

УДК 621.039.4

А.Н. Ганичев, Ю.И. Аношкин

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО СПОСОБА ОТВОДА ТЕПЛА ОТ АТОМНОЙ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Анализируется возможность использования аппаратов воздушного охлаждения в качестве альтернативного способа отвода тепла от АЭС малой мощности на базе корабельной установки КЛТ-40С. Проведен анализ различных видов теплопередающих поверхностей с целью определения оптимальной с точки зрения эффективности теплопередачи, величины аэродинамического сопротивления, металлоемкости и технологичности.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, атомная станция малой мощности, оребрение, коэффициент оребрения.

Основное направление развития современной атомной энергетики – развитие сети малых АЭС, базирующейся на модульных ядерных реакторах сравнительно небольшой мощности. Применение атомных реакторов малой мощности (100 - 180 МВт тепловых), более 30 лет используемых в судовых и корабельных атомных энергетических установках, для энергообеспечения труднодоступных отдаленных районов России долгое время оставалось вне поля зрения специалистов и широкой общественности [1]. Приоритеты в области энергетики в прошлом принадлежали развитию единой энергосистемы на основе создания крупных генерирующих мощностей (1500 МВт тепловых в блоке) и строительства гигантских энергокомплексов. Вместе с тем зона децентрализованного энергоснабжения занимает порядка двух третей территории России и характерна тем, что именно на этой территории проживают группы населения, уровень жизни которых в значительной степени зависит от энергообеспечения поселков и соответствующих производств. С другой стороны, эта зона обладает значительными запасами полезных ископаемых, добыча которых сдерживается или сворачивается из-за отсутствия или большой стоимости инфраструктуры, прежде всего энергетики и транспорта. Очевидно, что для этой обширной территории, которая отличается низкой средней плотностью населения, решить проблему развития энергетики путем крупного сетевого строительства практически невозможно. В России имеется пятьдесят регионов, где уже существует потребность в атомных станциях малой мощности.

Малая атомная энергетика может и должна стать основой создания децентрализованных систем энергообеспечения. Целесообразность использования атомных станций малой мощности (АСММ) определяется комплексом объективных факторов, включающих экономическую и социальную эффективность, охрану окружающей природной среды, возможности производства оборудования, финансирования. Для массового индустриального строительства миниэнергетических атомных систем, в том числе в малых поселениях, а также микрорайонах и даже отдельных зданиях больших городов, необходимо создание принципиально новой индустрии мирового уровня - модульной ядерной энергетики. Речь идет о строительстве модульных ядерных мини-АЭС из функциональных унифицированных модульных блоков [1].

Самым перспективным в отношении безопасности и экономической эффективности является использование АСММ на базе транспортных установок с наземным базированием.

Этот тип АСММ имеет множество плюсов, но у него есть существенный недостаток: для него необходимо наличие водных ресурсов, так как традиционно сложилось, что отвод тепла от энергетической установки осуществляется в воду. Однако использовать воду не всегда возможно, особенно это касается районов дальнего севера. Чтобы снять ограничения по району базирования и повысить рентабельность АЭС, необходимо адаптировать транспортные установки под использование вне водных ресурсов, т.е. нужны альтернативные способы отвода тепла от ЯЭУ. К ним можно отнести: отвод излучением в окружающую среду, отвод теплопроводностью к земле, отвод с помощью аппарата воздушного охлаждения (АВО) к окружающему воздуху.

Отвод тепла с помощью АВО – наиболее реалистичная альтернатива, т.к. имеются большие наработки в химической и нефтяной промышленности. Аппараты, основанные на излучении, имеют широкое применение в космической отрасли, но у них очень низкий КПД (не превышает 1%). А отвод тепла в землю совершенно непригоден для использования в северных районах (вечная мерзлота).

Применение АВО дает ряд эксплуатационных преимуществ:

- экономия охлаждающей воды и уменьшение количества сточных вод,
- сокращение затрат труда на чистку аппарата ввиду отсутствия накипи и солеотложения,
- уменьшение расходов на организацию оборотного водоснабжения технологических установок,
- возможность эксплуатации АВО с температурой окружающего воздуха от -55 до $+50^{\circ}\text{C}$, т.е. возможно создать мобильную мини АЭС без ограничения районов ее использования.

Чаще в АВО в качестве поверхности теплообмена используют трубки с наружным оребрением, в результате чего существенно повышается отводимая тепловая мощность. Интенсификация теплообмена с помощью оребрения поверхности труб может быть достигнута только при условии хорошего подвода тепла от стенок труб к ребрам, что обеспечивается изготовлением ребристых труб из материалов с высоким коэффициентом теплопроводности или изготовлением ребристых труб из биметалла.

