

УДК 621.432

КОНЦЕПЦИЯ КОНТРОЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

Гриценко А.В.¹, Бурцев А.Ю.², Шайкемелов А.А.³

¹д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ); профессор кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), г. Челябинск.

²к.т.н., доцент кафедры «Горного дела и техносферной безопасности» филиала Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово.

³аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ), г. Челябинск.

Аннотация. В данной статье представлена концепция обеспечения эксплуатационной надежности современных турбокомпрессоров. Сформированы требования к комплексу средств и методов обеспечения надежности турбокомпрессоров. Проведен анализ мероприятий повышения надежности и их эффективности. Намечены дальнейшие пути развития автотракторных средств с турбонаддувом.

Ключевые слова: двигатель, турбокомпрессор, газотурбинный наддув, концепция, надежность, эксплуатация.

Актуальность исследования. С 90-х годов в тренд вошло требование обеспечения экологичности автотракторных средств [1, 2, 3]. Появились экологические ЕВРО стандарты, которые с каждым последующим годом значительно ужесточались [4, 5, 6]. В настоящий момент разрабатывается экологический стандарт ЕВРО-7, основные положения которого будут введены в действие в 2025 году [7, 8, 9]. Новейший тренд коснется замены автотракторных средств с ДВС на гибридные силовые установки и электрический привод. Евросоюз, Япония, США, Канада и др. к 2040 году принимают стратегию переоснащения всего парка автотракторных средств с ДВС на электропривод [10, 11, 12]. Данный тренд будет реализовываться постепенно в течении предстоящих лет с поддержкой со стороны государства части затрат и освобождения от транспортного налога [13, 14, 15]. Решение проблемы качественной и быстрой зарядки электротранспорта серьезно продвинет темпы обновления [16, 17, 18].

Совместно с экологичностью, как правило, преследуется цель обеспечения высокой экономичности [19, 20, 21]. Существенно повысить экономичность позволяют различные конструктивные инновационные разработки, в том числе совершенствование элементов и систем турбонаддува: система управления турбонаддувом, система охлаждения ТКР, турботаймер, турбокомпаунд и др. [22, 23, 24]. С учетом сказанного, **целью исследования**

является разработка концепции обеспечения эксплуатационной надежности современных турбокомпрессоров.

Материалы и методы. В настоящее время для исключения сухого трения подшипников, повышенного износа и перегрева элементов ТКР активно применяется турботаймер. Правильное использование турботаймера в современных автотракторных ДВС позволяет повысить надежность за счет исключения экстремальных режимов работы ТКР. Однако, при внезапной остановке под нагрузкой ДВС, вынужденной остановке ДВС, при нарушении режимов и правил эксплуатации турботаймер не обеспечивает заявленные гарантированные условия работы ТКР [25]. Тяжелонагруженные с/х автотракторные агрегаты, работающие в условиях стохастичности нагрузок подвержены в значительной мере нарушению режимов оптимального функционирования турботаймера ТКР.

Для активного регулирования подачи воздуха компрессором ТКР применяется система ТКР с изменяемой геометрией. Данная система позволяет осуществлять изменение подачи воздуха независимо от частоты вращения вала ротора ТКР. Процесс регулирования осуществляется автоматически в зависимости от давления наддувочного воздуха во впускном коллекторе. Быстродействие процесса обеспечивается высокочувствительной обратной связью посредством ЭБУ. При стохастичности внешних нагрузок (падении частоты вращения коленчатого вала ДВС и значительном снижении энергии отработавших газов) резко падает эффективность данного способа регулирования подачи воздуха ТКР. Кроме того, в результате коррозии элементы устройства теряют подвижность (вплоть до полного заклинивания и невозможности регулирования).

Для обеспечения принципа независимости процесса поступления масла к подшипнику ТКР и исключения влияния пульсаций давления масла в результате стохастичности нагрузки применяется автономная система смазки ТКР с электрическим масляным насосом. Электродвигатель масляного насоса питается от бортовой системы электроснабжения. Основным преимуществом является обеспечение условий жидкостной смазки вне зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС и стохастичности нагрузки. Недостатком является зависимость от источника электропитания, технического состояния электродвигателя привода насоса, состояния электрических контактов и электропроводки.

