

CONTROL OF FLOW CHARACTERISTICS THROUGH THE ROTOR BEARING OF THE TURBOCOMPRESSOR K27-145

¹А.Ю. Бурцев, ²А.В. Гриценко,² Ж.С. Рахимов

¹КузГТУ, филиал КузГТУ

²Южно-Уральский государственный аграрный университет

Аннотация: В данной статье приводятся результаты экспериментального исследования расхода масла через подшипник ротора турбокомпрессора. Эксперименты проводились на стенде с турбокомпрессором K27-145. Установлены границы режимов использования турбокомпрессора и рабочие параметры.

Ключевые слова: турбонаддув, диагностический комплекс, подшипник, перегрев, режим, контроль, моделирование.

Введение. Современные сельскохозяйственные тракторы оснащают турбонаддувом. Главной целью которого является обеспечение высоких мощностных показателей при сохранении ресурсных параметров. Исследованием ресурса различных узлов и систем занимались многочисленные научные коллективы [1, 2, 3]. В этих работах были представлены различные модели изменения ресурсных показателей [4, 5, 6]. Рассмотрены факторы, влияющие на ускоренный износ сложнагруженных элементов [7, 8, 9]. В частности, по надежности турбокомпрессоров в ряде работ главными факторами повышенного износа отмечаются высокие нагрузки [10, 11, 12]. Для продления срока службы турбокомпрессоров предлагается большое число мероприятий [13, 14, 15]. Это установка гидроаккумулятора и автономной системы смазки [16, 17, 18]. Множественные работы по совершенствованию подшипниковых узлов турбокомпрессора [19, 20, 21]. Все предложенные мероприятия дают положительный эффект в сложных условиях работы элементов турбокомпрессора [22, 23, 24]. Однако степень влияния каждого из предложенных решений очень различна и требует дополнительных исследований [25, 26, 27]. Особенно в области изменения температурных процессов в слое масла на входе, в зазоре и на выходе из подшипника [28, 29, 30]. Так, например, из исследований в работах А.Т. Кулакова, А.С. Денисова и Н.В. Орлова следует, что на температуру подшипника турбокомпрессора существенное влияние оказывают температура отработавших газов и время дополнительной подачи масла, обеспечиваемой автономной системой смазки рисунок 1.

