Архангельск (8182)63-90-72 Астана (7172)727-132 Астрахань (8512)99-46-04 Барнаул (3852)73-04-60 Белгород (4722)40-23-64 Брянск (4832)59-03-52 Владивосток (423)249-28-31 Волгоград (844)278-03-48 Вологда (8172)26-41-59 Воронеж (473)204-51-73 Екатеринбург (343)384-55-89 Иваново (4932)77-34-06 Ижевск (3412)26-03-58 Иркутск (395)279-98-46 Казань (843)206-01-48 Калининград (4012)72-03-81 Калуга (4842)92-23-67 Кемерово (3842)65-04-62 Киров (8332)68-02-04 Краснодар (861)203-40-90 Красноярск (391)204-63-61 Курск (4712)77-13-04 Липецк (4742)52-20-81 Киргизия (996)312-96-26-47

Москва (495)268-04-70 Мурманск (8152)59-64-93 Набережные Челны (8552)20-53-41 Нижний Новгород (831)429-08-12 Новокузнецк (3843)20-46-81 Новосибирск (383)227-86-73 Омск (3812)21-46-40 Орел (4862)44-53-42 Оренбург (3532)37-68-04 Пенза (8412)22-31-16 Казахстан (772)734-952-31

Магнитогорск (3519)55-03-13

Пермы (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78
Севастополь (8692)22-31-93
Симферополь (3652)67-13-56
Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Таджикистан (992)427-82-92-69

Сургут (3462)77-98-35 Тверь (4822)63-31-35 Томск (3822)98-41-53 Тула (4872)74-02-29 Тюмень (3452)66-21-18 Ульяновск (8422)24-23-59 Уфа (347)229-48-12 Хабаровск (4212)92-98-04 Челябинск (351)202-03-61 Череповец (8202)49-02-64 Ярославль (4852)69-52-93

https://forcel.nt-rt.ru || fcr@nt-rt.ru

БУКЛЕТ



РОССИЙСКОЕ ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



«Форсел» — это экономичное, недорогое, эффективное теплообменное и деаэрационное оборудования. Это название символизирует высококачественные и точные технологии нового поколения.

Использование современных систем компьютерного проектирования, тесное сотрудничество с ведущими исследовательскими институтами, высокая квалификация специалистов являются основой для реализации программы расширения номенклатурного ряда выпускаемой продукции и создания уникального оборудования, удовлетворяющего целям любого проекта.









Теплообменники нового поколения Форсел конструкционно принадлежат к классу геликоидных теплообменных аппаратов и могут быть применены в теплоэнергетике, пищевой, нефтяной, химической, металлургической, лесоперерабатывающей и машиностроительной отраслях промышленности.

На сегодняшний день аппараты Форсел обладают одним из самых высоких КПД теплообмена среди всех типов телообменников общего и специализированного назначений и самой эффективной заменой пластинчатых и струйных теплообменников всех видов и модификаций, классических водоподогревателей и кожухотрубных аппаратов, а также сильфонных теплообменников предыдущих поколений.

КОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ФОРСЕЛ

Надежная система герметичных уплотнений обеспечивает максимальную изоляцию сред друг от друга. Трубный пучок в корпусе располагается подвижно и легко извлекается для выполнения профилактических и ремонтных работ. Благодаря принципу скользящей фиксации трубных досок в корпусе, трубки защищены от воздействия потенциальных гидроударов в системе.



Спиралеобразный (геликоидный) профиль теплообменных трубок повышает турбулизацию потока и уменьшает пограничный слой ламинарного течения, что способствует существенному увеличению коэффициента теплопередачи, а также обуславливает «эффект самоочистки».



Трубные решетки изготавливаются композитным способом, и имеют в своей основе металло-полимерную или металлическую природу. Различные слои композита подбираются в зависимости от условий использования теплообменника и обеспечивают надежную герметизацию сред.

Корпус представляет собой спиральношовную трубу, которая изготавливается путем сварки металлической полосы, свернутой по спирали. По сравнению со стандартным прокатным способом изготовления, подобный подход позволяет уменьшить вес корпуса в три-четыре раза, при этом обеспечивая существенно более высокие характеристики безопасности, чем у прямошовных труб.

Расстояние между трубками в трубном пучке выбирается максимально эффективным для интенсификации потока и увеличения конвективного теплопереноса, поддержанию скоростного режима сред и достижению большей компактности аппаратов. Для соблюдения корректного межтрубного расстояния в аппаратах "Форсел" вместо жестких непроницаемых перегородок используются гибкие дистанционеры, что существенно сказывается на снижении гидравлического сопротивления в межтрубном пространстве.

