

УДК 62-69

Н. В. ОБОЛЕНСКИЙ, Е. Б. МИРОНОВ, С. Б. КРАСИКОВ

ОРЕБРЕНИЕ ИНДУКТОРА И ЦЕНТРАЛЬНОГО КАНАЛА – ПУТЬ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОТЕКАНИЮ ВОДЫ В ИНЖС

***Ключевые слова:** индукционный нагреватель жидких сред (ИНЖС), индуктор, оребрение, теплоотдающая поверхность, гидравлическое сопротивление.*

***Аннотация.** Предложено оребрение индуктора и центрального цилиндрического канала, обеспечивающее максимальный теплообмен при снижении массы и гидравлического сопротивления индукционного нагревателя жидких сред.*

Авторы изобретения «Устройство индукционного нагрева жидких сред» [1] утверждают, что оно решает техническую задачу максимального теплообмена, обеспечивающего быстрый и стабильный нагрев большого объема жидких сред.

Указанный технический результат достигается тем, что устройство, рис.1, содержащее цилиндрический корпус 1 с крышкой 2 и днищем 3, кольцо 4 с прорезями, центральный цилиндрический канал 5, индуктор 6, обмотку 7, входной 8 и выходной 9 патрубки, дополнительно снабжено двумя цилиндрами 10 и 11, коаксиально установленными и смонтированными с образованием кольцевых каналов

для циркуляции нагреваемой жидкой среды, а также тремя кольцами 12, 13, 14 с прорезями, два из которых служат упорами для дополнительных цилиндров, а третье – для ограничения верхних частей этих цилиндров.

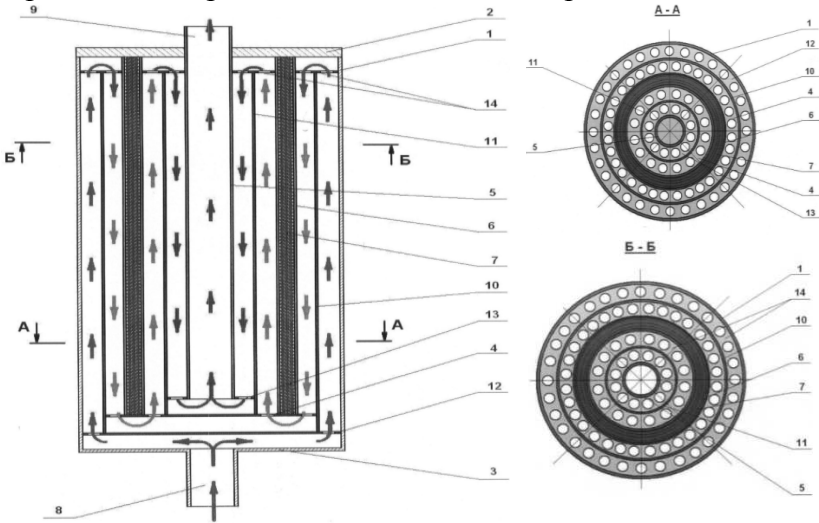


Рисунок 1 – Схема существующего устройства ИНЖС

Устройство, рис.1, имеет существенные недостатки: высокую трудоёмкость изготовления из-за сложности сборки и плотного соединения цилиндрических элементов с кольцами, большой расход металла на изготовление; значительное гидравлическое сопротивление протеканию жидкой среды из-за многократных резких поворотов, приводящее к увеличению расхода электроэнергии на прокачку, а значит, как следствие, повышенные стоимость изделия и его эксплуатационные расходы.

Устранение указанных недостатков возможно при использовании в ИНЖС оребрения наружных поверхностей индуктора и центрального цилиндрического канала вместо трудоёмких в сборке и имеющих значительную массу двух промежуточных цилиндров и трёх колец.

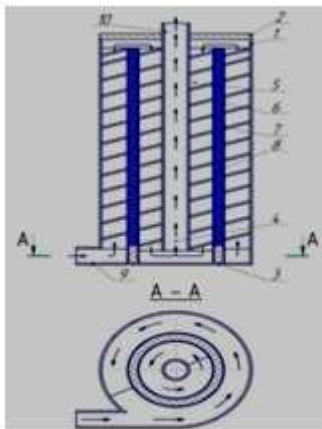


Рисунок 2. – Схема модернизированного ИНЖС

На рис. 2 представлена схема модернизированного авторами устройства ИНЖС, содержащего цилиндрический корпус 1 с крышкой 2 и дном 3, центральный цилиндрический канал 4, оснащённый винтовыми рёбрами 5, индуктор 6, выполненный в виде цилиндра, оснащённый винтовыми рёбрами 7, смонтированный на дном 3 и имеющий обмотку 8, герметично запрессованную связующим диэлектрическим материалом, входной 9 и выходной 10 патрубки.

