

Мифтахов Т.М., Мифтахов М.Н.
Набережночелнинский институт
Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: altrak09@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА МАСЛА К ТУРБОКОМПРЕССОРУ ТКР 7Н-1 НА ЕГО ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Приведены данные по изучению потока масла в турбокомпрессоре ТКР 7Н-1 и выявлены основные факторы, влияющие на эффективность и надежность работы данного типа турбокомпрессора. Ключевые слова: турбокомпрессор ТКР 7Н-1, подшипниковый узел, поток масла.

Отказы турбокомпрессора (ТКР) занимают около 7% от общего числа отказов дизельного автомобильного двигателя, а затраты на устранение отказов составляют 12% [1]. Турбокомпрессор является высокотехнологичным и точным узлом, его ремонт в условиях автотранспортных предприятий или станций технического обслуживания затруднителен. В связи с этим представляет особый интерес поиск эффективных способов повышения надежности работы турбокомпрессора ТКР 7Н-1, который в настоящее время установлен на подавляющем большинстве автомобилей КАМАЗ.

При работе дизельного двигателя автомобиля КАМАЗ на режимах максимального крутящего момента наблюдается неустойчивая работа и часто происходит отказ ТКР из-за перегрева и деформации корпуса подшипника.

Известны способы повышения надежности ТКР дизельных автомобильных двигателей, включающие:

- организацию независимой системы смазки турбокомпрессора, оснащенной автономным масляным насосом;
- установку устройства, позволяющего автоматически останавливать двигатель («турботаймера»);
- организацию жидкостного охлаждения корпуса подшипников;
- дополнение системы смазки гидроаккумулятором, способным запасти необходимое количество масла и подать его в нужное время независимо от масляного насоса двигателя.

Все вышеперечисленные способы сопряжены с ощутимыми финансовыми затратами, связанными с приобретением и установкой на двигатель дополнительных устройств.

В работах [2]-[4] показано, что причиной является недостаточное количество прокачиваемого через ТКР масла. Авторами в работах [5], [6] предложен более эффективный метод повышения надежности турбокомпрессора ТКР 7Н-1 путем модернизации его подшипникового узла.

В качестве объекта исследований использовался турбокомпрессор ТКР 7Н-1 с серийным подшипниковым узлом.

В конструкции серийного ТКР при непосредственной подаче масла в пустотелую полость подшипника, происходит гидродинамическое трение с выделением большого количества тепла. Дополнительная полость в подшипнике длиной 22 мм является гидродинамическим тормозом для ротора серийного турбокомпрессора. При этом значительная часть энергии вращения ротора затрачивается на преодоление сил внутреннего трения масла, которая превращается в тепло, в результате чего снижается КПД турбокомпрессора. Методы определения механических потерь и КПД турбокомпрессоров описаны авторами работы [7], в которой приводятся данные о величине потерь до 2 кВт. Наиболее доступным является калориметрический метод, основанный на измерении перепада температур масла до и после узла подшипников.

В работе [8] показано, что вследствие осцилляций давления масла в смазочной системе (рисунок 1) режим течения масла в полости втулки подшипника ТКР является турбулентным, сопровождающимся гидравлическими ударами и кавитацией.

Подтверждением высокой турбулентности и несплошности масляного потока внутри полости является наличие кавитационных разрушений на валу в полости втулки подшипника (рисунок 2), причем в зоне работы самих

цапф аналогичных следов кавитации не обнаруживается.

С целью изучения природы указанных процессов была проведена экспериментальная исследования. Решалась задача исследований параметров ТКР и двигателя с изменением давления подвода масла к подшипниковому узлу при использовании установки автономной подачи масла к ТКР. Назначением автономной системы подачи масла к ТКР является создание различного давления масла на входе в ТКР.

Изучение характера течения масла в смазочных слоях маслораспределительной камеры моноштулки подшипникового узла турбокомпрессора ТКР 7Н-1 в зависимости от скорости вращения, температуры и вязкости, давления подачи масла турбокомпрессор [9], [10] проводилось устройством измерения гидродинамического давления, схема которого показана на рисунке 3. Использовалась гипотеза образования пузыря возле поверхности вала, где давление и торможение вала меняется из-за отрыва масла от вала.

В ходе испытаний двигателя с автономной системой подачи масла к турбокомпрессорам ставилась задача обнаружения режимов, при которых это происходит, а также исследование влияния отрыва на параметры ТКР. Для измерения давления масла в ТКР и изучения характера течения масла в смазочных слоях маслораспределительной камеры моноштулки под-

шипникового узла турбокомпрессора ТКР 7Н-1 применено устройство измерения давления масла во внутренней полости подшипника, показанное на рисунке 4.

