

*Вакуленко В.В., канд. техн. наук; Ковалев М.С., Крот С.Г.,  
Кузьминский В.А., Чучмарь И.Д.*

## ПРОБЛЕМЫ ЗАКАЧКИ МАСЛА В СИСТЕМУ СМАЗКИ ПЕРЕД ПУСКОМ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ СТОЯНКИ ДВИГАТЕЛЯ

**Введение.** При проектировании силовых установок машин специального назначения актуальным вопросом является создание эффективной системы смазки двигателя. Система смазки двигателя является наиболее ответственной системой обслуживающей дизельный двигатель и поэтому к ней предъявляются повышенные требования по надежности и длительности исправной работы.

Расчет и реализация отдельных элементов системы смазки двигателя из-за различных вариационных компоновочных неопределенностей на этапе опытного производства не всегда соответствует заданным характеристикам. Исходя из этого, важным элементом в создании надежной системы смазки двигателя при новом проектировании является экспериментальные исследования.

В настоящей работе предпринята попытка моделирования процесса течения двухфазной среды (жидкость-газ) на основе экспериментальных данных.

Известно, что в турбулентных течениях ограниченных поверхностью канала при достаточно больших числах Рейнольдса молекулярная вязкость не оказывает непосредственного влияния на характер потока [1], кроме того, в турбулентной струе вихри, несущие основную часть энергии течения, состоят в большей степени из вторичной, менее вязкой фазы (газ). Это дает основание полагать, что процесс течения двухфазной турбулентной струи может быть описан на основании модели однофазной турбулентной струи и экспериментальных исследований.

**Актуальность темы.** В настоящей работе рассмотрены методы оценки совершенства конструктивных элементов системы смазки двигателя, в частности, работа маслозакачивающего насоса, предназначенного для подачи масла в двигатель перед пуском. Схема системы представлена на рис.1.

В процессе работы маслозакачивающего насоса наблюдается течение рабочего тела состоящего из масла и воздуха по трубопроводу, сопровождающееся гидравлическими потерями, значения которых зависят от режима течения, а также от формы, размеров и шероховатости трубопроводов.

Поскольку объем воздуха, растворенного в жидкости до его насыщения, прямопропорционален давлению, то при уменьшении давления ниже значения, при котором произошло насыщение жидкости газом, происходит выделение излишков воздуха [1]. Поэтому для успешной прокачки маслозакачивающим насосом необходимы условия для выделения газа в виде пузырьков воздуха, чтобы привести рабочую жидкость к гидродинамическому равновесию фаз. Кроме этого проведем анализ по эффективности закачки масла в двигатель маслозакачивающим насосом при различных конструктивных условиях.

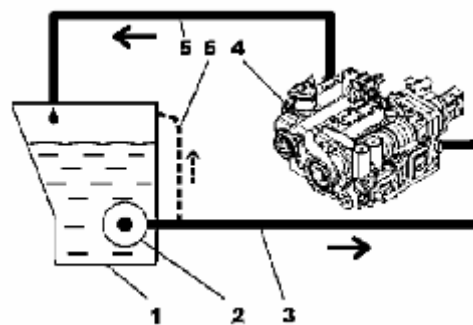


Рис.1 Схема установки стравливающего контура

1 – маслобак; 2 – МЗН; 3- трасса к двигателю;  
4 – двигатель 3-ТД; 5 – обратный контур;  
6 – стравливающий контур

**Основная часть.** Из многолетнего опыта испытания дизельных двигателей известно, что состав закачиваемого масла является неоднородным. Эмпирический процесс течения масла в замкнутой магистрали происходит с повышенным термодинамическим сопротивлением трения, а картина движения продолжительное время имеет характер неустановившегося течения.

При исследовании течения газожидкостной смеси было обнаружено, что эффект снижения сопротивления трения наблюдается при достижении определенного относительного уровня концентрации, после чего содержащиеся в масле пузырьки воздуха и газа, а также твердые включения, при установившемся режиме движения не оказывают существенного влияния на работу насоса [1].