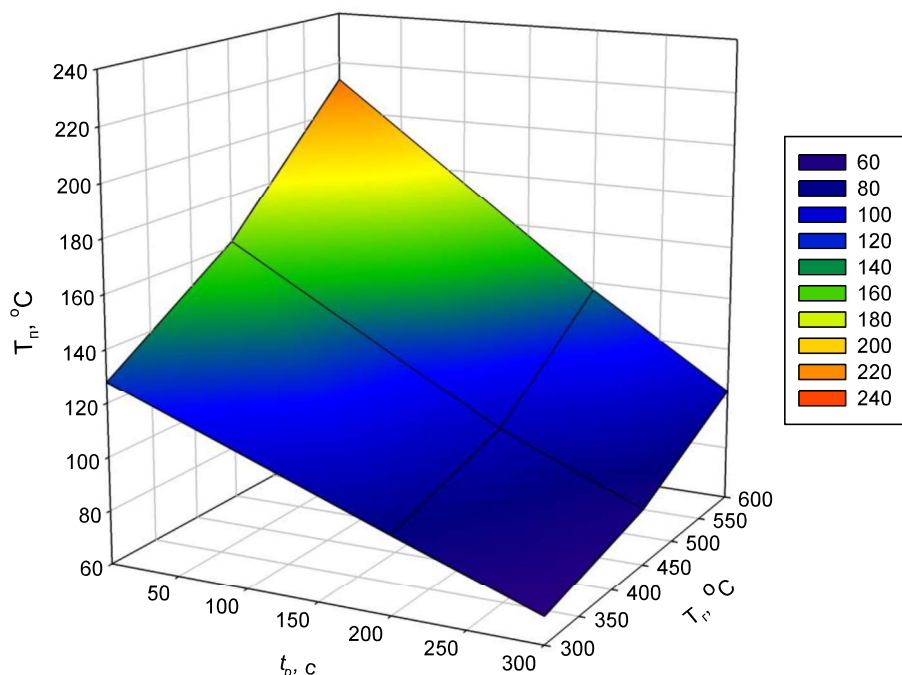


Рис. 1. Взаимосвязь температуры подшипника T_n , °C от температуры отработавших газов T_g , °C и времени дополнительной подачи масла t_p , с с помощью автономной системы смазки

Как видно из рисунка 1 в зоне высоких температур отработавших газов и малых или отсутствующих подключений автономной системы смазки температура подшипника турбокомпрессора достигает максимальных значений – 215...217 °C [30, 33]. Поэтому в эксплуатации важно обеспечить такие условия процесса смазки, чтобы исключить перегрев подшипника и масла [11, 13, 18].

Материалы и методы исследований.

Для проведения комплексных мероприятий по повышению надежности турбокомпрессора был изготовлен комплекс (рис. 2)



Рис. 1. Испытательный комплекс

Испытательный комплекс включает в себя полноразмерный двигатель, выпускную систему, автономную смазочную систему [22, 23]. Для

контроля температурных параметров масла на сливе из турбины был установлен трехпозиционный кран рисунок 3.



Рис. 3 – Трехпозиционный кран

Для того, чтобы не отсоединять соединительные трубки сливной магистрали турбокомпрессора был установлен трехпозиционный кран (рисунок 3) обеспечивающий быстрое переключение потоков со сливной магистрали на контролируемый слив. Где устанавливалась мерная емкость для определения объема масла за заданный временной интервал. В экспериментальной работе применялось турбинное масло Лукойл Люкс турбодизель SAE 10W40 API CF с рабочими параметрами, рекомендуемыми для систем турбонаддува [25, 26, 27]. На испытательном комплексе задавались диапазоны: частоты вращения ротора турбокомпрессора – $25000 \dots 80000 \text{ мин}^{-1}$; давления масла во входной магистрали подшипника – $0,05 \dots 0,5 \text{ МПа}$; температуры масла на входе в подшипник – $0 \text{--} 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$. В данной экспериментальной работе измерения производились при постоянной величине давления масла на входе в подшипник турбокомпрессора – $P_{\text{вх}} = 0,4 \text{ МПа}$, при вариации других параметров. Вариация значений входных параметров задавалась с учетом минимальных и максимальных границ работоспособности. Так, например, частота вращения ротора турбокомпрессора с учетом допусков была выбрана в диапазоне трех значений: 25000 , 50000 и 75000 мин^{-1} , с дискретностью в 25000 мин^{-1} . Температура масла на входе в подшипник задавалась в диапазоне трех значений: 50 , 70 и $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$, с дискретностью в $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Все результаты эксперимента обрабатывались в приложении Sigma Plot.

Анализ и обсуждение результатов.

По полученным экспериментальным данным была построена графическая зависимость времени наполнения мерной емкости объемом 1 литр на сливе ТКР t , с от входной температуры масла в подшипник ТКР $T_{\text{вх}}$, $^{\circ}\text{C}$ и частоты вращения ротора ТКР n , мин^{-1} (при постоянной величине давления масла на входе в подшипник ТКР $P_{\text{вх}} = 0,4 \text{ МПа}$) рисунок 4.