Испытания проводились в два этапа: в непосредственной близости зондирующей трубки к поверхности вала и на удалении от вала на $S=1,5$ мм. Расстояние S от поверхности вала ротора до наконечника трубки устанавливается регулировочными шайбами, приближая или отдаляя от поверхности вала торец наконечника.

Эксперименты проводились на режиме внешней скоростной характеристики двигателя: при номинальной частоте ($n=2600$ мин⁻¹), на промежуточных режимах ($n=2190$ мин⁻¹, $n=1805-1810$ мин⁻¹), на режиме максимального крутящего момента ($n=1430-1500$ мин⁻¹) и минимально возможных под нагрузкой ($n=1180-1230$ мин⁻¹). На каждом режиме последовательно изменялось давление подачи масла к ТКР при помощи автономной системы подачи масла от 0,7 до 0,2 МПа.

Параметры двигателя и турбокомпрессора, измеренные при разных режимах работы двигателя, приведены в таблице 1.

В начале на прогревом и остановленном двигателе при работающей автономной системе подвода масла к ТКР при температуре масла на выходе из ТКР равной 92 °С оценили величину гидравлических потерь давления в подводящих

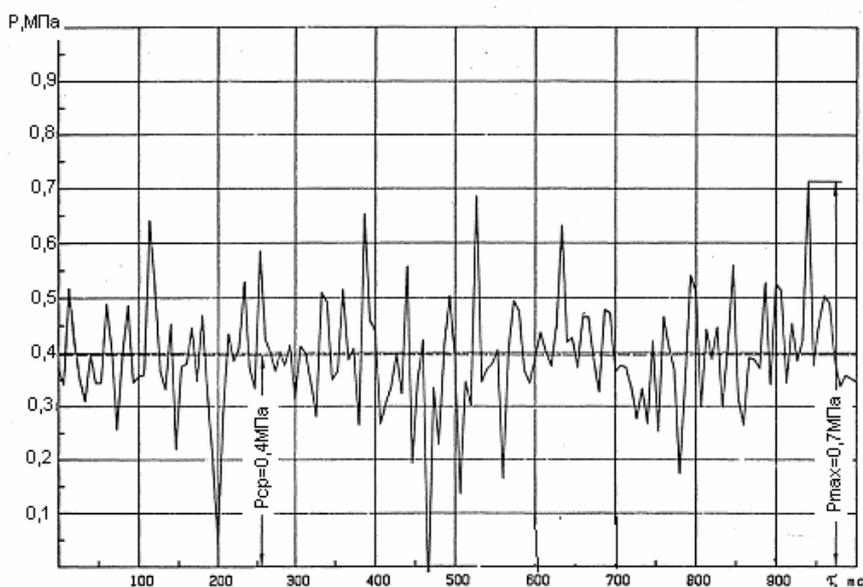


Рисунок 1. Давление масла в ДВС на входе в подшипник турбокомпрессора (режим внешней скоростной характеристики при $n = 2200$ мин⁻¹)

трубопроводах: при давлении на выходе из автономной системы 1,0 МПа внутри полости подшипника фиксировалось давление 0,9 МПа, то есть потери давления составляют порядка 10%.

Это свидетельствует о том, что снижение давления внутри полости подшипника (таблица 1) имеет другую природу. Из представленных данных видна постоянная большая разница давлений масла подводимого и внутри полости, а также отсутствие давления внутри полости при определенных давлениях и режимах



Рисунок 2. Кавитационные разрушения на валу в зоне полости втулки подшипника

Таблица 1. Параметры двигателя и ТКР с автономной системой подачи масла (при минимальном зазоре S)

