

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО НАСОСА

М.К. Болога, И.В. Кожевников

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова, mbologa@phys.asm.md*

Один из эффективных способов перекачивания диэлектрических жидких и газообразных сред состоит в использовании электрогидродинамических (ЭГД) насосов, основанных на явлении электроконвекции [1] и представляющих собой систему из двух электродов: эмиттера и коллектора. На электроде-эмиттере происходит электризация диэлектрической среды, а на коллекторе – ее нейтрализация. Известны различные конструкции ЭГД насосов, отличающиеся геометрией электродов: “игла-кольцо”, “игла-конфузор”, “лезвие-плоскость”, “стержень–два стержня”, “стержень с перфорированным изоляционным покрытием–два стержня”. Резко асимметричные электроды насосов обеспечивают более интенсивную электризацию диэлектрической среды на эмиттере (в области наиболее сильной неоднородности электрического поля), которая под действием кулоновских сил движется в направлении коллектора и выбрасывается за межэлектродный промежуток (МЭП). Наиболее перспективна конструкция ЭГД насоса со стержневыми (проволочными) электродами как в плане улучшения напорно-расходных характеристик за счет их параллельного и последовательного размещения, так и конструктивного исполнения. Для ЭГД насосов характерна неполная нейтрализация заряженной среды в межэлектродном промежутке, особенно для систем стержневых электродов. Часть ионов знака потенциала эмиттера выбрасывается за МЭП, возникает кулоновское взаимодействие с коллектором, направленное против потока, снижающее интенсивность прокачки. Влияние нерекombинировавших зарядов за МЭП значительно в многоступенчатом ЭГД насосе [2, 3]. Поэтому между соседними ступенями должно соблюдаться определенное расстояние, что увеличивает геометрические параметры устройства. Нейтрализация зарядов за МЭП возможна за счет увеличения площади поверхности коллектора или размещения дополнительного стержневого электрода [4], что также приводит к росту геометрических размеров насоса.

С учетом сказанного в данной работе предлагается интенсифицировать процесс зарядки среды за МЭП путем нанесения перфорированного изоляционного покрытия на стержневые электроды коллектора со стороны, обратной по отношению к эмиттеру. В этой связи использованы методика и установка (рис. 1) для исследования влияния зарядки жидкой среды за МЭП на напорную характеристику двухступенчатого насоса. Установка состоит из прямоугольной ячейки, заполненной рабочей средой (трансформаторное масло, смесь трансформаторного масла с бутиловым спиртом, полиэтилсилаксановая жидкость (ПЭС-1)), в которой установлен двухступенчатый ЭГД-насос. Ступени 1 и 2 размещены в прямоугольном прозрачном корпусе 3. Каждая ступень содержит два электрода – эмиттер и коллектор, которые выполнены в виде решеток из натянутых на прямоугольной диэлектрической оправе (из ударопрочного полистирола), параллельно друг другу, проводов с определенным шагом. На провода эмиттера нанесены изоляционные покрытия с перфорациями со стороны коллектора. Дополнительно нанесено перфорированное изоляционное покрытие на коллектор K_1 со стороны, обращенной к эмиттеру E_2 второй ступени. Электроды ступеней склеены между собой с зазором $d = 2$ мм. Первая ступень 1 приклеена к корпусу 3 и неподвижна. Ступень 2 склеиванием соединена с выходным патрубком 4 насоса и может перемещаться вдоль прямоугольного канала, образованного корпусом 3. В боковой стенке корпуса сделаны пазы 5 и 6 для перемещения токоподводов при изменении расстояния L между ступенями. Последнее определялось с помощью разметки, нанесенной на боковой стенке корпуса 3.

Выходной патрубок насоса соединен с пьезометром 7, предназначенным для измерения создаваемого давления (напора). Высокое напряжение подавалось от источника напряжения ИВН-50.

Эксперименты проводились при нулевом расходе, что позволило выявить эффективность предложенного метода.

Зависимости напора, создаваемого двухступенчатым насосом, от напряжения на электродах при различных расстояниях между ступенями представлены на рис. 2. Наличие изоляционного покрытия с перфорациями на определенной части поверхности коллектора K_1 (рис. 1), как показали предварительные исследования, практически не оказывает влияние на статическую характеристику одиночной ступени (кривая 1, рис. 2).

