

## **Проектирование энергоэффективного вертикально-цилиндрического аппарата воздушного охлаждения с эвольвентно-профильным трубным пучком**

Э. Р. Абдеев, Р. Г. Абдеев, М. А. Лобанов\*

*Башкирский государственный университет  
Россия, г. Уфа, 450078, улица Мингажева, 100.*

*\*Email: lobanov@bgutmo.ru*

Приведена новая конструкция аппарата воздушного охлаждения, применяемого в нефтегазовой, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Конструкция является вертикально-цилиндрической многосекционной с эвольвентно-профильным расположением оребренных труб в трубном пучке. Сами же трубы имеют змеевиковую форму для решения проблемы линейного термического удлинения в ходе эксплуатации.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, теплообменник, труба, оребрение, эвольвента, аппарат, охлаждение.

В современных реалиях у производителей оборудования для нефтегазового и нефтехимического сектора часто возникает вопрос о повышении энергоэффективности и надежности своей продукции. Этому способствуют высокие затраты на изготовление и ремонт оборудования, а также на транспортировку и обслуживание, учитывая огромную территорию и суровый климат страны[3]. Также с каждым годом возрастают и ужесточаются требования международных стандартов системы менеджмента качества организаций и предприятий. Проектирование и изготовление нового перспективного оборудования, способного выполнять те же задачи и работать при тех же условиях, но при этом иметь меньший размер и состоять из более дешевых и надежных материалов, способны решить ряд существующих проблем[5]. Одним таким решением является вертикально-цилиндрический блочный эвольвентно-профильный аппарат воздушного охлаждения. Данная конструкция является перспективной для аппаратов, используемых на морских буровых платформах. В таких случаях занимаемое пространство играет большую роль на столь небольших доступных производственных площадях.

Перед разработкой вертикального АВО был выделен ряд технических проблем:

1. промерзание крайних труб при шахматной компоновке в холодное время года в процессе эксплуатации;
2. механические деформации технологических труб при термическом расширении теплообменной секции (решается за счет подвижного края секции при кратных двум количестве ходов);

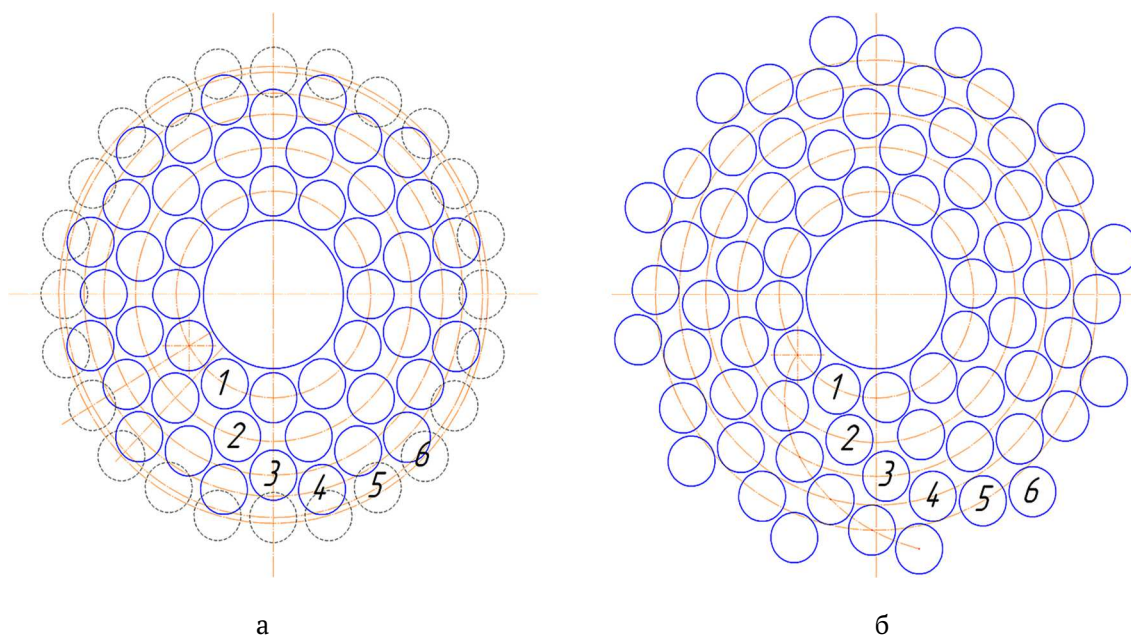
3. применение дорогостоящих тихоходных асинхронных двигателей для привода ненадежных пластиковых или тяжелых металлических лопастей;
4. сложность транспортировки 12-метровых теплообменных секций и неразборных металлоконструкций;
5. большая занимаемая площадь аппаратов воздушного охлаждения.