Прототип, рис.1, имеет повторяющиеся конструкционные элементы, создающие гидравлические сопротивления (рис. 3...5).

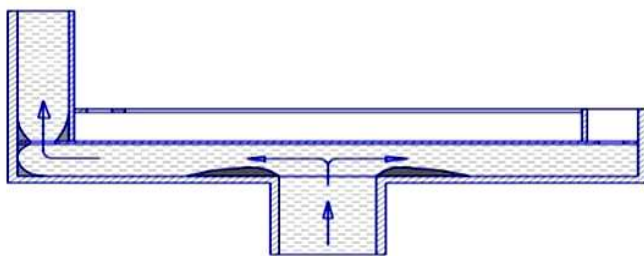


Рисунок 3 – Внезапное расширение с резким поворотом на 90° , резкий поворот на 90° с внезапными сужениями и расширениями

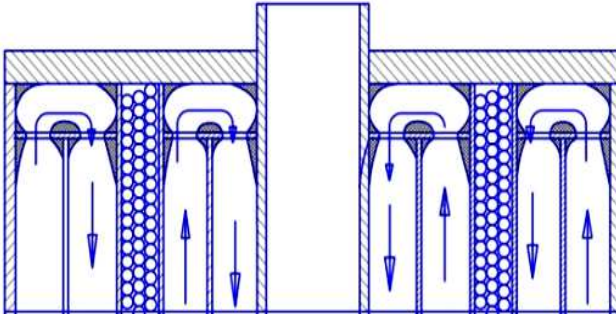


Рисунок 4 – Внезапное сужение и расширение с резкими поворотами на 180 °

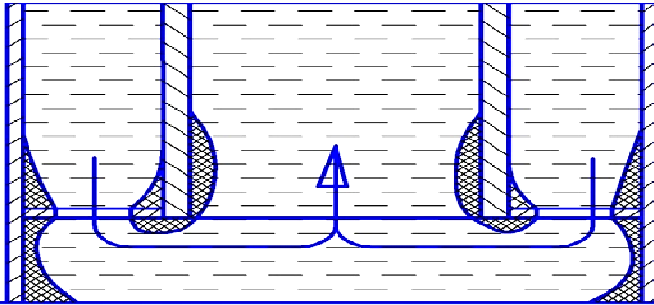


Рисунок 5 – Внезапные сужения и расширения с резкими поворотами на 90 °, внезапное сужение с резким поворотом 90 °

Суммарный коэффициент гидравлического сопротивления прототипа составляет, Па:

$$\sum \zeta = n\zeta_1 + n\zeta_2 + n\zeta_3 + n\zeta_4 + n\zeta_5 ,$$

где ζ_1 – коэффициент сопротивления при внезапном расширении; ζ_2 – коэффициент сопротивления при повороте на 90 °; ζ_3 – коэффициент сопротивления при прохождении через сужения (отверстия); ζ_4 – коэффициент сопротивления при повороте на 180 °; ζ_5 – коэффициент сопротивления при внезапном сужении.

1. *Внезапное расширение струи* (рис. 3) создает наибольшие потери напора. В этом случае скорость частиц среды тратится на образование завихрений, перемешивание среды, нагревание ее и т. д.

Приближенная зависимость коэффициента местного сопротивления от соотношения площади сечения трубы (полости подогревателя) до расширения f и площади сечения этих элементов после расширения F потока выражается формулой

$$\zeta_1 = \left(1 - \frac{f}{F}\right)^2,$$

где ζ_p – коэффициент сопротивления, отнесенный к скорости среды до расширения.

Учитывая, что $f = \pi D_1^2/4$, а $F = \pi D_2^2/4$, получаем:

$$\zeta_1 = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2,$$

$$\zeta_1 = 0,93,$$

где D_1 – диаметр входного патрубка нагревателя, D_2 – диаметр корпуса нагревателя.

2. *Поворот без скругления (угол 90 ° и 180 °)* рис. 3, 4, 5. При изменении направления потока появляются центробежные силы, направленные от центра кривизны к внешней стенке трубы.

