

УДК 664.66.049:634.086

Подогреватели с кольцевыми каналами

Н. А. ПРЯДКО, В. И. БУРЛАКА, Ю. Г. ПОРЖЕЗИНСКИЙ, А. В. ФОРСЮК (КТИПП)

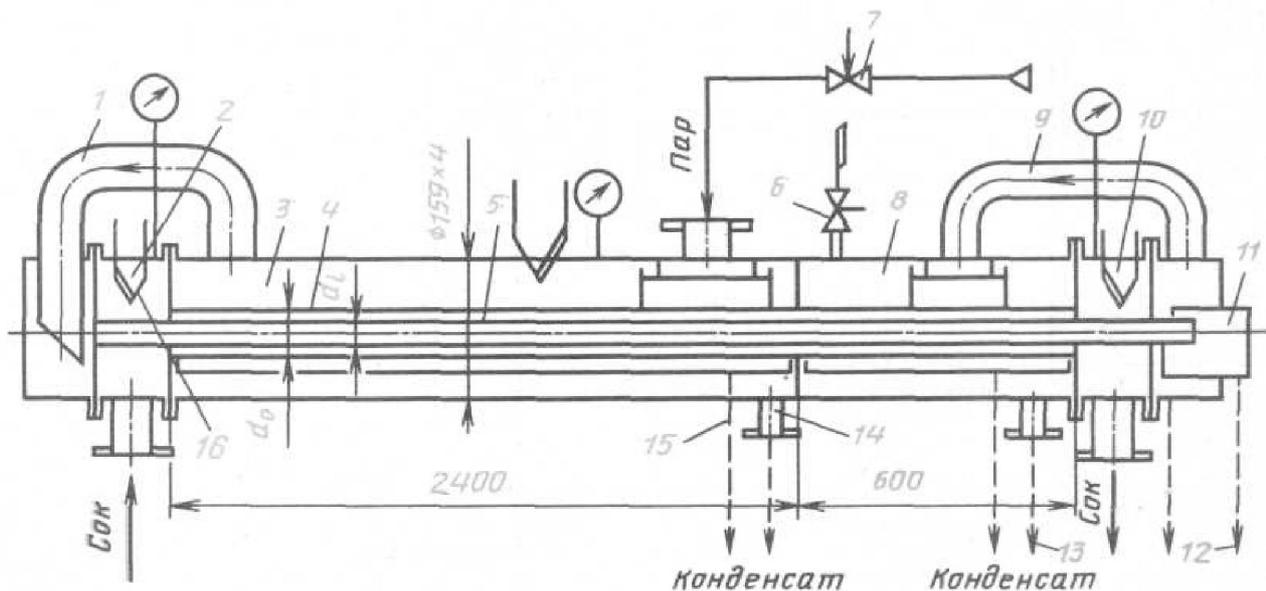
На кафедре промышленной теплоэнергетики Киевского технологического института пищевой промышленности разработаны высокоэффективные подогреватели с кольцевыми каналами применительно к условиям сахарного производства (А. с. 1244461 А 1 (СССР).— Б. И.— 1986.— № 26).

Традиционные кожухотрубные многоходовые подогреватели, применяемые в настоящее время, имеют существенные недостатки, касающиеся как конструктивного исполнения, так и особенностей их эксплуатации, связанные с ростом слоя отложений на поверхности тепло-

обмена. Для подогревателей соков термическое сопротивление отложений $R_{\text{н}}$ — основная составляющая термического сопротивления теплопередаче. Чтобы компенсировать непрерывно растущий в процессе работы $R_{\text{н}}$ для поддержания постоянной тепловой производительности, приходится повышать потенциал греющего пара, дублировать оборудование с целью периодической его очистки и др. Однако все это приводит к перерасходу материалов, средств, труда, времени.

Серийно выпускаемые секционные подогреватели (Ю. С. Разладин и др., 1984) наряду с

Рис. 1. Схема экспериментальной модели высокоэффективного подогревателя: 1 — перепускной паропровод; 2 — входная камера; 3 — камера предварительной конденсации; 4 — наружная труба; 5 — внутренняя труба; 6 — отвод неконденсирующихся газов; 7 — регулирующий вентиль; 8 — камера доконденсации; 9 — перепускной паропровод; 10 — выходная камера; 11 — емкость сбора конденсата; 12 — отвод конденсата на измерение; 13, 14 — отвод конденсата пара; 15 — отвод конденсата; 16 — термопара