Основываясь на кинетической теории движения газов в ламинарном потоке известно, что процесс выравнивания полей скоростей, температуры, плотности потока осуществляется за счет вязкого трения; также имеет место поперечный обмен импульсом, вызванный хаотическим движением молекул со средней тепловой скоростью  $c$  и средней длиной свободного пробега  $\lambda$ . В таком случае уравнение напряжения трения можно выразить следующим образом:

$$\tau_{\text{лам}} = p \cdot \frac{\lambda \cdot \bar{c}}{3} \cdot \frac{dU}{dy} \quad (1)$$

При турбулентном обтекании в процессе выравнивания параметров потока по сечению участвуют не отдельные молекулы, а целые группы молекул. Известно, что прежде чем изменить свою скорость и смешаться с основным потоком, жидкая частица преодолевает определенный путь – характерное расстояние. Этот путь Прандтль назвал путем смешивания  $l$ . Поэтому, применяя выражения напряжения трения в ламинарном потоке, можно получить выражение для турбулентного напряжения трения [2]:

$$\tau_{\text{турб}} = p \cdot l^2 \left( \frac{\bar{c}}{3l} \right) \frac{dU}{dy} = p \cdot l^2 \left( \frac{dU}{dy} \right)^2 \quad (2)$$

Применим кинетическую теорию к нашей системе, используя уравнения Лиувилля в фазовом пространстве:

$$\frac{dFN}{dt} = HN \cdot FN, \quad (3)$$

где  $FN$  - функция распространения, которая состоит из  $N$  одночастных функций  $f_1(X_1)$ . Не сложно понять, что данная функция удовлетворяет кинетическому уравнению Больцмана:

$$\frac{dy}{dx} = I(t, f_1), \quad (4)$$

а  $H = \iiint f_1 l_n f_1 dV$  - функция Больцмана. Тогда, основываясь на (2), получаем  $\frac{dH}{dt} \leq 0$ . В свою очередь энтропия по Больцману имеет вид:

$$S = \beta l W_{\text{терм}} = \beta H. \quad (5)$$

Для идеального газа  $\beta = k$ , следовательно:

$$S = kH, \quad (6)$$

$k$  – постоянная Больцмана.

Так как  $\frac{dS}{dt} \geq 0$ , то энтропия изолированной системы увеличивается (при наличии неоднородности, что в нашем случае является начальным условием) и приводит систему к установившемуся режиму; когда энтропия системы максимальна, наступает полное термодинамическое равновесие.

Конструктивная схема стравливающего контура показана на рис.2. Контур предназначен для отвода воздуха при заполнении маслоподающей трассы маслом. Забор масла производится маслозакачивающим насосом (МЗН) 2, оттесняемый воздух, содержащийся в пене, после прохождения через полости поворотного угольника 3, стравливается с небольшой частью расхода масла, через жиклер 5 и возвратный патрубок 6 обратно в маслобак 1.

Исследования подтвердили положительный эффект применения стравливающего контура. Прокатка масла и запуск двигателя после продолжительной стоянки производилась так же устойчиво, как и сразу после останова двигателя.

Полевые испытания выявили, что при некоторых положениях корпуса происходит закупорка жиклера, что сводит на нет применение стравливающего контура. При крене бронетранспортера (БТР-4) на правый борт более  $7^\circ$  и при дифференте на корму более  $11^\circ$  (рис.3) уровень масла распределяется таким образом, что заливает возвратный патрубок 6, это приводит к запиранию жиклера 5 (рис.2).

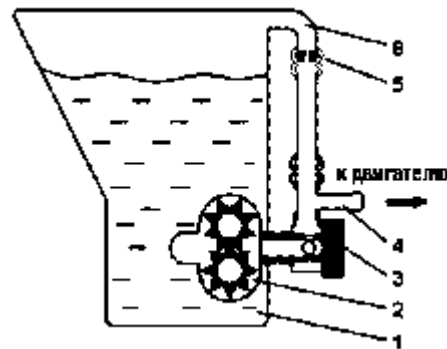


Рис.2. Схема не доработанного стравливающего контура  
1 - маслобак; 2 - маслозакачивающий насос (МЗН);  
3 - поворотный угольник; 4 - отвод к основной трассе на двигатель; 5 - жиклер;  
6 - возвратный патрубок