Давление в пределах поворота у внешней стенки больше, чем у внутренней. Соответственно скорости у внешней стенки меньше, чем у внутренней. Вследствие этого вдоль боковых стенок трубы, вблизи поверхности которых скорость невелика, будет происходить движение жидкости от внешней стенки к внутренней, т. е. возникает поперечная циркуляция в потоке. В результате образуется парный (двойной) вихрь, который накладывается на поступательное движение; линии потока становятся винто-

образными. Происходит отрыв потока от обеих стенок, образуются водоворотные области с обратными направлениями линии тока в них у стенок трубы.

Повышенная пульсация скоростей и интенсивное перемешивание частиц наряду с затратами энергии потока на поддержание водоворотных областей на поворотах приводят к увеличенным потерям напора на повороте по сравнению с потерями на прямолинейных участках.

Согласно [2] при повороте без скругления для гладких стенок труб при $Re > 2 \cdot 10^5$ коэффициент сопротивления ζ_2 при угле поворота 90° будет равен 1,19. Коэффициент сопротивления ζ_4 при угле поворота 180° будет равен 3.

При движении жидкости через нагреватель встречается два поворота с углом 90° и четыре поворота с углом 180° .

3. Коэффициент сопротивления при прохождении через сужения (отверстия) ζ_3 .

Коэффициент сопротивления сужения при круглом концентрическом отверстии, зависит от отношения площади отверстия f к площади сечения F ($n = f/F$).

При протекании через отверстия поток суживается до площади отверстия f , за отверстием образуется транзитная струя, которая сначала испытывает сжатие, а затем расширяется до размеров сечения трубы. Происходит отрыв потока от стенок, между струёй и стенками образуется водоворотная зона. Граница раздела между водоворотной областью и транзитной струёй неустойчива, пульсирует. На поверхности струи происходит интенсивное вихреобразование. Согласно [2] коэффициент сопротивления при $Re > 10^5$ и $n = 0,9$ будет равен $\zeta_3 = 0,13$.

Однако следует учесть, что это значение характерно для одного отверстия и при однократном прохождении. Согласно [1] количество отверстий в первом контуре на-

грева 32, а во втором контуре 28. Общее количество отверстий – 184.

Следует отметить, что в зависимости от мощности водонагревателя меняются его габаритные размеры, в том числе и его диаметр. Это приводит к тому, что приходится увеличивать количество отверстий в кольце, что создаёт повышение гидравлических сопротивлений.

4. *Коэффициент сопротивления при внезапном сужении ζ_5* . При внезапном сужении, как и при внезапном расширении, за их кромкой поток отрывается от твёрдой стенки и образуется транзитная струя, которая сначала испытывает сжатие, а потом расширение. Между твёрдой стенкой и поверхностью транзитной струи образуется водоворотная зона, вихри, которые в результате обмена жидкостью между водоворотной зоной и транзитной струёй проникают в поток, где гасятся трением.

При числах $Re > 10^4$ коэффициент сопротивления зависит только от отношения F/f . Устройство содержит несколько ступеней. Согласно [2] суммарный коэффициент сопротивления при $F/f = 0,6$ $\zeta_5 = 0,25$. Согласно [1] таких переходов 3, а также один переход с $F/f = 0,4$ $\zeta_5 = 0,34$.

Суммарный коэффициент гидравлического сопротивления прототипа равен:

$$\begin{aligned} \sum \zeta &= 1 \cdot 0,93 + 2 \cdot 1,19 + 184 \cdot 0,13 + 4 \cdot 3 \\ &+ (3 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,34) = 40,32. \end{aligned}$$

При расчёте гидравлического сопротивления модернизированного ИНЖС (рис. 2) разделяем его на отдельные конструкционные элементы, суммарный коэффициент гидравлического сопротивления которых равен:

$$\sum \zeta = n\zeta_1 + n\zeta_2,$$

где ζ_1 – коэффициент сопротивления при плавном повороте; ζ_2 – коэффициент сопротивления при внезапном сужении.