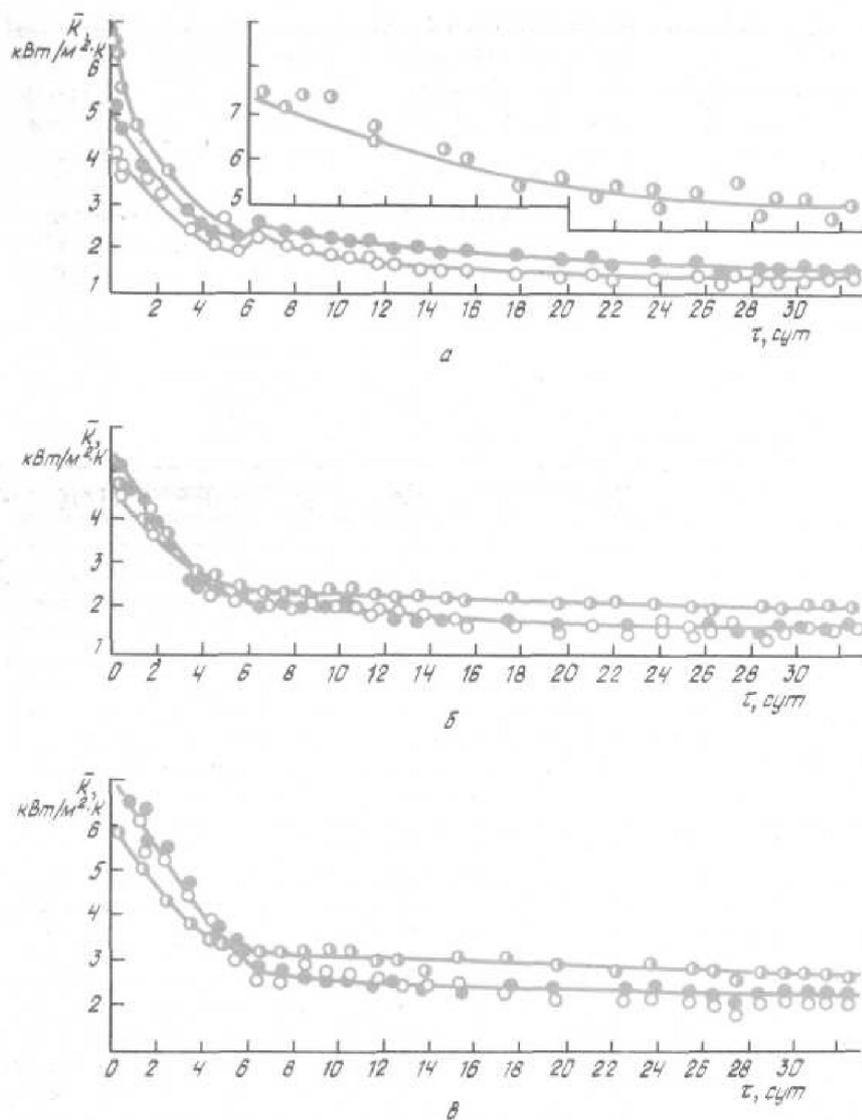


Рис. 2. Зависимость $\bar{k} = f(\tau)$ для наружной и внутренней труб кольцевых каналов: ● — конденсация пара внутри трубы; ■ — конденсация на наружной трубе камеры доконденсации; ○ — конденсация на наружной трубе камеры предварительной конденсации; длина кольцевого канала — 3 м; а — кольцевой канал № 1, $w_c = 3,4$ м/с; б — кольцевой канал № 2, $w_c = 3,1$ м/с; в — кольцевой канал № 3, $w_c = 4,0$ м/с

преимуществами имеют следующие недостатки: повышенное гидравлическое сопротивление из-за высокой скорости сока; достаточно высокую удельную металлоемкость, кг массы металла на 1 м^2 площади поверхности теплообмена, по сравнению с 10-ходовыми кожухотрубными подогревателями из-за секционной компоновки поверхности теплообмена; большой удельный объем производственных зданий, занимаемый подогревателями (1 м^3 здания на 1 м^2 площади поверхности теплообмена); повышенные удельные потери тепла в окружающую среду, Вт на 1 м^2 площади поверхности теплообмена, из-за разобщенной компоновки отдельных секций.

