

УДК 696.48:536.27

И. К. Шадрин, аспирант
 Е. В. Корепанов, кандидат технических наук, доцент
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Предложены параметры для сравнения теплообменников, применяемых в системах теплоснабжения, учитывающие их энергетические, функциональные, эксплуатационные и строительно-монтажные характеристики. Проведен сравнительный анализ качественных характеристик кожухотрубных и пластинчатых теплообменников.

Ключевые слова: сравнение теплообменников по параметрам, пластинчатый теплообменник, кожухотрубный теплообменник, эффективность теплообменников, характеристики теплообменников, факторы выбора теплообменников.

Одной из наиболее важных составляющих систем тепло- и холодоснабжения является теплообменное оборудование (теплообменники системы отопления и водоподогреватели системы горячего водоснабжения, испарители и конденсаторы теплонасосных установок). От эффективности работы теплообменного оборудования зависит надежность работы системы в целом [1–4]. Основное назначение теплообменников – поддержание необходимых выходных параметров теплоносителя по температуре для потребителя на выходе.

В системах теплоснабжения применяются, в основном, пластинчатые и кожухотрубные теплообменники, достоинства и недостатки которых проявляются в зависимости от условий эксплуатации [5–9].

Теплообменные аппараты системы теплоснабжения должны сохранять проектные характеристики, при изменении режимных параметров иметь возможность восстановления первоначально заданных значений, изменяющихся в процессе эксплуатации (ухудшение теплопередачи вследствие зарастания стенок слоем накипи, окислами и т. д.), а также быть устойчивыми к воздействию окружающей среды (вибрация, теплотери и др.). Перечисленные параметры (разнородные как по сущности, так и по размерности) зависят от большого количества факторов, что усложняет процесс оценки альтернативных решений. Для подобных оценок применяются методы системного, функционального, структурно-функционального и нейросетевого анализа [10–13].

На первоначальном этапе необходимо определить параметрические группы факторов и сравнить эффективность работы теплообменного оборудования системы теплоснабжения по всем значимым факторам (рис. 1). К первой (основной) группе факторов следует отнести режимные факторы (табл. 1).

Уменьшение расхода теплоносителя сопровождается снижением коэффициента теплоотдачи, который зависит от скорости течения. В результате уменьшается теплопередача теплообменника. Особенно актуально это для теплообменников горячего водоснабжения (ГВС), которые работают в условиях высокой часовой и суточной неравномерности потребления горячей воды. Если расход по греющему теплоносителю корректируется регулятором температуры, то расход нагреваемой воды q^h зависит только от потребителей. Следо-

вательно, коэффициент теплопередачи будет определяться теплоотдачей со стороны нагреваемой воды. Поэтому конструкция теплообменника ГВС должна обеспечивать высокий коэффициент теплопередачи при широком диапазоне изменения q^h . Для чего можно использовать поверхности, обеспечивающие турбулентное течение при минимальных расходах.

Расход нагреваемого контура теплообменника отопления в течение отопительного периода остается практически постоянным. Расход теплоносителя греющего контура изменяется только в переходный период при использовании погодного регулирования в теплый период для исключения «перетопа», поэтому требования по сохранению коэффициента теплопередачи при снижении расхода для теплообменников отопления не актуально.

Из вышеприведенного следует, что одним из важнейших факторов является адаптируемость к изменению тепловой нагрузки, которая может потребоваться в случае увеличения количества потребителей теплоты, при расширении тепловых сетей, и стабильность работы при разных скоростях потоков или разнофазных средах. Адаптируемость определяется зависимостью коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса $\alpha = f(Re^n)$. Для пластинчатых теплообменников показатель степени $n = 0,6 \dots 0,73$, а для кожухотрубных $n = 0,8$. Кроме того, средняя температура греющего теплоносителя кожухотрубного многоходового теплообменника выше, чем у одноходовых теплообменников. Поэтому при изменении расхода воды в системах ГВС адаптируемость кожухотрубного многоходового теплообменника высокая.

Начальная температура греющего теплоносителя t_1' определяется графиком качественного регулирования тепловой нагрузки. Начальная t_2' и конечная температура t_2'' вторичного контура определяется технологическим процессом и является постоянной задаваемой величиной, поэтому важнейшим параметром является конечная температура t_1'' греющего теплоносителя. В соответствие с уравнением теплового баланса с ростом t_1'' увеличивается расход греющего теплоносителя $G_1 = Q / [c(t_1' - t_1'')]$.



