

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ-7403 ПУТЕМ АВТОНОМНОЙ ПОДАЧИ МАСЛА К ТУРБОКОМПРЕССОРАМ

Приведены результаты стендовых испытаний двигателя КАМАЗ-7403 с подводом масла к турбокомпрессорам ТКР 7Н-1 от автономной системы подачи масла. Установлено, что повышение давления до 0,7 МПа обеспечивает более интенсивную смазку и отвод тепла. Оценено влияние повышения давления, подводимого от автономной системы подачи масла к турбокомпрессорам двигателя на его параметры.

Ключевые слова: моторные испытания, турбокомпрессор, автономная система подачи масла, подшипниковый узел.

При эксплуатации автомобиля существует проблема неустойчивой работы двигателя на режимах максимального крутящего момента и частыми отказами турбокомпрессора (ТКР) из-за перегрева и деформации корпуса подшипника. В предыдущих исследованиях [1], [5], [6] показано, что причиной является недостаточное количество прокачиваемого через ТКР масла. Износы и работа в условиях сурового климата обостряют проблему недостаточного давления подвода масла к ТКР, что вызывает необходимость исследований и доводки двигателя применительно к экстремальным природно-климатическим условиям Крайнего Севера [1], [2]. Автономная система подачи масла к турбокомпрессорам двигателя КАМАЗ 7403.10 позволяет обеспечить очистку, подогрев и необходимое давление подачи масла в ТКР.

В ходе исследований ставилась задача по улучшению параметров ТКР и двигателя с применением автономной системы подачи масла к ТКР по сравнению с серийным исполнением.

Основными параметрами, характеризующими эффективность применения автономной системы подачи масла к ТКР, является поддержание постоянного давления масла на входе в ТКР, и, как следствие, более эффективный отвод тепла от трущихся деталей, снижение температуры масла на выходе из ТКР, увеличение частоты вращения ротора, давления наддува, а также снижение удельного расхода топлива и рост мощности двигателя. Подогрев масла при низких температурах позволяет избежать большого периода запаздывания подвода масла к ТКР.

В условиях завода двигателей ОАО «КАМАЗ» проведены стендовые моторные испытания двигателя КамАЗ 7403.10 с подводом масла к двум ТКР 7Н-1 от установки автономной подачи масла [4] (рисунок 1).

Установка состоит из масляного бака 1, насоса 2 с приводом от электродвигателя 3, крана 4 и рукава 5 установки давления подачи масла, масляного фильтра 6, манометра 7, трубки 9 подачи масла в турбокомпрессоры, рукавов 10 слива масла.

В бак заполняется моторное масло в количестве 30 литров, по рукавам 7 и 8 сливается масло, на сливе из левого турбокомпрессора осуществлялся замер температуры масла термопарой. Масло в масляном фильтре 6 очищается от механических примесей и по трубке 9 подается в подшипниковые узлы турбокомпрессоров.

Поэтапно в турбокомпрессоры подавалось масло от автономной системы подачи масла с рекомендуемым давлением масла 0,7 МПа, со сниженным до эксплуатационного уровня 0,3 МПа, и в штатной серийной комплектности от смазочной системы двигателя с давлением $p_{сер} = 0,4 - 0,5$ МПа [4], [6].

При этом фиксировались следующие рабочие параметры:

- частота вращения коленвала, n (мин⁻¹);
- крутящий момент двигателя, M_k (Н·м);
- мощность двигателя, N_e (кВт);
- давление в системе смазки двигателя, p_m (МПа);
- температура масла в системе смазки двигателя, t_m (°C);

- давление масла в установке системы автономной смазки турбокомпрессоров, $p_{авт}$ (МПа);
- давление наддува, p_k (МПа);
- часовой расход топлива двигателя, G_T (кг/час);
- удельный расход топлива двигателя, g_e (г/л.с.час);
- температура масла на сливе из турбокомпрессоров, $t_{мТКР}$ ($^{\circ}$ С);
- расход масла через один турбокомпрессор, G_m (л/мин).

Параметры двигателя по внешней скоростной характеристике (ВСХ) и устойчивость работы оценивались в серийном исполнении, с автономной системой подачи масла при значениях давления масла 0,3 и 0,7 МПа, результаты представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1. Параметры, измеряемые при работе серийного двигателя

n , мин $^{-1}$	N_e , кВт	M_k , Н м	G_T , кг/час	g_e , г/л.с.час
1000	55,09	525,3	12,9	156,3
1200	68,84	546,8	13,7	146,8
1400	98,19	668,4	21,9	164,0
1600	125,04	742,8	26,3	155,0
1800	141,95	752,6	31,4	162,7
2000	155,19	738,9	34,4	163,5
2200	166,96	723,2	36,9	162,7
2400	174,68	693,8	40,7	171,3
2600	181,67	666,4	44,2	178,8