№ опыта	n, мин ⁻¹	Тем-ра масла в ДВС, °С	Давление масла в ДВС, кгс/см ²	Давление масла в автономной системе, МПа	Давление масла в подшипнике ТКР, МПа	Наддув, кгс/см ²	Тем-ра масла на выходе из ТКР, °С
1	2600	90	5,0	0,7	0,3	0,82	105,8
2	2600	93	5,0	0,6	0,2	0,85	112,1
3	2600	96	5,0	0,5	0,15	0,84	114,7
4	2600	98	4,9	0,4**	0	0,83	115,1
5	2600	99	4,9	0,3**	0	0,85	129,3
6	2600	100	4,9	0,2**	0	0,83	129,1
7	2190	90	4,9	0,7	0,3	0,67	125,2
8	2190	91	4,9	0,6	0,25	0,67	126,9
9	2190	92	4,8	0,5	0,2	0,66	129,1
10	2190	93	4,8	0,4	0,15	0,68	132,3
11	2180	94	4,8	0,3	0	0,67	135,3
12	2180	95	4,8	0,2	0	0,66	139,1
13	1805	94	4,6	0,6	0,25	0,5	129,1
14	1810	94	4,6	0,5	0,2	0,5	131,3
15	1805	93	4,6	0,4	0,15	0,51	134,7
16	1805	93	4,6	0,3	0	0,51	136,6
17	1805	93	4,6	0,2	0	0,51	139,5
18	1430	95	4,3	0,7	0,4	0,25	111,8
19	1475	93	4,3	0,6	0,3	0,28	113,1
20	1480	90	4,4	0,5	0,22	0,28	115
21*	1500	89	4,4	0,4	0,1	0,3	116,8
22	1500	88	4,4	0,3	0	0,3	119,2
23	1500	87	4,5	0,2	0	0,3	123,8
24	1230	84	4,2	0,7	0,47	0,14	109,4
25	1250	84	4,3	0,6	0,35	0,15	110,4
26	1180	80	4,3	0,5	0,25	0,11	108,2
27	1180	78	4,3	0,4	0,2	0,11	108,5
28	1180	76	4,3	0,3	0,1	0,12	108,3
29	1190	75	4,4	0,2	0	0,12	108,2

ДВС. Уменьшение давления масла в полости подшипника до нуля подтверждает гипотезу отрыва масла с поверхности вала ТКР. Отсутствие отрыва при увеличенных давлениях объясняется задавливанием пустот. Отрыв на более низких уровнях подводимого давления при малых оборотах двигателя объясняется снижением частоты вращения вала ротора и величины центробежных сил, действующих на масло.

При снятии параметра по наддуву за ТКР визуально фиксировались колебания величины избыточного давления в диапазоне 0,82–0,85 кгс/см² на режимах, отмеченных (**) при $n=2600$ мин⁻¹, что косвенно подтверждает неравномерность частоты вращения ротора (раскрутка и замедление) вследствие охвата или отрыва масла с поверхности вала ротора.

При $n=1430–1500$ мин⁻¹ на режимах максимального крутящего момента, отмеченных (*), на сливе масла из ТКР отмечались пульсации в виде нарастающего и уменьшающегося потока, что также косвенно подтверждает неравномерность частоты вращения ротора (раскрутка и замедление).

Из анализа полученных данных, приведенных в таблицах 1, следует, что на всех режимах работы двигателя при понижении давления масла в автономной системе происходит снижение дав-

ления масла в подшипнике ТКР вплоть до нуля. Кроме того, понижение давления масла на выходе из установки автономной подачи масла приводило к повышению температуры в подшипнике ТКР, что связано с меньшим количеством проходящего масла через подшипник.

Образование воздушно-паровой области (без масла) непосредственно вблизи поверхности вала ротора подшипникового узла при достаточно высоких угловых скоростях ($\omega=9420$ с⁻¹ и более), и постоянные отрывы и схлопывания являются причиной гидроударов и кавитации на поверхности вала, что ранее и было предположено в работе [8]. Это явление и обуславливает большие потери энергии вала ротора, отличается от гидродинамического трения и требует дальнейшего исследования.

Второй этап экспериментов проводился при увеличенном зазоре S (рисунок 5) до

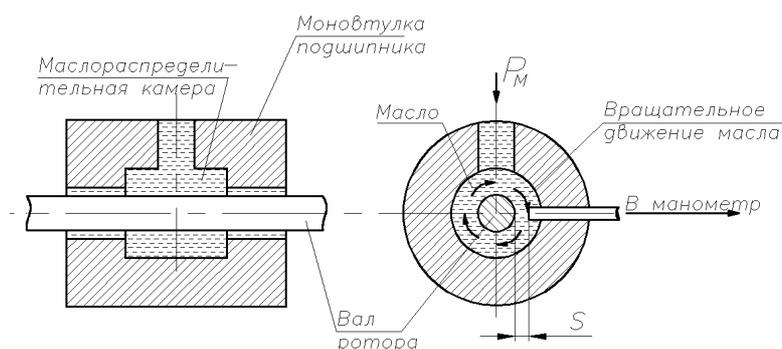
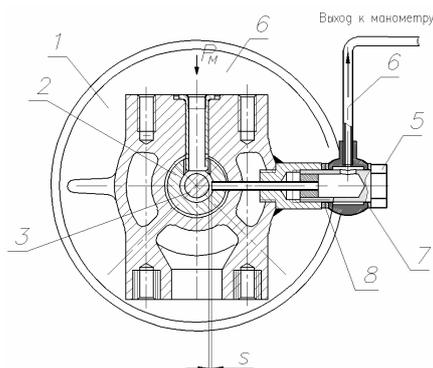