Учитывая большое разнообразие видов оребрения, необходим комплекс исследований, направленных на поиск наиболее эффективной теплопередающей поверхности, что позволит при существующих габаритах АВО увеличить тепловой поток без заметного роста затрат мощности на прокачку воздуха.

Был проведен анализ четырех видов теплопередающих поверхностей:

- 1) гладкая труба,
- 2) труба с дисковыми ребрами,
- 3) труба с трапециевидными ребрами,
- 4) труба со спиральными ребрами.

Расчетный анализ эффективности теплопередачи, аэродинамического сопротивления и металлоемкости шахматных пучков труб при поперечном обтекании воздуха показал следующие результаты:

- Коэффициент теплоотдачи гладкой трубы выше оребренных, однако количество переданного тепла для оребренных трубных систем больше. Это объясняется хорошо развитой поверхностью теплообмена ребристых труб, что определяется большим коэффициентом оребрения труб. Следует отметить, что коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи оребренных труб разного вида оребрения схожи, разница не превышает 10%. Таким образом, применение оребренных трубных систем более предпочти-

тельно, так как позволяет передать больше тепловой мощности при низком коэффициенте теплоотдачи со стороны воздуха.

- Аэродинамическое сопротивление труб с трапециевидными ребрами выше на 2%, чем у дисковых и спиральных труб.
- По металлоемкости наилучшие показатели у труб со спиральным оребрением, это обеспечивается за счет того, что ребра более тонкие по сравнению с дисковыми и трапециевидными.

Из всего сказанного ранее, следует, что наиболее предпочтительными для использования в АВО являются трубы со спиральным оребрением. К тому же они наиболее полно отвечают технологии изготовления в крупносерийном производстве.