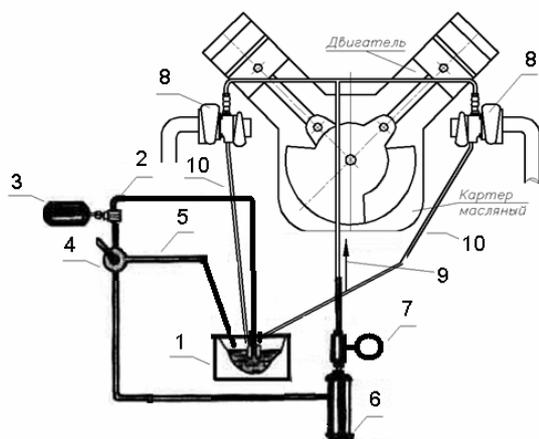
Дополнительно измерялись параметры турбокомпрессора при работе двигателя по ВСХ; результаты приведены в сравнительных таблицах 4–10.

Таблица 2. Параметры, измеряемые при работе двигателя с автономной системой подачи масла к ТКР с давлением $p_{авт}=0,3$ МПа

n , мин $^{-1}$	N_e , кВт	M_k , Н м	G_T , кг/час	g_e , г/л.с.час
1000	51,71	493,4	10,7	152,2
1200	66,20	526,8	15,8	175,3
1400	93,26	635,7	18,6	145,7
1600	120,62	720,1	25,4	154,5
1800	139,01	737,7	30,8	162,6
2000	151,51	724,0	34,1	165,4
2200	162,55	706,3	36,5	165,1
2400	169,90	676,9	40,0	173,1
2600	180,93	665,1	42,6	172,9

Таблица 3. Параметры, измеряемые при работе двигателя с автономной системой подачи масла к ТКР с давлением $p_{авт}=0,7$ МПа

n , мин $^{-1}$	N_e , кВт	M_k , Н м	G_T , кг/час	g_e , г/л.с.час
1000	53,69	512,1	10,7	146,3
1200	67,37	535,6	13,2	144,3
1400	97,75	666,1	20,6	155,3
1600	124,01	739,7	27,3	161,7
1800	141,95	752,4	31,2	161,5
2000	154,01	734,8	34,4	164,5
2200	164,60	714,2	37,5	167,5
2400	172,18	684,7	40,7	173,7
2600	181,23	665,1	43,6	177,1



1 – масляный бак; 2 – трубка всасывания масла; 3 – маслосос с приводом от электродвигателя; 4 – кран регулирования давления; 5 – рукав слива масла при регулировании давления; 6 – фильтр масляный; 7 – манометр; 8 – турбокомпрессоры; 9 – трубка подвода масла к ТКР; 10 – рукава слива масла с ТКР

Рисунок 1. Экспериментальная установка автономной системы подачи масла к турбокомпрессорам двигателя КАМАЗ 7403.10

Таблица 4. Величина избыточного давления после ТКР (наддув) при работе двигателя по ВСХ, p_k (МПа)

n , мин ⁻¹	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
Серийный ДВС	0,007	0,011	0,021	0,035	0,047	0,056	0,065	0,075	0,082
$p_{авт}=0,7$ МПа	0,008	0,012	0,022	0,037	0,048	0,058	0,067	0,075	0,083
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	14,3	9,1	4,8	5,7	2,1	3,6	3,1	0	1,2
$p_{авт}=0,3$ МПа	0,006	0,011	0,020	0,033	0,046	0,057	0,064	0,072	0,080
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-14,3	0	-4,8	-5,7	-2,1	1,8	-1,5	-4	-2,4

Таблица 5. Расход масла через левый ТКР, замеренный на сливе при работе двигателя с автономной системой подачи масла по ВСХ, G_m (л/мин)

n , мин ⁻¹	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
$p_{авт}=0,7$ МПа	3,52	3,43	4,23	3,85	3,57	3,58	3,15	3,54	3,19
$p_{авт}=0,3$ МПа	2,03	2,23	2,36	2,5	2,52	2,49	2,68	2,35	2,3

Таблица 6. Температура масла на сливе из турбокомпрессоров при работе двигателя с автономной системой подачи масла по ВСХ, $t_{м\text{ ТКР}}$ (°C)

n , мин ⁻¹	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
$p_{авт}=0,7$ МПа	119,8	123,4	128,8	130,6	130,2	128,5	126,5	123,6	120,2
$p_{авт}=0,3$ МПа	122,2	124,5	128,7	132,0	133,0	132,0	132,3	132,9	132,6