Для исключения сухого трения перед запуском ДВС применяется пусковой гидроаккумулятор, который обеспечивает жидкостное трение подшипников ТКР. После запуска ДВС в работу включается рабочий гидроаккумулятор, который снижает пульсации давления масла и также обеспечивает условие жидкостного трения и охлаждения подшипников ТКР при остановке ДВС. Недостатками является конструктивное усложнение системы смазки, увеличение объема циркулирующего масла, рост массово-габаритных параметров системы смазки. Кроме того, значительную сложность представляет согласование гидравлических характеристик

гидроаккумуляторов, параметров их зарядки и разрядки, моментов их срабатывания и обеспечение гарантированных условий смазки и отвода тепла.

При работе любого ТКР велика вероятность возникновения явления помпажа, когда подача значительно превышает расход воздуха. Возникают колебательные процессы движения воздуха вплоть до резонансных значений частот. Высокоамплитудные резонансные колебания надувочного воздуха вызывают перегрузку элементов ТКР, что значительно снижает его ресурс. Для предотвращения возникновения помпажных явлений в нагнетательной части ТКР применяют противопомпажные системы. Их преимуществом является простота конструкции, надежность. Основным недостатком выступает высокая инерционность срабатывания системы.

В настоящий момент активно используются новые материалы: для уменьшения инерционности рабочих колес ТКР они изготавливаются из алюминиевых сплавов и композитных материалов, а турбинные колеса – из керамических материалов. Для изготовления подшипников применяется материалы на основе металлокерамики, которые эффективно удерживают масляную пленку на своей поверхности.

В современной автотракторной технике активно применяются микроконтроллеры с автоматизированной системой управления. Для обеспечения работы ТКР используются электронные системы управления, в состав которых входят ЭБУ, датчики, исполнительные устройства и электропроводка. Электронная система позволяет в режиме реального времени осуществлять процесс управления ТКР в различных условиях эксплуатации. ЭБУ помимо управления может обеспечивать другие важные функции: обратной связи, адаптивности под изменение технического состояния элементов, коррекции параметров и процессов, диагностирования и контроля. Преимуществом системы управления является автоматизация наиболее важных процессов, протекающих при работе ТКР в режиме реального времени. Недостатками выступают: конструктивная сложность, значительная цена, увеличение трудоемкости и стоимости проведения ТО, наличие сложного контрольного оборудования и квалифицированного персонала.

Конструкция ТКР непрерывно совершенствуется, в частности вносятся различные конструктивные изменения в подшипниковый узел. Эти изменения направлены на обеспечение лучших условий смазки, увеличение площади контакта, снижение антифрикционных свойств подшипника, уменьшение температуры смазочного масла и деталей ТКР за счет лучшей прокачиваемости смазочного масла, улучшение прочностных свойств подшипника. Эти разработки существенно повышают надежность ТКР при работе в условиях жидкостной смазки, однако при возникновении внештатных условий и режимов их эффективность значительно снижается.

Кроме того, в конструкции ТКР непрерывно совершаются уплотнения. Их применение позволяет эффективно противодействовать проникновению масла из корпуса подшипника в холодную или горячую часть ТКР, а также исключать прорыв воздуха и отработавших газов в корпус

подшипников ТКР. Несмотря на значительный эффект, достигаемый от применения современных уплотнений, возникают внештатные режимы работы ТКР, которые приводят к нарушению герметичности объемов и как следствие вызывают повышенное старение масла, его подтекание.

В современном автотракторостроении непрерывно ведутся разработки, направленные на совершенствование ТКР и схем их подключения. Широкое распространение получают системы твинтурбо (работающие параллельно), битурбо (работающие последовательно), комбинированные системы турбонаддува. Системы твинтурбо как правило устанавливаются на многоцилиндровых ДВС и обеспечивают общий поток нагнетаемого воздуха из двух параллельных равных потоков. Система битурбо совмещает две последовательно установленные турбины, как правило разных размеров. Вначале установлена турбина меньших размеров, за ней более производительная турбина. Комбинированная система может совмещать в работе несколько турбин с разными типами привода. Например, на низких частотах вращения в работу включается приводной наддув, привод которого осуществляется от коленчатого вала ДВС и исключает возникновение турбоямы. Вместо приводного наддува может использоваться электротурбина, привод которой осуществляется от электродвигателя. Как правило, электротурбина работает на низких и средних значениях частот вращения коленчатого вала ДВС. На повышенных частотах вращения коленчатого вала в работу вступает турбонаддув, приводимый энергией выхлопных газов, и обеспечивает рабочий диапазон включая максимально возможные нагрузки. Преимуществом комбинированной системы является исключение явления турбоямы и обеспечение работы на всех возможных режимах ДВС. Недостатками выступают высокая конструктивная сложность, металлоемкость, значительная цена изделия и высокая стоимость обслуживания, большие массово-габаритные параметры.

