

УДК 621.43.001.42

КОНТРОЛЬ РАЗГОННЫХ И ВЫБЕГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

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

¹аспирант, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

¹аспирант, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

¹д.т.н., профессор, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

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

Аннотация: В статье приведены результаты расчета параметров современного тракторного двигателя с турбонаддувом. Полученные данные могут быть полезны конструкторам и разработчикам современных двигателей с турбонаддувом.

Ключевые слова: система турбонаддува, турбокомпрессор, моделирование, разгон, выбег, контроль.

Abstract: The article presents the results of calculation of parameters of a modern turbocharged tractor engine. The obtained data can be useful for designers and developers of modern turbocharged engines.

Keywords: turbocharging system, turbocharger, modeling, acceleration, coasting, control.

Актуальность вопроса. На современных автотракторных средствах самым сложным узлом является турбокомпрессор [1, 2]. Как правило, он расположен периферийно по отношению к подаче масла [3, 4]. В случае значительных утечек масла через зазоры кривошипно-шатунного механизма, до подшипников турбокомпрессора может доходить только малая часть масла при недостаточном давлении [5, 6]. При недостатке смазки для питания подшипников турбокомпрессора, наблюдается повышенный износ поверхностей трения [7, 8, 9]. Перегрев масла в зазорах подшипников турбокомпрессора вызывает его коксование и образование зольных частиц, вызывающих закупорку и приводящих к полным заторам течения масла [10, 11]. Кроме того, внутренние процессы трения связаны с внешними процессами разгона и выбега вала ротора турбокомпрессора [12, 13, 14]. Так, недостаток смазки вызывает замедление времени выбега или увеличение времени разгона вала ротора турбокомпрессора до заданной частоты вращения [15, 16]. Эти процессы сопровождают работу любого двигателя с турбокомпрессором [17, 18]. Учет параметров разгона и выбега позволяет косвенно контролировать техническое состояние турбокомпрессора, а также выхлопной системы на предмет соответствия уровня энергии отработавших газов эталонному значению [19, 20]. На разгонные характеристики вала ротора турбокомпрессора будет значительно влиять сопротивление

выпускного тракта, также как и на выбеговые параметры [21, 22]. В нашем случае примем эталонное значение сопротивления выпускной системы [23, 24]. Тогда время разгона вала ротора турбокомпрессора будет зависеть от энергии отработавших газов, приводящих в движение турбинное колесо [25]. Любые изменения характеристик разгона и выбега будут связаны с техническим состоянием элементов трения. С учетом сказанного, целью исследования является изучение и анализ циклов разгона и выбега турбокомпрессоров при контроле автотракторной техники.

Материалы и методы. Перед началом расчетов были собраны исходные данные по соответствующему трактору: трактор тягового класса - 0,6 тонны, МТЗ БЕЛАРУС 320 (колесная формула 4 x 4). На МТЗ БЕЛАРУС 320 установлен рядный дизель водяного охлаждения, модель – ММЗ-3LD. Мощность, кВт (л. с.) – 26,5 (36). Число цилиндров – 3 шт. Рабочий объем – 1,6 л. Ввод исходных данных для расчета выходных параметров в среде MATLAB Simulink представлен на рисунке 1. Помимо этих двух важных параметра присутствуют другие важные величины для дальнейших расчетов, которые отображены на рисунке 1. Например, пределы изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя, максимальный крутящий момент, инерция ротора турбокомпрессора и другие.

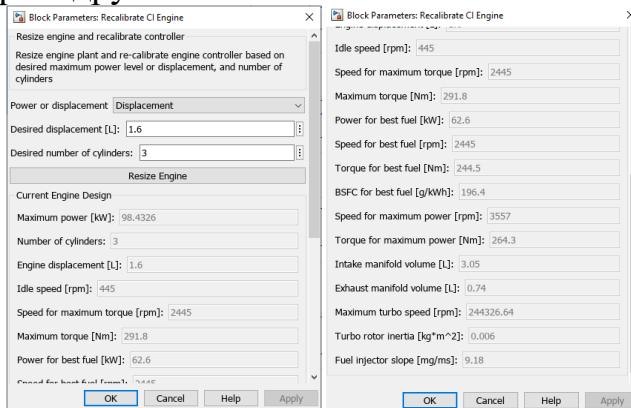


Рисунок 1 – Ввод исходных данных для расчета выходных параметров

После комплексного расчета ряда важных характеристик приложением MATLAB Simulink выводится серия графиков (рисунок 2). Анализ данных на рисунке 2 показывает на ступенчатую схему повышения частоты вращения коленчатого вала ДВС с одинаково выбранным шагом в 250 мин^{-1} . Всего приведено 15 шагов до максимального уровня частоты вращения коленвала ДВС. Как видно из третьего графика рисунка 2, воздухоподача и топливоподача осуществляются ступенчато с сохранением стехиометрического соотношения воздух-топливо. По мере роста абсолютных расходов воздуха и топлива, возрастают пределы изменения крутящего момента (второй график рисунка 2). После 300-ой секунды времени наблюдаются практически одинаковые пилообразные характеристики варьирования крутящего момента. В соответствии с трендами изменения воздухоподачи и топливоподачи, наблюдается ступенчатый рост

характеристики разгона и выбега вала ротора турбокомпрессора (четвертый график рисунка 2).