Таблица 7. Удельный расход топлива двигателя при работе двигателя по ВСХ, g_e (г/л.с.час)

n , мин ⁻¹	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
Серийный ДВС	156,3	146,8	164,0	155,0	162,7	163,5	162,7	171,3	178,8
$p_{авт}=0,7$ МПа	146,9	144,3	155,3	161,7	161,5	164,5	167,5	173,7	177,1
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-6	-1,7	-5,3	4,3	-0,7	0,6	3	1,4	-1
$p_{авт}=0,3$ МПа	152,2	175,3	145,7	154,5	162,6	165,4	165,1	173,1	172,9
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-2,6	19,4	-11,2	-0,3	-0,1	1,2	1,5	1,1	-3,3

Таблица 8. Мощность двигателя, N_e (кВт)

n , мин ⁻¹	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
Серийный ДВС	55,09	68,84	98,19	125,04	141,95	155,19	166,96	174,68	181,67
$p_{авт}=0,7$ МПа	51,71	66,20	93,26	120,62	139,01	151,51	162,55	169,90	180,93
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-6,1	-3,8	-5	-3,5	-2,1	-2,4	-2,6	-2,7	-0,4
$p_{авт}=0,3$ МПа	53,69	67,37	97,75	124,01	141,95	154,01	164,60	172,18	181,23
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-2,5	-2,1	-0,4	-0,8	0	-0,8	-1,4	-1,4	-0,2

Таблица 9. Часовой расход топлива, G_t (кг/час)

n , мин ⁻¹	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
Серийный ДВС	12,9	13,7	21,9	26,3	31,4	34,4	36,9	40,7	44,2
$p_{авт}=0,7$ МПа	10,7	15,8	18,6	25,4	30,8	34,1	36,5	40,0	42,6
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-17,1	15,3	-15,1	-3,4	-1,9	-0,9	-1,1	-1,7	-3,6
$p_{авт}=0,3$ МПа	10,7	13,2	20,6	27,3	31,2	34,4	37,5	40,7	43,6
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-17,1	-3,6	-5,9	3,8	-0,6	0	1,6	0	-1,4

Таблица 10. Крутящий момент двигателя, M_k (Н·м)

n , мин ⁻¹	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
Серийный ДВС	525,3	546,8	668,4	742,8	752,6	738,9	723,2	693,8	666,4
$p_{авт}=0,7$ МПа	493,4	526,8	635,7	720,1	737,7	724,0	706,3	676,9	665,1
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-6,1	-3,7	-4,9	-3,1	-2	-2	-2,3	-2,4	-0,2
$p_{авт}=0,3$ МПа	512,1	535,6	666,1	739,7	752,4	734,8	714,2	684,7	665,1
Отклонение $p_{авт}=0,7$ МПа от $p_{сер}$, %	-2,5	-2	-0,3	-0,4	0	-0,6	-1,2	-1,3	-0,2

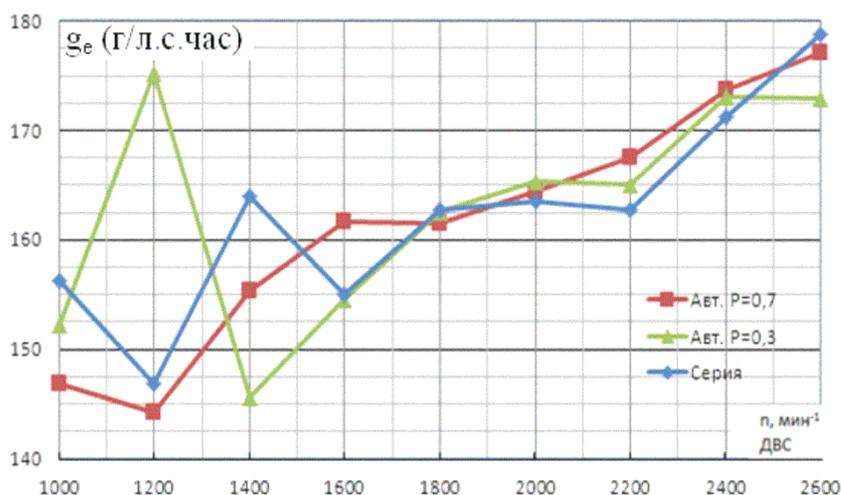


Рисунок 2. Зависимость удельного расхода топлива с установкой автономной подачи масла к ТКР и без нее

С увеличением давления до 0,7 МПа (см. табл. 5, 6) температура масла на выходе из ТКР заметно снижается, что является следствием увеличения расхода масла через турбокомпрессор. Это способствует лучшему охлаждению деталей турбокомпрессора и предотвращению деформаций корпуса подшипника из-за перегрева и отказов по заклиниванию ротора.

