

УДК 621.43.001.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ

Патов А. Г.¹, Сажаев О. Г.¹, Бурцев А. Ю.²

¹аспирант, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

¹аспирант, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

²к.т.н., доцент, филиал КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово.

Аннотация: В работе рассматриваются аспекты моделирования рабочих параметров современного четырехцилиндрового двигателя с рабочим объемом 1,6 литра. Полученные данные будут полезны разработчикам современных систем автотракторных средств.

Ключевые слова: система турбонаддува, турбокомпрессор, моделирование, исследование, визуализация, графики.

Abstract: The paper examines aspects of modeling the operating parameters of a modern four-cylinder engine with a working volume of 1,6 liters. The obtained data will be useful to developers of modern automotive and tractor systems.

Keywords: turbocharging system, turbocharger, modeling, research, visualization, graphs.

Актуальность вопроса. Современный уровень техники предполагает развитие по пути моделирования всех без исключения систем [1, 2]. Так, например двигатель и его механизмы до мельчайших элементов проработаны в таких программах как: Ansys, Patran, MATLAB Simulink и др. [3, 4]. Практически в каждом вузе имеются специальные программы для расчета разнообразных частных задач [5, 6]. Так, задача вращающегося вала в подшипнике с гидродинамической смазкой, решается в различных приложениях частных разработок [7, 8, 9]. Расчет представляет собой значительную сложность, т.к. центр вала совершает относительное движение с эксцентриситетом вокруг подшипника турбокомпрессора [10, 11]. Кроме того, сложно рассчитать гидродинамические давления в слое смазки [12, 13, 14]. Нужно учитывать демпфируемость слоя масла, внутреннее трение, сжимаемость масла, изменение динамической вязкости и др. [15, 16]. Помимо этого, изменение зазора в подшипнике приводит к разбалансировке системы [17, 18]. Изменяется внутреннее трение, шероховатость поверхностей, возникает коксование рабочих каналов и зон трения [19, 20]. Учесть все изменения довольно сложно, поэтому вводятся различные ограничения в модели [21, 22]. Целью исследования является моделирование рабочих процессов турбокомпрессоров сельскохозяйственной техники для возможности сравнения с результатами эксперимента.

Материалы и методы. Перед процессом моделирования необходимо задаться начальными условиями [23, 24]. В качестве объекта расчетов выбран

4-х цилиндровый, рядный двигатель с рабочим объемом 1,6 литра. Выходная мощность бензинового двигателя равна – 87,7 кВт [25].

После введения основных расчетных параметров запускается расчет и на выходе получаются многомерные и линейные графики для отработки реальной картографии автотракторных средств. Так, первый трехмерный график, который выдает программа MATLAB Simulink называется результаты динамометрического испытания в установившемся режиме (Dynamometer Steady State Results) (рисунок 1).

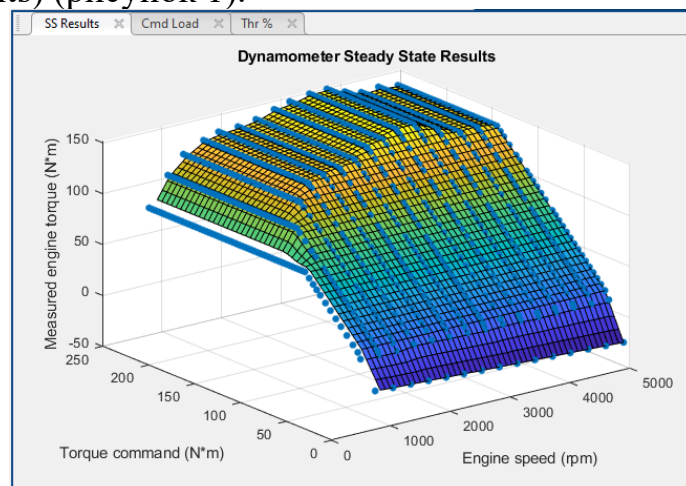


Рисунок 1 – Трехмерный график измеренного крутящего момента двигателя (Measured engine torque), Н·м в зависимости от программно (командой) заданного крутящего момента ДВС (Torque command), Н·м и частоты вращения коленвала ДВС (Engine speed), мин⁻¹

Как видно из рисунка 1, график представляет собой плавно возрастающий тренд объемной поверхности с изменением частоты вращения коленчатого вала ДВС. Пиковые значения крутящего момента двигателя приходятся на скоростной режим – 3500 мин⁻¹. По мере плавного роста программно (командой) задаваемого крутящего момента ДВС медленно возрастает измеренный крутящий момент двигателя. На пиковых значениях частоты вращения коленвала ДВС крутящий момент несколько уменьшается.