Рис. 1. Параметры и факторы оценки теплообменников

Таблица 1. Режимные и энергетические факторы теплообменного оборудования

Фактор	Разборные пластинчатые	Паяные пластинчатые	Одноходовые кожухотрубные	Многоходовые кожухотрубные
Стабильность работы при изменении расхода, скорости и давления разнофазных средах (условно)	Недостаточно стабилен (вследствие одинаковых объемов каналов греющей и нагреваемой среды) сложность подбора	Недостаточно стабилен (вследствие одинаковых объемов каналов греющей и нагреваемой среды) сложность подбора	Стабилен	Стабилен
Адаптация к изменению нагрузки	Средний уровень. Зависит от профиля пластин	Средний уровень. Зависит от профиля пластин	Низкий уровень, из-за снижения средней температуры греющего теплоносителя	Высокий уровень
Температура теплоносителей	150 °С (180 °С при применении жаростойких прокладок)	120 °С	250 °С	250 °С
Коэффициент теплопередачи (условно)	1	До 1,5	0,3–0,6	0,5–0,8
Теплопотери в окружающую среду (условно)	Незначительные	Минимальные в связи с малыми габаритами	Значительные в связи с большими габаритами (зависят от качества тепловой изоляции)	Значительные в связи с большими габаритами (зависят от качества тепловой изоляции)
Гидравлическое сопротивление (условно)	4	4,5–5	1	1,5–2
Качество воды	Допустимо применение неподготовленной «сырой» воды, содержащей карбонат кальция, мелкодисперсные частицы окислов железа, т. к. имеется возможность разборки теплообменного аппарата для очистки пластин	Допустимо применение только подготовленной, очищенной воды. «Сырая» вода, в редких случаях с низким уровнем содержания карбоната кальция. Метод очистки – промывка растворами кислот	Допустимо применение неподготовленной «сырой» воды, содержащей карбонат кальция, мелкодисперсные частицы окислов железа, т. к. имеется возможность разборки теплообменного аппарата для чистки трубного пучка	Допустимо применение неподготовленной «сырой» воды, содержащей карбонат кальция, мелкодисперсные частицы окислов железа, т. к. имеется возможность разборки теплообменного аппарата для чистки трубного пучка

Кроме того, значение t_1'' в тепловых пунктах системы теплоснабжения регламентируется и ее превышение приводит к штрафным санкциям. Завышенное значение t_1'' характерно для многоходовых теплообменников с несимметричной компоновкой (2–4 хода по нагреваемому, 1 ход по греющему). Такая компоновка может быть использована в теплообменниках отопления и второй ступени ГВС при смешанной схеме их включения.

При анализе теплообменного оборудования необходимо учитывать наиболее важный фактор для оценки теплообменного аппарата – коэффициент теплопередачи. Для увеличения съема теплоты в теплообменниках применяются различные способы интенсификации [14, 15]. Используются поверхностные и режимные методы.

В кожухотрубных теплообменниках наибольшее распространение получили поверхностные турбулизаторы в виде колец из проволоки, надетых на гладкую трубу, проволочных спиралей, намотанных на трубу в виде треугольной нарезки, кольцевую накатку с выступами внутри и снаружи, а также витые трубки [16, 17]. В пластинчатых теплообменниках интенсификация происходит за счет профилирования пластин [18].

В качестве режимных способов интенсификации применяется импульсный режим течения теплоносителя [19, 20]. В кожухотрубных теплообменниках используют также закрутку потока спиральными ребрами, шнековыми устройствами, завихрителями, установленными на входе в канал.

Сравнивая тепловые потери в окружающую среду представленных видов теплообменных аппаратов, можно отдать предпочтение пластинчатому теплообменнику – по некоторым оценкам теплотери во внешнюю среду на пластинчатом теплообменнике примерно в 5–7 раз меньше теплотери кожухотрубного теплообменника. Кожухотрубный теплообменник обладает развитыми внешними поверхностями, требующими применения качественной тепловой изоляции. На тепловые потери кожухотрубного теплообменника приходится от 5 до 9 % от его общей производительности, причем этот процент увеличивается по ходу эксплуатации теплообменного аппарата из-за неизбежной потери первоначальных физических свойств изоляции на протяжении времени (механическое повреждение, намокание и др.). В отличие от кожухотрубного, пластинчатый теплообменник имеет значительно меньшие массогабаритные параметры при одинаковой производительности и не требует применения тепловой изоляции.