Зависимость удельного расхода топлива с автономной системой подачи масла при давлении 0,7 МПа не имеет пиковых значений, по удельному расходу топлива получена оптимальная характеристика. На рисунке 2 видно, что удельный расход топлива определяется как частотой вращения коленчатого вала, так и давлением масла, подводимого к ТКР.

При частоте вращения коленчатого вала при оборотах ниже 1800 мин⁻¹ при серийной комплектации, а также с автономной системой при сниженном давлении до 0,3 МПа, наблюдается повышенный удельный расход топлива с пиками на определенных оборотах, особенно на режиме максимального крутящего момента. На

этих же режимах при испытаниях отмечалась неустойчивая работа двигателя («плавание» оборотов и прекращение работы двигателя).

Исследования показали значительное влияние давления подачи масла в ТКР на улучшение характеристик двигателя КАМАЗ 7403.10 (таблицы 1–4, 7–10). Увеличение и стабилизация давления подвода масла из автономной системы подачи масла к ТКР способствует более интенсивному процессу смазки и отводу тепла и улучшению параметров турбокомпрессора [7]–[9]. Неустойчивая работа двигателя на режиме максимального крутящего момента, наблюдаемая при серийной комплектации исчезает, двигатель работает по ВСХ ровно без провалов и раскочки, не глохнет на режимах 1300 и ниже. Это происходит из-за снижения потерь мощности в подшипнике ТКР и раскрутки ротора, что приводит к увеличению давления наддува ТКР, улучшению технических, эксплуатационных и экологических характеристик ДВС и исключению неустойчивой работы двигателя в области $n=1200–1300$ мин⁻¹.

23.05.2014

Список литературы:

1. Альмеев, Р.И. Анализ устройств для предпусковой смазки деталей ДВС / Р.И. Альмеев // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2008. – С. 125–132.
2. 740.60-3902001 РЭ. Руководство по эксплуатации двигателей КамАЗ ЕВРО-2 и ЕВРО-3. – Набережные Челны: ОАО «КамАЗ», 2007. – 142 с.
3. Альмеев, Р.И. Повышение долговечности подшипников коленчатого вала автомобильных двигателей путем применения управляемой предпусковой смазочной системы: дис... канд. техн. наук: 05.22.10 / Р.И. Альмеев. – Саратов, 2011. – 135 с.
4. Пат. 130644 Российская Федерация, МПК7: F04D29/063. Устройство подачи масла в турбокомпрессор с постоянным давлением, подогревом и очисткой / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович, А.Н. Якубович, А.Г. Финоченко, А.А. Малаховецкий; заявитель и патентообладатель А.Т. Кулаков, И.А. Якубович, А.Н. Якубович, А.Г. Финоченко, А.А. Малаховецкий. – заяв. 07.12.12; опубл. 10.01.13, Бюл. №1. – 3 с.
5. Кулаков, А.Т. Эксплуатационная надежность КамАЗов / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович // Автотранспортное предприятие, 2013. – №3. – С. 45–48.

6. 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.
7. Кулаков, А.Т. Ремонт и восстановление турбокомпрессоров ТКР-7Н1 дизелей КАМАЗ / А.Т. Кулаков, И.А. Якубович. – Магадан, 2013. – С. 121–129.
8. Гаффаров, А.Г. Восстановление турбокомпрессоров автомобильных дизелей применением усовершенствованного ремонтного комплекса подшипникового узла: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.Г. Гаффаров. – Оренбург, 2012. – 18 с.
9. Кулаков, А.Т. Повышение ремонтпригодности турбокомпрессора путем усовершенствования подшипника / А.Т. Кулаков, А.А. Макушин, А.Г. Гаффаров // Современная техника и технологии: проблемы, состояние, перспективы: материалы регион. науч.-практ. конф. – Рубцовск, 2011. – С. 377–383.
10. Шафеев, Д.Р. Исключение «протечки масла» через уплотнения турбокомпрессоров созданием дренажной системы / И.А. Якубович, А.Т. Кулаков, А.Г. Гаффаров // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов: сб. трудов VI междунар. экол. конгресса ELPIIT 2013 г. – Тольятти: ТГУ, 2013. – т.6. – С. 420–422.

Сведения об авторах:

Якубович Ирина Анатольевна, профессор кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, доктор технических наук, доцент
125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64, ауд. 474, e-mail: yakubovich_irina@mail.ru.

Кулаков Александр Тихонович, заведующий кафедрой автомобильный транспорт Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета, доктор технических наук, профессор, e-mail: alttrak09@mail.ru

Шафеев Даниил Рафаилович, директор ООО «Модерн Машинери Фар Ист»
685000, г. Магадан, ул. Речная, д. 79/1, e-mail: dan@modernmachinery.ru