ПАРО-КОНДЕНСАТНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ (ФОРСЕЛ ПВТ)



Для теплообменников, в которых одной из рабочих сред является пар или газ, используется другая степень разбиения трубного пучка, дополнительный композитный слой для защиты трубной решетки и паровой щит для защиты трубного пучка от воздействия острого пара.



При конденсации пара в межтрубном пространстве проявляются неконденсируемые при данной температуре газы. Их наличие ведет к образованию так называемых «воздушных пробок», поэтому все аппараты Форсел, предназначенные для работы с паром, оснащаются отводчиками неконденсируемых газов.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Материал корпуса /	Аустенитные стали 08Х18Н10, 12Х18Н10Т,	Минимальный расход среды	0,2 m ³
геликоидных трубок	08Х17Н13М2, 08Х17Н13М3, титан	Расчетный срок службы	25 лет
Диаметры теплообменных трубок	8 мм (10-12 мм - по специальному заказу)	Гарантия	2 года
Материал уплотнителей	EPDM, усиленный EPDM, силикон, графит	Способ установки	горизонтальный / вертикальный / под углом
Температурное исполнение	150 / 250 / 400 °C	Присоединения к	фланцевое (ГОСТ, DIN) / приварные
Рабочее давление в корпусе	25 / 40 / 70 6ap	трубопроводу	патрубки / резьбовое
Максимальное рабочее давление в трубках	80 бар	Средний коэффициент теплопередачи	7500-8500 Вт/м²К
Длина аппаратов	0,25 5 м	Движение сред	противоточное / смешанное
Диаметры аппаратов	25 300 мм		

СПИСОК ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ*

Хозяйственно-питьевая вода	Теплофикационная вода	Морская вода	Конденсат	Насыщенный (сухой, влажный) пар	Выпар
Перегретый пар	NaCL	CaCL ₂	Растворы этиленгликоля	Растворы пропиленгликоля	Экосол
Щелок сульфитный	Фреон	Аммиак	Воздух	Продукты сгорания	Нефть
Минеральное масло	Трансформаторное масло	Раствор каустической соды	Мазут	Вино (сухое и крепленое)	Соки

^{*}в списке указаны наиболее распространенные среды, на которых применяются аппараты Форсел.

4



	Форсел	Пластинчатый аппарат	Аппараты типа ВВП, в сборке	Одиночный аппарат типа ВВП
Количество аппаратов	1	1	7 секций	1 секция
Стоимость в закупке, тыс. руб	~ 100	~ 130	~ 260 - 300	~ 330
Занимаемое пространство, м ³	0,126 *	0,212	5,3	4,01
Вес, кг	35	123	1453	1003
		Ппастины - AISI 316		

Материалы	Корпус и трубки изготовлены из аустенитной стали (см. техописание).	Пластины - AISI 316 Панели - углеродистая сталь	Корпус - углеродистая сталь, Трубки - латунь***
Толщина стенки, мм	0,3 (0,4)	0,5-0,6	1
Рабочее давление (max), МПа	2,5 / 4,0 / 8,0	2,0	1,0
Рабочая температура (max), °C	150 / 250 / 400	200	150
Регулярность чисток (на жесткой воде)	1 раз в 2-3 сезона	1-2 за сезон	1-2 раза за сезон
Стоимость одного обслуживания (замена прокладок, чистка)	2 тысячи рублей	до 30% от стоимости аппарата	10-15% от стоимости аппарата
Стоимость замены пучка / пластин	30-35% стоимости аппарата	до 75% от стоимости аппарата **	до 50% от стоимости аппарата
Гарантия	2 года	1-1,5 года	2 года

^{*} не требует подготовленного пространства для установки и может являться частью трубной системы



В 12-16 раз аппарат Форсел может быть компактнее и легче традиционного кожухотрубного теплообменника и в 4-6 раз компактнее любого пластинчатого, рассчитанных на ту же самую задачу.



^{**} в зависимости от степени повреждения пластин

^{***} в данном сравнении. Трубки из нержавеющей стали увеличивают цену на 20-30%

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТОВ ФОРСЕЛ

Лесоперерабатывающая промышленность

Производства в этой области активно используют высокотемпературный пар для различных технологических процессов. Для утилизации остаточного тепла рекомендуется использовать отдельный отопительный контур, получающий тепло от основного контура через компактный теплообменник Форсел. Эффективная схема утилизация тепловой энергии позволит отапливать большие помещения за счет сохранения расхода пара.

Индивидуальное отопление и ГВС

Все чаще в малом индивидуальном строительстве используются компактные пункты балансировки тепловой нагрузки, экономно распределяющие тепловую энергию между общим отоплением, системой горячего водоснабжения, теплыми полами и вентиляцией, и дарующие владельцу комфорт и тепло холодными зимними вечерами.