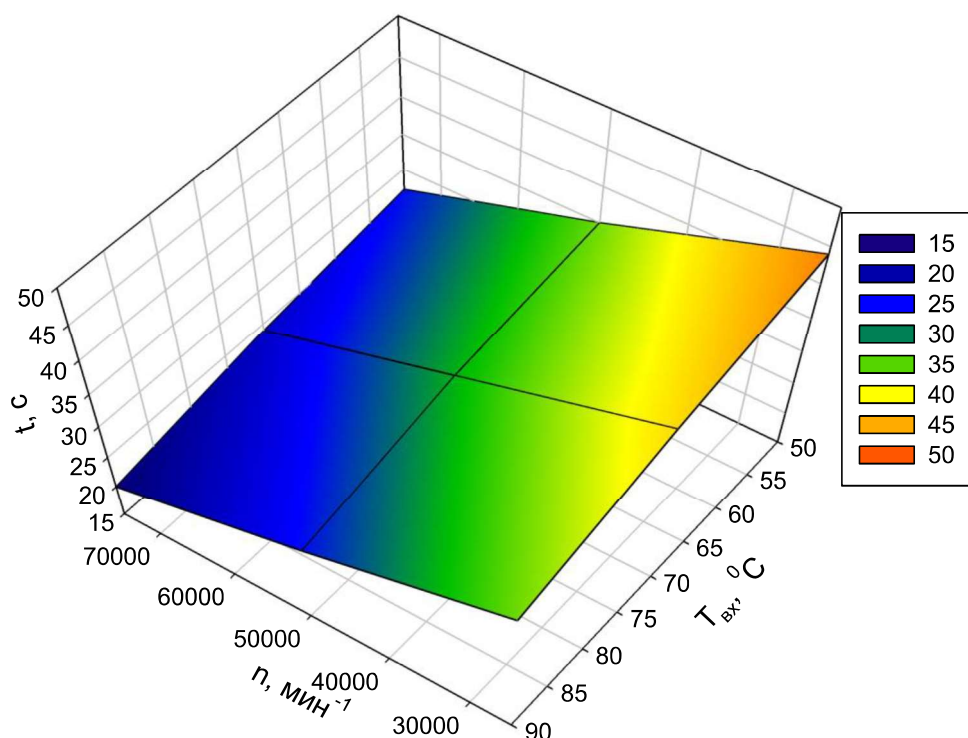


Рисунок 4 – Экспериментальная взаимосвязь расходной характеристики подшипника турбокомпрессора от режимных параметров

Описывая процесс на рисунке 4 полиномом второго порядка с достоверностью аппроксимации $R^2=0,98$ получим:

$$t(n, T_{\text{вх}}) = 54,94 - 0,0004 \cdot n + 0,033 \cdot T_{\text{вх}} + 5,33 \cdot 10^{-10} \cdot n^2 - 0,0017 \cdot T_{\text{вх}}^2, (1)$$

Как видно из рисунка 4 с приростом частоты вращения ротора турбокомпрессора время наполнения заметно снижается (при одной и той же температуре масла). Объяснить динамику снижения можно большим вовлечением масла в зазор подшипника. Одновременно, повышение температуры входного масла также приводит к заметному уменьшению времени наполнения, что объясняется лучшей текучестью масла и прокачиваемостью через минимальные зазоры.

Выводы. Современные сельскохозяйственные машины практически 100% на сегодня оснащены турбонаддувом. Что требует гораздо более качественного обслуживания и контроля двигателя и отдельных систем. Особенно важно обеспечивать необходимый расход масла при приемлемой температуре без его перегрева. С целью исследования расхода масла через подшипник ТКР при различных температурах процесса смазки был изготовлен экспериментальный комплекс. Экспериментальные исследования на нем позволили определить границы работоспособности системы турбонаддува.

