

Е. А. КРЕСТИН  
Г. В. СЕРЕБРЯКОВ

## ВЛИЯНИЕ ОБЛИТЕРАЦИИ ЩЕЛЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР НА РАБОТУ ПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### INFLUENCE OF GAP SEALS OBLITERATION OF PLUNGER COUPLES ON THE WORK OF ELECTRICITY SYSTEM DRIVES

Рассмотрено влияние облитерации щелевых зазоров плунжерных пар на стадии проектирования и расчета систем приводов агрегатов электроэнергетических систем. Облитерация рассмотрена как вредное явление, исходя из этого необходимы поиски методов и средств, способствующих стабилизации расхода. Такая задача возникает всякий раз, когда необходимо получить малые и стабильные во времени расходы жидкости. Так как облитерация всегда сопровождается ростом сил, потребных для перемещения сопрягаемых деталей относительно друг друга, например плунжера в гильзе, то игнорирование этого явления может привести к заниженным расходам утечек рабочей жидкости. Эти усилия тем больше, чем активнее идет процесс облитерации. Проведен анализ экспериментальных исследований для различных типов жидкостей при разных зазорах и пульсациях перепада давления по концам зазора. Процесс облитерации, вызванный адсорбированием молекул жидкости, был аппроксимирован экспоненциальной функцией, которая позволяет определить максимально возможную толщину граничного слоя жидкости, образованного на стенке канала.

**Ключевые слова:** облитерация, щелевые зазоры, расход утечек, гидроагрегаты, толщина граничного слоя

При течении жидкости через щелевые зазоры микронных размеров наблюдаются случаи нарушения стабильности расхода [1–3]. Утечка, начинаясь довольно большим потоком, может уменьшиться до доли первоначального значения за несколько десятков секунд. На рис. 1 приведены результаты проливки стандартно-чистой жидкости АМГ–10 и керосина ТС–1 через плоские щели размером 1,8×1,7 мм и высотой 10 мкм [1]. При течении рабочей жидкости через бесконтактное уплотнение щель как бы зарастает и ее проходное сечение уменьшается. Это явление получило название облитерации капиллярных зазоров.

Явление облитерации следует рассматривать, по крайней мере, в двух аспектах.

Во-первых, облитерация способствует герметизации агрегатов, и поэтому усилия иссле-

*The influence of obliteration of slotted gaps of plunger couples at the stage of design and calculation of drive systems for aggregates of electric power systems is considered. Obliteration is considered as a harmful phenomenon, on the basis of this, it is necessary to search for methods and means that contribute to the stabilization of flow. Such a problem arises whenever it is necessary to obtain small and stable over time fluid flow rates. Since obliteration is always accompanied by an increase in the forces required to move the mating parts relative to each other, for example, a plunger in a sleeve, ignoring this phenomenon can lead to underestimated costs of leakage of the working fluid. These efforts are all the more, the more active is the obliteration process. The analysis of experimental studies for various types of liquids with different gaps and pulsations of the pressure drop at the ends of the gap. The obliteration process, caused by the adsorption of liquid molecules, was approximated by an exponential function that allows you to determine the maximum possible thickness of the boundary layer of liquid formed on the channel wall.*

**Keywords:** obliteration, crevice gaps, leakage rate, hydraulic units, boundary layer thickness

дователей должны быть направлены на поиски таких материалов и покрытий стенок каналов, а также таких жидкостей и присадок к ним, которые усиливали бы этот процесс.

Во-вторых, облитерацию следует рассматривать как вредное явление, и, исходя из этого, необходимы поиски методов и средств, способствующих стабилизации расхода. Такая задача возникает всякий раз, когда необходимо получить малые и стабильные во времени расходы жидкости. Облитерация всегда сопровождается ростом сил, потребных для перемещения сопрягаемых деталей относительно друг друга, например плунжера в гильзе. Эти усилия тем больше, чем активнее идет процесс облитерации.