Сельское хозяйство

Для обеспечения комфортных условий выращивания тепличной сельскохозяйственной продукции применяются системы отопления и вентиляции, получающие тепловую энергию от отопительных контуров. Эффективное использование геотермальных источников и экономичных систем низкопотенциальных источников тепла (биотопливо).



Металлургическая промышленность

Возможное использование: охлаждение доменных печей, конвекторов, плавильных печей, машин разливки сталей, подогрев пульпы, охлаждение растворов электролитов Теплоэнергетика (котельные, ТЭЦ и ГРЭС)

Теплоэнергетический сектор развивается и модернизируется быстрыми темпами. Устаревшие технологии отживают свое и уступают революционным продуктам, направленным на минимизацию потерь от неэффективного применения и на возможность сосредоточиться на чем-то более важном, чем постоянные хлопоты о состоянии теплообменника. Аппараты Форсел успешно применяются на объектах теплоэнергетического сегмента, позволяя существенно (до 95%) экономить на их обслуживании, снижая расходы на электроэнергию и повышая эффективность утилизации

Нефтедобыча и нефтепереработка

Теплообменники Форсел могут устанавливаться на предприятиях нефтедобычи и нефтепереработки, использоваться в качестве подогревателей нефти на установках АТ и АВТ, концевых водяных холодильников, охладителей дистиллята отбензинивающихся колонн, в оборудовании для разогрева нижнего слива вязких нефтепродуктов.

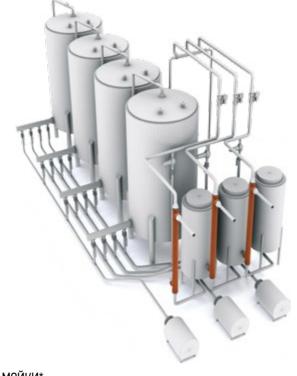
Жилищно-коммунальное хозяйство

Одно из основных направлений для «Форсела» - сектор ЖКХ. Компактные размеры и невысокая цена делают эти аппараты идеальным решением для применения в индивидуальных тепловых пунктах любых конструкций (одно - и двух ступенчатых контуров) и системах рекуперации тепла.

Пищевая промышленность

Энергоэффективные решения в области теплообмена для пищевой промышленности (подогрев, охлаждение и пастеризация пищевых продуктов, парообработка, СІРмойки).





ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ

В настоящее время одним из интереснейших направлений применения указанных теплообменных аппаратов является установка их не только в ИТП многоквартирных домов, но и в компактные автоматизированные ИТП (термоблоки мощностью до 80 кВт), которые позволяют компактно разместить комплект отопительного оборудования (теплообменное устройство, запорная и регулирующая арматура, расширительный бак, теплосчетчик) для подключения блокированных таун-хаусов и коттеджей от тепловой сети.

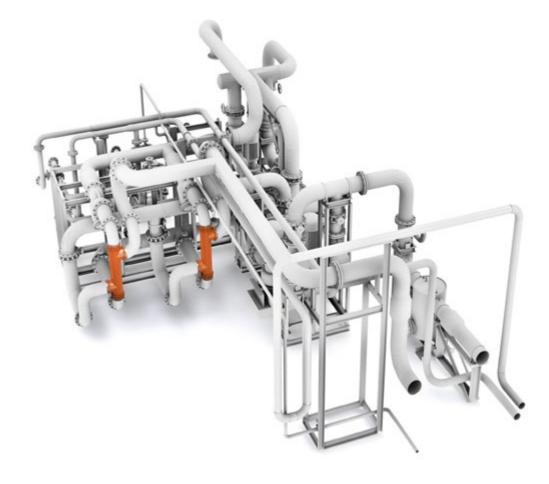
Решение подключить ИТП - отличная и безопасная альтернатива использованию газовых котлов, которая позволяет применять щадящий тепловой режим внутренней системы энергопотребления, эксплуатировать современные трубы из полимерных материалов, низкотемпературные отопительные приборы повышенного комфорта, соответствующего европейским стандартам. Кроме того, эксплуатация автоматизированных ИТП способствует снижению запыленности отапливаемых помещений, что значительно улучшает их общий микроклимат.

СІР-МОЙКИ*

Теплообменный аппарат Форсел является наиглавнейшим элементом установок CIP-моек для промывки и очистки пищевого оборудования, а именно нагрева моющего раствора.