Список литературы:

1. Адигамов, Н. Р. Теория и практика определения остаточного ресурса подшипниковых узлов дробилок кормов / Н. Р. Адигамов, И. Х. Гималтдинов // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 10. – С. 44-48.
2. Молчан, А. М. Стенд для испытания надежности элементов погружных электродвигателей / А. М. Молчан, Р. Т. Гусейнов, В. А. Некрасов // Новые технологии и проблемы технических наук, Красноярск, 01 ноября – 01 2020 года. – Красноярск: Инновационный центр развития образования и науки (ИЦРОН), 2020. – С. 17-21.
3. Рытов, К. П. Повышение эффективности эксплуатации автомобильных двигателей на основе сравнения работоспособности / К. П. Рытов, Н. В. Примаков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1(93). – С. 98-102. – DOI 10.37670/2073-0853-2022-93-1-98-102.
4. Гималтдинов, И. Х. Решение инженерной задачи при разработке прибора для вычисления остаточного ресурса подшипников качения / И. Х. Гималтдинов, Р. С. Шайхетдинова // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 7. – С. 112-116.
5. Адигамов, Н. Р. Лабораторно-эксплуатационные испытания установки безразборного диагностирования оборудования животноводческих ферм / Н. Р. Адигамов, И. Х. Гималтдинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 6. – № 2(20). – С. 89-90.
6. Моделирование гидродинамических подшипников скольжения с учётом индивидуальных противоизносных свойств смазочных материалов / И. Г. Леванов, Е. А. Задорожная, И. В. Мухортов, Д. Н. Никитин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 14-28. – DOI 10.14529/engin210102.
7. Гималтдинов, И. Х. Безразборное определение остаточного ресурса подшипниковых узлов дробилок кормов / И. Х. Гималтдинов // Наука молодых - инновационному развитию АПК: материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Уфа, 15–17 марта 2016 года. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2016. – С. 192-198.
8. Задорожная, Е. А. Изнашивание узлов трения механизмов и машин / Е. А. Задорожная, И. Г. Леванов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Политехнический институт, Кафедра «Автомобильный транспорт». – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 163 с.
9. Леванов, И. Г. Модернизация машины трения ИИ5018 для проведения исследований гидродинамических подшипников скольжения / И. Г. Леванов, Е. А. Задорожная, Д. Н. Никитин // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2020. – № 9. – С. 207-223. – DOI 10.1872/MMF-2020-16.

10. Задорожная, Е. А. Обзор структуры внезапных выходов из строя узлов трения автосамосвалов "БЕЛАЗ" на разрезе "Черногорский" / Е. А. Задорожная, С. П. Маслюков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2022. – Т. 22. – № 2. – С. 64-73. – DOI 10.14529/engin220206.
11. Development of combined ICE startup system by means of hydraulic starter / A. V. Gritsenko, A. M. Plaksin, Z. V. Almetova // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1238-1245.
12. Повышение надежности турбокомпрессоров автотракторных двигателей улучшением смазывания подшипникового узла / Г. Г. Гаффаров, Р. Ф. Калимуллин, С. Ю. Коваленко, А. Т. Кулаков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2015. – Т. 15. № 3. – С. 18-27.
13. Modernization of the turbocharger lubrication system of an Internal combustion engine / A. M. Plaksin, A. V. Gritsenko, K. V. Glemba // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 129. – P. 857-862.
14. Анализ факторов, влияющих на работоспособность подшипникового узла турбокомпрессора / А. С. Денисов, А. А. Коркин, А. Р. Асоян // Вестник Саратовского государственного технического университета. – Саратов: СГТУ. – 2010, №3(46). – с. 53-57.
15. Математическая модель индивидуальной системы смазки подшипника турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / И. Г. Галиев, К. А. Хафизов, Р. Р. Шайхутдинов, А. Р. Галимов // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 4 (274). – С. 39-43.
16. Модернизация системы смазки подшипникового узла турбокомпрессора автотракторного двигателя / И. Г. Галиев, К. А. Хафизов, Ф. Х. Халиуллин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. № 1 (52). – С. 71-76.
17. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров ТКР 7Н / А. С. Денисов, А. Ф. Малаховецкий, А. Т. Кулаков, Н. И. Светличный, Г. Г. Гаффаров, Р. Т. Тазеев // Вестник СГТУ. – 2004. – № 1 (2). – С. 69-76.
18. Studuing Lubrication System of Turbocompressor Rotor with Integrated Electronic Control / A. V. Gritsenko, A. M. Plaksin, V. D. Shepelev // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017 Procedia Engineering 206.– 2017. – P. 611–616.
19. Леванов, И. Г. Методика расчёта ресурса подшипников скольжения на ранних этапах проектирования поршневых и роторных машин / И. Г. Леванов, Е. А. Задорожная, Д. Н. Никитин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2021. – Т. 21. – № 3. – С. 5-21. – DOI 10.14529/engin210301.
20. Никитин, Д. Н. Расчётно-экспериментальная методика определения предотказного состояния сложнагруженных подшипников скольже-