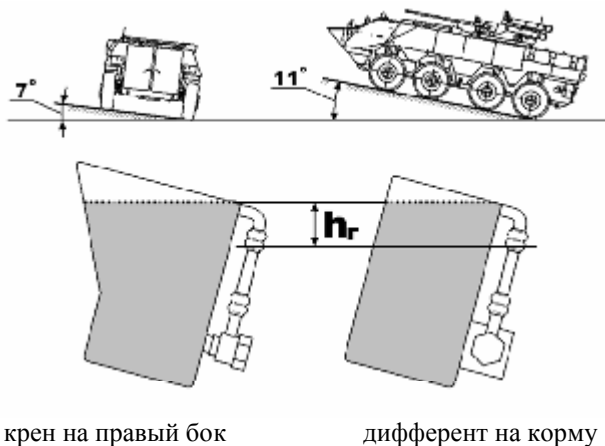


Рис.3 Процесс запирания жиклера

отсутствием к настоящему времени нелинейной модели течения, подтвержденной экспериментами, поэтому столь подробное рассмотрение этого вопроса неуместно в контексте описываемого узла. Исходя из вышесказанного, авторы ограничиваются лишь описанием схемы течения, на основе которой были приняты конструктивные решения, о которых будет сказано ниже.

В ходе проведенного анализа процессов, происходящих в масляных трассах, было выявлено значительное влияние капиллярных эффектов, имеющих место в канале жиклера с малым диаметром при течении высокодисперсной смеси масла с воздухом. Согласно современным представлениям гидродинамики вспененных жидкостей, неаналитическое изучение данного вопроса сопряжено с большими трудностями, которые в первую очередь связаны с

Как уже говорилось, в момент пуска двигателя маслопроводящие каналы начинают заполняться маслом и вытеснять масляно-воздушную пену. Масло, и в частности, масляная пленка, хорошо смачивает материал поверхности каналов. Если на основной части масляной магистрали, имеющей достаточный гидравлический диаметр, эффекты смачиваемости имеют малое проявление и не влияют на общую картину течения, то в канале жиклера 5 (рис.2), проявляются капиллярные эффекты, которые совместно с относительно большой вязкостью масла приводят к совокупности процессов, вызывающих гидравлическое запирание в жиклере с соответствующими последствиями для узла в целом [3].

Рассмотрим более подробно процессы, происходящие непосредственно в канале жиклера. При движении по каналу воздушная каверна 3 (рис.4) уменьшает проходное сечение, одновременно с этим, из-за поджатия ее форма искажается и принимает вид мениска (рис.4), а процесс течения приобретает порционный вид. Дополнительное сопротивление продвижению воздушной каверны оказывает циркуляция масла в межплечном пространстве каверн, а также

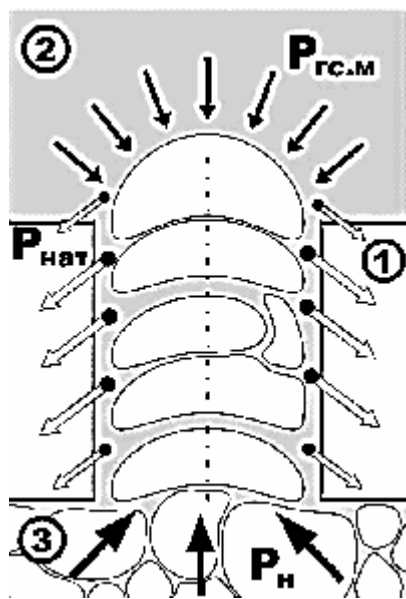


Рис.4 Схема течения масло-воздушной пены в канале жиклера

1 – тело жиклера; 2 – масло со стороны отводящего патрубка 6 на рис.2; 3 – масло-воздушная пена от МЗН.

**$P_{гс.м}$**  – гидростатическое давление столба масла высотой  $hг$  (см. рис.3);

**$P_н$**  – давление перед жиклером создаваемое МЗН,

**$P_{нат}$**  – распределенное давление создаваемое силой натяжения поверхности масляных каверн

высоковязкой жидкости, которой является масло, значительны по длине столь сложного канала с множествами поворотов, изгибов и вихревых карманов, следует отметить, что полное давление  **$P_н$**  (рис.4) на входе в жиклер со стороны МЗН будет несколько множествами поворотов, изгибов и вихревых карманов, следует отметить, что полное давление  **$P_н$**  (рис.4) на входе в жиклер со стороны МЗН будет несколько меньше, чем непосредственно за МЗН (см. рис.2). Также на каверны, движущиеся в канале жиклера, действует распределенное давление, вызванное прилипанием слоев масла к стенкам жиклера и передающееся по поверхности пленок воздушных пузырей. Создается псевдо-армирование структуры пены, текущей по каналу. Аналогию этого процесса можно