Специалисты компании осуществляют предварительный анализ условий работы теплообменного оборудования СІР-мойки и выбирают наиболее оптимальное компоновочное решение для его безопасной, надежной и экономичной работы в течение длительного срока. Предметом серъезного внимания специалистов компании является создание условий для максимально эффективного теплообмена в аппаратах. Стоит отметить, что геликоидные теплообменники Форсел работают на высоких скоростях теплоносителей (порядка 1,5-2 м/с для жидкостей) в турбулентном режиме. Это благоприятно отражается не только на теплообменном процессе в самом аппарате, но и способствует качественной очистке трубопроводов и очищаемого оборудования нагретым раствором.

Существенным преимуществом теплообменников Форсел является также их малый вес, компактность, легкость их обслуживания и разборки, что крайне важно для применения в системах CIP.



ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ

Теплообменный аппарат Форсел является, по своей сути центральным и наиболее важным элементом оснащения центрального-теплового пункта (ЦТП). Наиболее распространенное назначение теплообменника в составе ЦТП — это нагрев исходной холодной воды на нужды горячего водоснабжения (ГВС), от подключенной к теплообменнику тепловой сети. Однако этим применение теплообменников не ограничивается — к ЦТП, как правило, также подключаются системы отопления и вентиляции.

Предметом серьёзнейшего внимания специалистов компании является создание условий для максимально эффективного теплообмена в аппаратах.

Следует подчеркнуть, что для каждого запроса осуществляется индивидуальный тепловой расчет теплообменника. Результатом этого расчета является подбор эффективного аппарата с компактными размерами. Компания не держит на складе громоздкие универсальные теплообменники, рассчитанные на некие средние параметры, и не пытается подогнать их возможности под конкретные условия, принося в жертву эффективность. Каждый случай применения теплооменника рассматривается индивидуально. Особенно это обстоятельство критично для больших тепловых нагрузок существующих, как правило, в ЦТП.

Таким образом, обозначенные выше обстоятельства, а также внутренняя конструкция геликоидного теплообменника Форсел позволяют достичь отличного результата его применения в составе ЦТП.

 \cap

^{*} От английского cleaning-in-place, «очистка, на месте».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ АППАРАТОВ



Использование нескольких параллельных аппаратов вместо единственного теплообменника целесообразно в случаях, когда:

- расход теплоносителя по одной из сторон превышает пропускную способность единичного аппарата по этой стороне;
- необходимо иметь возможность гибкой регулировки режимов расхода в системе;
- необходимо обеспечить резервный теплообменный контур;
- гидравлическое сопротивление одного аппарата превышает предельно допустимое.



Теплообменный контур может дополнительно быть оснащен байпасом в случаях, если:

- расход по одной из сторон значительно (более, чем в 2-3 раза) превышает расход по другой стороне;
- требуется обеспечить дифференциальную регулировку температур по обеим средам.





Последовательное подключение аппаратов применяется в случае стесненных условий, или когда требуемая длина трубного пучка превышает разумные пределы (например, при небольших среднелогарифмических температурных напорах). Для малых диаметров целесообразно использовать 2-х, 3-х и 4-х ходовые модификации аппаратов Форсел.

ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ФОРСЕЛ



Возможность применения аппаратов на широком спектре предприятий и организаций. Конструкционные особенности позволяют использовать их на агрессивных средах. Предоставляется технико-экономический расчет выгоды потребителя от внедрения конкретного решения.



Повышенная эффективность теплопередачи. Средний коэффициент теплопередачи – 7500-8500 Bt / м²К.



Существенная экономия средств на этапе закупки (до 30% по сравнению с пластинчатыми аппаратами) и огромная экономическая выгода на стадии эксплуатации. Установка аппарата Форсел может окупиться уже на 6-й месяц.



Минимальные массогабаритные характеристики. В 14-16 раз меньше кожухотрубных аппаратов и в 5-6 раз легче пластинчатых теплообменников.



100% импортозамещение. Аппараты Форсел - российская разработкой и полностью изготавливаются из отечественных материалов.



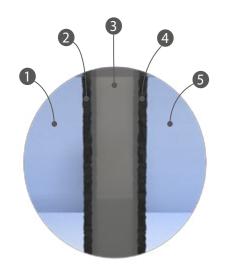
Низкая вероятность образования загрязнений поверхностей теплообмена, как следствие – отсутствие необходимости проведения сезонных чисток.



Снижение необходимого для теплообмена объема рабочего теплоносителя. В отдельных случаях экономия теплоносителя может доходить до 40%.



Простая конструкция аппарата, простота монтажа и обслуживания. Сервисное обслуживание требует не более 4-5 человеко-часов.