Явление облитерации щелевых уплотнений изучали [4–6] при перепадах давлений от 1,0 до 60 МПа. Жидкость, подводимая к об-

разцу щели, очищали различными типами фильтроэлементов, изготовленных из фетра, металлических сеток, бумаги АФБ – 14. Размер высоты зазора в плоских щелях изменяли от 4 до 34 мкм, в кольцевых щелях – от 10 до 30 мкм, а диаметр круглых отверстий – от 15 до 420 мкм. Через образцы проливали различные жидкости: бензин Б-70, воду дистиллированную и водопроводную, керосин, глицерин, а также масла: силиконовое 7 – 5 – СЗ, АМГ – 10, веретенное АУ, МК – 8 и МС – 20. Температуру жидкости при проливках изменяли от + 15 до + 150 °С.

Большинство экспериментов было выполнено на стенде, особенность конструкции которого заключалась в том, что жидкость, подводимая к опытному образцу щели через разделитель-гидроаккумулятор с эластичной мембраной, отделялась от жидкости, циркулирующей в основной системе. Такая конструкция позволяла проливать через образцы щелей жидкости с разной степенью фильтрации без замены масла в основной системе. При этом значительно улучшалась возможность получения стабильной температуры жидкости.

Влияние типа рабочей жидкости на величину расхода утечек определяли экспериментальным путем.

Зависимость облитерации от типа жидкости подтверждается опытными данными (рис. 2) проливов жидкости АМГ-10 и веретенного масла через плоскую щель с высотой зазора  $h = 8$  мкм. Очистка жидкостей от загрязнений была одинаковой: перед образцом щели устанавливали фильтр ФГ-11/1 с бумажным фильтроэлементом (бумага АФБ-1К). На оси

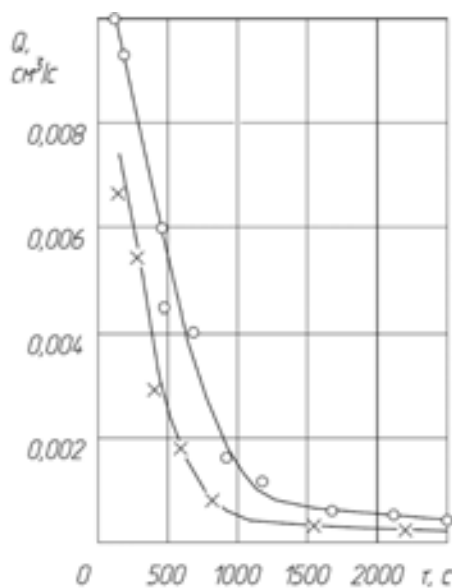


Рис. 1. Результаты проливки стандартно-чистой жидкости АМГ – 10 и керосина ТС- 1

абсцисс показано время непрерывной проливки, а на оси ординат – значение относительного расхода  $Q_{\phi}/Q_n$ , представляющего собой отношение фактического расхода  $Q_{\phi}$  к расходу, замеренному в самом начале проливки жидкости  $Q_n$ . Постоянное значение относительного расхода, равное единице, свидетельствует о том, что расход стабилен и со временем не изменяется. Уменьшение относительного расхода со временем вызвано облитерацией щели. Из графика рис. 1 следует, что интенсивность уменьшения расхода масла АУ значительно выше, чем жидкости АМГ-10. Интересны также результаты проливки этих же жидкостей через плоскую щель высотой 22 мкм (рис. 2, б). Если уменьшения расхода жидкости АМГ-10 для этого размера со временем не наблюдалось, то расход веретенного масла плавно уменьшался и через 30 мин составлял 35 % от начального.

Для практики несомненный интерес представляет сравнительная оценка облитерирующих свойств жидкостей, используемых в гидравлических и топливных системах и системах смазки двигателей. Была произведена оценка адсорбционных свойств десяти жидкостей: керосина, бензина Б-70, глицерина, воды водопроводной и дистиллированной, масел силиконового 7-50-СЗ, АМГ-10, веретенного АУ, МК-8 и МС-20.

Среди испытываемых рабочих тел были сложные по молекулярному составу жидкости – это масла, к которым для повышения смазывающего действия, как правило, добавляются поверхностно-активные вещества (присадки), а также жидкости, не содержащие поверхностно-активных молекул, например такие, как бензин и керосин.

