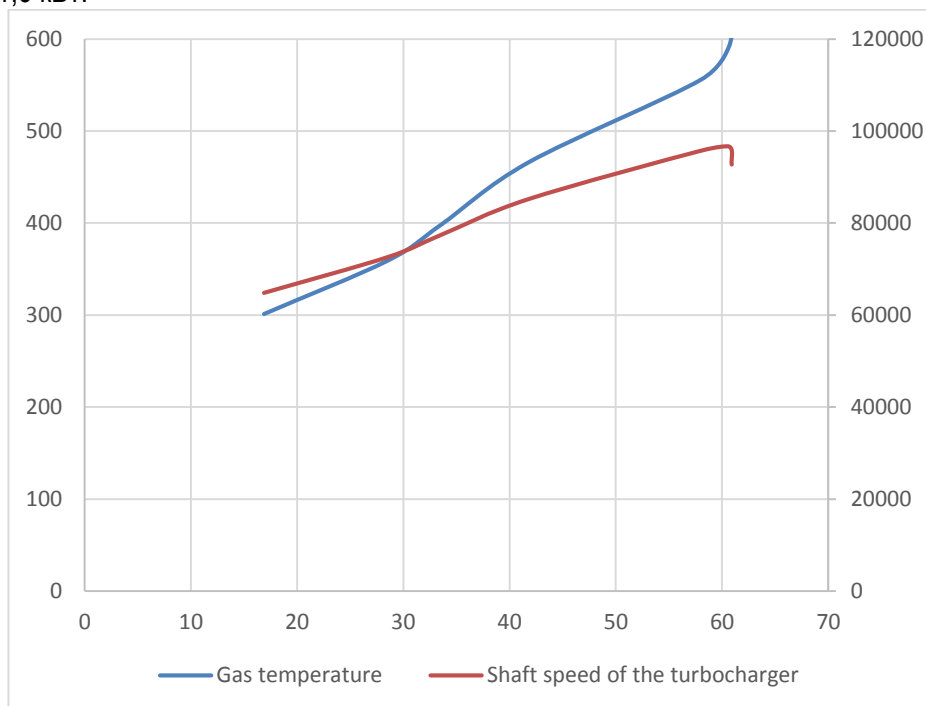


Рис. 3. Зависимость температуры выхлопных газов, скорости вращения вала турбокомпрессора от реализуемой мощности двигателя ММЗ Д-245 при засорении воздушного фильтра

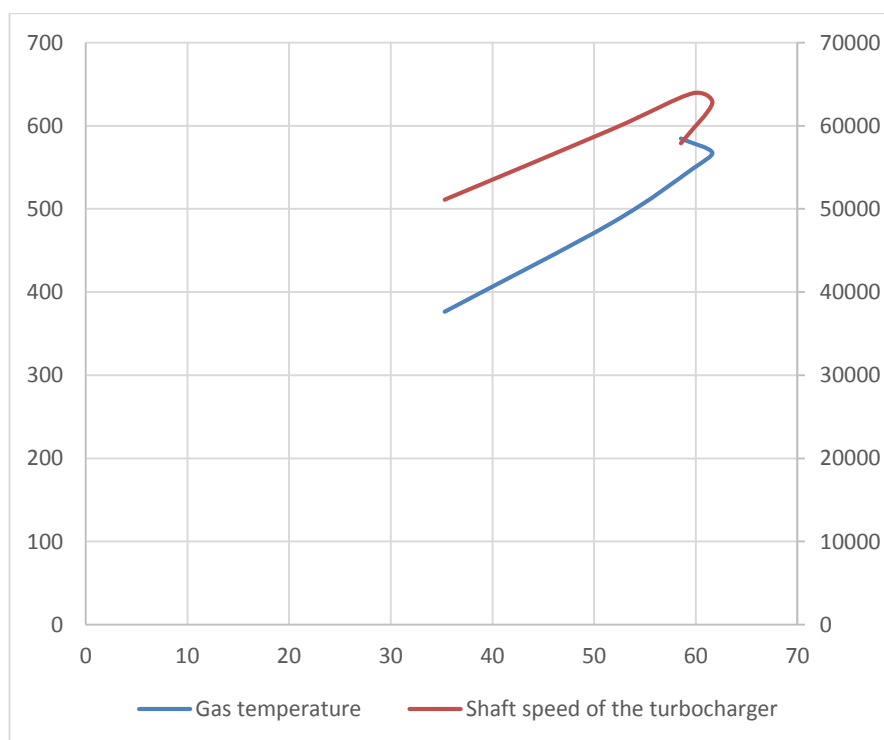


Рис. 4. Зависимость температуры выхлопных газов, скорости вращения вала турбокомпрессора от реализуемой мощности двигателя ММЗ Д-245 с байпасным входом турбины