После чего реализуется функция построения таблицы командной нагрузки (Commanded Load Table) (рисунок 2).

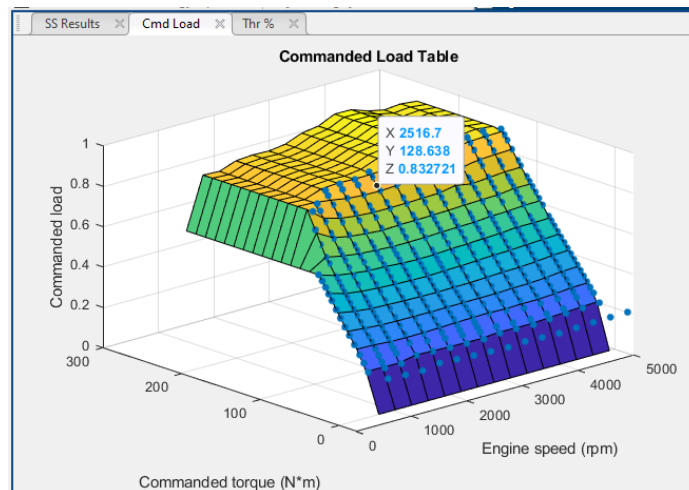


Рисунок 2 – Трехмерная зависимость таблицы командной нагрузки (Commanded Load Table) от программно (командой) заданного крутящего момента ДВС (Torque command), Н·м и частоты вращения коленвала ДВС (Engine speed), мин⁻¹

Как видно из рисунка 2, максимальная величина командной нагрузки не превышает значения 1,0. Характеристика на рисунке 2 во многом повторяет поверхность рисунка 1. В матрице программируемых данных электронного блока управления удобно, чаще всего, записывать относительные единицы. В остальном, все данные также как и с рисунком 2 могут быть загружены в рабочие матрицы и реализованы в любом автотракторном средстве при его реальной работе.

На следующем этапе расчетов, в программе MATLAB Simulink реализуется трехмерная поверхность таблицы процентов площади открытия дроссельной заслонки (Throttle Area Percent Table) от командной нагрузки (Commanded Load Table) и частоты вращения коленвала ДВС (Engine speed), мин⁻¹ (рисунок 3).

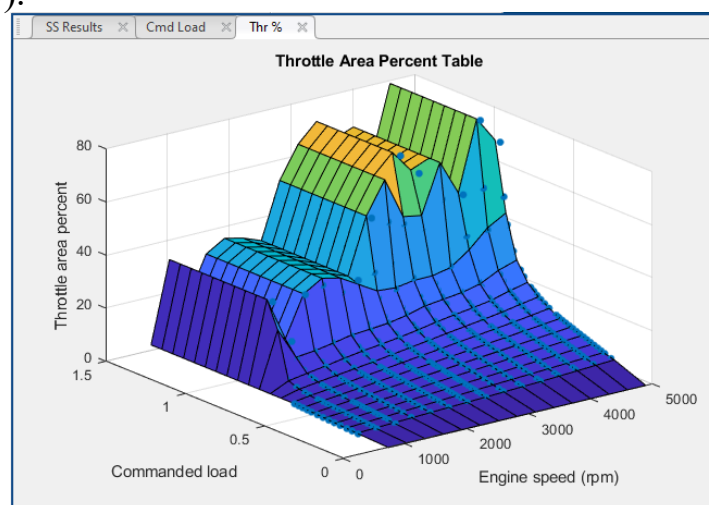


Рисунок 3 – Трехмерная поверхность таблицы процентов площади открытия дроссельной заслонки (Throttle Area Percent Table) от командной нагрузки (Commanded Load Table) и частоты вращения коленвала ДВС (Engine speed), мин⁻¹

Как видно из рисунка 3, процент открытия дроссельной заслонки изменяется сложным образом в зависимости от требуемых условий работы. Максимум открытия наблюдается в зоне близкой к максимальным значениям частот вращения коленчатого вала ДВС. Данная характеристика может быть программно заложена в реальную карту управления ДВС.