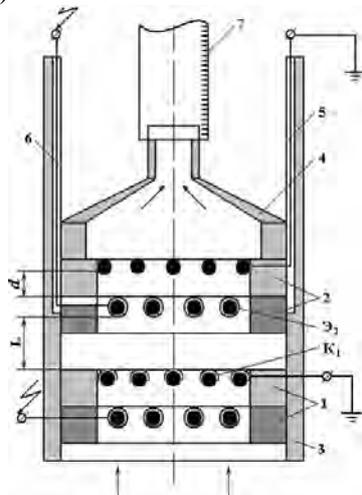


Рис. 1. Двухступенчатый электрогидродинамический насос

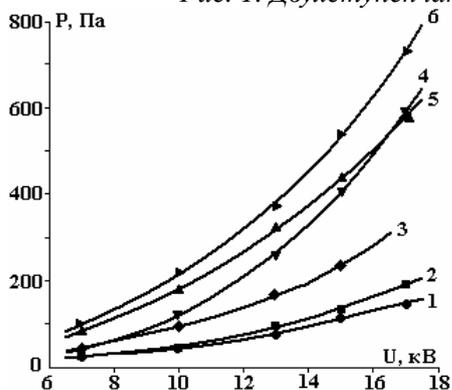


Рис. 2. Зависимость напора от напряжения на электродах при различных расстояниях между ступенями электрогидродинамического насоса: 1 – одиночная ступень с перфорированным изоляционным покрытием на коллекторе; 2 – ступень без диэлектрического покрытия на коллекторе; 3 – две ступени, $L=47,7$ мм; 4 – две ступени, $L=2,7$ мм; трансформаторное масло ($\sigma=1,3 \cdot 10^{-11}$ Ом $^{-1} \cdot$ м $^{-1}$); 5 – $L=47,7$ мм; 6 – $L=2,7$ мм, смесь трансформаторного масла с бутиловым спиртом ($\sigma=4,8 \cdot 10^{-10}$ Ом $^{-1} \cdot$ м $^{-1}$)

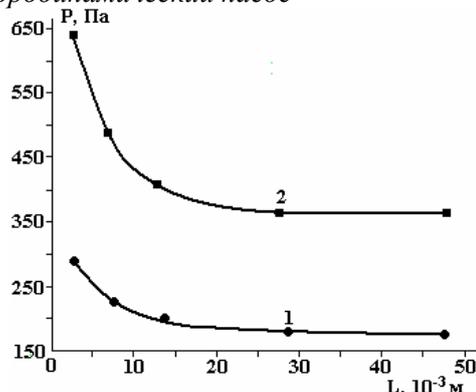


Рис. 3. Зависимость напора от расстояния между ступенями при различных напряжениях между электродами U , кВ: 1– 13; 2– 17 ($\sigma=1,3 \cdot 10^{-11}$ Ом $^{-1} \cdot$ м $^{-1}$)

Также отсутствует воздействие изоляционного покрытия K_1 на выходные параметры двухступенчатого насоса при больших $L = 47,7$ мм (кривые 1–3, рис. 2). По мере уменьшения расстояния между ступенями с $L = 12$ –14 мм (рис. 3) и с повышением напряжения эффективность влияния изоляционного покрытия возрастает до 70–80% от давления, создаваемого двухступенчатым насосом при $L = 47,7$ мм. Последнее объясняется тем, что на коллекторе K_1 со стороны эмиттера \mathcal{E}_2 возникают ионы, которые частично нейтрализуются с зарядами, выбрасываемыми из межэлектродного промежутка первой ступени. Не рекомбинировавшие ионы двигаются под действием кулоновских сил в сторону эмиттера \mathcal{E}_2 , создавая дополнительную прокачку рабочей среды, интенсивность которой увеличивается с напряжением.

С увеличением электропроводности, уменьшением вязкости теплоносителя возрастает интенсивность электрогидродинамических течений и как следствие – снижается эффективность изоляционного покрытия, которая при $L = 2,7$ мм в смеси трансформаторного масла с бутиловым спиртом составляет 25% (кривые 5 и 6, рис. 2) и в полиэтилсилаксановой жидкости – 20% (кривые 1–3, рис. 4).

Удаление изоляции с поверхности \mathcal{E}_2 со стороны K_1 в целях формирования дополнительной полноценной ступени приводит к уменьшению напора, создаваемого двухступенчатым насосом (кривые 1, 2, рис. 5), что вызвано в основном ухудшением характеристики второй ступени.