Графики для случая повышенного противодавления на выпуске (например при засорении сажевого фильтра) представлены на рисунке 5. Имитация неисправности в процессе проведения эксперимента осуществлялась при помощи устройства имитации, основанного на принципе дросселирования и динамического измерения давления газа на участке турбина – сажевый фильтр. Эксперимент показал, что характер графиков совпадает с таковы для исправного состояния, но при

этом точка условного пересечения графиков смещается, изменение вектора частоты вращения вала турбокомпрессора происходит при 61600 об/мин при мощности 61,6 кВт.

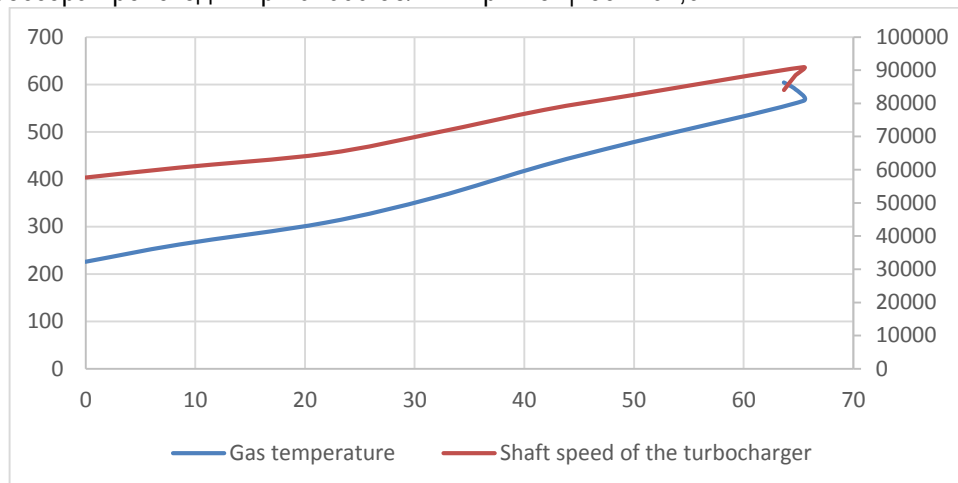


Рис. 5. Зависимость температуры выхлопных газов и скорости вращения вала турбокомпрессора от реализуемой мощности двигателя ММЗ Д-245 при противодавлении в выхлопной системе

Были также проведены эксперименты при наличии утечек газа после компрессора (рис. 6) в результате нарушения герметичности впускного тракта. Данная неисправность была проимитирована путем открытия перепускного клапана, ранее вмонтированного на впуске после компрессора. Эксперимент показал, что характер графиков совпадает с таковы для исправного состояния, но при этом точка условного пересечения графиков смещается, изменение вектора частоты вращения вала турбокомпрессора происходит при 82800 об/мин при мощности 59,1 кВт.