Для создания равнозначных условий, позволяющих проводить сравнения, было учтено, что вязкость жидкостей различна. Поэтому и расход через щелевой зазор будет различным. Расход в эксперименте измеряли после протекания через щель определенного и одинакового объема жидкости. Для маловязких жидкостей объем брали 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 см³, а для вязких жидкостей типа масла МК-8 объем составлял 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 см³. Жидкости тщательно очищали от частиц загрязнений. Для этого перед образцом щели на пути следования жидкости устанавливали фильтры со средним размером пор порядка 0,8 мкм. Микроанализ проб жидкостей показал, что механических частиц размером, превышающим 2 мкм, в рабочей среде не было. Опытный образец щели был плоским, разборным, с размерами канала 0,01х6,1х7,88 мм. Проливку через канал выполняли при температуре 16–20 °С при перепаде давления 5,0 МПа.

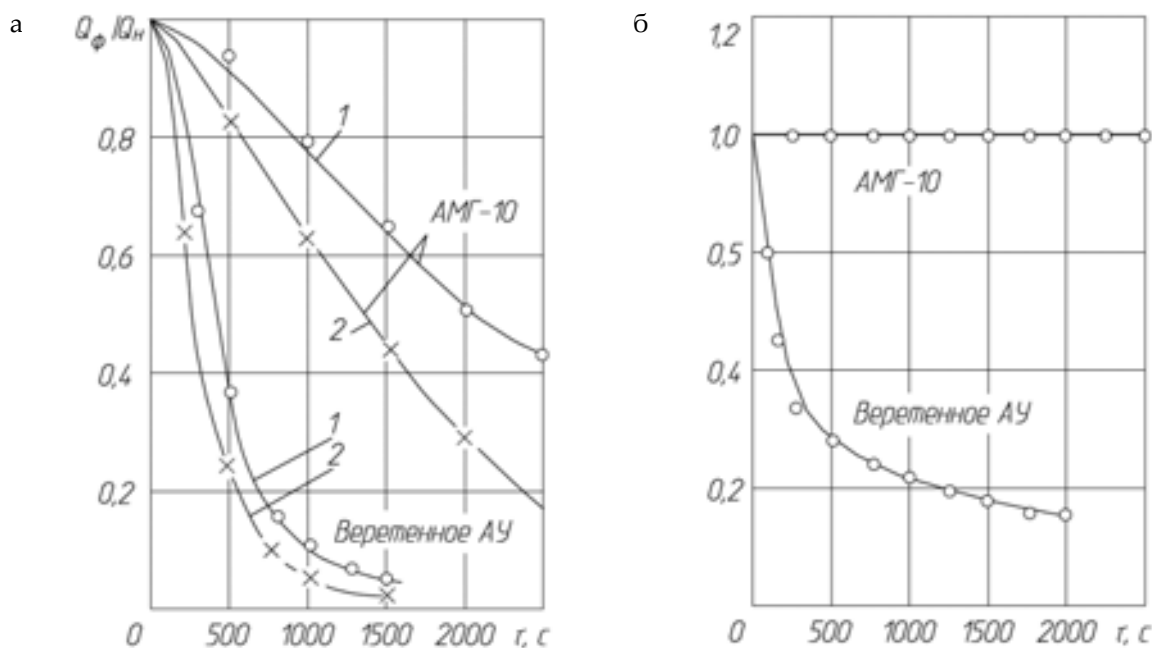


Рис. 2. Зависимость относительной величины расхода  $Q_f/Q_n$  и жидкости АМГ-10 и веретенного масла АУ от времени проливки: а – щель 8 мкм: 1 –  $\Delta p = 1$  МПа, 2 –  $\Delta p = 2$  МПа; б – щель 22 мкм:  $\Delta p = 2,0$  МПа

Результаты экспериментов в виде графических зависимостей относительного расхода  $Q_f/Q_n$  от объема пролитых через щель различных жидкостей представлены на рис. 3. По результатам экспериментальных исследований был проведен анализ.