Выводы. Анализ тенденций мирового машиностроения указывает на тренд совершенствования автотракторных средств с турбонаддувом. Основой совершенствования выступают экологические требования. В статье разработана концепция обеспечения высокой эксплуатационной надежности турбокомпрессоров. Намечены эффективные мероприятия и проведен их анализ.

Список литературы:

1. Производственный потенциал сельского хозяйства: этапы развития, состояние, проблемы модернизации / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, М. В. Запевалов, Н. В. Костюченков. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2018. – 292 с. – ISBN 978-5-88156-798-9. – EDN XWKBRJ.
2. Формирование инвестиционного механизма в сфере технического сервиса в сельском хозяйстве / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин, Л. А. Солодкина [и др.]. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного

парка Россельхозакадемии, 2013. – 298 с. – ISBN 978-5-98231-012-5. – EDN RYTETV.

3. Патент № 2418190 С2 Российской Федерации, МПК F02M 65/00. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателя: № 2009123798/06: заявл. 22.06.2009: опубл. 10.05.2011 / С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин, А. В. Гриценко; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинский государственный агротехнический университет". – EDN SHGTSI.

4. Test diagnostics of engine systems in passenger cars / A. Gritsenko, V. Shepelev, E. Zadorozhnaya, K. Shubenkova // FME Transactions. – 2020. – Vol. 48, No. 1. – P. 46-52. – DOI 10.5937/fmet2001046G. – EDN SGUWJ.

5. Гриценко, А. В. Результаты экспериментальных исследований пропускной способности электромагнитных форсунок / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 12(75). – С. 120-127. – EDN PNFQWX.

6. Власов, Д. Б. Диагностирование электрических насосов автомобилей / Д. Б. Власов, А. В. Гриценко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 4-1(15-1). – С. 176-180. – DOI 10.12737/13917. – EDN SWFGKN.

7. 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.

8. Технология и методы диагностирования топливных насосов: учебное пособие / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. В. Старунов [и др.]. – Челябинск: ЮУрГАУ, 2022. – 100 с. – ISBN 978-5-88156-898-6.

9. 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.

10. 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.

11. Test diagnostics of engine systems in passenger cars / A. Gritsenko, V. Shepelev, E. Zadorozhnaya, K. Shubenkova // FME Transactions. – 2020. – Vol. 48, No. 1. – P. 46-52. – DOI 10.5937/fmet2001046G. – EDN SGUWJ.

12. 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.

13. 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.

14. 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.
15. Производственный потенциал сельского хозяйства: этапы развития, состояние, проблемы модернизации / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, М. В. Запевалов, Н. В. Костюченков. – Челябинск: ЮУрГАУ, 2018. – 292 с. – ISBN 978-5-88156-798-9. – EDN XWKBRJ.
16. 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.
17. Технология и методы диагностирования топливных насосов: учебное пособие / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. В. Старунов [и др.]. – Челябинск: ЮУрГАУ, 2022. – 100 с. – ISBN 978-5-88156-898-6.
18. Куков, С. С. Диагностирование коренных подшипников кривошипно-шатунного механизма по параметрам давления в центральной масляной магистрали / С. С. Куков, А. В. Гриценко // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 3(30). – С. 143-147.
19. Куков, С. С. Диагностирование коренных подшипников коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания / С. С. Куков, А. В. Гриценко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 3. – С. 27-28.
20. Куков, С. С. Диагностирование системы смазки двигателя внутреннего сгорания / С. С. Куков, А. В. Гриценко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 1. – С. 33-34.
21. 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.
22. 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.
23. 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, 28–29 октября 2021 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 137-144. – EDN CTLGOB.

24. Гриценко, А. В. Диагностирование подшипников кривошипно-шатунного механизма по параметрам давления в центральной масляной магистрали / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Достижения науки - агропромышленному производству: Материалы XLVIII Международной научно-технической конференции, Челябинск, 29–31 января 2009 года. Том 2. – Челябинск: ЧГАУ, 2009. – С. 9-15.

25. 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.