

УДК 621.432

КОНТРОЛЬ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОКОМПРЕССОРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Патов А.Г.¹, Бурцев А.Ю.², Сажаев О.Г.³, Шайкемелов А.А.⁴

¹аспирант кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасность жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

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

³аспирант кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), г. Челябинск.

⁴аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ), г. Челябинск.

Аннотация. В данной статье раскрыты особенности контроля рабочих параметров автотракторных средств с газотурбинным наддувом работающих в сложных условиях. Выбраны оценочные величины параметров масла и вращающегося ротора турбокомпрессора в качестве основных. Выбрана методика оценки уровня исправности турбокомпрессора на основе расчета коэффициента чувствительности. Произведены расчеты для трех вариантов подшипников турбокомпрессора. Сделаны выводы о высоком уровне связи данного коэффициента с техническим состоянием турбокомпрессора.

Ключевые слова: двигатель, турбокомпрессор, газотурбинный наддув, контроль, входные параметры, выходные параметры, эффективность.

Актуальность исследования. Современный автотракторный парк (АТП) активно совершенствуется [1, 2, 3]. В последние годы, в разы возросла сложность основных систем АТП [4, 5, 6]. В этой связи, нужно активно поддерживать прецизионные узлы в технически исправном состоянии [7, 8, 9]. Однако, это не так просто, когда речь идет о непрерывном контроле объектов [10, 11, 12]. Первой задачей контроля является – установление перечня наиболее уязвимых систем и определение мероприятий по контролю [13, 14, 15]. Традиционно, лидирующую позицию по числу отказов занимает топливная система [16, 17, 18]. Однако, при наличии на автотракторном средстве (АТС) газотурбинного наддува, любые проблемы с топливом и маслом быстро отражаются на техническом состоянии турбокомпрессора (ТКР) [19, 20, 21]. Турбокомпрессор очень уязвим при пуске и остановке двигателя, а также других нестационарных режимах [22, 23]. В практике эксплуатации возникает необходимость контроля его основных параметров [24]. К основным параметрам ТКР относятся: температура масла, давление масла, расход масла через подшипники ТКР, скорость вращения вала ротора ТКР и др. [25]. Однако, для оценки ранговой значимости каждого из этих

параметров, требуется введение методических приемов и расчетных подходов для определения уровня приоритетности. Так, например, при оценке технического состояния технических объектов часто используют коэффициент чувствительности, который характеризует уровень связи контролируемого параметра с физической величиной его изменения. Предположительно, данный параметр является базовым для ТКР и может быть использован при анализе. С учетом сказанного, **целью исследования** является разработка методики оценки технического состояния ТКР посредством анализа изменения коэффициента чувствительности как основы достоверного контроля его выходных параметров.

Материалы и методы. Для выполнения теоретической задачи, состоящей в определении коэффициента чувствительности расхода масла через подшипник ТКР от основных рабочих параметров процесса функционирования ТКР рассмотрим материалы работ А. Т. Кулакова и А. С. Денисова. В их исследовании приводится эксперимент с тремя вариантами подшипникового узла ТКР автомобиля КамАЗ (рисунок 1).

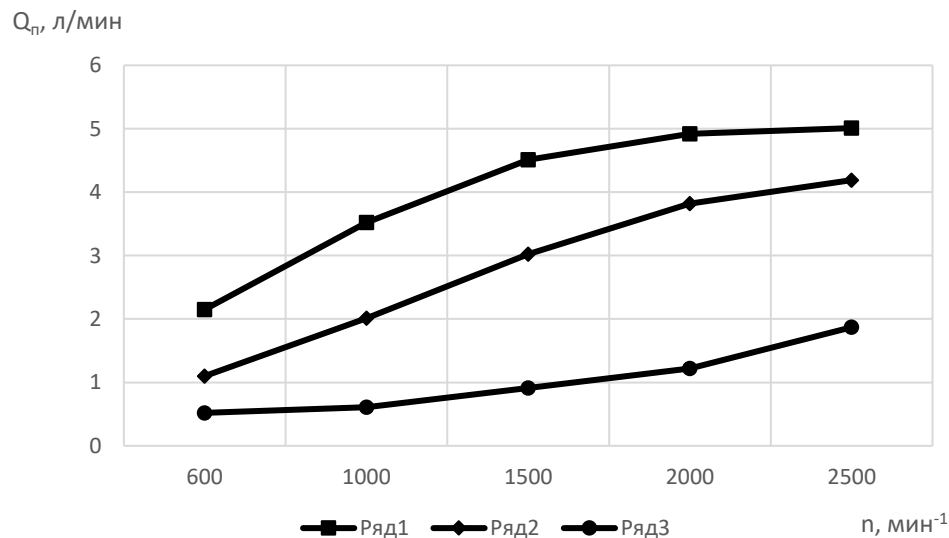


Рисунок 1 – Зависимость параметра $Q_{п}$, л/мин от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹

Как видно из рисунка 1 наибольший расход масла обеспечивается через серийный подшипник. Максимальное значение расхода масла составляет при 2600 мин⁻¹ – 5,01 л/мин. Тогда как другие варианты подшипников показывают меньшее значение расхода. Однако, как установлено нашими исследованиями, не всегда нужно обеспечивать максимальный расход масла. В случае с автономной маслостанцией нужно определиться с пределами изменения величин давления и расхода масла через подшипник ТКР.

