Рис.4. Коэффициенты корреляции для способов «Kriging» и «Триангуляция с линейной интерполяцией».

Из данной диаграммы можно сделать вывод, что корреляция незначительна, но в определенных местах она присутствует. Самый высокий коэффициент корреляции наблюдается в четверти 270-360 градусов, составляя 0,55 при методе «Kriging», 0,51 при методе «Триангуляция с линейной интерполяцией».

Таблица 2.

Значения уклона в % для метода «Kriging».

Диапазон четверти	Среднее	Min	Max
0-90	7.6	0	20.1
90-180	8.4	0.7	23.1
180-270	8.5	1.5	20.1
270-360	4.2	1.5	16.0

Из таблицы 2 видно, что в четверти 270-360 градусов средняя величина уклона значительно меньше, чем в остальных, из чего можно сделать вывод, что величина уклона влияет на корреляцию, а, следовательно, и на величину ошибки построения поверхности.

1. Дистанционное зондирование земли: учеб. пособие /Е. Н. Сутырина. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
2. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): учеб. пособие/ К.А. Мальцев, С.С. Мухарамова. – Казань: Казанский университет, 2014. – 103 с.

Фахретдинов И.Н., Тихомиров Д.А.

Интенсификация теплообмена и повышение энергетических показателей пароперегревателя в электрических парогенераторах

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет»
(Россия, Балашиха)

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
(Россия, Москва)

doi:10.18411/lj-05-2018-94

idsp: 000001:lj-05-2018-94

Аннотация

Разработана конструкция электрического перегревателя пара низкого давления с применением оребренного трубчатого нагревательного элемента. Представлена его схема.

Выполнен расчет и обоснованы конструкционные и электрические параметры электрического пароперегревателя.

Ключевые слова: пароперегреватель, электрический парогенератор, перегретый пар, теплообмен, сельское хозяйство.

Пар и горячая вода находят широкое применение в многочисленных процессах животноводства: в установках доения и первичной обработки молока, мойки и стерилизации разнообразного оборудования и тары, приготовления кормов, при дезинфекции помещений [1, 2].

Для отдельных технологических процессов сельскохозяйственного производства необходим пар с температурой около 120 °С. Перегретый пар при транспортировке не конденсируется и при некотором снижении температуры остается перегретым. Потенциальная энергия перегретого пара (теплосодержание) значительно выше, чем у насыщенного при том же давлении [3]. Перегрев насыщенного пара с температурой t_n до конечной температуры t_p осуществляют в специально разработанном электрическом пароперегревателе, который располагается на выходном патрубке пароводонагревателя типа ЭПВ [4].

Для получения перегретого пара необходимо насыщенному пару сообщить теплоту:

$$q = i - i'', \quad (1)$$

i – энтальпия перегретого пара, а i'' – энтальпия насыщенного пара, кДж/кг [82]. Мощность нагревательного элемента пароперегревателя при нагреве пара до 120 °С определится по формуле [5]:

$$P = \frac{q \cdot G_p}{3600 \cdot \eta} \quad (2)$$

Проанализировав формулы, описывающие механизм теплопередачи в рассматриваемом аппарате, с учетом [6,7,8] были намечены пути интенсификации теплопередачи, снижения тепловых потерь в окружающую среду, увеличения коэффициента теплоотдачи и площади активной поверхности нагревателя. С целью повышения коэффициента полезного действия и снижения затрат электроэнергии на процесс перегрева пара предложена усовершенствованная конструкция электрического пароперегревателя (рис.1) в основе работы которого положен механизм многозаходного поперечного обтекания паром оребренного нагревательного элемента [4].

Рисунок 1 – Схема электрического пароперегревателя пара: 1 – оребренный ТЭН, 2 – корпус пароперегревателя, 3 – теплоизоляция.

Оребренный трубчатый электронагреватель стандартный типа (ТЭНР) помещен в такой же цилиндрический корпус, что и в первом варианте для обычного ТЭНа со следующими показателями: dT – внутренний диаметр корпуса пароперегревателя, м; $dP = 0,035$ м – диаметр оребрения, $dHT = 0,018$ м – диаметр несущей трубки ТЭНа, $hp = 0,008$ м

– высота ребра, $S_p = 0,004$ м – шаг оребрения, $L = 0,43$ м – длина корпуса аппарата, $n = 4$ – число секций пароперегревателя, F_k , м – живое сечение канала.

Скорость потока ω , м/с рассчитывают по формуле:

$$\omega = G_{II} / (\rho \cdot F), \quad (3)$$

ρ – плотность пара, кг/м³; F – живое сечение канала, м.

Гидродинамический режим течения пара в таком устройстве определяется его среднерасходной скоростью ω и эквивалентным диаметром $D_{экв}$ поперечного сечения канала [9].

Коэффициент теплоотдачи от оребренного нагревателя к потоку пара с достаточной степенью точности может быть вычислен согласно [9] по формуле:

$$\alpha = 0,12 \cdot \frac{\lambda}{S_p^{0,28}} \cdot Pr^{0,35} \cdot \left(\frac{d_{HT}}{S_p} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h_p}{S_p} \right)^{-0,14} \cdot \left(\frac{\omega}{\nu} \right)^{0,72}, \quad (4)$$

λ – теплопроводность пара, Вт/м·К.

Для того, чтобы определить оптимальное с точки зрения максимума коэффициента теплоотдачи α соотношение между внутренним диаметром корпуса пароперегревателя и диаметром оребрения (d_t/d_p), необходимо провести гидравлический расчет аппарата, суть которого сводится к определению потерь давления ΔP в аппарате по формуле Вейсбаха [10, 11

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot \rho}{2}, \quad (5)$$

ξ – местный коэффициент сопротивления; ω_0 – скорость пара в расчетном сечении участка, м/с.