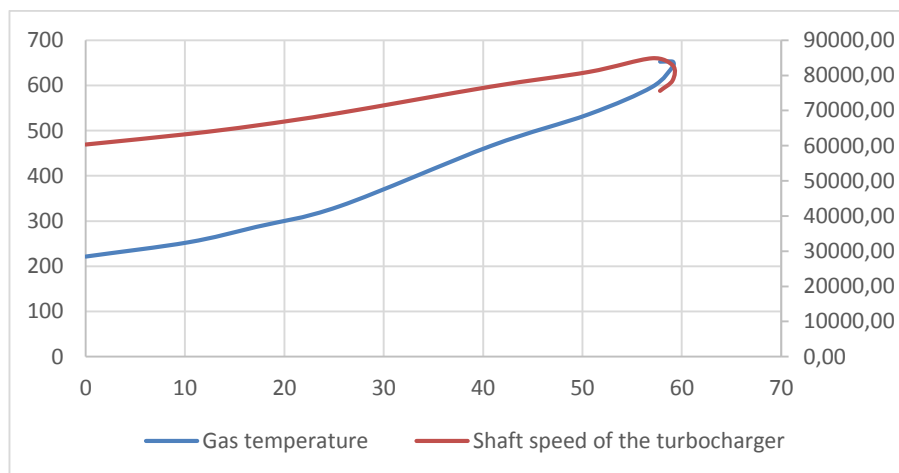


Рис. 6. Зависимость температуры выхлопных газов, скорости вращения вала турбокомпрессора от реализуемой мощности двигателя ММЗ Д-245 при наличии утечек газа после компрессора

Заключение. Использование информации о температуре отработавших газов и частоте вращения вала турбокомпрессора может быть принято в качестве варианта при построении систем мониторинга показателей мощности двигателя, и в том числе для целей оценки технического состояния двигателя в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Иншаков, А. П. Определение неисправностей газотурбинного наддува двигателя / А. П. Иншаков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков [и др.] // Сельский механизатор. – 2018. – № 1. – С. 34-35.
2. Иншаков, А. П. Информационные средства для повышения надежности использования мобильной техники / А. П. Иншаков, С. С. Капитонов, В. А. Филин [и др.] // Сельский механизатор. – 2018. – № 1. – С. 41-43.
3. Иншаков, А. П. Использование динамических характеристик двигателя и турбокомпрессора для диагностирования систем газотурбинного наддува / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, М. С. Курбакова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 34-39.

4. Лянденбургский, В. В. Встроенная система диагностирования турбокомпрессоров дизелей / В. В. Лянденбургский, А.П. Иншаков, И.И. Курбаков [и др.] // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т.7, № 4(29). – С. 84.
5. Иншаков, А. П. Способ диагностирования системы воздухоподачи тракторного дизеля // А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, А. Н. Кувшинов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 67-71.
6. Колпаков, В. Е. Разработка методов и средств теплового контроля мощностных показателей мобильного сельскохозяйственного агрегата / В. Е. Колпаков // Нива Поволжья. – 2016. – № 4 (41). – С. 80-88.
7. Картошкин, А. П. Методологические аспекты научных исследований по созданию способа дистанционного теплового контроля мощностных показателей мобильного сельскохозяйственного агрегата / А. П. Картошкин, В. Е. Колпаков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 39. – С. 309-314.

Bibliography

1. Inshakov, A. P. Determination of faults of a gas turbine boost engine / A. P. Inshakov, A. N. Kuvshinov, I. I. Kurbaakov [et al.] // Selskiy Mechanizator. – 2018. – № 1. – P. 34-35.
2. Inshakov, A. P. Information tools to improve the reliability of the use of mobile technology / A. P. Inshakov, S. S. Kapitonov, V. A. Filin [et al.] // Selskiy Mechanizator. – 2018. – № 1. – P. 41-43.
3. Inshakov, A. P. Use of the dynamic characteristics of the engine and turbocouples-Sora to diagnose supercharging system / A. P. Inshakov, I. I. Kurbaakov, M. S. Kurbakova // Bulletin of the Samara state agricultural Academy. – 2017. – № 3. – P. 34-39.
4. Lyandenburskiy, V. V. The Integrated system of diagnosing turbochargers dizelei / V. V. Lyandenburskiy, A. P. Inshakov, I. I. Kurbaakov [et al.] // The Internet journal Naukovedenie. – 2015. – Vol. 7, № 4 (29). – P. 84.
5. Inshakov, A. P. Method of diagnosing system of air supply tractor diesel // A. P. Inshakov, I. I. Kurbaakov, A. N. Kuvshinov // Bulletin of the Samara state agricultural Academy. – 2014. – № 3. – P. 67-71.
6. Kolpakov, V. E. Development of methods and means of thermal control of power indicators of the mobile agricultural unit / V. E. Kolpakov // Niva Povolzhya. – 2016. – № 4 (41). – P. 80-88.
7. Kartoshkin A. P. Methodological aspects of research on the establishment of SPO-soba remote heat control power indicators mobile agricultural equipment / A. P. Kartoshkin, V. E. Kolpakov // Bulletin of Saint-Petersburg state agrarian University. – 2015. – №39. – P. 309-314.