Выводы: Установлена необходимость моделирования процессов работы ДВС в программе MATLAB Simulink. Полученные данные могут использоваться в качестве исходных матриц для алгоритмов управления системами ДВС. Многомерные графики позволяют активно управлять многочисленными взаимосвязанными процессами. Полученные данные могут использоваться программистами и разработчиками программного обеспечения современных автотракторных средств.

Список литературы

1. Forecasting the Passage Time of the Queue of Highly Automated Vehicles Based on Neural Networks in the Services of Cooperative Intelligent Transport Systems / V. Shepelev, S. Aliukov, S. Zhankaziev [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 282. – DOI 10.3390/math10020282. – EDN RGEZLG.
2. The Role of Reverse Logistics in the Transition to a Circular Economy: Case Study of Automotive Spare Parts Logistics / I. Makarova, K. Shubenkova, P. Buyvol [et al.] // FME Transactions. – 2021. – Vol. 49, No. 1. – P. 173-185. – DOI 10.5937/FME2101173M. – EDN PXKYDE.
3. Gritsenko, A. V. Diagnostics of the fuel supply system of auto ICEs by the test method / A. V. Gritsenko, V. D. Shepelev, I. V. Makarova // Journal of King Saud University. Engineering Sciences. – 2021. – DOI 10.1016/j.jksues.2021.03.008. – EDN RXLLVJ.
4. Совершенствование технологии и средств выполнения зерноуборочных процессов в сельском хозяйстве / С. Д. Шепелев, А. М. Плаксин, А. В. Гриценко [и др.]; ЮУрГАУ, Институт агроинженерии. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2018. – 256 с. – ISBN 978-5-88156-809-2. – EDN YNNUZF.
5. Взаимосвязь показателей, определяющих уровень технико-технологической оснащенности процессов в растениеводстве / А. М. Плаксин, И. Ганиев, А. В. Гриценко, К. В. Глемба // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 12(99). – С. 194-199. – EDN THAMWJ.
6. Снижение токсичности отработавших газов дизельного двигателя путем отключения части его цилиндров / В. Н. Кожанов, А. А. Петелин, А. В. Гриценко, В. Д. Шепелев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 34-44. – DOI 10.14529/engin180204. – EDN XREQWL.
7. Патент № 2474805 С1 Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Способ диагностирования выпускного тракта поршневых двигателей внут-

ренного сгорания: № 2011139288/06: заявл. 26.09.2011: опубл. 10.02.2013 / С. С. Куков, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов. – EDN XNXMZХ.

8. Плаксин, А. М. Система смазки турбокомпрессора с электронным управлением / А. М. Плаксин, А. Ю. Бурцев, А. В. Гриценко // АПК России. – 2015. – Т. 73. – С. 90-98. – EDN SKCKED.

9. Environmental Control and Test Dynamic Control of the Engine Output Parameters / A. Gritsenko, V. Shepelev, G. Salimonenko [et al.] // FME Transactions. – 2020. – Vol. 48, No. 4. – P. 889-898. – DOI 10.5937/fme2004889G. – EDN YHIYOU.

10. Бурцев, А. Ю. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров дизелей тракторов / А. Ю. Бурцев, А. М. Плаксин, А. В. Гриценко // Достижения науки - агропромышленному производству: МАТЕРИАЛЫ LIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ / Под редакцией П.Г. Свечникова. Том II. – Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2015. – С. 27-33. – EDN TVGLST.

11. Способ и стенд для диагностирования турбокомпрессора ТКР-11 / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин, И. Ганиев [и др.] // Вестник Таджикского технического университета. – 2014. – № 4(28). – С. 92-97. – EDN TYWIAL.

12. Гриценко, А. В. Контроль расхода масла современных турбокомпрессоров автомобиля КАМАЗ / А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев, И. Х. Гималтдинов // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса: Научные труды Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Мудрова П.Г., Казань: Казанский ГАУ, 2021. – С. 137-144. – EDN CTLGOB.