Термическое сопротивление, возникающее в средах в противовес тепловому потоку, условно можно разделить на пять слоев:

- «Пограничный слой», внутренний. Этот слой формируется жидкостью, которая протекает в непосредственном контакте с поверхностью теплообменной трубки.
- Слой загрязнений, внутренний. Данный слой формируется в процессе накопления различных частиц (твердых и полутвердых) на внутренней поверхности теплообменной трубки.
- Средний слой. Здесь термическое сопротивление определяется толщиной стенки теплообменной трубы и теплофизическими свойствами материала, из которого она изготовлена.
- Слой загрязнений, внешний. Обусловлен оседанием твердых и полутвердых частиц на внешней стороне теплопроводящей трубки (может отсутствовать, как и внутренний слой загрязнений).
- «Пограничный слой», внешний. Так же, как и внутренний «пограничный слой», формируется жидкостью, которая протекает в непосредственном контакте с поверхностью трубки, только в этом случае — с внешней стороны.

Для количественной оценки параметра турбулентности потока в рамках практического расчета теплообмена инженерыпроектировщики используют число Рейнольдса - универсальное безразмерное число, которое вычисляется по формуле:

$$Re = \frac{D \times D}{\mu}$$

Здесь D — это гидравлический диаметр трубы (измеряется в метрах); G — массовая скорость (измеряется в кг/м²*с); μ — вязкость жидкости (измеряется в кг/м*с.).

СРАВНЕНИЕ ЛАМИНАРНОГО И ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ

СЛОИ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ПОТОКОВ

Обмен теплом между двумя потоками жидкостей всегда протекает в условиях сопротивления тепловому потоку, формирующему преграду для теплообмена посредством системы «слоев» в теплоносителе. Это один из ключевых факторов процесса теплопередачи.

С другой стороны, движущая сила теплообменного процесса — это температурные различия между жидкостями, и чем больше разница между температурами, тем выше интенсивность теплообмена и больше передающаяся температура. Общий уровень теплопотока зависит от температурных показателей на всех стадиях, они должны быть оптимизированы инженером-конструктором с целью повышения эффективности теплообмена.

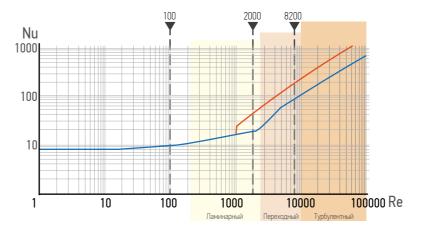
Параметры слоев загрязнения (как внешнего, так и внутреннего) обычно определяются исходя из практического опыта, тогда как диаметр и толщина трубки, а также материал изготовления выбираются инженером-конструктором в зависимости от особенностей эксплуатации изготавливаемого оборудования.

Важно отметить, что общее сопротивление теплопотоку, включающее в себя все вышеприведенные слои, зависит от многих факторов, в том числе — от химических и физических характеристик движущегося потока, а также от особенностей геометрии теплопередающих поверхностей, с которыми контактирует жидкость. Частичные коэффициенты теплопередачи слоев зависят от тех процессов, которые происходят как в «пограничных слоях», так и в фактическом потоке, который постоянно контактирует с поверхностью теплообменных трубок.

ПОГРАНИЧНЫЕ СЛОИ

Смешение жидкости в так называемом «пограничном слое» не происходит, если протекающая по теплообменной трубке жидкость имеет повышенную вязкость и низкую скорость движения. При этом жидкость, которая находится в непосредственном контакте с трубкой, будет обладать пониженным параметром вязкостного сопротивления, а ее скорость будет равна скорости движения основного потока. Тепло будет передаваться через жидкость и поверхность трубной стенки, что определяется её коэффициентом теплопроводности.

Когда скорость движения жидкости вырастает, в потоке начинают возникать турбулентные вихри, затем «пограничный слой» отрывается от стенки теплообменной трубки и начинает смешиваться с основным потоком уже на удалении от поверхности стенки. Скорость, при которой возникают подобные процессы, зависит от целого ряда факторов: шероховатость внутренней стенки трубы, ее форма, диаметр и длина, вязкость. химический состав жидкости и так далее.



ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ

Приведенный график показывает взаимосвязь чисел Рейнольдса и Нуссельта при условии, что внутри теплопроводящих трубок протекает 30-процентный раствор этиленгликоля. График демонстрирует режим ламинарного течения. Здесь Re=166.2, а показатель вязкости равен 1.52003 Ср.

Экспериментальным путем было установлено, что если показатель числа Рейнольдса опускается ниже 1200, то оно описывает условие, по которому жидкостный поток вообще не отрывается от стенки теплопроводящей трубки, как раз такой поток называется ламинарным. Здесь в качестве ключевых факторов теплопередачи выступают физические свойства жидкости.