Анализ полученных данных подтверждает, что характер течения в щелях микронных

размеров зависит от типа жидкости [7–9]. При проливке через образец щели бензина Б-70, дистиллированной воды, керосина, глицерина облитерации канала не наблюдалось, в то время как при течении других жидкостей расход со временем уменьшался. Наибольшая интенсивность уменьшения расхода была замечена у масел МК-8 и МК-20, далее идут – масло АУ, силиконовое 7-50-СЗ, водопроводная вода и, наконец, масло АМГ-10. Как показали опыты, величина относительного расхода у жидкостей, склонных к облитерации, зависит от массы пролитой через щель жидкости. При течении через щель масел МК-8 и МК-20 через некоторое время наблюдалось полное заращивание щели и утечка прекращалась. При проливках веретенного масла, 7-50-СЗ, водопроводной воды и масла АМГ-10 уменьшающийся в начале проливки расход через некоторое время стабилизируется. Интенсивность снижения расхода, максимальная в начале проливки, постепенно снижается.

Это обстоятельство можно объяснить следующим образом. Согласно существующему представлению о формировании и структуре граничных слоев, явления, происходящие в капиллярном канале, схематически могут быть описаны так. При возникновении течения через щель металлические стенки щели, обладая поверхностной энергией, интенсивно взаимодействуют с жидкостью и адсорбируют на своей поверхности полярно-активные молекулы

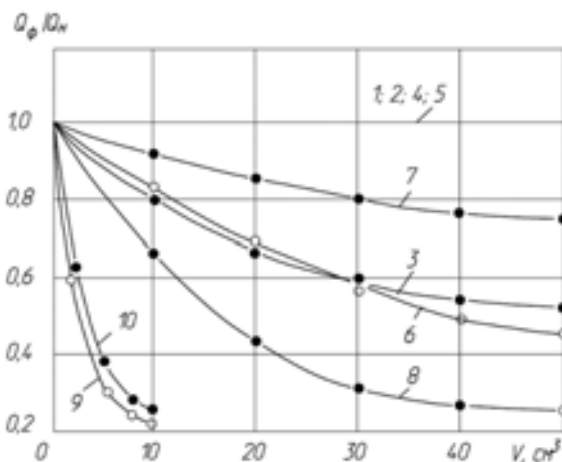


Рис. 3. Зависимость относительного расхода от объёма пролитой через щель жидкости ( $h = 10$  мкм): 1 – бензин Б-10; 2 – вода дистиллированная; 3 – вода водопроводная; 4 – керосин ТС-1; 5 – глицерин; 6 – силикон 7-50-СЗ; 7 – АМГ-10; 8 – масло веретенное АУ; 9 – масло МК-8; 10 – масло МК-20

последней, образуя у границы неподвижные слои жидкости, уменьшающие эффективное сечение щели. При достижении определенной толщины граничного слоя дальнейший его рост прекращается, так как действие силового поля твердой поверхности, ограничивающей щель, ослабевает в результате экранирующего влияния близлежащих к твердой поверхности слоев полярных молекул. Скорость процесса напластования полярных молекул при прочих равных условиях зависит от расхода жидкости через щель: чем больше расход, тем больше в единицу времени через щель пройдет полярно-активных молекул и тем большее их количество адсорбируется на ее стенках. Такие предположения объясняют зависимость утечки при облитерации щели от времени и количества пролитой жидкости, а также причину более быстрого темпа уменьшения расхода в начале проливки по сравнению с последующими периодами. Можно ожидать, что относительные перемещения стенок каналов могут привести к разрушению пластов из ориентировочных молекул и стабилизации расхода. Поэтому осцилляция одной из стенок зазора ведет к увеличению расхода утечек [2]. В каналах, где относительная толщина адсорбированных слоев незначительна по сравнению с размером щели, уменьшение расхода не обнаружено.

Наличие опытных данных позволило математически описать процесс облитерации щелей, вызванный адсорбированием молекул жидкости стенками каналов. Пусть при течении жидкости через щель толщина граничного слоя  $\delta$  на стенке канала, увеличиваясь со временем, стремится к некоторой предельной величине и выражается зависимостью

$$\delta = \delta_{\max} (1 - e^{-\beta \tau}). \quad (1)$$

Здесь  $\delta_{\max}$  – максимально возможная толщина граничного слоя;  $\tau$  – время после начала истечения;  $\beta$  – коэффициент пропорциональ-

ности, зависящий от типа жидкости и материала стенок канала;  $e$  – основание натурального логарифма.