Проведем расчет коэффициента чувствительности расхода масла через подшипник ТКР. Для этого возьмем данные из работ Кулакова, Денисова и вычислим пределы изменения варьируемых величин. Необходимо знать величину максимального изменения расхода масла при максимальном

изменении структурного параметра (в данном случае – частоты вращения коленчатого вала ДВС). Расчет выполним по формуле:

$$K_{\text{чс}} = \frac{\Delta Q}{\Delta n} = \frac{Q_{n_{\text{max}}} - Q_{n_{\text{min}}}}{n_{\text{max}} - n_{\text{min}}}, \quad (1)$$

где ΔQ – разность величин расходов масла, л/мин; Δn – разность величин частот вращения вала ротора ТКР, мин⁻¹; $Q_{n_{\text{max}}}$ – значение расхода масла при максимальной величине частоты вращения вала ротора ТКР, л/мин; $Q_{n_{\text{min}}}$ – значение расхода масла при минимальной величине частоты вращения вала ротора ТКР, л/мин; n_{max} – максимальная величина частоты вращения вала ротора ТКР, мин⁻¹; n_{min} – минимальная величина частоты вращения вала ротора ТКР, мин⁻¹.

Подставляя величины из рисунка 1, для серийного узла трения получим:

$$K_{\text{чс}} = \frac{Q_{2500} - Q_{600}}{n_{\text{max}} - n_{\text{min}}} = \frac{5,01 - 2,15}{2500 - 600} = \frac{2,86}{1900} = 0,0015 \text{ л/мин} \cdot \text{мин}^{-1};$$

Рассчитаем коэффициент чувствительности подшипника с усовершенствованным узлом трения:

$$K_{\text{чу}} = \frac{Q_{2500} - Q_{600}}{n_{\text{max}} - n_{\text{min}}} = \frac{4,19 - 1,1}{2500 - 600} = \frac{3,09}{1900} = 0,00162 \text{ л/мин} \cdot \text{мин}^{-1};$$

Проведем расчет коэффициента чувствительности ТКР марки «Швитцер» с современным узлом трения:

$$K_{\text{чш}} = \frac{Q_{2500} - Q_{600}}{n_{\text{max}} - n_{\text{min}}} = \frac{1,87 - 0,52}{2500 - 600} = \frac{1,35}{1900} = 0,00071 \text{ л/мин} \cdot \text{мин}^{-1}.$$

Наибольшую чувствительность показывает вариант с усовершенствованным узлом трения, т.к. пределы варьирования величины расхода масла имеют наибольшее изменение. Худший вариант чувствительности показывает подшипник марки «Швитцер». Важно сказать о том, что изменение чувствительности расхода масла зависит от передаточного отношения масляного насоса и коленчатого вала двигателя. Если передаточное отношение подобрано с учетом реализации более высокой величины давления и расхода масла, то чувствительность будет низкой. Если, наоборот, то чувствительность расхода масла можно значительно увеличить. Но подача масла на минимальных значениях частот вращения коленчатого вала может снизиться до критических значений. Поэтому, в реальной практике проектирования ДВС начальное передаточное отношение подбирается с учетом обеспечения некоторой величины запаса подачи и давления масла. Коэффициент запаса чаще принимает значение 1,5. По мере износа шеек коленчатого вала и подшипников этого запаса хватает на некоторую адаптивность. В тот же момент, когда масляный насос заменяется на автономную маслостанцию, то можно обеспечить любой вариант чувствительности. Но при оценке чувствительности, факт ее большего значения еще не говорит о лучшей прокачиваемости масла и наибольшем отведении тепла из зоны трения. Потому, что можно задать очень высокий уровень начальных значений давления и расхода масла (на холостом ходу работы ДВС), тогда маслоподачи будет достаточно даже для компенсации увеличивающихся зазоров КШМ и в зазоре подшипника ТКР. Однако, при повышенных подачах существенно возрастают потери на внутреннее трение

(вязкое трение) и гидравлическое сопротивление. В случае с автономной маслостанцией можно обеспечить минимально-достаточную подачу масла в зазор подшипника при необходимой величине давления (выше минимально возможной величины).

Выводы. Анализ современного состояния АТП показал на необходимость непрерывного контроля наиболее уязвимых систем, к которым можно отнести газотурбинный наддув. Основой контроля могут выступать следующие параметры: давление масла, температура масла, расход масла, частота вращения вала ротора ТКР и др. Обосновано применение коэффициента чувствительности в качестве основного оценочного параметра. Его использование позволяет быстро и точно определить отклонение технического состояния ТКР от нормативного. Эффект данной методики проявляется в виде увеличения надежности ТКР в эксплуатации.

Список литературы:

1. Производственный потенциал сельского хозяйства: этапы развития, состояние, проблемы модернизации / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, М. В. Запечалов, 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 Российская Федерация, МПК F02М 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 агроинженерный 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 SGRUWJ.
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 SGRUWJ.

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. Запечалов, 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. – P. 861-871. – DOI 10.1007/978-3-319-95630-5_90. – EDN YTKKVV.
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 CTLGОВ.
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.