В таблице 1 представлены расчетные величины коэффициента теплоотдачи от оребренного нагревателя к пару, потери давления в аппарате при различном соотношении d_t/d_p .

Таблица 1.

Коэффициент теплоотдачи α при различном диаметре корпуса пароперегревателя

Диаметр трубы, $d_{тр}$, мм	Живое сечение, F_k , мм ²	Средняя скорость в сечении, ω , м/с	Эквивалентный диаметр, $d_{э}$, мм	Re	Потери давления, ΔP , Па	Коэф-нт теплоотдачи, α , Вт/м ² ·К
100	7800	2,42	24,6	4628	633	28,2
70	5000	3,93	16,0	4745	756	40,1
60	4000	4,96	12,7	4798	1241	47,3
50	2800	7,1	9,2	4839	3685	73,7
40	1800	11,2	6,0	4890	47713	101,1

Из таблицы 1 видно, что с уменьшением внутреннего диаметра корпуса пароперегревателя, окружающего оребренный нагревательный элемент (т.е. $d_t/d_p \rightarrow 1$) коэффициент теплоотдачи α возрастает. Однако при этом существенно растет потеря давления пара в аппарате, главным образом за счет сужения парового потока в местах его поворота на 180° и диафрагмирования. Так при диаметре трубы 40 мм потеря давления в аппарате составляет 47 кПа или 68% от возможного запаса – 0,07 МПа. Гидравлическое сопротивление пароперегревателя рекомендуется принимать не более 10% от давления пара в пароводонагревателе [10]. Кроме того, значительно возрастает скоростной напор в месте его диафрагмирования, что может вызвать механические повреждения отдельных элементов конструкции аппарата. Наиболее оптимальное соотношение d_t/d_p лежит в диапазоне 1,5...2,2. При диаметре оребрения 35 мм внутренний диаметр корпуса (трубы)

должен быть равен 55 – 80 мм. Так при диаметре корпуса 70 мм коэффициент теплоотдачи равен 40,1 Вт/м²·К. Площадь поверхности оребренного нагревателя составляет 0,185 м², а температура на его поверхности 170°C при подведенной мощности 600 Вт. Вследствие невысокой температуры на оболочке ТЭНРа радиационная составляющая теплового потока от нагревателя к пару мала (до 5%), поэтому в расчетах полного теплового потока ее можно не учитывать.

Тогда по формуле (4) тепловой поток от нагревателя к пару составил 439 Вт; тепловые потери в окружающую среду 154 Вт. Коэффициент полезного действия аппарата равен 75%.

Таким образом вследствие изменения конструкции электрического пароперегревателя удалось снизить потери в окружающую среду на 60%, повысить КПД аппарата с 55 до 75%, уменьшить массогабаритные показатели, улучшить условия работы нагревательного элемента. Кроме этого, из-за повышения эффективности работы пароперегревателя с точки зрения теплообмена появилась возможность снизить мощность нагревателя с 800 до 600 Вт без изменения технической характеристики работы аппарата по перегреву пара.

1. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Совершенствование и модернизация систем и средств энергообеспечения - важнейшее направление решения задач по-вышения энергоэффективности сельхозпроизводства / Техника и оборудование для села. –2017. № 11.– С. 32-36.
2. Расстригин В.Н. , Тихомиров Д.А. Развитие электрических систем и техниче-ских средств теплообеспечения животноводческих предприятий // Техника в сельском хозяйстве 2010.– №.6.– С. 13–15.
3. Тихомиров Д.А. Расчет тепловых потерь паропроводов паровых котлов сель-скохозяйственного назначения // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. №1(22). –С. 17-20.
4. Тихомиров Д.А. Энергосберегающая система горячего паро- и водообеспе-чения животноводческих объектов // Техника и оборудование для села. –2013. –№ 10. – С. 14–15.
5. Лебедев Д.П., Расстригин В.Н., Тихомиров Д.А. Теплообмен в электрических пароводонагревателях // Промышленная теплотехника.– 2000. – №4. – Т.22.– С. 34–39.
6. Тихомиров Д.А. Физическая модель динамики теплообмена в электрическом пароперегревателе // Техника в сельском хозяйстве 2014.– №2.– С.13–15
7. Тихомиров Д.А. Определение коэффициента теплоотдачи при кипении воды в электрическом пароводонагревателе экспериментальным путем // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3 (13). С. 85–89.
8. Письменный Е.Н. Конструктивные методы повышения теплоаэродинамиче-ской эффективности трубчатых поперечно-оребранных поверхностей теплооб-мена // Промышленная теплотехника, №2–3. Т.21, 1999.
9. Юдаев Б.Н. Теплопередача. - М.: Высш. школа, 1981. - 319 с.
10. Теплотехнический справочник: В 2-х т./ Под общ. ред. В.Н.Юренева и П.Д. Лебедева.– 2-е изд. перераб. – М.: Энергия, 1976. – Т2. – 896 с.
11. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Кни-га по птребованию, 2012. – 466 с.

Чистогова В.А., Богданец Е.С.

Исследование параметров автоматического построения гидрографической сети в программе Global Mapper

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(Россия, Пермь)*

doi:10.18411/lj-05-2018-95

idsp: 000001:lj-05-2018-95

Аннотация

Выполнено исследование параметров инструмента автоматического построения гидрографической сети в программном продукте Global Mapper. В работе рассмотрена зависимость длин рек от параметра Stream Threshold «Порог потока».