Из формулы видно, что при  $\tau \rightarrow \infty$  толщина граничного слоя  $\delta \rightarrow \delta_{\max}$  и при  $\tau \rightarrow 0$ ,  $\delta \rightarrow 0$ . При образовании на стенках канала квазитвердых слоев жидкости расход  $Q$  через щелевое уплотнение будет уменьшаться со временем, так как переменной будет и величина зазора  $h = h_0 - 2\delta$ :

$$Q = \frac{Wh^3 \Delta p}{12\nu \rho l},$$

где  $h_0$  – начальный зазор.

Можно пренебречь изменением ширины зазора  $W$ , вызванного облитерацией, так как  $W \gg h_0$ . При таких предположениях и допущениях расход выразится в виде зависимости

$$Q = \frac{W \Delta p}{12\nu \rho l} [h_0 - 2\delta_{\max} (1 - e^{-\beta \tau})]^3 = \frac{Wh^3 \Delta p}{12\nu \rho l} \left[ 1 - \frac{2\delta_{\max}}{h_0} (1 - e^{-\beta \tau}) \right]^3 = Q_n \left[ 1 - \frac{2\delta_{\max}}{h_0} (1 - e^{-\beta \tau}) \right]^3. \quad (2)$$

Относительный расход составит

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Q_n} = \left[ 1 - \frac{2\delta_{\max}}{h_0} (1 - e^{-\beta \tau}) \right]^3. \quad (3)$$

При  $\tau \rightarrow \infty$  величина  $e^{-\beta \tau} \rightarrow 0$  и выражение (3) запишется в виде

$$\bar{Q}_{\text{ст}} = \frac{Q}{Q_n} = \left[ 1 - \frac{2\delta_{\max}}{h_0} \right]^3. \quad (4)$$

Здесь  $\bar{Q}_{\text{ст}}$  – стабилизировавшийся относительный расход (рис. 4). Уравнение (4) позволяет определить максимально возможную толщину граничного слоя жидкости, адсорбированной на стенке канала:

$$\delta_{\max} = \frac{h_0}{2} (1 - \sqrt[3]{\bar{Q}_{\text{ст}}}). \quad (5)$$

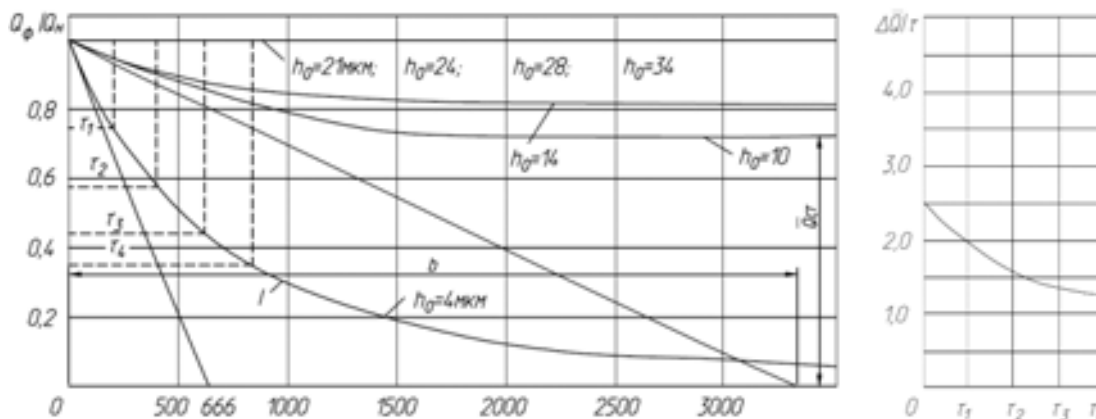


Рис. 4. Зависимость величины относительного расхода жидкости АМГ-10 от времени проливки

Для определения величины коэффициента пропорциональности найдём производную выражения (3) по  $\tau$ :

$$\frac{d\bar{Q}}{d\tau} = -3\beta e^{\beta\tau} \frac{2\delta_{\max}}{h_0} \left[ 1 - \frac{2\delta_{\max}}{h_0} (1 - e^{-\beta\tau}) \right]^2,$$

