



УДК 62:69

## ОРЕБРЕНИЕ ТЕПЛООТДАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ЖИДКИХ СРЕД

Оболенский Н.В., д.т.н.,

Тел.: 79107996752,

Миронов Е.Б., аспирант\*,

Тел.: 79159323286,

Красиков С.Б., аспирант\*

*Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, г. Княгинино, Россия*

Тел.: (79519158941).

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

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

*Постановка проблемы.* 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.

*Анализ последних исследований.* 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.

---

© Н.В. Оболенский, д.т.н.; Е.Б. Миронов, аспирант; С.Б. Красиков, аспирант

\* - Научный руководитель: Оболенский Н.В. д.т.н., профессор

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 её прокачку, а значит, как следствие, повышенные стоимость изделия и его эксплуатационные расходы.

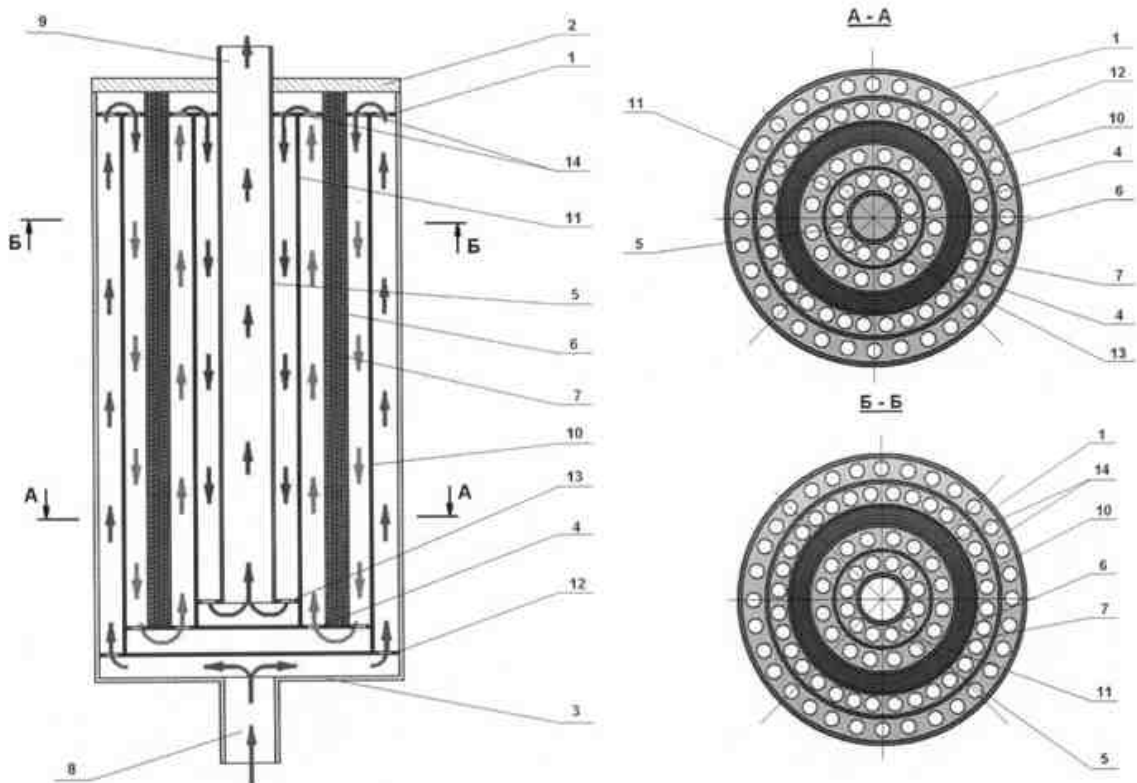


Рис. 1. Схема существующего устройства ИНЖС.

*Формулирование цели статьи.* Снижение гидравлического сопротивления и замена трудоёмких в сборке и имеющих значительную массу двух промежуточных цилиндра и трех колец оребрением наружных поверхностей индуктора и центрального цилиндрического канала для уменьшения энергопотребления и себестоимости ИНЖС.

*Основная часть.* 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, оснащенный винтовыми рёбрами 7, смонтированный на дном 3 и имеющий обмотку 8, герметично запрессованную связую-

щим диэлектрическим материалом, входной 9 и выходной 10 патруб- ки.

Суммарный коэффициент гидравлическое сопротивление про- тотипа составляет, Па

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

- где  $\zeta_1$  – коэффициент сопротивления при внезапном расширении;  
 $\zeta_2$  – коэффициент сопротивления при повороте на 90°;  
 $\zeta_3$  – коэффициент сопротивления при прохождении через суже- ния (отверстия);  
 $\zeta_4$  – коэффициент сопротивления при повороте на 180°;  
 $\zeta_5$  – коэффициент сопротивления при внезапном сужении.