1. Коэффициент сопротивления при плавном повороте ζ_1 . Этот коэффициент при плавном повороте и $Re > 2 \cdot 10^5$ находят по формуле:

$$\zeta_1 = A \cdot B.$$

Согласно [3] значение A при угле поворота на 180° равно 1,4. При модернизации ИНЖС мы приняли площадь поперечного сечения входного патрубка равной площади сечения канала между витками, а диаметры входного и выходного патрубка равными диаметру входного и выходного патрубка прототипа, а площади их поперечного сечения равными $803,8 \text{ мм}^2$. При высоте модернизированного ИНЖС 1000 мм количество витков спирального оребрения получилось равным 12 на оба контура при шаге между рёбрами 160 мм. Таким образом, количество поворотов на 180° получилось равным 24.

Параметр B учитывает влияние относительного радиуса закругления R_0/d , где

R_0 – радиус закругления,

d – ширина канала (диаметр трубы).

Значения B определяется по графикам [3], в соответствии с которыми в первом контуре при $R_0/d=14,5$ $B_1 = 0,05$, а во втором – при $R_0/d=8,9$ $B_2 = 0,07$.

Суммарный коэффициент сопротивления при плавном повороте на 180° в первом и во втором контуре составил:

$$\zeta_1 = A_1 B_1 = 1,4 \cdot 0,05 = 0,070.$$

$$\zeta_2 = A_2 B_2 = 1,4 \cdot 0,07 = 0,098.$$

2. Коэффициент сопротивления при внезапном сужении ζ_2 . В модернизированном ИНЖС имеются схожие гидравлические сопротивления, связанные с входом в центральный канал 10 (рис. 2). Здесь имеется один переход с $F/f = 0,4$, поэтому коэффициент сопротивления при внезапном сужении составит, как и в расчёте прототипа, $\zeta_2 = 0,34$.

Суммарный коэффициент гидравлического сопротивления модернизированного ИНЖС равен:

$$\sum \zeta = 12 \cdot 0,07 + 12 \cdot 0,098 + 0,34 = 2,36.$$

Из приведённых расчетов коэффициентов гидравлического сопротивления прототипа и модернизированный ИНЖС следует, что у первого он почти в 17 раз больше, а это обуславливает необходимость применения более мощного насоса для прокачки жидкой среды и, как следствие, большие эксплуатационные расходы.

Кроме того, оребрение индуктора и центрального канала позволяет избавиться от массивных колец и дополнительных цилиндров, что делает модернизированный ИНЖС менее металлоёмким и, как следствие, снижает его стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2423802 РФ. МПК H05B6/10. Устройство индукционного нагрева жидких сред / Д. Х. Ким, А. В. Слободян. №2009140080/07; заявл. 30.10.09; опубл. 10.07.2011.
2. Оболенский Н. В. Электронагрев в сельскохозяйственных обрабатывающих и перерабатывающих производствах: монография / Н. В. Оболенский. Н. Новгород: Изд-во НГСХА, 2007. 352 с.
3. Штеренлихт Д. В. Гидравлика / Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: КолосС, 2004. 656 с.

**RIDGENING OF THE INDUCTOR AND
THE CENTRAL CHANNEL IS THE WAY
OF DECREASING HYDRAULIC RESISTANCE TO
COURSE OF WATER IN THE INDUCTION HEATER
OF LIQUID ENVIRONMENTS**

Keywords: *an induction heater of liquid environments, inductor, ridgening, a heatgiven surface, hydraulic resistance.*

Annotatio. *It is has been suggested ridgening of inductor and the central cylindrical channel, providing the maximal heat exchange at decrease in weight and hydraulic resistance of an induction heater of liquid environments.*

ОБОЛЕНСКИЙ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Механика и сельскохозяйственные машины», ГБОУ ВПО НГИЭИ, Россия, Княгинино, (osnovsh@yandex.ru)

МИРОНОВ ЕВГЕНИЙ БОРИСОВИЧ – аспирант, преподаватель кафедры «Технический сервис», ГБОУ ВПО НГИЭИ, Россия, Княгинино, (osnovsh@yandex.ru)

КРАСИКОВ СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ – аспирант кафедры «Механика и сельскохозяйственные машины», ГБОУ ВПО НГИЭИ, Россия, Княгинино (osnovsh@yandex.ru)

Obolenskiy Nikolay Vasilevich – the doctor of technical sciences, the professor, the manager of the chair «Technical service» of the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (osnovsh@yandex.ru)

Mironov Evgeniy Borisovich – the post-graduate student, the senior teacher of the chair «Technical service» of the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (osnovsh@yandex.ru)

Krasikov Sergei Borisovich – the post-graduate student of mechanics and agricultural cars of the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (osnovsh@yandex.ru)