при  $\tau = 0, e^{-\beta\tau} = 1,0$

$$\left( \frac{d\bar{Q}}{d\tau} \right)_{\tau=0} = -3\beta \frac{2\delta_{\max}}{h_0} = -3\beta \sqrt[3]{\bar{Q}_{\text{cr}}} - 1.$$

Производная функции  $\frac{d\bar{Q}}{d\tau}$  является тангенсом угла наклона касательной к кривой в данной точке

$$\left( \frac{d\bar{Q}}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \text{tg}\theta = 1/b,$$

где  $b$  – абсцисса точки пересечения с осью  $\tau$ , касательной к кривой.  $\bar{Q} = f(\tau)$ , в точке  $\tau = 0$  (см. рис.4). В результате получаем зависимость

$$\beta = -\frac{1}{3b(\sqrt[3]{\bar{Q}_{\text{cr}}} - 1)}. \quad (6)$$

Величины  $\bar{Q}_{\text{cr}}$  и  $b$  для (5) и (6) можно определить из графиков проливов (см. рис. 4).

Касательную к кривой  $\bar{Q} = f(\tau)$  в точке с абсциссой  $\tau = 0$  можно провести несколькими способами: на глаз с помощью прозрачного угольника или линейки проведением нормали к кривой с использованием зеркальной линейки или методом секущих. Последний способ является наиболее точным из применяемых способов графического дифференцирования.

Рассмотрим методику проведения касательной в точке  $\bar{Q} = 1,0$  и  $\tau = 0$  к кривой  $\bar{Q} = f(\tau)$  обозначенной на рис. 4 индексом I, методом секущих. Из точки с координатами  $\bar{Q} = 1,0$  и  $\tau = 0$  кривой I проводим несколько секущих. Тангенс угла наклона каждой из секущих определим частным от деления  $\Delta\bar{Q}_1/\tau_1, \Delta\bar{Q}_2/\tau_2, \Delta\bar{Q}_3/\tau_3$  и т. д. Затем строим графическую зависимость  $\Delta\bar{Q}/\tau = f(\tau)$  – см. справа на рис. 4. Экстраполируя полученную кривую, находим значение  $\Delta\bar{Q}/\tau$  в точке  $\tau = 0$ . Для рассматриваемого примера  $\Delta\bar{Q}/\tau = 2,5$ . Для определения абсолютного значения необходимо полученное значение  $\Delta\bar{Q}/\tau = 2,5$  умножить на масштабный коэффициент  $K_M$ , который представляет собой частное от деления масштаба  $M_Q$  по оси  $\bar{Q}$  и масштаба  $M_\tau$  по оси  $\tau$ :

$$K_M = M_{\bar{Q}} / M_\tau.$$

На графике рис. 4 функция  $\bar{Q} = f(\tau)$  изображена в масштабе:  $M_{\bar{Q}} = 0,02$  1/мм,  $M_\tau = 33,3$  с/мм. Тогда

$$K_M = M_{\bar{Q}} / M_\tau = 0,0006$$

и значение производной

$$\left( \frac{d\bar{Q}}{d\tau} \right)_{\tau=0} = 2,5;$$

$$K_M = 0,0015.$$

Так как

$$\left( \frac{d\bar{Q}}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \text{tg}\theta = 1/b,$$

то  $b = 1/0,0015 = 666$  с.

Для определения максимально возможной толщины граничного слоя  $\delta_{\max}$  и коэффициента  $\beta$  воспользуемся опытными данными, приведенными на графике рис. 4. Здесь даны результаты проливки жидкости АМГ-10 через плоские образцы щелей с начальным зазором  $h_0 = 4, 10, 14, 21, 24, 28$  и  $34$  мкм. Перепад давления  $\Delta p = 5,0$  МПа, а температура жидкости  $t = +20$  °С. Фильтрация жидкости была такой, что гарантировалось отсутствие в жидкости частиц загрязнений, превышающих  $10$  мкм. Однако в жидкости имелись частицы величиной более  $4$  мкм, поэтому со временем щель зарастала полностью. При проливках жидкости через щели с высотой зазора  $h_0 = 21, 24, 28$  и  $34$  мкм изменения расхода со временем не обнаружили. Возможно, что с увеличением расстояния между поверхностями, образующими щель, интенсивность электромагнитного поля ослабевает, поэтому уменьшается и толщина граничных пленок. Кроме того, при больших зазорах, даже при сохранении постоянного значения  $\delta_{\max}$ , относительная толщина адсорбированного слоя уменьшается и это не дает возможности обнаружить уменьшение утечки.