ния / Д. Н. Никитин, Е. А. Задорожная, И. Г. Леванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2022. – Т. 22. – № 1. – С. 5-23. – DOI 10.14529/engin220101.

21. Определение теплового состояния элементов турбокомпрессора поршневого двигателя / Е. А. Задорожная, В. С. Худяков, С. В. Сибиряков, Е. Д. Напримерова // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 10(751). – С. 11-25. – DOI 10.18698/0536-1044-2022-10-11-25.

22. Плаксин, А. М. Результаты экспериментальных исследований времени выбега ротора турбокомпрессора ТКР-11 / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2014. – Т. 70. – С. 130-135.

23. Способ обеспечения работоспособности турбокомпрессора дизелей применением автономного смазочно-тормозного устройства / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев, К. В. Глемба // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 6(105). – С. 89-94.

24. Определение и обеспечение работоспособности турбокомпрессора / А. Р. Галимов, И. Г. Галиев, К. А. Хафизов, Э. Р. Галимов // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 4 (119). – С. 42-50.

25. Индивидуальная система смазки подшипникового узла турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / И. Г. Галиев, А. Т. Кулаков, А. Р. Галимов // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2020. – № 2 (68). – С. 252-258.

26. Глемба, К. В. Диагностирование коренных и шатунных подшипников кривошипно-шатунного механизма / К. В. Глемба, А. В. Гриценко, О. Н. Ларин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 63-71.

27. 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.

28. Бурцев, А. Ю. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания / А. Ю. Бурцев // Достижения науки - агропромышленному производству: ЛП Международная научно-техническая конференция, Челябинск, 24–26 января 2013 года. – Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2013. – С. 28-34.

29. Бурцев, А. Ю. Повышение работоспособности турбокомпрессора ДВС применением автономного смазочно-тормозного устройства на мобильных энергетических средствах, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве: специальность 05.20.03: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Бурцев Александр Юрьевич. – Челябинск, 2017. – 267 с.

30. Снижение теплонапряженности элементов турбокомпрессоров использованием автономной смазочной системы / Н. В. Орлов, А. С. Денисов, А. Р. Асоян // Научное обозрение. – 2013. – №8. – С. 49-55.

31. Интеллектуализация процесса диагностики автомобилей на основе машинного обучения / П. А. Буйвол, А. И. Ворошилов, А. Е. Кривоногова, И. В. Макарова // Грузовик. – 2022. – № 8. – С. 38-43.

32. Diagnostics of Friction Bearings by Oil Pressure Parameters During Cycle-By-Cycle Loading / A. V. Gritsenko, E. A. Zadorozhnaya, V. D. Shepelev // Tribology in Industry. – 2018. – Vol. 40, – Issue 2. – P. 300–310. doi: <https://doi.org/10.24874/ti.2018.40.02.13>.

33. Troyanovskaya, I. Pollution of the Atmosphere of Chelyabinsk by Transport Emissions of Non-Exhaust Origin / I. Troyanovskaya, O. Grebenshchikova, V. Erofeev // Transportation Research Procedia : X International Scientific Siberian Transport Forum — TransSiberia 2022, Siberia, 13 мая 2022 года. Vol. 63. – Siberia: Elsevier, 2022. – P. 277-284. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.014.