затраты энергии на «поршневидное» проталкивание порций масла менисками воздушных пузырей. Вместе с этим каверне приходится преодолевать повышенное прилипание в тонком пристеночном слое канала жиклера [4]. Несмотря на все вышеуказанные факторы, мешающие нормальному стравливанию масляно-воздушной пены из каналов масляной системы, процесс стравливания имел место, а нарушения были отмечены лишь при положениях корпуса, отмеченных на рис.3, то есть при залитом возвратном патрубке 6 (рис.2). Чтобы выяснить, какие силы предотвращают процесс стравливания пены 2 (рис.4), рассмотрим давления, действующие на масляно-воздушную дисперсию в канале залитого жиклера 1 (рис.4). Учитывая, что масляная пена более не обладает полными гидравлическими свойствами масла, в частности несжимаемостью, а также то, что гидравлические потери при течении

найти в металловедении, где вакансии в кристаллической структуре металла повышают прочность металла за счет напряженного состояния, вызванного образованием связей более дальнего порядка, чем нормальные [5]. Далее на каверны, покидающие канал жиклера действует гидростатическое давление столба масла высотой  $h_g$ , который имеет место только при положениях корпуса, описанном на рис.3. В отсутствии этого давления происходит нормальное стравливание пены и соответственно заполнение маслом трассы подачи масла к двигателю. Следовательно, проблемы в нормальной работе стравливающей трассы с жиклером вызваны именно этим давлением и сопряженными эффектами.

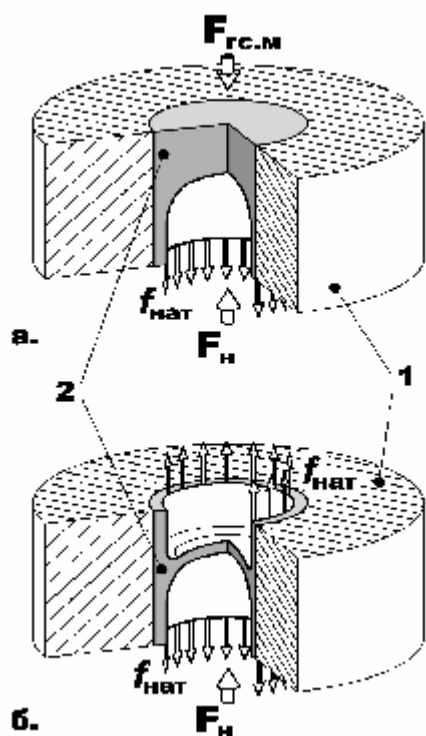


Рис.5 Два режима работы жиклера  
 а – залитый; б – не залитый.  
 1 – жиклер; 2 – масляная пленка

Рассмотрим два режима работы жиклера, изображенных на рис.5: залитый жиклер (а) при наклоне корпуса БТР-4 и не залитый (б) при горизонтальном положении корпуса. В случае не залитого жиклера (б) на пленку 2, продвигающуюся в канале, действует сила  $F_n$ , создаваемая давлением  $P_n$ , ей противостоит лишь вязкое трение в пристеночных слоях, его величина мала, а сила поверхностного натяжения  $f_{нат}$  уравнивается такой точно силой с обратной стороны пленки, в результате чего происходит стравливание. В случае с залитым жиклером (а) продвижению пленки противостоит сила  $F_{гс.м}$ , создаваемая давлением  $P_{гс.м}$ , а также неуравновешенная сила поверхностного натяжения  $f_{нат}$ . Вследствии сложных гидравлических структурных и поверхностных явлений, описанных выше, результирующая сила проталкивания пены  $F_n$  становится меньше результирующей сил сопротивления  $F_{гс.м}$ , что приводит к запираению канала жиклера.

Как решение, основанное на опыте прошлого проектирования подобных систем, было предложено использовать обратный нормально-закрытый клапан малого давления 7 (рис.6).

Установка клапана была произведена непосредственно перед жиклером 5. Испытания показали успешность данного решения, однако, время прокачки масляной системы в положениях корпуса БТР-4, описанных на рис.3, оказалось, тем не менее, несколько выше, чем в горизонтальном (при не залитом жиклере) положении. Это можно объяснить снижением влияния вышеописанных вредных факторов, вызывающих сопротивление стравливанию, но не полному их исчезновении. Стоит также отметить значительное увеличение гидравлического сопротивления системы стравливания, что может повлечь за собой повышенное содержание пены в основной магистрали двигателя.