На графике красная линия указывает на показатель для профилированной трубки, а синяя — для гладкой. Однако, как видно из приведенных результатов, в режиме ламинарного потока при показателе числа Рейнольдса до 2300 разницы между трубками нет, поэтому использование профилированных трубок нецелесообразно.

ТРАНЗИТИВНАЯ ЗОНА

Данный график также демонстрирует условия, при которых внутри трубок протекает 30-процентный раствор этиленгликоля. И здесь также наглядно прослеживается взаимосвязь между числом Рейнольдса и числом Нуссельта. График демонстрирует режим переходного течения. Здесь Re=2729.1, тогда как параметр вязкости равен 1.52003 Ср.

Если показатель числа Рейнольдса находится в промежутке от 2300 до 9000, то принято говорить о переходной зоне (ее также называют зоной неопределенности). В этой зоне турбулентность возможна, но это зависит от множественных факторов, поэтому инженеры-проектировщики в большинстве случаев стараются исключать данную зону из расчетов и не считать её целевой.

На графике хорошо видно, что если речь идет о профилированных трубках, то они обеспечивают более качественные показатели в сравнении с гладкими, когда число Рейнольдса превышает параметр 2300 и находится ниже уровня 9000 (именно этот показатель необходим в гладкой трубке для турбулентного потока).

ТУРБУЛЕНТНОЕ ТЕЧЕНИЕ

Здесь, как и в предшествующих случаях, график описывает взаимосвязь показателей числа Рейнольдса и Нуссельта в условиях использования 30-процентного раствора этиленгликоля. Показатель Re равен 10000, а показатель вязкости — 1.52003 Ср. На графике демонстрируется режим турбулентного течения.

Если число Рейнольдса превышает параметр 9000, то присутствует значительный отрыв потока жидкости от стенки трубы. Такое состояние жидкости называется турбулентным потоком с перемешиванием основной жидкости и «пограничного слоя». Эта область является наиболее эффективной в плане работы теплообменного аппарата.

График показывает, что при числах Рейнольдса выше 9000 при турбулентном режиме значительно возрастает эффективность использования профилированных трубок. В последние годы было опробовано множество технологических решений, направленных на уменьшение показателя числа Рейнольдса, при котором может быть создан турбулентный поток. Однако в большинстве случаев наблюдается повышение сопротивления потоку, причем скорость увеличения потерь давления выше, чем скорость уменьшения сопротивления. Многие из подобных методик попросту неприменимы в условиях, когда жидкость является очень вязкой или в ней присутствуют твердые вещества.

Однако один из методов показал достаточную эффективность при отсутствии упомянутых недостатков - это метод деформации теплообменной трубки посредством нанесения на ее поверхность мелких спиральных углублений непрерываемой линией, а также переменных точечных углублений. Практические исследования показали, что грамотно просчитывая глубину, ширину и угол этих углублений, можно получить образование турбулентного течения при показателях числа Рейнольдса ниже 9000.

14



Схема движения слоев при ламинарном режиме



Схема движения вихрей при турбулентном режиме

Также стоит отметить, что если число Рейнольдса выше 9000, то подобная деформация будет значительно увеличивать турбулентность потока, что в сочетании с грамотным расчетом других факторов позволит уменьшить площадь теплообменной поверхности и, как следствие, — стоимость теплообменного аппарата.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ТРУБОК В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

На сегодняшний день практически все промышленные отрасли так или иначе используют оборудование, связанное с передачей тепла между жидкостями. Базовый принцип процесса теплопередачи прост: две жидкости, имеющие разную температуру, контактируют друг с другом через металлические стенки трубы теплообменного аппарата. В результате, следуя элементарным физическим законам, тепло от жидкости с большей температурой переходит к жидкости с меньшей температурой до тех пор, пока их температуры не уравниваются. Подобные процессы могут протекать в различных теплообменных аппаратах, которые изготавливаются для решения узкоспециализированных задачи с учетом конкретных эксплуатационных условий.

То есть в процессе теплопередачи движущей силой выступает разница температур между двумя жидкостями, соответственно, чем больше эта разница, тем интенсивнее происходит обмен теплом. Именно поэтому, чтобы максимально повысить общие параметры теплового потока, инженер-конструктор должен оптимизировать уровни температур на каждой стадии. Однако, разница в температурах – не единственный фактор, влияющий на интенсивность передачи тепла.

Второй фактор — это плошадь теплоносителя, посредством которой происходит теплообмен между жидкостями. Логично предположить, что чем больше площадь, тем большее количество тепла будет передаваться между жидкостями в единицу времени. Минимизация этой площади на этапе проектировки теплообменника позволит значительно снизить затраты на производство аппарата, ведь можно вычислить оптимальную величину площади теплопередающих трубок, учитывая требуемую эффективность и бюджет.

