

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СМАЗКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Г.И. Суранов, к.т.н., доц., А.А. Ворков, асп., В.С. Попов, инж.-механик, магистр
Ухтинский государственный технический университет

В целях оптимизации процессов подогрева-охлаждения моторного масла предлагается установка жидкостно-масляного радиатора в поддоне двигателя. Лабораторные и эксплуатационные испытания показали эффективность этого технического решения для предпускового разогрева и прогрева моторного масла после пуска зимой, и поддержания оптимальной температуры масла в процессе работы двигателя.

Температура моторных масел в процессе работы двигателей изменяется в широких пределах: от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже в начале пуска-прогрева зимой до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше в летнее время. Отклонение температурного режима масла от оптимального ($90\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к его ускоренному окислению и снижению срока службы, интенсивному изнашиванию пар трения и отказам двигателя.

Моторное масло в поддоне двигателя охлаждается через стенки масляного поддона, а также в радиаторах, как правило, воздушно-масляных, которые лишь охлаждают масло, тогда как в зимнее время часто требуется его подогрев. Поскольку при пониженной температуре масла повышается его вязкость и потери мощности двигателя на трение, воздушно-масляные теплообменники отключают от системы смазки на зимний период эксплуатации двигателя (рис. 1).

Применяемые жидкостно-масляные радиаторы (ЖМР), в которых теплота отводится (или подводится) к маслу охлаждающей жидкостью из системы охлаждения двигателя, имеют следующие существенные преимущества по сравнению с воздушно-масляными радиаторами:

➤ обеспечивают ускоренный прогрев масла после пуска двигателя и поддерживают его оптимальную температуру, близкую к температуре

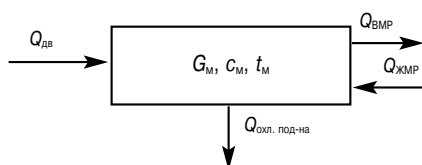


Рис. 1. Схема подвода и отвода теплоты Q к моторному маслу

охлаждающей жидкости без применения дополнительных терморегулирующих устройств;

➤ снижают аэродинамическое сопротивление жидкостного радиатора системы охлаждения двигателя вследствие снятия воздушно-масляного радиатора, обычно устанавливаемого перед жидкостным;

➤ снижают габариты и более компактную прокладку коммуникаций для подключения ЖМР на двигателе.

Однако ЖМР являются довольно сложными по конструкции теплообменниками, выполненными в виде установленного в кожухе цилиндрического пучка гладких тонкостенных латунных трубок диаметром 6 мм в количестве 109–125 шт., спаянных с трубными досками. Охлаждающая жидкость движется по трубкам, наружная поверхность которых омывается охлаждаемым маслом, подаваемым в теплообменник под давлением. Поскольку ЖМР обычно устанавливается на блоке двигателя, то не обеспечивается предпусковой разогрев моторного масла в поддоне двигателя, что необходимо даже для маловязких загущенных масел в условиях экстремально низких температур зимой.

Эффективность ЖМР значительно повышается, если его конструктивно оформить в виде трубок большего диаметра, расположив их в масляном поддоне ниже уровня масла и подключив эту конструкцию к системе охлаждения двигателя [1]. Такая конструкция становится значительно проще и надежнее вследствие уменьшения количества трубок и их соединений, а при установке ЖМТ в поддоне освобождается поверхность двигателя. Интенсивное движение моторного масла в поддоне двигателя относительно трубок ЖМТ регулируют направление теплопередачи от охлаждающей жидкости маслу (или наоборот) и повышают эффективность теплообмена.

Размещение ЖМТ в поддоне повышает долговечность и безотказность двигателя в условиях холодного климата. Длительные лабораторные и производственные испытания трубчатых теплообменников, расположенных в поддоне двигателей СМД-14Б, А-41, А-01, ЯМЗ-238, ВАЗ, и предназначенных для предпускового разогрева масла, показали их высокую эффективность: давление масла в системе смазки появляется в

период прокручивания коленчатого вала и пуска двигателя при температуре воздуха до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, что предотвращает отказы подшипников коленчатого вала [1]. Скорость изнашивания двигателей, контролируемая спектральным анализом периодически отбираемых проб масла, снижается на 20–25 % [2].

Следует отметить, что установка ЖМТ в поддоне двигателя снижает скорость изнашивания деталей не только в период пуска-прогрева двигателя, но и в процессе последующей работы, охлаждая масло от максимально допускаемой температуры (120–130 $^{\circ}\text{C}$) до оптимальной, равной температуре охлаждающей жидкости в процессе работы двигателя.