Столь сильный полезный эффект от использования обратного клапана можно объяснить уменьшением объема воздушных каверн в масляной пене перед клапаном вследствие создаваемого им статического давления в маслоподающей трассе, а также обширным пеногашением при проталкивании пены сквозь узкий зазор между запираемыми поверхностями клапана.

**Выводы.** Основываясь на приведенных в статье исследованиях, можем заключить, что при проектировании маслоподводящих каналов системы смазки двигателя

необходимо учитывать ряд фактов, влияющих на работоспособность системы смазки, главными среди них являются:

1) В ходе исследований рабочих процессов в нагнетающей магистрали маслоподающего насоса необходимо учитывать возможность и необходимость выполнения стравливающей трассы.

2) Учитывать неоднородность рабочего тела, что делает необходимым принятие мер по достижению однофазности и приведению к термодинамическому равновесию текучей среды.

С учетом изложенных в статье исследований, были разработаны, изготовлены и испытаны стравливающие трассы с жиклером и дополнительно с клапаном на опытных единицах бронетранспортеров. Испытания подтвердили целесообразность дополнительной установки клапана на стравливающей воздух трассе.

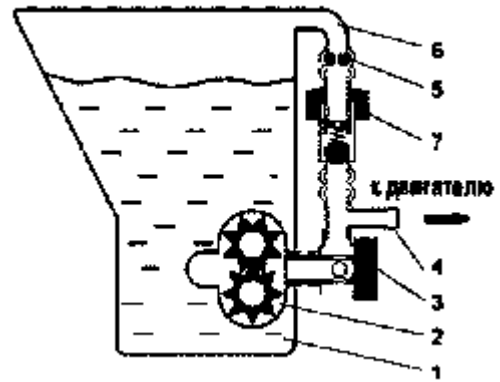


Рис.6. Схема доработанного стравливающего контура:

- 1 - маслябак; 2 - маслозакачивающий насос (МЗН); 3 - поворотный угольник; 4 - отвод к основной трассе на двигатель; 5 - жиклер; 6 - возвратный патрубок; 7 - обратный клапан

**Литература:** 1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. М. Машиностроение, 1971. 2. Филинов Б.В., Струминский В.В. Экспериментальные исследования возникновения и развития турбулентности в трубах. М. Наука, 1970. 3. Киселев В.И. Насосы Компрессоры Вентиляторы. М. Металлургиздат, 1959. 4. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 351 с. 5. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д.Зимон. – М.: Химия, 1974. – 414 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Bashta T. M. Mashinostroitel'naja gidravlika. M. Mashinostroenie, 1971. 2. Filinov B.V., Struminskij V.V. Jeksperimental'nye issledovanija vozniknovenija i razvitija turbulentnosti v trubah. M. Nauka, 1970. 3. Kiselev V.I. Nasosy Kompresory Ventiljatory. M. Metallurgizdat, 1959. 4. Shterenliht D.V. Gidravlika: Ucheb. dlja vuzov. – M.: Jenergoatomizdat, 1991. – 351 s. 5. Zimon A.D. Adge-zija zhidkosti i smachivanie / A.D.Zimon. – M.: Himija, 1974. – 414 s.

Вакуленко В.В., Ковальов М.С., Крот С.Г., Кузьмінський В.А., Чучмарь И.Д.

#### ПРОБЛЕМИ ПОДАЧІ МАСЛА ДО СИСТЕМИ ЗМАЩУВАННЯ ПЕРЕД ПУСКОМ ПІСЛЯ ДОВГОЇ СТОЯНКИ ДВИГУНА

В статті були проаналізовані основні проблеми що виникли при модифікації системи живлення маслом двигуна додатковим стравлювальним контуром. Дана оцінка ефективності використання даної конструкції.

Vakulenko V.V., Kovalev M.S., Krot S.G., Kuzminskiy V.A., Chuchmar I.D.

#### PROBLEMS OF REFUELLING OIL IN SYSTEM OF GREASING BEFORE START-UP AFTER LONG PARKING OF THE ENGINE

In article the basic problems the systems which have arisen at updating of giving of oil to the engine are analysed by an additional pitting contour. The estimation of efficiency of use of a similar design is given.