Рисунок 3. Схема замера гидродинамического давления в моноштулке подшипника

Таблица 2. Параметры потока масла к ТКР при зазоре $S=1,5$ мм

№ опыта	n , мин ⁻¹	Тем-ра масла в ДВС, °С	Давление масла в ДВС, кгс/см ²	Давление масла в автономной системе, МПа	Давление масла в подшипнике ТКР, МПа	Наддув, кгс/см ²	Тем-ра масла на выходе из ТКР, °С
1	2600	94	5,0	0,6	0,35	0,86	137,4
2	2600	97	5,0	0,5	0,3	0,87	139,8
3	2600	97	4,9	0,4	0,2	0,86	143,1
4	2600	100	4,9	0,3	0,15	0,85	146,1
5	2600	101	4,9	0,12	0	0,86	150,6
6	1420	94	4,3	0,6	0,54	0,25	126,4
7	1400	90	4,4	0,5	0,47	0,25	126,1
8	1430	89	4,4	0,4	0,4	0,26	126,6
9	1420	88	4,4	0,3	0,3	0,26	128,0
10	1440	87	4,4	0,2	0,2	0,27	130,4
11	1430	86	4,4	0,1	0,1	0,28	135,2



1 – корпус подшипников; 2 – моноштулка подшипника; 3 – фиксатор моноштулки; 4 – вал ротора; 5 – штуцер; 6 – трубка дистанционная манометра; 7 – прокладка; 8 – регулировочные шайбы

Рисунок 4. Устройство для замера гидродинамического давления в полости моноштулки подшипника

1,5 мм. Полученные данные представлены в таблице 2.

Из сравнения величин давления масла в полости подшипника ТКР по таблицам 1 и 2 видно, что во втором эксперименте нулевое давление достигнуто лишь при очень высоких температурах масла и очень низком давлении подводимого масла, т. е. на расстоянии 1,5 мм от вала пустоты не наблюдалось.

Таким образом, подтверждается необходимость и целесообразность обеспечения повышенного давления на входе в ТКР по сравнению с давлением в системе смазки ДВС. Тем более это необходимо, учитывая снижение давления в системе смазки ДВС в эксплуатации вследствие износов.

12.08.2014

Список литературы:

1. Коркин, А.А. Повышение долговечности турбокомпрессоров автотракторных двигателей путем использования гидроаккумулятора в системе смазки: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.А. Коркин. – Саратов, 2010. – 22 с.
2. Альмеев, Р.И. Анализ устройств для предпусковой смазки деталей ДВС / Р.И. Альмеев // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. / Сарат. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2008. – С. 125–132.
3. Кулаков, А.Т. Эксплуатационная надежность КамАЗов / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович // Автотранспортное предприятие, 2013. – №3. – С.45–48.
4. Кулаков, А.Т. Влияние автономной подачи смазки в узлы подшипников ТКР 7Н-1 двигателя КАМАЗ 7403 / А.Т. Кулаков [и др.] // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сб. науч. тр. / Моск. гос. автом.-дор. ун-т. – М.: 2014. – С. 133–141.
5. Гаффаров, А.Г. Совершенствование подшипникового узла турбокомпрессора автотракторного ДВС / А.Т. Кулаков, А.А. Макушин, А.Г. Гаффаров // Тракторы и сельхозмашины, 2010. – №2. – С. 39–42.
6. Гаффаров, А.Г. Повышение надежности и эффективности турбокомпрессора путем усовершенствования подшипника / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, А.А. Макушин, А.Г. Гаффаров // «Прогрессивные технологии в транспортных системах». Сб. науч. тр.: Оренбург, ОГУ. 2011. – С. 50–54.
7. Савельев, Г.М. Опыт доводки и производства турбокомпрессоров автомобильных дизелей / Г.М. Савельев, Б.Ф. Лямцев, А.В. Аболтин. – М.: 198. – 94 с.
8. Кулаков, А.Т. Ремонт и восстановление турбокомпрессора ТКР 7Н-1 дизелей КАМАЗ / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович, А.Г. Финоченко. – Магадан: СВГУ, 2013. – 94 с.

Сведения об авторах:

Мифтахов Тимур Мунирович, аспирант Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета

Мифтахов Мунир Нафисович, доцент кафедры химии и экологии Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета

423826, г. Набережные челны, 68 мкрн, ул. Ягодная, 18, e-mail: miftahov.tm@gmail.com