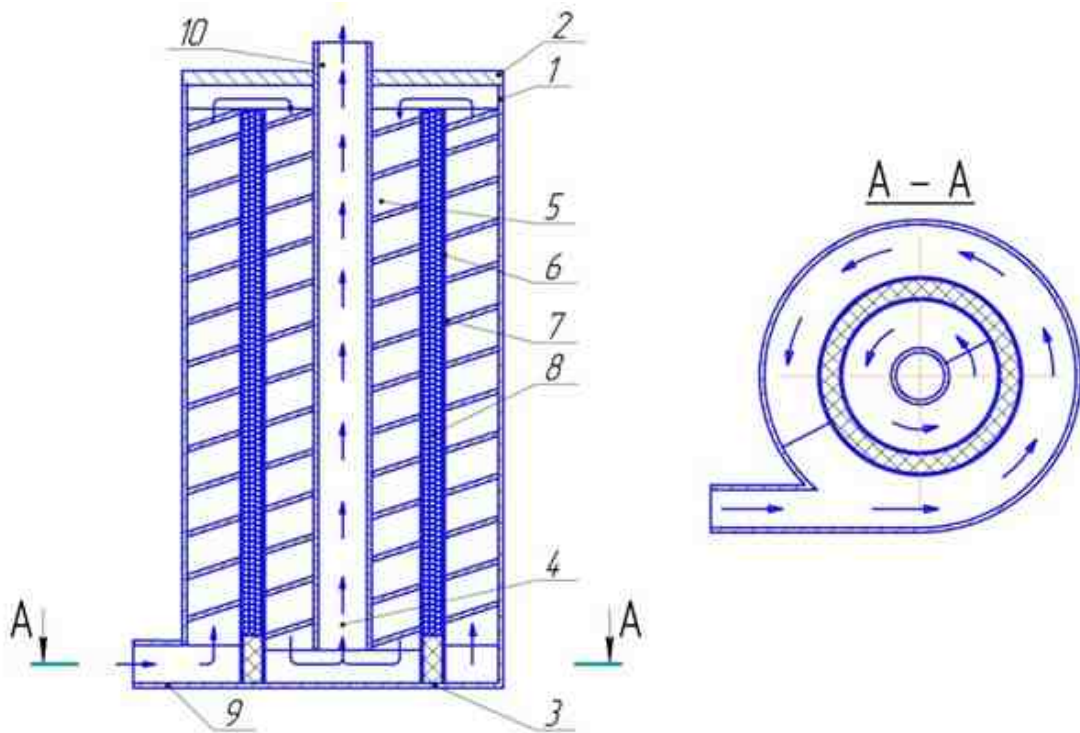


Рис. 2. Схема модернизированного ИНЖС.

Прототип, рис.1, имеет повторяющиеся конструкционные эле- менты, создающие гидравлические сопротивления (рис.3...5).

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

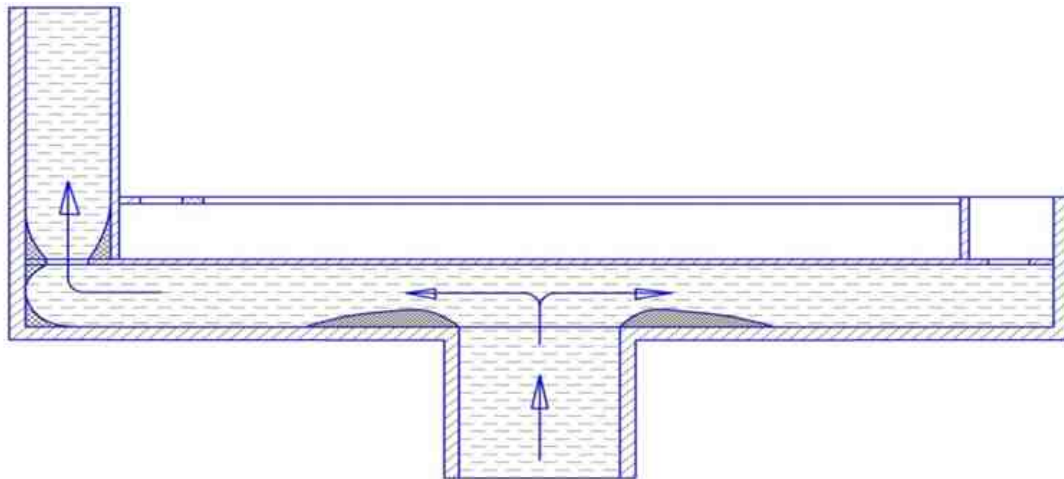


Рис. 3. Внезапное расширение с резким поворотом на  $90^\circ$ , резкий поворот на  $90^\circ$  с внезапными сужениями и расширениями.