Значение гидравлического сопротивления определяется скоростью движения потока теплоносителя, геометрией и размером каналов для его прохода через теплообменник и с учетом коэффициентов накипеобразования. Значение гидравлического сопротивления в пластинчатом теплообменнике выше, чем

в кожухотрубном. Данный недостаток пластинчатого теплообменника возникает за счет малого расстояния между пластинами и значительной турбулизации потока, возникающей вследствие их профилирования. Наибольшим гидравлическим сопротивлением из ряда представленных обладает паяный пластинчатый теплообменник. Конструкцией паяного теплообменника не предусмотрена его разборка, а соответственно, для предотвращения его зарастания слоем накипи и быстрого выхода из строя предусмотрена максимальная турбулентность потока по всей площади поверхности теплообмена, тем самым повышается его гидравлическое сопротивление.

Теплообменное оборудование чувствительно к качеству транспортируемой в нем среды. Отложение накипи и продуктов коррозии (оксидов железа, кремния, солей жесткости и пр.) приводит к снижению теплопередачи и, как следствие, к снижению энергетической эффективности теплообменника [21]. Для восстановления теплотехнических показателей теплообменные аппараты через 2–3 месяца приходится останавливать на чистку и ремонт, что связано с демонтажем и монтажом теплообменников.

В теплообменниках отопления как в качестве греющего, так и нагреваемого теплоносителя используется вода, обработанная с целью снижения жесткости и коррозионной активности. Даже при использовании «сырой» воды во вторичном контуре отложение накипи минимально, так как концентрация карбоната кальция не возобновляется.

В теплообменниках ГВС подготовленная вода используется только в греющем контуре, а в нагреваемом контуре течет вода с высокой концентрацией карбоната кальция. Высокая коррозионная активность нагреваемой воды способствует загрязнению теплообменной поверхности оксидом железа, кремния и другими продуктами коррозии. Эти особенности нагреваемой воды накладывает определенные требования на форму поверхности, обеспечивающей такой характер течения воды, который способствует смыванию накипи и продуктов коррозии. Материал теплообменной поверхности должен обладать минимальной адгезией с накипью и продуктами коррозии.

Ко второй группе (табл. 2) относятся факторы, критически важные на стадии монтажа системы теплоснабжения и пуско-наладке системы. Ключевыми здесь являются параметры стоимости оборудования и сроков монтажа. Кроме того, при монтаже систем существуют объективные ограничения в применении некоторых решений. Например, габариты помещения для монтажа.

Применение некоторых видов теплообменных аппаратов влечет за собой дополнительные расходы уже на стадии монтажа, так как требуют дополнительного инженерного оснащения и инфраструктуры. Кожухотрубные теплообменники предполагают наличие фундамента для их монтажа и в некоторых случаях дополнительных стальных конструкций для их установки.

Таблица 2. Ресурсоемкость, связанная с монтажом системы теплоснабжения

Фактор	Разборные пластинчатые	Паяные пластинчатые	Одноходовые кожухотрубные	Многоходовые кожухотрубные
Наличие специального фундамента	Не требуется	Не требуется	Требуется, неустойчив к вибрации	Требуется, неустойчив к вибрации
Применение теплоизоляции	Не требуется	Не требуется	Требуется применение теплоизоляции как на кожухах и соединительных частях секций	Требуется применение теплоизоляции как на кожухах и соединительных частях секций
Сравнение по времени монтажа	Среднее время монтажа (сбор пластин и уплотняющих прокладок в раме теплообменника)	Низкое время монтажа (пластины теплообменника спаяны заранее)	Высокое время монтажа (требуется специальные металлические опоры, возможна потребность в спецтехнике и лесах)	Высокое время монтажа (требуется специальные металлические опоры, возможна потребность в спецтехнике и лесах)
Ограничения по габаритам помещения	Отсутствует (малогабаритное оборудование)	Отсутствует (малогабаритное оборудование)	Присутствует (крупногабаритное оборудование)	Присутствует (крупногабаритное оборудование)
Затраты на монтаж и пусконаладку оборудования	Незначительные	Незначительные	Значительные (потребность в спецтехнике, высокая стоимость)	Значительные (потребность в спецтехнике, высокая стоимость)
Соединение при сборе	Разъемные, на уплотнителях из резины	Неразборное (пайка)	Неразборное (сварка, вальцовка и т. д.)	Неразборное (сварка, вальцовка и т. д.)
Масса (условно)	1	От 0,1	До 10	До 10