Для создания компактных подогревателей с высокой интенсивностью теплообмена в 1986—1987 гг. на Острожском сахарном заводе исследовали гидродинамику и теплообмен при движении заводских сахарных соков в кольцевых каналах различной ширины со скоростью $w_c = 2,2\text{--}4,2$ м/с, при тепловых потоках $q = 34\text{--}110$ кВт/м² и при разности температур $\Delta t = 12\text{--}20$ °С, характерных для условий работы сахарного завода. Опыты проводили на трех моделях подогревателей, разработанных с уче-

том рекомендаций Х. Хаузена (1981), с применением промышленного диапазона изменения диаметра труб для создания кольцевых каналов длиной 3 м. Техническая характеристика приведена в таблице.

На рисунке 1 представлена схема одной из моделей подогревателей, где обогреваемый пар поступает в камеру основной конденсации 3, а затем через внутреннюю трубу 5 в камеру доконденсации 8. Заводской сок входит в камеры, образованные двумя трубными досками, и выходит из них; двигаясь по кольцевому каналу, делает один ход. Комплексом контрольно-измерительных приборов определяли величину нагрева сока, плотность теплового потока, коэффициент теплопередачи, скорость движения сока, величину интенсивности отложений на поверхности нагрева подогревателей в течение 30 сут их работы. Для испытаний брали сок перед выпарной установкой.

Как показали исследования интенсивности теплопередачи кольцевых каналов с отношениями $d_i/d_0 = 0,62; 0,76; 0,79$ при двустороннем обогреве (рис. 2), поверхность внутренних труб при росте отложений активно участвует в общем

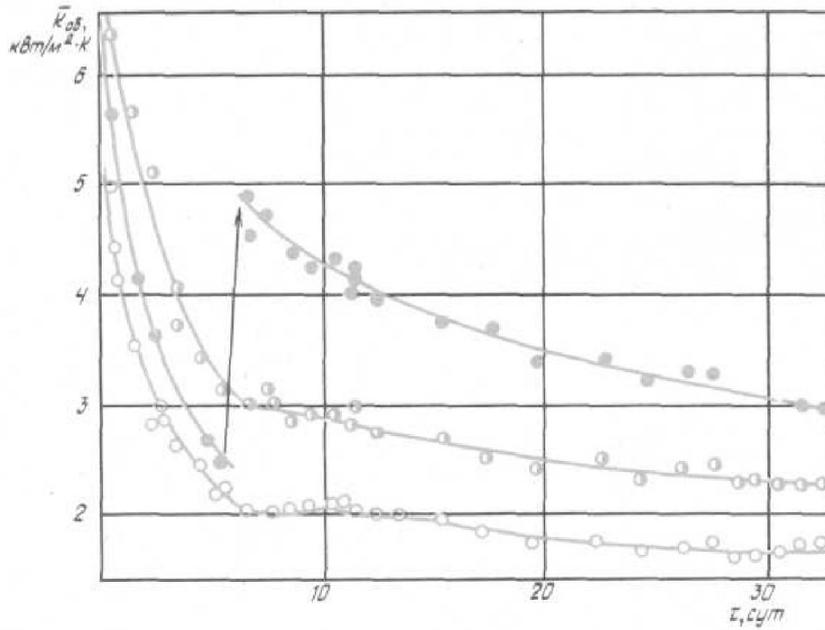


Рис. 3. Зависимость $\bar{k}_{об} = f(\tau)$ для кольцевых каналов: ● — $d_1/d_0=0,76$, $w_c=4$ м/с; ● — $d_1/d_0=0,79$, $w_c=3,4$ м/с; ○ — $d_1/d_0=0,62$, $w_c=3,1$ м/с

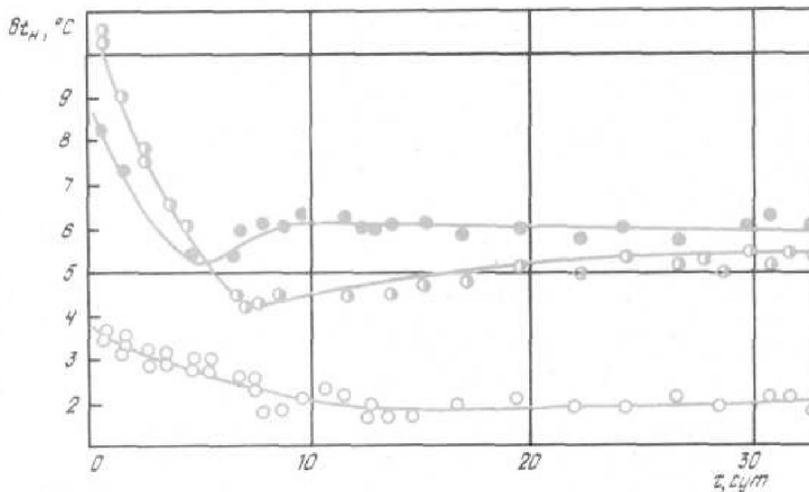


Рис. 4. Зависимость $\delta t_n = f(\tau)$: ● — $d_1/d_0=0,76$; ● — $d_1/d_0=0,79$; ○ — $d_1/d_0=0,62$