Размеры опытных теплообменников (поверхность теплообмена) обычно рассчитывали для обеспечения предпускового разогрева моторного масла в течение 0,5 ч от температуры -40 до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ известными методами расчета теплообменных аппаратов.

На рис. 1 показано, что масло, нагреваемое в процессе работы двигателя, охлаждается в радиаторе Q_p стенками масляного поддона Q_n за счет обдува потоком воздуха при движении автомобиля или трактора, а также стенками блока двигателя, омываемыми охлаждающей жидкостью $Q_{ож}$

$$Q_m = Q_p + Q_n + Q_{ож}. \quad (1)$$

Наибольшее количество теплоты от масла отводится радиатором Q_p и поддоном Q_n , поэтому у двигателей легковых автомобилей с малым объемом масла в поддоне часто масляные радиаторы отсутствуют. Величина Q_n рассчитывается исходя из охлаждающей поверхности поддона, коэффициента теплопередачи от масла к воздуху и разности температур масла и наружного воздуха. Эффективность охлаждения масла через стенки поддона Q_n значительно снижается, если поддон двигателя закрыт снизу защитными листами. Глубину охлаждения масла стенками блока двигателя и потоком воздуха, создаваемым вентилятором $Q_{ож}$, можно принять как незначительную.

Очевидно, для поддержания температуры масла в двигателе постоянной, жидкостно-масляный теплообменник должен отводить (подводить) столько теплоты Q_p , сколько теплоты Q_m получает (теряет) масло при нагреве (охлаждении) на температуру Δt в процессе работы двигателя:

$$Q_m = Q_p, \text{ кДж/ч}. \quad (2)$$

Количество теплоты, переданное маслу, определяется скоростью нагрева:

$$Q_m = c \cdot G \cdot (t_m - t_b) / \tau, \text{ кДж/ч}, \quad (3)$$

где c — теплоемкость масла, кДж/(кг·К); G — масса масла в системе смазки, кг; $\Delta t = t_m - t_b$ — изменение температуры масла от оптимальной,

равной температуре охлаждающей жидкости t_b , до максимально допустимой t_m на наиболее тяжелом режиме работы двигателя за время τ , ч; $(\Delta t/\tau)$ — скорость нагрева масла при переходе на тяжелый режим работы двигателя).

Количество теплоты, отводимой от масла теплообменником,

$$Q_p = F \cdot k \cdot (t_m - t_b), \quad (4)$$

где Q_p — количество отводимого от масла тепла, кДж/ч; F — площадь поверхности теплообменника, м^2 ; k — коэффициент теплопередачи от масла к охлаждающей жидкости, кДж/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{K}$); t_m , t_b — максимальная температура масла и охлаждающей жидкости, К.

С учетом равенства (2), (3) и (4) и принимая изменение температуры масла Δt , равное изменению температуры между охлаждающей жидкостью и масла ($t_m - t_b$), поверхность водомасляного теплообменника можно определить из соотношения

$$F = \frac{c \cdot G}{k \cdot \tau}, \text{ м}^2. \quad (5)$$

Конструктивные особенности и размеры масляного поддона определяют диаметр трубок и размеры водомасляного теплообменника (ВМТ), установленного в поддоне двигателя.

Так, при $c = 2,1$ кДж/кг·К; $G = 5,52$ кг; значении коэффициента теплопередачи от масла к охлаждающей жидкости, $k = 836$ кДж/ $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{K}$, и изменении температуры масла от оптимальной до максимальной в течение 0,5 ч расчетная поверхность теплообменника для двигателя ГАЗ-69 составит 0,0277 м^2 . Фактическая поверхность теплообменника с трубками диаметром 22 мм и длиной 493 мм составит 0,034 м^2 .

Эффективность ВМТ двигателя ГАЗ-69 оценивали по изменению температуры воды в радиаторе, на входе и выходе из водомасляного теплообменника, температуры масла в поддоне и в фильтре грубой очистки масла (рис. 2).

Температуру воды и масла в процессе испытаний двигателя измеряли с помощью цифрового термометра ВМ1707 и датчиков DS18B20 с точностью до 0,125 $^{\circ}\text{C}$.

Средняя скорость движения охлаждающей жидкости по водомасляному теплообменнику, измерялась счетчиком расхода воды марки СГВ и составила $v_{ср} = 3,4$ л/мин.

После пуска двигатель прогревали на холостом ходу на различных режимах: без включения ВМТ, с включенным ВМТ (без термостата), а также с включенным ВМТ и установленным термостатом. Пример записи температуры при испытаниях двигателя показан на рис. 3. Полученные результаты сведены в табл. 1.