Критически важным фактором на стадии эксплуатации является стоимость поддержания подсистемы в рабочем состоянии. По ходу эксплуатации теплообменных аппаратов необходимо проводить плановую чистку поверхностей теплообмена от накипи или выполнять ремонт вышедших из строя элементов. При засорении пластинчатый теплообменник может быть разобран, промыт и собран двумя низкоквалифицированными работниками в течение 4–6 часов ввиду его компактности. В кожухотрубных теплообменниках процесс очистки трубок достаточно трудоемок – бригада из 2 человек может потратить 3–4 рабочих смены. Очистка трубного пучка зачастую ведет к разрушению и заглушению части трубок.

Ввиду того что в теплообменных аппаратах пластинчатого типа в качестве поверхности теплообмена выступают тонкие стальные листы (толщиной 0,4–0,6 мм), применение их в системах с давлением свыше 1,6 МПа недопустимо, за исключением дорогостоящих решений. Кожухотрубные теплообменные аппараты обладают массивной конструкцией – трубный пучок находится внутри корпуса из стали толщиной не менее 4 мм, рабочее давление при такой конструкции может превышать 2,5 МПа.

Пластинчатые теплообменники высокоустойчивы к наведенной двухплоскостной вибрации, которая может вызвать повреждения вальцовочных соединений кожухотрубного теплообменника и привести к смешению греющей и нагреваемой среды, что недопустимо.

Срок эксплуатации уплотнительной прокладки (первой выходящей из строя) пластинчатого теплообменника, по экспертным оценкам, достигает 5–7 лет, однако замена прокладок входит в текущий ремонт оборудования. Срок работы теплообменных пластин (основного элемента) составляет 10–15 лет. Капитальный ремонт кожухотрубного теплообменного аппара-

та может потребоваться раньше, чем пластинчатого, – при сроке эксплуатации до 10 лет. Меньший срок эксплуатации обусловлен тем, что при его ремонте часть поврежденных трубок заглушается, уменьшая тем самым поверхность теплообмена. Табл. 3 содержит сведения об эксплуатационных особенностях различных типов теплообменников.

Теплообменное оборудование системы теплоснабжения находится в постоянном контакте с транспортируемой средой – водой, непосредственно оказывая на нее свое воздействие. Сведения о влиянии различных видов теплообменного оборудования на потребительские свойства воды содержит табл. 4.

В системе отопления это оборотная вода теплоносителя, циркулирующая по системе труб и радиаторов, которая подогревается в теплообменном аппарате до заданной температуры, в системе ГВС – холодная вода из водопровода, также нагреваемая в теплообменнике, которая идет на водоразбор в жилые дома и административные здания.

По роду воздействия на транспортируемую среду теплообменное оборудование можно разделить:

- на механическое воздействие – загрязнение транспортируемой среды механическими, мелкодисперсными частицами твердого вещества, уносимыми из теплообменника потоком среды (продукты коррозии);
- химическое воздействие – загрязнение транспортируемой среды веществами, влияющими на химический состав воды, возникающее при ее контакте с поверхностями теплообмена, на которых присутствуют отложения (оксиды железа, карбонат кальция, оксид кремния и др.);
- биологическое загрязнение – загрязнение транспортируемой среды, возникающее при ее контакте с поверхностями теплообмена, подверженными биообрастанию.

Таблица 3. Сведения об эксплуатационных особенностях различных типов теплообменников

Фактор	Разборные пластинчатые	Паяные пластинчатые	Одноходовые кожухотрубные	Многоходовые кожухотрубные
Доступность для внутреннего осмотра и чистки	Разборный, легко подвергается осмотру и чистке	Неразборный, чистка только активными веществами (кислоты)	Неразборный, труднодоступен, простая замена частей невозможна; возможна только промывка (в некоторых случаях возможна механическая чистка только трубного пространства)	Неразборный, труднодоступен, простая замена частей невозможна; возможна только промывка (в некоторых случаях возможна механическая чистка только трубного пространства)
Работа при высоких давлениях (свыше 25 атм)	Недопустима, за исключением дорогостоящих решений	Недопустима	Возможна	Возможна
Устойчивость к вибрациям	Устойчив к вибрациям	Устойчив к вибрациям	Неустойчив к вибрациям (трубчатые установки могут выйти из строя)	Неустойчив к вибрациям (трубчатые установки могут выйти из строя)
Ресурс работы до капитального ремонта	До 15 лет	5–10 лет	До 10 лет	До 10 лет