Техническая характеристика

Показатели	Номер кольцевого канала		
	1	2	3
Отношение d_1/d_0	0,79	0,62	0,76
Эквивалентный диаметр $d_э$, м	0,0089	0,0132	0,0072
Наружный диаметр трубы $d_{нр}$, м	0,0485	0,0404	0,033
Наружный диаметр внутренней трубы d_i , м	0,033	0,0218	0,0228
Ширина кольцевого зазора, м	0,00445	0,0066	0,0036
Толщина стенки наружной трубы $\delta_{ст}^н$, мм	3,3	2,7	1,5
Толщина стенки внутренней трубы $\delta_{ст}^вн$, мм	1,1	2,9	2,65
Материал наружных трубок	Сталь	Сталь	Латунь
Материал внутренних трубок	Латунь	Сталь	Сталь

Примечание. d_0 — внутренний диаметр наружной трубы.

теплообмене. Анализ зависимостей коэффициента теплопередачи от времени $k=f(\tau)$, приведенных на рисунке 2, показывает, что более высокий коэффициент теплопередачи от пара к соку после пяти суток работы подогревателя наблюдается при конденсации пролетного пара внутри горизонтальных труб кольцевого канала. Теплопередача через наружную трубу камеры доконденсации является такой же, как и через горизонтальную трубу основной камеры. Камера доконденсации способствует увеличению коэффициента теплоотдачи при конденсации пара внутри трубы за счет повышения скорости пролетного пара до 17—21 м/с. Общий коэффициент теплопередачи кольцевого канала снижается в основном в первые семь суток его работы, а в последующие — незначительно (рис. 3), достигая стабильного значения: для канала $d_1/d_0=0,62$ $k=1700$ Вт/(м²·К); $d_1/d_0=0,76$ $k=2400$ Вт/(м²·К); $d_1/d_0=0,79$ $k=2700$ Вт/(м²·К).

Динамика интенсивности отложений в кольцевых каналах характерна тем, что основной

прирост отложений на внутренней поверхности наружной трубы кольцевого канала происходит в первые семь суток работы. В дальнейшем он резко падает и стабилизируется, являясь основным термическим сопротивлением теплопередаче. При больших скоростях движения жидкости в канале ламинарный подслои, прилегающий к стенке, становится настолько тонким, что шероховатости отложений входят в ядро потока, увеличивая его турбулентность и сопротивление, которые определяются не силами вязкости, а силами инерции, возникающими при торможении потока жидкости о выступы. Наступает динамическое равновесие между ростом отложений на стенке и размывающим действием ядра потока, коэффициент теплопередачи стабилизируется (рис. 2, 3). После 30 сут работы кольцевого канала на обеих стенках труб толщина отложения составляла 0,2 мм, на наружной поверхности внутренней трубы они держались непрочно. Отмечено, что на отложение накипи влияет электродный потенциал материала труб. Менее прочно отложения удерживались на латунных трубах (рис. 2, а), где резкое повышение коэффициента теплопередачи для внутренней трубы можно объяснить отрывом отложений со стенки канала.

Средний коэффициент теплопередачи для внутренней трубы (2200—2700 Вт/(м²·К) несколько выше в исследуемом интервале кольцевых каналов с периодическими колебаниями в большую или меньшую стороны. Это объясняется тем, что отложения на наружной поверхности внутренней трубы держатся непрочно. При высокой скорости сока около 2,5—3,0 м/с они отрываются и уносятся, таким образом, участки поверхности трубы становятся чистыми, что способствует увеличению среднего коэффициента теплопередачи, но отложения на них продолжают увеличиваться.

Зависимость величины нагревания сока δt_n от ширины кольцевого канала представлена на рисунке 4, из которого видно, что с увеличением ширины канала при постоянстве скорости сока около 3 м/с нагревание сока резко снижается.