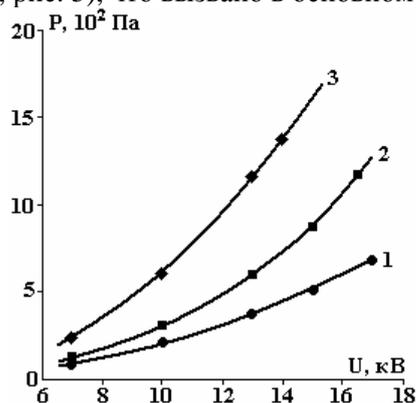


Рис. 4. Зависимость напора от напряжения между электродами: 1 – одиночная ступень 1 с перфорированным изоляционным покрытием на коллекторе; 2 – ступень 2 без диэлектрического покрытия на коллекторе; 3 – две ступени, $L = 2,7$ мм. Полиэтилсилаксановая жидкость ($\sigma = 5,1 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$)

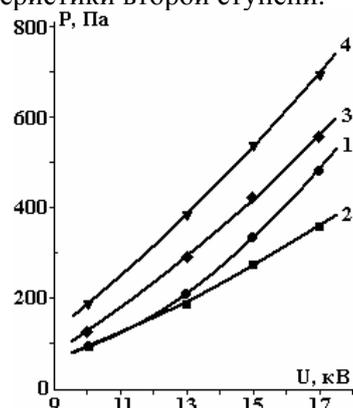


Рис. 5. Зависимость напора от напряжения между электродами в двухступенчатом насосе: 1 – с перфорированным изоляционным покрытием на коллекторе K_1 , 2 – с оголенным эмиттером \mathcal{E}_2 , $L = 47,7$ мм; 3 – с оголенным эмиттером \mathcal{E}_2 , $L = 2,7$ мм; 4 – с оголенным эмиттером \mathcal{E}_2 , $L = 2,7$ мм, после нахождения в теплоносителе в течение 96 часов. Трансформаторное масло ($\sigma = 3,5 \cdot 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$)

На оголенной поверхности \mathcal{E}_2 образуются ионы, которые под действием сил Кулона двигаются против основного потока. Но с уменьшением расстояния между ступенями напорная характеристика насоса увеличивается на 50%, что свидетельствует о преобладающей концентрации ионов, формируемых на перфорациях K_1 идвигающихся в направлении оголенной поверхности эмиттера \mathcal{E}_2 . Характеристики этого же насоса, после пребывания в трансформаторном масле в отсутствие электрического поля в течение 96 часов, улучшились дополнительно на 25% (кривые 3 и 4, рис. 5), хотя выходные параметры отдельных ступеней остались неизменными. Видимо, одной из причин этого является коррозия [5], в результате на оголенной поверхности \mathcal{E}_2 образуется тонкая пленка, снижающая процессы образования и нейтрализации зарядов на электроде. Аналогичные закономерности наблюдаются при длительном пребывании одноступенчатого насоса в отсутствие электрического поля между электродами в ряде диэлектрических жидкостей: трансформаторное масло, керосин, ПЭС-1.

Таким образом, интенсифицируя процесс зарядки диэлектрической жидкости на коллекторе за МЭП путем нанесения перфорированного изоляционного покрытия, можно значительно улучшить выходные характеристики и уменьшить размеры многоступенчатого электрогидродинамического насоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А. *Электроконвекция и теплообмен*. Кишинев: Штиинца, 1977. 320 с.
2. Bologa M.K., Kozhevnikov I.V. Influence of the electric field and the arrangement of the stages on multi-stage pump characteristics. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009, **45**(6), 489–491.
3. Bologa M.K., Kozhukhar I.A., Kojevnikov I.V., Motorin O.V. The effect of electrical field Parameters, medium properties and interelectrode gap geometry of the EHD pump characteristics. *Annual Report of conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. 2001, **1**, 532–535.
4. Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожевников И.В. Особенности электрогидродинамических течений в многоэлектродных системах. *Электронная обработка материалов*. 2007, **43**(6), 29–35.
5. Брегман Дж. *Ингибиторы коррозии*. М.: Химия, 1966. 312 с.

Поступила 10.12.10

Summary

The results of investigation of the effect of additional charging of dielectric liquid after interelectrode gap on static output characteristics of the two-stage pump are presented. It is shown that the increase of inhomogeneity of an electric field on the surface of collector facing the second stage by applying of the perforated insulating coating to its particular part results in the increase of head by 70–80%. This allows us to significantly improve performance and reduce the size of a multistage electrohydrodynamic pump.