Таблица 4. Влияние теплообменного оборудования на потребительские свойства воды

Фактор	Разборные пластинчатые	Паяные пластинчатые	Одноходовые кожухотрубные	Многоходовые кожухотрубные
Механическое воздействие	Низкое механическое воздействие, вследствие малого расстояния между пластинами	Низкое механическое воздействие, вследствие малого расстояния между пластинами	Высокое механическое воздействие, трубки во время эксплуатации подвержены зарастанию окислами железа и накипью	Высокое механическое воздействие, трубки во время эксплуатации подвержены зарастанию окислами железа и накипью
Химическое воздействие	Среднее химическое воздействие	Малое химическое воздействие, вследствие меньшего объема теплообменника за счет высокого коэффициента теплопередачи	Высокое химическое воздействие, большая поверхность соприкосновения среды в трубках с отложениями	Высокое химическое воздействие, большая поверхность соприкосновения среды в трубках с отложениями
Биологическое загрязнение	Не значительное биологическое загрязнение, вследствие малых габаритов теплообменного аппарата и расстояния между пластинами	Не значительное биологическое загрязнение, вследствие малых габаритов теплообменного аппарата и расстояния между пластинами	Незначительное биологическое загрязнение, вследствие малого сечения трубок и высокой скорости потока транспортируемой среды	Незначительное биологическое загрязнение, вследствие малого сечения трубок и высокой скорости потока транспортируемой среды

Биозаращение особенно актуально в теплообменниках, используемых для охлаждения в пищевой промышленности (молоко, пиво и др.), при использовании биологически активной воды (например, морской воды), а также в теплообменниках низкотемпературных систем – теплонасосных установок и систем кондиционирования [22]. Наличие микроорганизмов и продуктов их метаболизма в теплообменниках может оказать существенное влияние на эффективность и стабильность теплообмена, на увеличение гидравлического сопротивления и на биологическое заражение теплоносителей.

В системах теплоснабжения по роду рабочей среды используются пароводяные и водоводяные теплообменники.

Пароводяные используются в основном на ТЭЦ или паровых котельных в целях получения горячей воды для водяных систем отопления и горячего водоснабжения, где в качестве греющей среды используется пар. Наиболее часто, в качестве пароводяных теплообменников применяются многоходовые кожухотрубные аппараты, так как они хорошо зарекомендовали себя при работе в разнофазных потоках. Теплообменники пластинчатого типа также используются для данной задачи, но требуют применения специальных прокладок из жаростойкой резины.

Теплообменники в водоводяном исполнении наиболее распространены в системе теплоснабжения и применимы во всех конструкциях теплообменного оборудования.

Таким образом, определены основные критерии и факторы для сравнения различных по конструкции типов теплообменных аппаратов, наиболее приемлемые в системах теплоснабжения. Проведен сравнительный анализ качественных характеристик пластинчатых и кожухотрубных теплообменников по выбранным группам факторов, выявлены их достоинства и недостатки, позволяющие сделать выводы по применению определенного типа теплообменного аппарата в соответствии с характеристиками конкретного объекта системы теплоснабжения. Задача выбора конструктивного исполнения для конкретной

системы теплоснабжения сложна, и во всей полноте алгоритмизировать ее и решить методом только качественного описания (в определенной степени субъективного) невозможно из-за большого количества альтернативных ситуаций. Решение такой задачи возможно методом комплексной оценки с использованием формализованных (относительных) факторов. Для комплексного анализа необходима разработка математических моделей, методов и алгоритмов определения количественной оценки используемых факторов.