По результатам исследований и на основании исходных данных с использованием полученных ранее (Х. Хаузен, 1981; А. Фраас, 1971) был разработан одноходовый подогреватель с кольцевыми каналами типа «пар — сок», поверхностью нагрева 50 м², состоящей из 37 кольцевых каналов (рис. 5), предназначенный для сахарного завода мощностью 2,8 тыс. т переработки свеклы в сутки. Принцип работы высокоэффективного подогревателя с кольцевыми каналами основан на использовании двух труб меньшего и большего диаметра, вставленных одна в другую и образующих кольцевой канал для прохождения сока, поступающего через штуцер 7 в кольцевые каналы 11, где, нагреваясь, проходит в один ход и выходит через штуцер 1. Сок нагревается паром, поступающим из трубопровода 12 в камеру предварительной конденсации 10 через штуцер 9, частично конденсируясь, проходит через перепускной паропровод 8 во внутренние трубы. Проходя по трубам, пар конденсируется, и оставшаяся его часть через паропровод 12 поступает в камеру доконденсации. Образовавшийся конденсат отводится

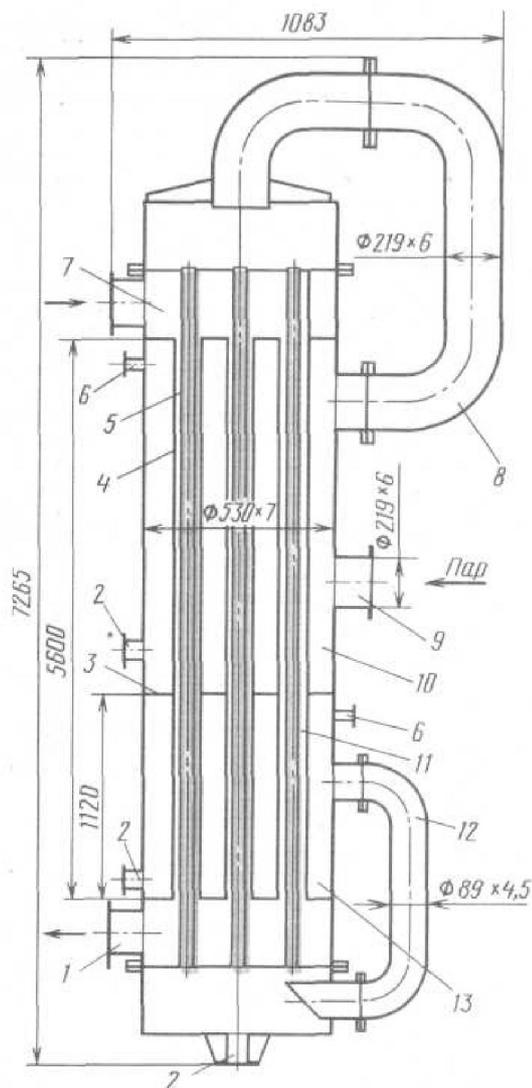


Рис. 5. Конструкция высокоэффективного подогревателя для нагрева свеклосахарного сока: 1 — штуцер выхода сока; 2 — отвод конденсата; 3 — перегородка; 4 — внутренняя трубка; 5 — наружная трубка; 6 — отвод неконденсирующихся газов; 7 — штуцер входа греющего пара; 8 — перепускной паропровод; 9 — штуцер входа греющего пара; 10 — камера предварительной конденсации; 11 — кольцевой канал; 12 — перепускной трубопровод; 13 — камера доконденсации

из камер через патрубки 2, неконденсирующиеся газы — через патрубок 6.

В результате проведенных исследований выбраны исходные данные для проектирования подогревателей сока с кольцевыми каналами, оптимальная скорость движения сока в пределах 2,5—3,0 м/с. Это обеспечит средний коэффициент теплопередачи 2200—2300 Вт/(м²·К) после стабилизации роста отложений на седьмые сутки работы подогревателей сока перед выпарной установкой.

Интенсивность теплопередачи кольцевых каналов повышается по сравнению с теплопере-

дачей труб в условиях интенсивного роста отложений при скорости сока 2,5—3,0 м/с за счет образования на поверхности внутренней трубы кольцевого канала непрочных отложений. При эксплуатации они периодически уносятся с отдельных участков поверхности нагрева трубы, повышая общий коэффициент теплопередачи кольцевого канала.

Подогреватели с кольцевыми каналами компактны, их металлоемкость меньше секционных подогревателей и в 3 раза ниже кожухотрубчатых теплообменников при одинаковой их теплопроизводительности. Они нагревают сок на 10 К за один ход его движения, имея гидравлические сопротивления на уровне секционных подогревателей. Одно из преимуществ разработанных высокоэффективных подогревателей с кольцевыми каналами — простота очистки и замены греющих каналов.

Два подогревателя данной конструкции изготовил Изяславский завод «Пищемаш» для Острожского сахарного завода.

Начат серийный выпуск подогревателей с кольцевыми каналами для сахарных заводов.

