

душной подушке, высотой до 0,3 м со скоростью до 80 км/ч), а так же глиссирование, плавание, скольжение по льду и снегу.

жет осуществлять свою деятельность, как в интересах населения, так и различных федеральных органов исполнительной власти [4, 5].



Экраноплан «ОРИОН-14» [3]

Характеристики экраноплана «ОРИОН-14»: взлетный вес 4,2 т; пассажироместность 15 чел.; экипаж 1-2 чел.; скорость полета до 250 км/ч; дальность 1300 км; силовая установка (2xChevrolet) 480 л.с.; топливо (Аи-95) 250 л. Малый экраноплан, испытывался в зимних условиях, в ледовой обстановке с торосами до 50 см, в условиях ледяной шуги. В режиме полета максимально допустимая дистанция до объектов составляет 30 м. В режиме плавания осадка экраноплана составляет 0,5 м, что позволяет передвигаться на минимальных глубинах. Максимальная высота волны, при которой возможна эксплуатация составляет 1,25 м, а скорость ветра 7 м/с. Допускается эксплуатация только в светлое время суток.

В дипломной работе рассматривался маршрут «Хабаровск – Николаевск-на-Амуре» протяженностью 931 км, связывающий 23 населенных пункта Среднего и Нижнего Амура (Хабаровск, Сикачи-Алян, Троицкое, Иннокентьевка, Верхний Нерген, Ачан, Вознесенское, Комсомольск-на-Амуре, Бельго, Нижние Халбы, Нижняя Тамбовка, Ягодный, Киселевка, Циммермановка, Софийск, Мариинское, Булава, Богородское, Сусанино, Тыр, Тахта, Иннокентьевка, Николаевск-на Амуре). При выборе остановок приоритетное значение имела удаленность населенных пунктов от автомобильных дорог, а так же численность населения. На круглогодичном маршруте задействовано три экраноплана. Результаты расчетов показали, что время рейса составит, примерно, 7 часов, а ориентировочная стоимость 1500 руб./ч. В расчетах учитывались: стоимость экранопланов, эксплуатационные расходы, стоимость доставки от производителя (три экраноплана разбираются на модули и укладываются в два 40-футовых контейнера и доставляются из Петрозаводска по ж/д до Хабаровска), организация заправочных станций и мест специальных площадок базирования и т.д. (в ценах 2014-2015 гг.). Рассчитанная стоимость довольно высока и необходимо определить возможные пути ее снижения. Для организации транспортировки пассажиров новым транспортным средством потребуются финансирование из краевого или федерального бюджета. Одним из вариантов сокращения затрат может стать создание региональной системы перевозок экранопланами, общей системы обеспечения и организации движения. Система смо-

#### Список литературы

1. Хабаровчанам в Николаевск-на-Амуре придется добираться через Комсомольск / К. Быватов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dvnovosti.ru/khab/2013/05/27/meteor/>, свободный.
2. Речникам не хватает тарифа. Пассажиры ждут свободные цены и единый перевозчик / В. Пасмурцев // Коммерсантъ (Хабаровск) №86 от 16.05.2012 /1991–2016 АО «Коммерсантъ». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kommersant.ru/doc-rss/1934472>; свободный.
3. Экраноплан «Орион-14» / А.В. Карпенко 2013-2015. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://nevskii-bastion.ru/orion-14/VTC «НЕВСКИЙ БАСТИОН» А.В. Карпенко](http://nevskii-bastion.ru/orion-14/VTC%20«НЕВСКИЙ%20БАСТИОН»%20А.В.%20Карпенко); свободный.
4. Исследование применения экранопланов на реке Амур / А.В. Милованов, И.В. Каменских // Международный студенческий научный вестник. – М.: Издательский Дом «Академия Естественных наук». – 2015. – № 3. – С 297-299.
5. Есть ли будущее у экранопланов на дальнем востоке? / И.Н.В. Каменских, И.В. Каменских //Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 140-141.

#### ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ПОДОГРЕВАТЕЛЯХ СЕТЕВОЙ ВОДЫ

Слаква Е.С., Седелников Г.Д.

ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Комсомольск-на-Амуре,  
e-mail: ido@knastu.ru

Интенсификация теплообмена относится к наиболее актуальным проблемам в области теплоэнергетики. Предложенные и исследованные методы интенсификации теплообмена позволяют уменьшить массу и габариты теплообменных аппаратов в 1,5-2 раза по сравнению с аналогичными серийными устройствами при одинаковых тепловых потоках [1, 2].

На ТЭЦ используется различные теплообменники, среди которых наиболее габаритными и металлоемкими являются подогреватели сетевой воды. Это определяется значительными тепловыми нагрузками и, следовательно, большими расходами сетевой воды, которая нагревается в таких теплообменниках за счет конденсации пара из отборов турбин. На Комсомольской ТЭЦ-3 в теплофикационной установке турбины Т-180/210-130 используются сетевые подогреватели горизонтального типа ПСГ-5000-2,5-8-1. Один такой аппарат имеет площадь поверхности теплообмена 5000 м<sup>2</sup>, длину 12720 мм и диаметр корпуса 3640 мм.

Для интенсификации теплообмена при конденсации пара предлагаются различные мероприятия и конструктивные устройства [2]: несмачиваемые покрытия и жидкие стимуляторы (гидрофобизато-

ры) для создания капельной конденсации, закрутка потока или вращение поверхности теплообмена, турбулизаторы и ребра для разрушения пленки конденсата и др. К наиболее эффективным и простым по технологии изготовления относятся дискретно-шероховатые поверхности [1]. Дискретно-шероховатые поверхности имеют выступы и впадины, получаемые, например, путем кольцевой накатки. При этом на наружной поверхности труб образуются периодически расположенные кольцевые канавки, а на внутренней – кольцевые диафрагмы. Такие искусственные турбулизаторы интенсифицируют теплообмен снаружи и внутри труб. При этом наружный диаметр труб не увеличивается, что не меняет плотность пучка и технологию сборки теплообменника.

В работе [3] приведены результаты экспериментов, полученные Г.А. Дрейсером при конденсации на горизонтальных трубах с накатками. Коэффициенты теплоотдачи увеличиваются по сравнению с гладкими трубами в 1,8–2,7 раза. Эффект возрастает при увеличении глубины канавок, уменьшении их радиуса закругления и снижении шага расположения. При этом гидравлическое сопротивление труб с накаткой может возрасти в 3–4 раза. Вместе с тем, для таких труб была обнаружена закономерность опережающего роста теплоотдачи над ростом гидравлического сопротивления в определенном диапазоне геометрических характеристик накатки [2]. Принимая глубину впадин и высоту выступов, соответствующих отношению диаметра выступов к внутреннему диаметру трубы в диапазоне 0,97–0,98, можно считать, что при увеличении коэффициентов теплоотдачи для пара в 1,75 и для воды в 2 раза гидравлическое сопротивление возрастет примерно в 1,7 раза.

Эти данные использовались для оценки результатов интенсификации теплообмена в сетевом подогревателе ПСГ-5000-2,5-8-1. Предварительно был выполнен тепловой расчет этого серийного подогревателя с гладкими трубами при максимальном тепловом потоке 383,8 МВт. Расчеты показали, что коэффициенты теплоотдачи со стороны пара и воды составили соответственно 4446 и 10748 Вт/м<sup>2</sup>×К, коэффициент теплопередачи 3145 Вт/м<sup>2</sup>×К, число труб 9398 и их длина 8,92 м. Для труб с кольцевой накаткой коэффициенты теплоотдачи в соответствии с изложенным выше возрастут для пара и воды соответственно до 7780 и 21496 Вт/м<sup>2</sup>×К. Расчет сетевого подогревателя с накатными трубами и прочих равных условий дал следующие результаты: коэффициент теплопередачи 5712 Вт/м<sup>2</sup>×К, поверхность теплообмена 2754 м<sup>2</sup>, число труб 7058, длина труб 6,54 м, общая длина корпуса 9,34 м, диаметр корпуса 3,154 м. Таким образом, применение труб с кольцевыми накатками может снизить требуемую поверхность теплообмена подогревателя в 1,8 раза, сократить число труб на 2340 единиц, уменьшить длину подогревателя примерно на 3,5 м, а диаметр корпуса примерно на 0,5 м. Все это понизит металлоемкость и стоимость подогревателя. Учитывая, что затраты энергии на прокачку теплоносителя возрастут, решение о целесообразности применения накатных труб в сетевом подогревателе может быть принято после соответствующего технико-экономического анализа.