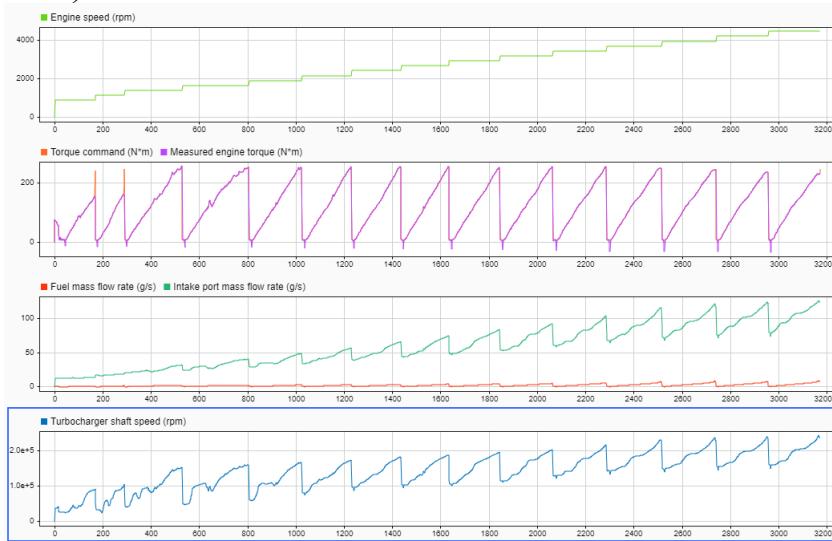


Рисунок 2 – Серия графиков полученная в результате расчета приложением MATLAB Simulink: 1. Изменение частоты вращения коленвала ДВС (Engine speed (rpm)), мин⁻¹ во времени, с; 2. Изменение измеренного крутящего момента ДВС (Measured engine torque), Н·м и командно заданного крутящего момента ДВС (Torque command), Н·м от времени, с; 3. Изменение массового расхода топлива, г/с (Fuel mass flow rate, g/s), г/с и массового расхода воздуха во впускном коллекторе, г/с (Intake port mass flow rate, g/s), г/с от времени, с; 4. Зависимость частоты вращения вала ротора ТКР (Turbocharger shaft speed (rpm)), мин⁻¹ двигателя трактора МТЗ от времени, с

Причем в начале роста значения частот вращения коленвала ДВС наблюдается относительно малый тренд прироста частоты вращения вала ротора турбокомпрессора. Максимум соответствует 87600 мин⁻¹. Разгон осуществляется за 71,5 секунды. Далее следует второй пик разгонной характеристики, который продолжается до точки – 98000 мин⁻¹, что происходит за 56,5 секунды. Третий разгонный пик продолжается до точки – 151215 мин⁻¹, что происходит за 123,8 секунды. Надо сказать, что представленные циклы реализуются плавно и поэтому тренд разгона вала ротора турбокомпрессора также осуществляется плавно. Последний 15 цикл разгона осуществляется до точки – 240000 мин⁻¹ за время 199,4 секунды. На практике можно технически реализовать последовательность разгонных циклов для контроля идентичности во времени. Любые нарушения будут приводить к несоответствию достигаемых параметров отдельных циклов разгона. То же самое можно сказать про циклы выбега вала ротора турбокомпрессора. Так выбег при контроле 1 цикла составляет 6,2 секунды, а выбег 15 цикла составляет – 15,5 секунды. Выбеги осуществляются с разных верхних границ снижения частоты вращения вала ротора турбокомпрессора.

Выводы: В материалах статьи рассмотрена комплексная модель, учитывая все важные параметры влияющие на разгонно-выбеговые характеристи-

стики турбокомпрессора. В результате моделирования тракторного ДВС на базе МТЗ БЕЛАРУС 320 в программе MATLAB Simulink были получены разгонно-выбеговые циклы, проведен анализ и сделаны рекомендации по их использованию. Полученные данные могут быть использованы конструкторами для совершенствования конструкций современных двигателей с турбонаддувом.

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 C1 Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Способ диагностирования выпускного тракта поршневых двигателей внутреннего сгорания: № 2011139288/06: заявл. 26.09.2011: опубл. 10.02.2013 / С. С. Куков, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов. – EDN XNXMZK.
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 Transac-

tions. – 2020. – Vol. 48, No. 4. – P. 889-898. – DOI 10.5937/fme2004889G. – EDN YH1YOU.

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, Челябинск, 29–31 января 2015 года / Под редакцией П.Г. Свечникова. Том II. – Челябинск: ЧГАА, 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. – Р. 861-871. – DOI 10.1007/978-3-319-95630-5_90. – EDN YTAKVV.

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 агротехнической 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: ЛII 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. Гималдинов // 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 IXHMGE.
 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.