Для решения ряда производственных и эксплуатационных проблем аппаратов воздушного охлаждения в диссертационной работе была предложена конструкция аппарата воздушного охлаждения с радиально-диффузорной компоновкой оребренных труб[1]. Заявленный эффект по снижению гидравлических сопротивлений охлаждающего воздуха достигался за счет увеличения расстояния между оребренными трубами от ряда к ряду по ходу движения воздушного потока. Эффект по снижению занимаемой площади достигался за счет вертикальной цилиндрической формы теплообменной секции.

Особенностью данной конструкции являются вентилятор, расположенный сверху конструкции, и трубный пучок, представляющий собой радиально-шахматное расположение рядов оребренных труб[4]. В первом случае частично решается проблема энергоэффективности и надежности аппарата путем использования более холодного и чистого воздуха, циркулирующего на большой высоте относительно поверхности земли. Во втором случае в компоновке трубного пучка соблюдается диффузорность – увеличение расстояния между трубами в каждом последующем ряду относительно оси аппарата для снижения гидравлических сопротивлений, возникающих при нагревании и расширении теплого воздуха[2].

Представленная конструкция имеет ряд недостатков, к одному из которых можно отнести невозможность создания более 4-х рядов труб в радиально-диффузорной компоновке трубного пучка[4]. В связи с этим была предложена математическая модель эвольвентно-профильной компоновки, которая позволяет сохранить плотность упаковки трубного пучка и создавать неограниченное количество рядов труб в пучке с возможностью регулировать расстояние между трубами в одном ряду и в одном ходе. На рисунке 1 представлено сравнение двух компоновок.

Данные компоновки трубных пучков решают один из недостатков горизонтальных шахматных – промерзание крайних оребренных труб в холодное время года в рабочем режиме. В горизонтальных трубных пучках АВО с шахматной и коридорной компоновками крайние трубы имеют наибольший температурный градиент, т.к. они соседствуют с минимальным количеством труб с одной стороны и с дефлектором теплообменной секции с другой. Данный процесс, кроме снижения площади проходного сечения, приводит к нарушению герметичности вальцевого соединения между трубой и трубной доской.



а – радиально-диффузорная компоновка, б – эвольвентно-профильная

Рис. 1 – Сравнение радиально-диффузорной и эвольвентно-профильной компоновок трубных пучков вертикального АВО.

Предложенные в диссертации и настоящей статье компоновки располагают оребренные трубы в пучке таким образом, чтобы у всех них были соседние трубы, что позволяет выровнять температурный градиент теплоносителя в каждом ряду[1]. На рисунке 2 представлено преобразование горизонтальных шахматной и коридорной компоновок в радиально-диффузорную и эвольвентно-профильную соответственно. Как видно из рисунка, преобразование позволяет избежать наличия уязвимых труб в пучке. На первый взгляд может показаться, что трубы в 4-м ряду имеют мало соседних труб, но они не будут подвержены промерзанию во время эксплуатации в связи с тем, что именно в крайние внешние трубы подается горячий теплоноситель для соблюдения противотока рабочих сред.

Еще одной проблемой, возникающей у крупногабаритных аппаратов и теплообменников, работающих при высоких температурах, является термическое линейное удлинение труб. Если у кожухотрубчатых теплообменных аппаратов есть решения в виде U-образных труб, линзовых компенсаторов на кожухе и плавающей головки, то с аппаратами воздушного охлаждения все сложнее. Термическое расширение трубного пучка в стандартных горизонтальных АВО компенсируется за счет подвижного края теплообменной секции. Данная конструкция компенсатора оправдана при четном двум количестве рядов в трубном пучке, т.к. при нечетном количестве рядов штуцеры будут располагаться с двух сторон секции, что увеличит нагрузку на них и прилегающие патрубки на стороне с компенсатором.