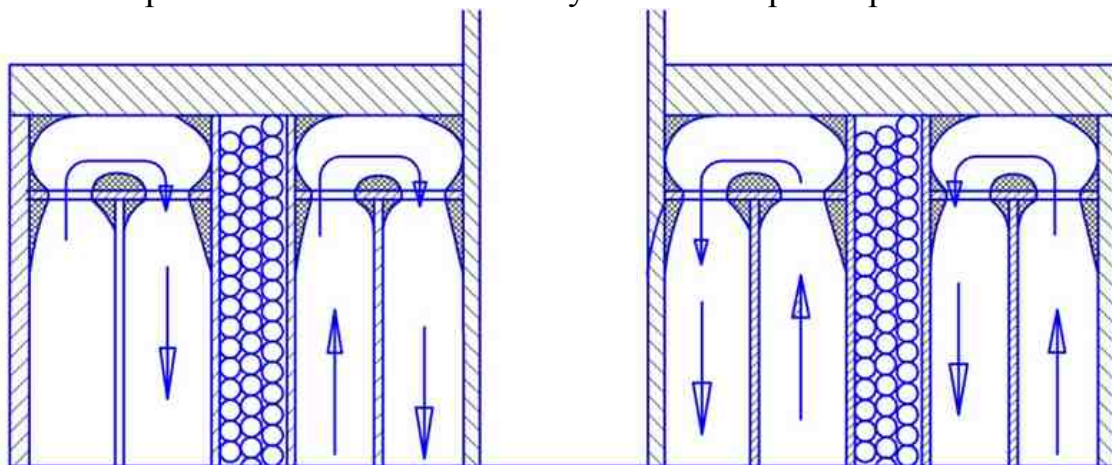


Рис. 4. Внезапное сужения и расширения с резкими поворотами на  $180^\circ$ .

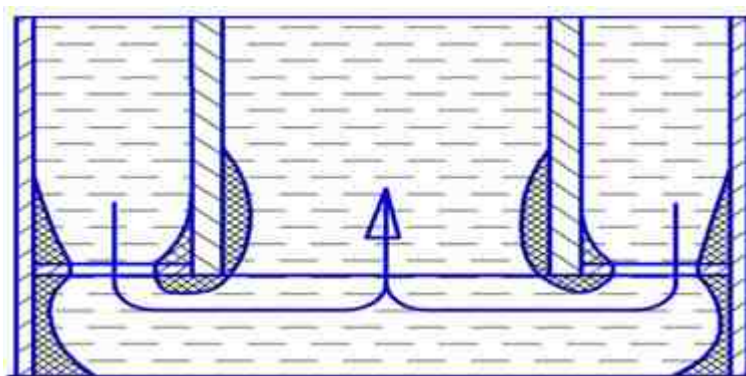


Рис. 5. Внезапные сужения и расширения с резкими поворотами на  $90^\circ$ , внезапное сужение с резким поворотом на  $90^\circ$ .

Приближенная зависимость коэффициента местного сопротивления от соотношения площади сечения трубы (полости подогревателя-

ля) до расширения  $f$  и площади сечения этих элементов после расширения  $F$  потока выражается формулой

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

где  $\zeta_p$  – 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 винтообразными. 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  $\zeta_2$  при угле поворота 90° будет равен 1,19. Коэффициент сопротивления  $\zeta_4$  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)  $\zeta_3$ .

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 нагрева 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  $\zeta_5$ . 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 гидравлическое сопротивление прототипа равен

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

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  $\zeta_1$  – коэффициент сопротивления при плавном повороте;

$\zeta_2$  – коэффициент сопротивления при внезапном сужении.

1. Коэффициент сопротивления при плавном повороте  $\zeta_1$ . Этот коэффициент при плавном повороте и  $Re > 2 \cdot 10^5$  находят по формуле

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

Согласно [2] значение  $A$  при угле поворота на  $180^\circ$  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  $180^\circ$  получилось равным 24.

Параметр  $B$  учитывает влияние относительного радиуса закругления  $R_0/d$ , где  $R_0$  – радиус закругления,  $d$  – ширина канала (диаметр трубы). Значения  $B$  определяются по графикам [2], 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  $180^\circ$  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  $\zeta_2$ . 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

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

*Выводы.* Из приведённых расчетов коэффициентов гидравлического сопротивления прототипа и модернизированного 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 модернизированного ИНЖС менее металлоёмким и, как следствие, снижает его стоимость.

#### Литература

1. Пат. 2423802 РФ. МПК Н05В6/10. 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.

### **ОРЕБРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ІНДУКЦІЙНИХ НАГРІВАЧІВ РІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА ЯКІ ВІДДАЮТЬ ТЕПЛО**

Оболенський М.В., Міронов Є.Б., Красіков С.Б.

*Анотація* – запропоновано та теоретично обґрунтовано оребрення індуктора та центрального циліндричного каналу, що забезпечують максимальний теплообмін при зниженні ваги та гідравлічного опору індукційного нагрівача рідинного середовища.

### **RIDGERING OF THE HEAT GIVEN SURFACES OF INDUCTION HEATERS OF LIQUID ENVIRONMENTS**

N. Obolensky, E. Mironov, S. Krasikov

#### *Summary*

It has been suggested ridgering 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.