Библиографические ссылки

1. Зингер Н. М., Тарадай А. М., Бармина Л. С. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 256 с.
2. Барановский Н. В., Коваленко Л. М., Ястребенецкий А. Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. – М. : Машиностроение, 1973. – 288 с.
3. Справочник по теплообменникам : в 2 т. Т. 1 / пер. с англ. ; под ред. О. Г. Мартыненко и др. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
4. Shah R. K., Dusan P. S. Fundamentals of Heat Exchanger Design. John Wiley & Sons, Hoboken. 2003. 941 p.
5. Краснов В. И. Повышение эффективности теплоснабжения зданий и сооружений путем замены в ЦТП кожухотрубных теплообменников на пластинчатые // Энергобезопасность и энергосбережение. 2006. – № 2. – С. 9–13.
6. Барон В. Г. Тонкостенные кожухотрубные теплообменные аппараты // АВОК. – 2000. – № 3. – С. 62–67.
7. Потьлицын М. Н. Основы надежной эксплуатации пластинчатых теплообменников // Химическая техника. – 2011. – № 8. – С. 8.
8. Гвоздков А. Н., Селиверстов Ю. М. Использование пластинчатых теплообменников при решении вопросов энерго- и ресурсосбережения // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды материалы VI Международной научной конференции. Волгоград, 2008. – С. 271–275.
9. Шадрин И. К., Корепанов Е. В. Особенности работы теплообменников отопления и горячего водоснабжения // Наука и образование в XXI веке : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 июня 2015 г.: в 3 ч. ООО «АР-Консалт». Москва, 2015. – С. 53–54.
10. Палагин А. В., Стерхов А. И., Корепанов Е. В. Сравнение систем естественного освещения зданий по функционально-энергетическим факторам // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (24). – С. 191–194.
11. Некротюк А. В., Корепанов Е. В. Функционально-структурная модель системы местной вытяжной вентиляции рабочего места монтажника радиоаппаратуры // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 1. – С. 65–68.
12. Палагин А. В., Корепанов Е. В. Управление системой тепло-холодоснабжения здания на альтернативных источниках энергии // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 1. – С. 152–156.
13. Некротюк А. В., Палагин А. В., Корепанов Е. В. Применение нейронных сетей для оптимизации системы микроклимата цеха монтажа радиоэлектронной аппаратуры // Глобальная научная интеграция. – 2013. – № 6. – С. 55–56.
14. Перспективные методы интенсификации теплообмена для теплоэнергетического оборудования / И. А. Попов, А. Б. Яковлев, А. В. Щелчков, Д. В. Рыжков, Л. А. Обухова // Энергетика Татарстана. – 2011. – № 1. – С. 25–29.
15. Олимпиев В. В. Влияние интенсификации теплообмена на эффективность теплообменников при их модернизации // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2000. – № 4. – С. 61–62.
16. Лобанов И. Е. Обобщенная теория интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в кольцевых каналах с турбулизаторами на внутренней // Альманах современной науки и образования. – 2012. – № 1 (56). – С. 49–60.
17. Дрейцер Г. А. О некоторых проблемах создания высокоэффективных трубчатых теплообменных аппаратов // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 5. – С. 30–36.
18. Власенко А. С., Глазов В. С., Сергиевский Э. Д. Поверхностные интенсификаторы в теплообменниках // Молочная промышленность. – 2009. – № 5. – С. 16–18.
19. Макеев А. Н., Левцев А. П. Импульсные системы теплоснабжения общественных зданий // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – № 2 (9). – С. 45–51.
20. Влияние импульсного режима течения теплоносителя на коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменнике системы горячего водоснабжения / А. П. Левцев, С. Ф. Кудашев, А. Н. Макеев, А. И. Лысяков // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 89.
21. Фесак Д. В., Литвиненко А. А. Проблема засорения трубопроводов теплообменника и методы её решения // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 4 (12). – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/04/11077>.
22. Галкин М. Л. Биообрастание как фактор снижения эффективности теплообмена // Холодильная техника. – 2011. – № 6. – С. 34–36.

Shadrin I. K., Post-graduate, Kalashnikov ISTU

Korepanov E. V., PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

Parametric analysis of the efficiency of heat exchange equipment in heat supply systems

Parameters are proposed for comparison of heat exchangers used in heat supply systems, taking into account their energy, functional, operational, and construction descriptions. A comparative analysis is carried out for qualitative characteristics of the shell and tube heat exchangers and plate heat exchangers.

Keywords: comparison of heat exchangers according to the parameters, plate heat exchanger, shell and tube heat exchanger, efficiency of heat exchangers, characteristics of heat exchangers, factors of exchangers selection.

Получено: 21.01.16