Расчеты показали, что для щели с  $h_0 = 10$  мкм,  $\bar{Q}_{\text{cr}} = 0,735$ ,  $\delta_{\max} = 0,48$  мкм и  $\beta = 0,00515$  1/с. Используя экспериментальные данные, приведенные на графике рис. 3, по формуле (13) определили максимально возможную толщину граничного слоя  $\delta_{\max}$  при  $h_0 = 10$  мкм. Для веретенного масла  $\delta_{\max} = 1,75$  мкм, силиконовой жидкости 7-50-СЗ  $\delta_{\max} = 1,15$  мкм, воды из водопроводной сети  $\delta_{\max} = 1$  мкм, бензина Б-70, керосина ТС-1, глицерина и воды дистиллированной  $\delta_{\max} = 0$ .

**Выводы.** При проектировании и расчете плунжерных пар систем гидроприводов необходимо учитывать влияние облитерации на работу гидроагрегатов. Облитерацию следует рассматривать в двух аспектах:

- облитерация способствует герметизации зазоров гидроагрегатов и поэтому необходимо изыскивать материалы и покрытия

стенок зазоров, способствующих снижению утечек;

- облитерация, как вредное явление, ведет к зарастанию щелевых зазоров и в конечном итоге приводит к нарушению оптимальной работы прецизионных пар.

Проведен анализ экспериментальных исследований для различных типов жидкостей при разных зазорах и пульсациях перепада давления по концам зазора.

Облитерация зазоров напрямую зависит от размера щели, вязкости и массы протекающей жидкости, времени проливки, а также от полярно-активных молекул, находящихся в рабочей среде.

На величину облитерации зазора оказывает влияние осцилляция стенок зазора: с ростом частоты пульсаций расход увеличивается.

Процесс облитерации, вызванный адсорбированием молекул жидкости, был аппроксимирован экспоненциальной функцией, которая позволяет определить максимально возможную толщину граничного слоя жидкости, образованного на стенке канала.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин Г.А., Черкун В.Е., Дидур В.А. Повышение качества сборки плунжерных пар золотниковых распределителей // Технология и организация производства. Киев, 1971. № 1. С. 77–80.
2. Крестин Е.А. Определение утечек жидкости через зазор бесконтактного уплотнения поршня гидравлического вибратора // Научное обозрение. 2014. № 5. С. 108–110.
3. Васильев В.А. Метод расчета гидродинамических сил в щелевых уплотнениях роторов мощных питательных насосов // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Машиностроение. 2004. № 5. С. 115–120.
4. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: / Т. М. Башта и др. 5-е изд., стер. М.: Альянс, 2011. 422 с.
5. Численное исследование устойчивости течения Тейлора между двумя цилиндрами в двумерном случае / О. М. Белоцерковский [и др.] // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2009. № 4. С. 754–768.
6. Уплотнительные устройства в машиностроении / Б. Жирных [и др.]. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2017. 24 с.
7. Никитин О.Ф. Рабочие жидкости и уплотнительные устройства гидроприводов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. 288 с.
8. Машиностроительный гидропривод / под ред. В. Н. Прокофьева; авт.: Л. А. Кондаков, Г. А. Никитин, В. Н. Прокофьев, В. Я. Скрицкий, В. Л. Сосонкин. М.: Машиностроение, 1978. 495 с.
9. Найгерт К.В., Редников С.Н., Япарова Н.М. Процессы полимеризации рабочей среды в зазорах золот-

никовых пар // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника: сб. статей. Челябинск, 2016. № 46. С. 125–123.