13. Методы снижения токсичности и экологичность современных автомобилей / Н. Н. Русакова, В. Е. Уланов, А. В. Гриценко, И. Х. Гималтдинов // Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: Научные труды 2-ой Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Ю.И. Матяшина, Казань: Казанский ГАУ, 2022. – С. 285-291. – EDN BRNVAB.

14. Gritsenko, A. V. Development of Measures to Prevent Surging Turbochargers of Cars / A. V. Gritsenko, V. D. Shepelev, A. V. Samartseva // Proceedings of the 4th International conference on industrial engineering ICIE 2018 : Lecture notes in mechanical engineering, Москва, 15–18 мая 2018 года. – Москва: Springer International Publishing, 2019. – P. 861-871. – DOI 10.1007/978-3-319-95630-5_90. – EDN YTKKVV.

15. Индивидуальный газоанализ и его особенности при тестовом диагностировании / А. В. Гриценко, Г. Н. Салимоненко, И. Х. Гималтдинов [и др.] // АПК России. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 28-38. – EDN BVAPDV.

16. Бурцев, А. Ю. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров дизелей тракторов / А. Ю. Бурцев, А. М. Плаксин, А. В. Гриценко // АПК России. – 2015. – Т. 72, № 1. – С. 23-25. – EDN TTUAVF.

17. Parameters of internal combustion engine efficiency while introducing additives in the oil / A. Gritsenko, E. Zadorozhnaya, V. Shepelev, I. Gimaltdinov //

Tribology in Industry. – 2019. – Vol. 41, No. 4. – P. 592-603. – DOI 10.24874/ti.2019.41.04.11. – EDN VBRZHC.

18. Gritsenko, A. V. A study of the environmental qualities of diesel engines and their efficiency when a portion of their cylinders are deactivated in small-load modes / A. V. Gritsenko, K. V. Glemba, A. A. Petelin // Journal of King Saud University. Engineering Sciences. – 2021. – Vol. 33, No. 1. – P. 70-79. – DOI 10.1016/j.jksues.2019.12.001. – EDN FICNSG.

19. Гриценко, А. В. Исследования выбега ротора турбокомпрессора ТКР-11 / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин, А. Ю. Бурцев // Агропродовольственная политика России. – 2015. – № 1(37). – С. 52-55. – EDN TNZBZL.

20. Гриценко, А. В. Метод диагностирования газораспределительного механизма по параметрам расхода воздуха и фаз газораспределения ДВС / А. В. Гриценко // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2012. – Т. 62. – С. 32-34. – EDN PETYUH.

21. Повышение надежности турбокомпрессоров автотракторной техники применением гидроаккумулятора / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 8(95). – С. 176-180. – EDN SNFCPB.

22. Гриценко, А. В. Концепция развития методов и средств диагностирования автомобилей / А. В. Гриценко // Достижения науки - агропромышленному производству: ЛП Международная научно-техническая конференция, Челябинск, 24–26 января 2013 года. Том 3. – Челябинск: ЧГАА, 2013. – С. 42-49. – EDN UGUHIX.

23. Гриценко, А. В. Контроль выбега ротора современных турбокомпрессоров автомобиля КАМАЗ / А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев, И. Х. Гималтдинов // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса: Научные труды Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Мудрова П.Г., Казань: Казанский ГАУ, 2021. – С. 128-136. – EDN KGQMKK.

24. The advancement of the methods of vibro-acoustic control of the ICE gas distribution mechanism / A. Gritsenko, V. Shepelev, E. Zadorozhnaya [et al.] // FME Transactions. – 2020. – Vol. 48, No. 1. – P. 127-136. – DOI 10.5937/fmet2001127G. – EDN IXHMGЕ.

25. Повышение долговечности работы турбокомпрессора дизелей применением автономного смазочно-тормозного устройства / А. М. Плаксин, О. Н. Ларин, А. В. Гриценко [и др.] // Инновационный транспорт. – 2016. – № 1(19). – С. 53-57. – DOI 10.20291/2311-164X-2016-1-53-57. – EDN VSUPTB.