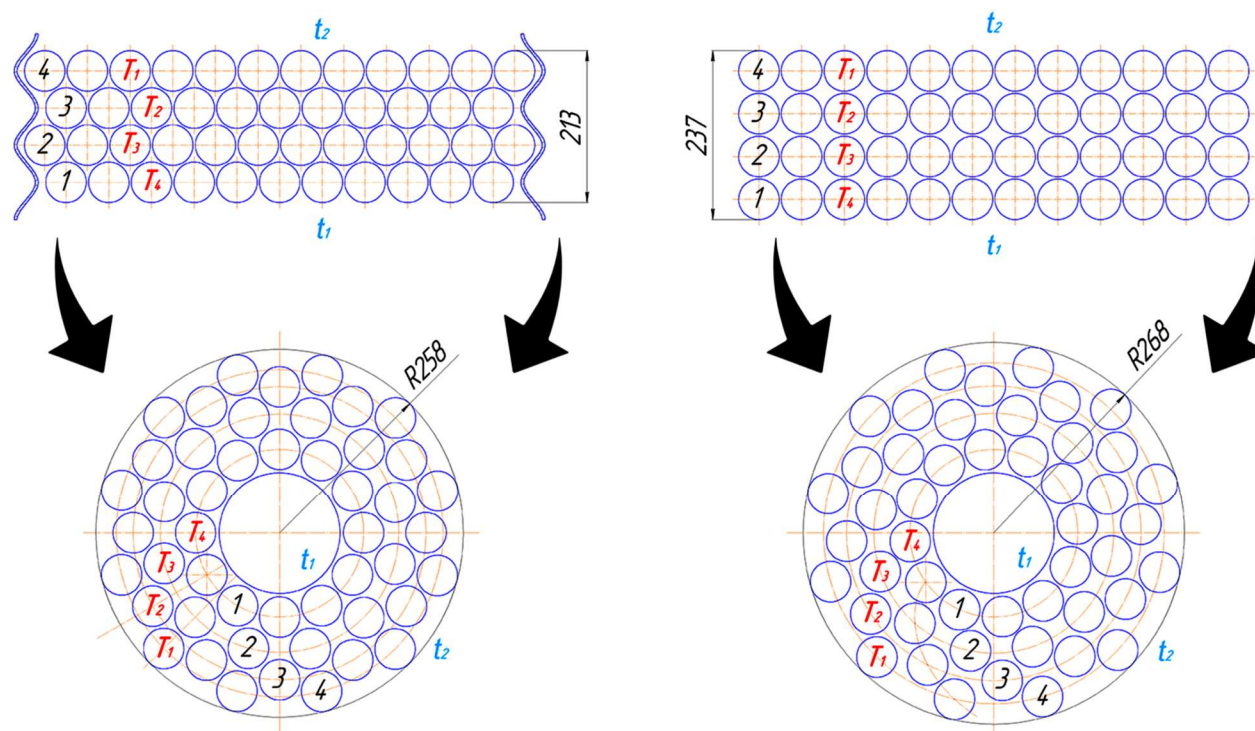


Рис. 2 – Преобразование горизонтальных компоновок трубных пучков АВО в цилиндрические.

Для решения проблемы термического расширения трубного пучка АВО была предложена змеевиковая конструкция теплообменных труб в пучке. Простота конструкции обеспечивает распределение термических расширений в двух направлениях вместо одного вдоль оси труб у прямолинейного трубного пучка горизонтальных секций АВО. Платой за применение предложенной конструкции является внедрение процесса гибки длинных оребренных труб. Однако дополнительным преимуществом змеевиковой конструкции теплообменных труб являются меньшие габариты секций АВО, собранных на основе этих труб. Данное преимущество позволяет организовать серийное производство теплообменных секций и качественнее организовывать транспортировку.

На рисунке 3 изображена змеевиковая оребренная 12-ти метровая труба. Изгиб трубы осуществляется в трех равноудаленных местах. Для избежания неравномерного обдува и повышенных гидравлических сопротивлений был предложен вентилятор с несколькими последовательными радиальными крыльчатками, соединенными одним общим валом. Это позволит распределять потоки равномерно в радиальном направлении относительно оси. Стандартные трех-четырёх лопастные вентиляторы нагнетают воздух вдоль своей оси, что не годится для новой конструкции, а также на большие лопасти приходится и большие нагрузки, что негативно сказывается на хладостойкость конструкции в случае применения пластиковых лопастей в холодное время года.