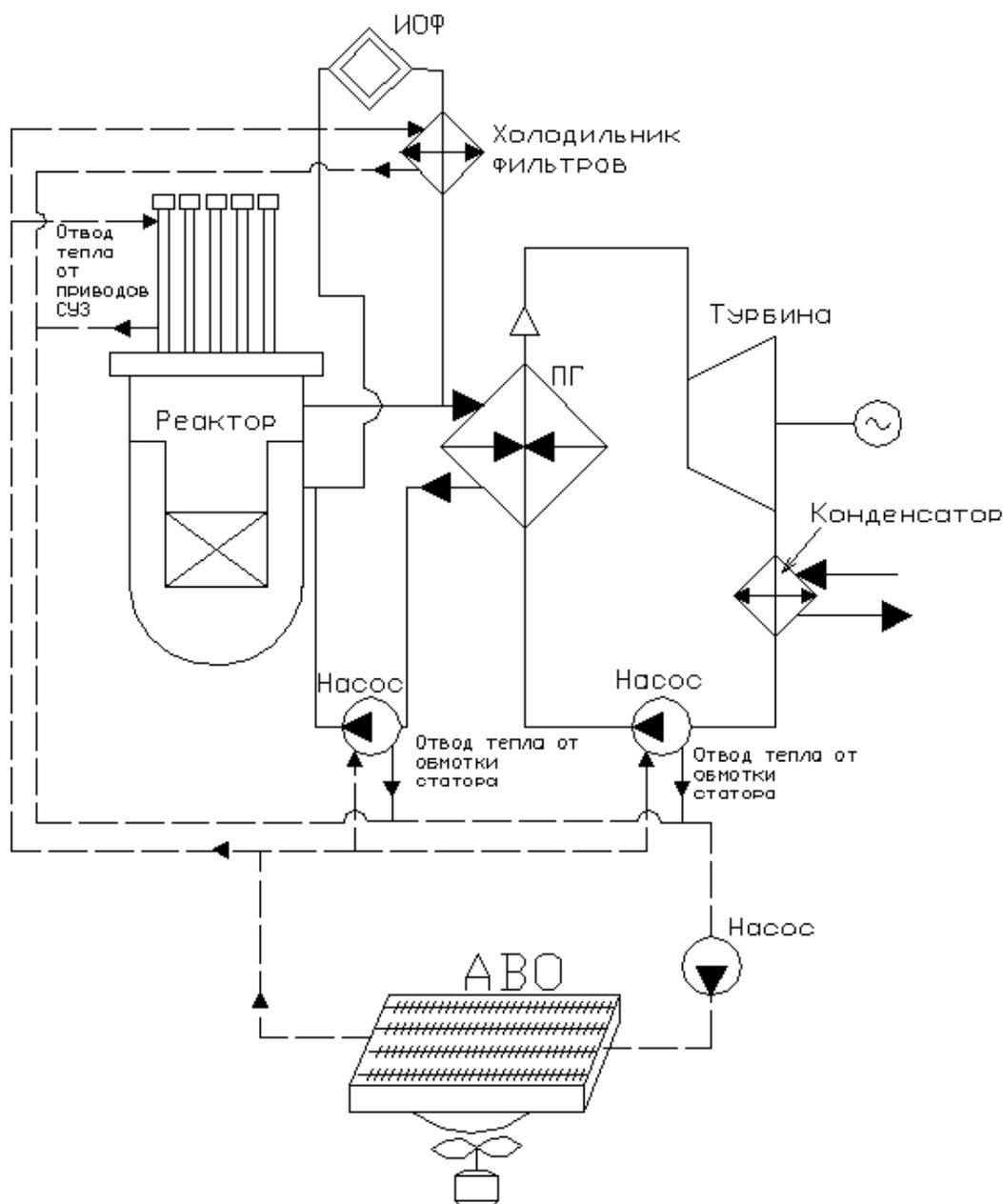


Рис. 1. Схема отвода тепла от 3 контура АСММ

Все виды спирального оребрения труб (приварные, завальцованные, накатные, L-образные, двойные L-образные ребра, I-образные, KLM-ребра [2]) имеют схожие значения

коэффициента теплопередачи, но отличаются только технологией изготовления, определяемой возможностью производителя или его технической базой. Поэтому за основу целесообразно взять самый простой и хорошо освоенный способ оребрения – накатные ребра.

В качестве примера рассмотрим возможность отвода тепла от АППУ АСММ на базе КЛТ-40С (рис. 1). При этом за основу выбран наиболее распространенный и хорошо отработанный в других отраслях промышленности аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа (АВГ) с биметаллическими трубами. Блок-схема программы расчета этого типа АВО изображена на рис. 2. Результаты расчетной оценки количества АВО в зависимости от их геометрических параметров представлены в табл. 1.

Анализ полученных результатов показывает, что для выбранного типа АСММ отвод тепла возможен при использовании 4 АВО типа АВГ-14.6-1-Б3-30/8-1-8 с длиной труб 8 метров или 8 АВО типа АВГ-14.6-1-Б3-30/8-1-4 с длиной труб 4 метра. При этом потребляемая мощность электродвигателей вентиляторов составляет 120-240 кВт соответственно.

Таблица 1

Результаты анализа оценки количества использования АВО, необходимых для отвода тепла от системы 3-го контура АСММ

Температура воздуха на входе в АВГ	⁰ С	20					
Температура воды на входе в АВГ	⁰ С	89					
Общий объемный расход воды	м ³ /с	0.032					
Давление воды	МПа	1					
Мощность тихоходного электродвигателя двигателя	кВт	30					
Длина теплообменных труб	м	4			8		
Диаметр рабочего колеса вентилятора	м	2.8					
Количество колес вентиляторов на одном АВО	шт.	1			2		
Коэффициент оребрения		9	14.6	20	9	14.6	20
Шаг ребра	мм	3.5	3.0	2.5	3.5	3.0	2.5
Число рядов труб в секции		8					
Число ходов по секциям		1					
Температура воды на выходе из АВГ	⁰ С	36.83	36.78	39.39	31.56	35.75	38.64
Температура воздуха на выходе из АВГ	⁰ С	34.71	31.81	27.39	34.14	31.43	27.49
Аэродинамическое сопротивление	Па	269.11	271.35	249.98	269.61	271.82	250.33
Отводимая мощность одним АВГ	кВт	979.92	858.29	543.31	1890.47	1750.8	1103.27
Требуемое количество АВГ	шт.	7	8	12	4	4	6

Таким образом, полученные результаты показывают, что аппараты воздушного охлаждения могут быть использованы в качестве альтернативного способа отвода от АЭС малой мощности.