## REFERENCES

1. Nikitin G.A., Cherkun V.E., Didur V.A. Improving the assembly quality of plunger pairs of spool valves. *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva* [Technology and organization of production], Kiev, 1971, no. 1, pp. 77–80.
2. Krestin E.A. Determination of fluid leaks through the clearance of the non-contact seal of the piston of a hydraulic vibrator. *Nauchnoe obozrenie* [Science Review], 2014, no. 5, pp. 108–110. (in Russian)
3. Vasil'yev V.A. Method for calculating hydrodynamic forces in gap seals of rotors of powerful feed pumps. *Vestn. YUUrGU. Ser. Mashinostr.* [Bulletin of the South Ural State University. Series «Mechanical engineering industry»], 2004, no. 5, pp. 115–120. (in Russian)
4. *Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody: uchebnik dlya studentov vysshikh tekhnicheskikh uchebnykh zavedeniy* [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives: a textbook for students of higher technical educational institutions]. M., Al'yans, 2011, 422 p.
5. Numerical study of the stability of the Taylor flow between two cylinders in the two-dimensional case / O. M. Belotserkovskiy and others. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki* [Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics], 2009, no. 4, pp. 754–768. (in Russian)
6. *Uplotnitel'nye ustroystva v mashinostroyenii: uchebnoe posobie* / B. Zhirnykh and others [Sealing devices in mechanical engineering]. M., Izdatel'stvo MGTU im. Bauman. 2017, 24 p.
7. Nikitin O.F. *Rabochie zhidkosti i uplotnitel'nye ustroystva gidroprivodov* [Hydraulic fluids and sealing devices]. M.: MGTU im. N. E. Bauman. 2013, 288 p.
8. L. A. Kondakov, G. A. Nikitin, V. N. Prokof'yev, V. Ya. Skritskiy, V. L. Sosonkin. *Mashinostroyitel'nyy gidroprivod* [Machine-building hydraulic drive]. M., Mashinostroyenie. 1978, 495 p.
9. K.V. Naygert, S.N. Rednikov, N.M. Yaparova. Process polymerization processes in spool pair gaps. *Vestnik PNIPU. Aerokosmicheskaya tekhnika: sbornik statey* [Bulletin of PNIPU. Aerospace Engineering]. Chelyabinsk, 2016, no. 46, pp. 125–123. (in Russian)

Об авторах:

**КРЕСТИН Евгений Александрович**

кандидат технических наук, профессор кафедры  
теплогасоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: krestin@bk.ru

**KRESTIN Evgeny A.**

PhD in Engineering Science, Professor of the Heat and  
Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244  
E-mail: krestin@bk.ru

**СЕРЕБРЯКОВ Григорий Владимирович**

студент 2 курса, факультет инженерных систем  
и природоохранного строительства, направление:  
гидротехническое строительство, группа Г-81  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: karately123@mail.ru

**SEREBRYAKOV Grigoriy V.**

student 2 kursa, fakultet inzhenernykh sistem  
i prirodookhrannogo stroitelstva, napravlenie:  
gidrotekhnicheskoe stroitelstvo, gruppа G-81  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244  
E-mail: krestin@bk.ru

Для цитирования: Крестин Е.А., Серебряков Г.В. Влияние облитерации щелевых уплотнений плунжерных пар на работу приводов электроэнергетических систем // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 1. С. 172–178. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.22.

For citation: Krestin E.A., Serebryakov G.V. Influence of gap seals obliteration of plunger couples on the work of electricity system drives. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 1, Pp. 172–178. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.22.

---

---

**ПОДПИСКА – 2020**

**на январь – июнь по Объединенному каталогу  
«Пресса России»**

**Уважаемые читатели!**

**Обратите внимание, что с 1 сентября 2019 г.  
проводится подписная кампания первого полугодия 2020 г. на журнал  
Самарского государственного технического университета**

**«ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»**

**Подписной индекс нашего журнала в каталоге И70570**

*Подробные условия оформления подписки и стоимость  
Вы найдете в I томе каталога «Пресса России» на странице 178.  
Также возможно оформить подписку онлайн на сайте <https://www.ppressa-rf.ru/>*