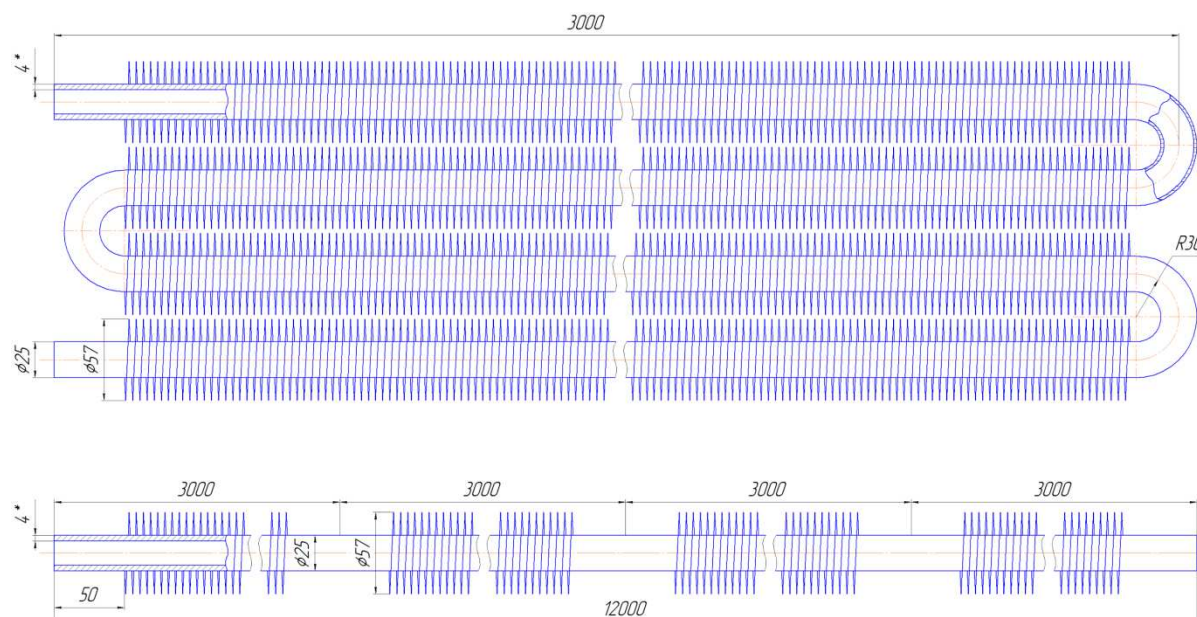


Рис. 3 – Змеевиковая оребренная труба

Подобные решения способствуют продвижению на рынок более эффективного технологического оборудования и перспективные идеи для дальнейшего развития и совершенствования технических и технологических комплексов[3]. Конечно, могут возникнуть трудности в технологии изготовления элементов конструкции аппарата воздушного охлаждения, но с приходом на отечественный рынок эвольвентно-профильного аппарата придут и новые технологии производства змеевиковых труб, конических опор, жалюзи и других деталей. Преимущество трехметровой секции, защищенной от термического удлинения труб и занимающей небольшие пространства, способно найти своего потребителя.

## Литература

1. Абдеев Э. Р. Совершенствование конструкции аппаратов воздушного охлаждения применением секции с радиально-диффузорной компоновкой оребренных труб / Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. – УГНТУ, г. Уфа, 2011 г., 103 с.
2. Абдеев Э. Р., Мицкевич П. В., Швецов М. В. и др. Исследование энергоэффективности различных компоновок трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения. Нефтегазовое дело. Том 6. УГНТУ, 2012, С. 404–418.
3. Абдеев Р. Г. Повышение качества аппаратуры обеспечением взаимозаменяемости при изготовлении / Р. Г. Абдеев, Р. И. Сайтов, Э. Р. Абдеев, М. М. Мударисов. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2011. – 304 с.
4. Абдеев Э. Р. Перспективный аппарат воздушного охлаждения вертикального типа. Абдеев Э. Р., Кучинский Ю. В., Лобанов М. А. / IV Научно-практическая конференция «Перспектив-

ные технологии подготовки, переработки нефти и газа». – ОАО «Уралтехнострой-Туймазыхиммаш», г. Туймазы, 15 ноября 2012 г., С. 6–7.

5. Абдеев Э. Р. Методика оценки тепловой эффективности теплообменников машин и агрегатов нефтегазодобычи и использование в учебном процессе. Абдеев Э. Р., Шарипов М. И. / Молодежная конференция – конкурс научных работ студентов, магистрантов и аспирантов «Студент и наука – 2014». – Инженерный факультет БашГУ, г. Уфа, 23 мая, С. 149–150.

Статья рекомендована к печати кафедрой технологических машин и оборудования ИФ БашГУ  
(докт. тех. наук, проф. Р. Г. Абдеев)

## **Design of the energy efficient cylindrical air cooler with an evolvent finned tube bundle**

E. R. Abdeev, R. G. Abdeev, M. A. Lobanov\*

*Bashkir State University*

*100 Mingazheva Street, 450078 Ufa, Russia.*

*\*Email: lobanov@bgutmo.ru*

Presented the new design of the air cooler used in oil and gas industry. The construction is vertically cylindrical multisection with the evolvent tube bundle. Tubes have the U-form for the solution of the problem of linear thermal expansion during maintenance.

**Keywords:** high performance, energy, efficient, air cooler, evolvent, finned tubes.