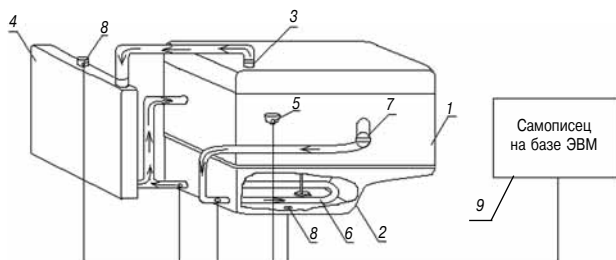


Рис. 2. Схема измерения температуры моторного масла и охлаждающей жидкости в процессе прогрева и работы двигателя:

1 — двигатель; 2 — картер двигателя; 3 — термостат; 4 — радиатор; 5 — фильтр грубой очистки масла; 6 — водомасляный теплообменник; 7 — счетчик воды; 8 — цифровые термометры; 9 — персональный компьютер и печатающее устройство

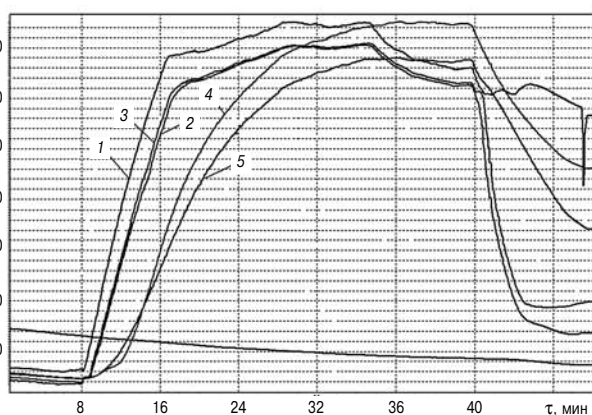


Рис. 3. Изменение температуры охлаждающей жидкости и моторного масла в процессе прогрева двигателя с водомасляным теплообменником:

1 — вода в радиаторе; 2 — вода на выходе ВМТ; 3 — вода на входе ВМТ; 4 — масло в фильтре; 5 — масло в поддоне

На графике видно, что в процессе работы двигателя температура масла в фильтре и поддоне поддерживается на уровне охлаждающей жидкости, что подтверждает эффективность применения водомасляного теплообменника.

Скорость прогрева масла значительно возрастает при использовании ВМТ, и до 24-й минуты работы двигателя температура воды на входе в ВМТ выше, чем на выходе, то есть теплообменник подогревает масло. После 24-й минуты температура воды на выходе из ВМТ больше чем на входе, то есть теплообменник охлаждает масло.

После остановки двигателя температуры воды и масла довольно быстро снижаются (даже при высокой температуре воздуха).

Эффективность жидкостно-масляного теплообменника в поддоне двигателя проверяли в условиях эксплуатации автомобиля ВАЗ, в стандартной комплектации которого масляный радиатор отсутствует (рис. 4). Температуру масла в поддоне измеряли переносным электронным термометром, датчик (термопара) которого уста-

Температура охлаждающей жидкости и моторного масла (°C) в различных точках измерения

τ, мин	Моторное масло		Охлаждающая жидкость		
	в поддоне	в фильтре	ВМТ вход	ВМТ выход	в радиаторе
8	34,94/36,93	32,94/36,06	61,38	59,31	71,13
16	49,0/68,19	52,31/74,56	85,38	84,75	90
24	61,63/82,94	66,5/89,56	90,5	90,38	95
32	—/87,69	94,13	90,38	90,81	94,88

Числитель — без ВМТ, знаменатель — с ВМТ.

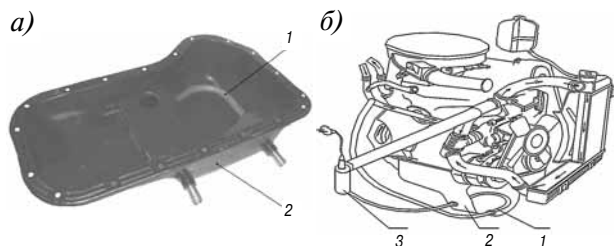


Рис. 4. Масляный поддон (2) с водомасляным теплообменником (1) (а) и схема включения его в систему охлаждения двигателя ВАЗ-2103 (б):

3 — электрический нагревательный элемент (ТЭН)

новлен в сливной пробке поддона двигателя, а температуру охлаждающей жидкости (тосол) контролировали по показаниям штатного термометра на автомобиле.