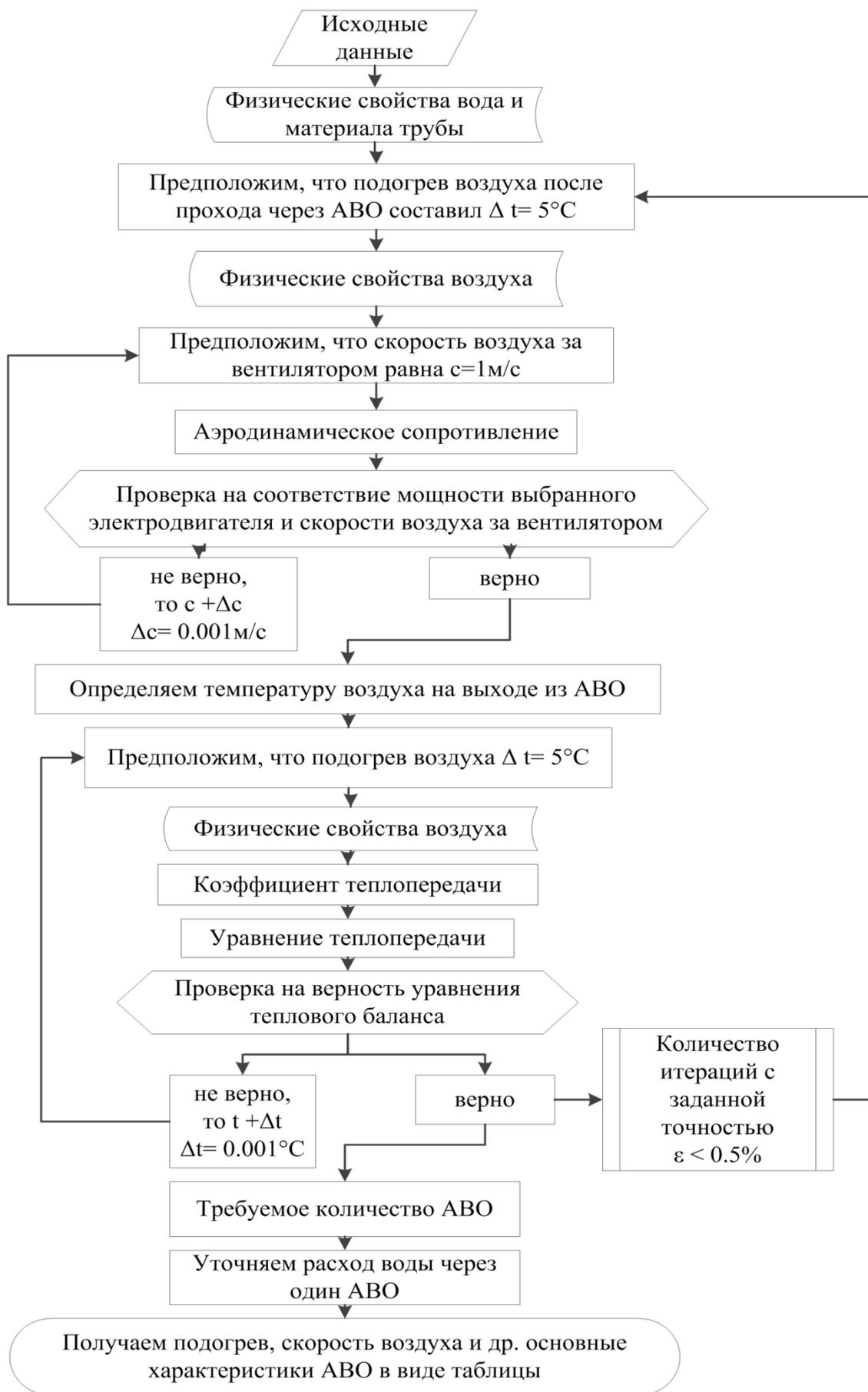


Рис. 2. Блок-схема расчетной программы для АВГ

Библиографический список

1. Атомная энергия. Т. 111. Вып. 5 (ноябрь 2011 г.)
2. Куртыш, В.Б. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / В.Б. Куртыш, А.Н. Бессонный. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.

*Дата поступления
в редакцию 03.06.2014*

A.N. Ganichev, J.I. Anoshkin

ANALYSIS OF POSSIBILITY OF USE AIR-COOLED HEAT EXCHANGERS AS AN ALTERNATIVE METHOD OF REMOVING HEAT FROM LOW-POWER NUCLEAR POWER PLANT

Nizhniy Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

Purpose: Low-Power Nuclear Plant is the most safety and cost-effective plant on the basis of shipboard installation with ground basing. This type has a lot of pluses, but it has one important defect, water resources are necessary. So, necessary transport installations adapted to outdoor use of water resources. I.e. we need to search for alternative ways of removing heat from nuclear power.

Design/methodology/approach: The possibility of use air-cooled heat exchangers is analyzed in the article as an alternative method of removing heat from low-power nuclear power plants on the basis of a ship facility KLT-40S. The analysis of different types of heat transmitting surfaces is conducted with the purpose – to determine the optimal from the point of view of efficiency heat transfer, aerodynamic resistance sizes, metal consumption and manufacturability.

Findings: The results of estimating the number of air cooling units depending on their geometrical parameters with the use of the software were got.

Research limitations/implications: this study allows us to evaluate the possibility of using air-cooled heat exchangers in nuclear power.

Originality/value: The software is developed, allowing for minimal input to get the value of the coefficient of heat transfer piping system and other basic characteristics of air-cooled heat exchangers.

Key words: air-cooled heat exchangers, low-power nuclear power plant, ribbing, ribbing factor.