Третий фактор, который, вероятно, можно смело считать наиболее значимым, представляет собой уровень температуры, при котором в обеих жидкостях протекают необходимые тепловые процессы. Ведь если хотя бы одна из жидкостей имеет объективно высокое сопротивление тепловому потоку, скорость теплопередачи будет падать. При этом сопротивление тепловому потоку формируется на основе целого ряда факторов: это и тепловые параметры самих жидкостей, и конструктивные особенности теплообменника. Для того, чтобы минимизировать сопротивление тепловому потоку, необходимо увеличить турбулентность жидкости, ведь тогда «пограничный слой», который находится в постоянном контакте со стенкой теплообменной трубки, потеряет статичность.

Еще одним фактором является уровень тепла, которое проходит через проводящий барьер (стенку теплообменной трубки). Этот фактор может быть учтен на стадии проектирования теплообменника, ведь грамотный выбор материала для теплообменных трубок, который будет совместим с циркулирующими в теплообменнике жидкостями, значительно повысит эффективность аппарата. Выбранный материал должен иметь оптимальный уровень прочности, он не должен загрязнять сторонние продукты и корродировать их. Также материал должен иметь низкий уровень сопротивления тепловому потоку и отличаться повышенной механической прочностью, позволяющей выдерживать повышенное давление.

СПЕЦИФИКА ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Сегодня существует немало научных исследований, цель которых заключается в вычислении наиболее оптимальных параметров сопротивления пограничного слоя, а также вариантов воздействия на эти параметры при минимально возможных потерях давления в теплообменном контуре. С целью минимизации сопротивления пограничного слоя жидкости было опробовано множество практических методик, в том числе — дополнительные вставки со сложной геометрией, скрученные плоские полосы металла и проволочные формы, располагаемые в теплообменных трубках. Почти все эти методы ведут к повышению сопротивления движущейся жидкости, а также увеличению потерь давления, которое протекает со скоростью, вырастающей гораздо быстрее, чем падает сопротивление пограничного слоя.

При точном подборе ширины, глубины и угла непрерывной спиральной деформации трубки, скорость снижения термического сопротивления пограничного слоя превысит скорость увеличения давления. При таком варианте деформации трубки граница пристенного слоя флюида постоянно меняется, что увеличивает значение турбулентности флюида, тогда как число Нуссельта (которое, в свою очередь, обеспечивает повышенную стойкость к тепловому потоку на трубной стороне движущейся жидкости) влияет на повышение общего уровня теплопередачи.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ТРУБОК

Когда частичный коэффициент передачи тепла на трубной стороне жидкости ограничивает общий показатель скорости теплопередачи для конкретного теплообменного аппарата, оптимальным вариантом является уменьшение площади аппарата, но лишь в том случае, если частичный коэффициент может быть объективно улучшен. За последние годы было опробовано множество способов по искусственному увеличению этого коэффициента, но далеко не все из них оказались успешны. Тем не менее, для теплообменных трубок, использующихся в аппаратах Форсел, характерны следующие особенности:

Процессы теплопередачи могут быть описаны достаточно простой математической зависимостью:

$$Q = k \times S \times \Delta T$$

Здесь Q — это переданное количество тепла (измеряется в BT): S — площадь теплообмена (измеряется в M^2): ΔT — эффективный перепад температур (измеряется в °К); k - общий коэффициент теплопередачи (измеряется в Вт/м².°К).

При этом значение к вычисляется по несколько более сложной формуле:

$$k = \frac{1}{R_{\text{o6iii}}} = \frac{1}{1/\alpha_1 + R_{f1} + R_w + R_{f1} + 1/\alpha_2}$$

Здесь а, и а, - это частичные коэффициенты теплопередачи (измеряются в $Bт/м^2.°K); R_{,,,}$ – тепловое сопротивление стенки (измеряется в м².°К/Вт); R_{ss} и R_{so} – коэффициенты загрязнения (измеряются в м².°К/Вт).

Стоит учитывать, что значение R_{c} обычно определяется заказчиком, тогда как значения a и $R_{\rm m}$ рассчитываются инженеромконструктором, исходя из диаметра, толщины и материала трубки. При этом значения а существенно зависят от типа жидкостей. циркулирующих в теплообменнике, а также от геометрических особенностей теплопередающих поверхностей, с которыми контактируют эти жидкости. Конечные значения коэффициентов h сильно зависят от особенностей пограничных слоев, которые непосредственно касаются поверхности теплообменных трубок.