**Список литературы**

1. Назмеев, Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС / Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 269 с.
2. Методы интенсификации теплообмена. URL: <http://www.ims.kgeu.ru/pluginfile> (дата обращения: 12.11.2015).

3. Методы интенсификации теплообмена при конденсации пара. URL: <http://www.vunivere.ru/work50413> (дата обращения: 09.12.2015).

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ОЦЕНКЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕШИВАЮЩИХ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ**

Слаква Е.С., Седелников Г.Д.

*ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Комсомольск-на-Амуре, e-mail: ido@knastu.ru*

В системе регенерации турбоустановок в основном применяются подогреватели поверхностного типа. Однако по энергетической эффективности такие регенеративные подогреватели не являются лучшим решением, т.к. в них всегда присутствует недогрев основного конденсата или питательной воды до температуры насыщения в корпусе подогревателя. По данным Сибирского энергетического института расчетный недогрев для подогревателей высокого давления может составлять 3–6°С и для низкого давления (ПНД) 1,5–2,5°С. В условиях эксплуатации эти температурные напоры существенно возрастают, особенно для первых (по ходу основного конденсата) ПНД, в которых они достигают 7–12°С [1]. Причина в том, что эти ПНД подключены к отборам турбин с давлением меньше атмосферного и на их работу отрицательно влияют эксплуатационные присосы воздуха. Экспериментально установлено, что даже 1% воздуха в паре снижает коэффициент теплоотдачи при конденсации примерно на 60%. Причина в том, что при конденсации парциальное давление пара у поверхности охлаждения снижается, а парциальное давление воздуха возрастает. Поэтому воздух затрудняет доступ пара к поверхности конденсации и его нужно постоянно удалять из этой зоны.

В подогревателях смешивающего (контактного) типа нет недогрева воды до состояния насыщения, а присосы воздуха практически не сказываются на их работе. Отсутствие недогрева повышает тепловую эффективность установки, т.к. снижается давление пара в отборе и работа пара в турбине увеличивается. Кроме того, в смешивающих подогревателях происходит частичная деаэрация воды, а отсутствие труб повышает надежность работы, снижает массу (в два и более раза) и стоимость таких подогревателей. Вместе с тем, после каждого смешивающего подогревателя, в отличие от поверхностного, необходима установка насоса, что ведет к росту расхода электроэнергии на собственные нужды. Частично эта проблема решается возвышением одного подогревателя над другим, если на станции есть для этого возможности.

Для турбоустановки Т-180/210-130 Комсомольской ГЭС-3 была выполнена расчетная оценка целесообразности применения смешивающих регенеративных подогревателей. Рассматривались варианты замены одного, двух, трех и всех четырех (по ходу конденсата) поверхностных ПНД на подогреватели смешивающего типа. Итоговые результаты расчетов представлены в таблице, где обозначены:  $N_{эл}$  – электрическая мощность турбоустановки,  $Q_{ТГ}$  – полный расход тепла на турбоустановку,  $H_{пр}$  – приведенный теплоперепад,  $D_o$  – расход пара в «голову» турбины,  $d$  – удельный расход пара,  $\eta_{КПД}$  – КПД по производству электроэнергии (теплофикационный режим),  $b_{эл}$  – удельный расход топлива на производство электроэнергии.