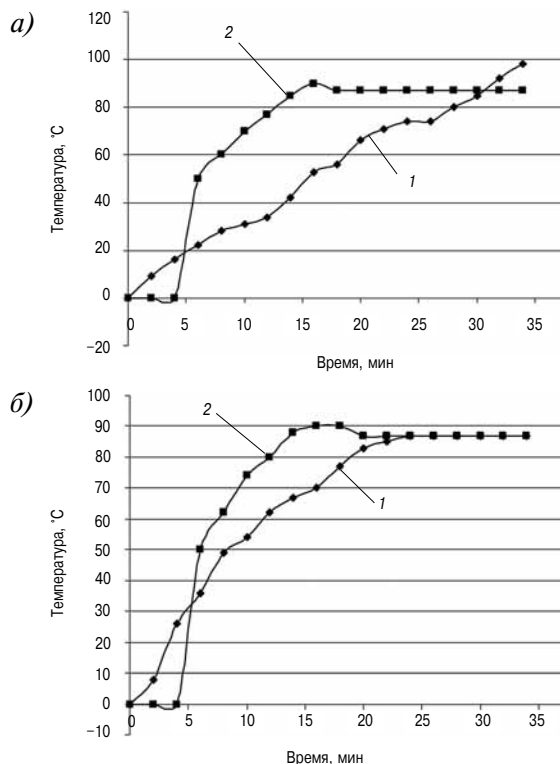


Рис. 5. Изменение температуры масла (1) и охлаждающей жидкости двигателя (2) без (а) и с жидкостно-масляным теплообменником в поддоне (б)

Таблица 2

Результаты спектрального анализа проб моторного масла, интенсивность излучения (имп./с, числитель), относительное содержание элементов (% , знаменатель)

Пробег до отбора пробы масла, км	Содержание элементов в пробе, имп./с						Фон Σ
	Fe	Cr	Cu	Mn	Zn	Pb	
Свежее	421 1,014	60 0,144	9750 23,479	48 0,116	31247 75,247	—	4518 41526
Без ЖМТ, 7300	3288 5,908	56 0,101	10 206 18,337	76 0,137	40 398 72,582	1634 2,936	4370 55 658
ЖМТ включен, 7600	4358 7,977	38 0,070	9103 16,663	68 0,124	39 610 72,506	1454 2,661	3998 54631
ЖМТ включен, 9800	4780 8,493	67 0,119	9814 17,437	50 0,089	40 517 71,987	1056 1,876	4217 56284

На рис. 5 показано изменение температуры охлаждающей жидкости и моторного масла после пуска двигателя без теплообменника и с включенным теплообменником. Если после пуска двигателя при температуре воздуха (−1 °С) без теплообменника моторное масло прогревается до температуры охлаждающей жидкости за 30 минут и температура масла интенсивно увеличивается до 98 °С (рис. 5, а), то при более низкой температуре пуска двигателя (−5 °С) с теплообменником масло прогревается в течение 20 минут и его температура остается постоянной, равной температуре охлаждающей жидкости (87 °С) (рис. 5, б).

При движении автомобиля в городских условиях температура масла отличается от температуры охлаждающей жидкости всего на 1–2 °С.

В процессе испытаний из двигателя брали пробы моторного масла и контролировали рентгено-спектральным методом содержание основных элементов — индикаторов износа деталей. На первом этапе испытаний (7300 км пробега) двигатель работал без теплообменника, а затем с включенным теплообменником. Пробы масла брали до и после установки теплообменника.

Результаты анализа проб (табл. 2), показывают устойчивое снижение содержания свинца в пробах, взятых после включения теплообменника, что свидетельствует о благоприятном влиянии оптимальной температуры моторного масла на скорость изнашивания подшипников коленчатого вала.

Таким образом, проведенные испытания показали эффективность применения жидкостно-масляных радиаторов, установленных в поддоне двигателя.

Литература

1. Суранов Г.И. Водомасляные радиаторы в поддоне ДВС повышают эффективность системы смазки / Г.И. Суранов // Двигателестроение. — 1985. — № 3. — С. 19–20.
2. Суранов Г.И. Снижение износа деталей машин (монография) / Г.И. Суранов. УГТУ. — М., 1999. — 225 с.
3. Суранов Г.И. Методические вопросы рентгеноспектрального флуоресцентного определения микроэлементного состава масел и смазок / Г.И. Суранов, А.А. Латышев // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2009. — № 8. — С. 30–34.
4. Суранов Г.И. Триботехника. Повышение долговечности транспортных двигателей: монография / Г.И. Суранов. — Ухта : УГТУ, 2011. — 335 с.