PF310MF

- трубной стороны теплообменника (в 2,5 3 раза) по сравнению с эквивалентной гладкой трубкой, при снижение сопротивлениия до 2-2.5 раз.
- 1. Увеличение коэффициента теплопередачи 2. Увеличение коэффициента теплопередачи трубной стороны поддерживает температуру стенки трубки вблизи значения температуры потока в ней. Это снижает тенденцию роста загрязнения из-за локальных зон перегрева закупорки трубок. или недогрева и химических изменений.
- 3. Профилирование не перекрывает область 4. Эффект самооочистки, возникающий изпотока в трубе, поэтому можно безопасно применять жидкости с высоким содержанием твердых веществ или волокон, не опасаясь
 - за увеличенной турбулентности в трубках, сгенерированной профилированием по сравнению с традиционными скоростями циркуляции. Высокая турбулентность. создаваемая в маловязких жидкостях, минимизирует любую тенденцию накопления загрязнений. даже при низких скоростях потока. Если загрязнение и происходит на трубной стороне, то эти загрязнения существенно проще удалить по сравнению с загрязнениями на гладкой трубе, так как профилирование приводит к неравномерной пленочной толшине загрязнений, что показал опыт реальной эксплуатации.

ФАКТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ

Факторы загрязнения, которые проявляются в процессе эксплуатации теплообменного оборудования, учитываются при проектировке и рассчитываются в соответствие с данными клиента. Эти данные определяются на основе опыта, полученного при эксплуатации теплообменников в конкретных условиях, они позволяют спрогнозировать уровень накопления различных загрязнений на поверхностях теплообменного оборудования. Если эти данные неверны, то загрязнение в состоянии нивелировать все преимущества конкретного аппарата, даже если процесс проектировки выполнялся с высочайшей квалификацией.

Фактически фактор загрязнения представляет собой физическое сопротивление тепловому потоку, возникающее в результате оседания различных частиц

на поверхностях теплообменных трубок. Часто клиент завышает параметры в попытке производить очистку аппарата как можно реже. Но на самом деле получается прямо противоположный эффект – если рассчитанные факторы загрязнения не соответствуют реальному положению вещей, частота очистки будет лишь увеличиваться.

В контексте данных факторов загрязнения использование профилированных трубок в теплообменниках позволяет значительно снизить ущерб от как минимум двух типов загрязнения. Во-первых, уровень загрязнения автоматически снижается из-за повышенной турбулентности движущегося теплоносителя. Во-вторых, профилированная трубка имеет повышенный коэффициент теплопередачи, благодаря чему существенно падает уровень химического загрязнения, ведь температура нагреваемой поверхности трубки поддерживается на уровне, максимально близком к температуре теплообменивающихся жидкостей.



ХИМИЧЕСКОЕ

При таком загрязнении на поверхностях В этом случае различные частицы, трубок оседают частицы, являющиеся продуктом разложения солей в составе теплоносителя. Элементарный пример химического загрязнения — так называемая накипь, которая возникает на греющих элементах чайника, если вода слишком «жесткая», то есть содержит много солей, которые не растворяются при высоких температурах. Этот фактор невозможно со 100-% точностью учесть на стадии проектирования аппарата, однако в процессе эксплуатации риск можно минимизировать, контролируя температуру трубок, контактирующих с жидкостью, или установив дополнительную избежать путём установки сетчатого фильтра систему "умягчения" воды. В аппаратах Форсел на подающих патрубках теплообменника. загрязнения такого рода удаляются с помощью промывки раствором сульфаминовой или лимонной кислоты.



ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ

содержащиеся в теплоносителе, остаются на поверхности теплообменных трубок, в результате чего скорость движения теплоносителя падает до критической отметки. На стадии проектирования можно минимизировать возможность образования термомеханического загрязнения соотношение параметров конкретного теплоносителя и содержащихся в нем частиц в контексте критической скорости движения теплоносителя может быть вычислено с высокой точностью. Более того, его можно При вертикальной установке даже с учетом невысокой скорости движения теплоносителя частицы могут удаляться с греющих поверхностей под воздействием гравитации



БИОЛОГИЧЕСКОЕ

Загрязнения подобного рода вызваны ростом популяции микроорганизмов, живущих в теплоносителе и скапливающихся на нагревающих поверхностях. Биологическое загрязнение также невозможно учесть при проектировке оборудования, однако, если известен его потенциальный источник, можно обратить внимание на выбор материала. Дело в том, что некоторые цветные металлы (к примеру, безжелезистая медь) выступают в роли естественных ядов для определенных групп микроорганизмов. Как и в случае с химическим загрязнением, биологическая опасность удаляется химическими составами, либо прямой механической очисткой.



коррозионное

Данный вид загрязнения возникает в процессе эксплуатации оборудования, когда на греющих поверхностях накапливаются продукты коррозии. Фактически формируется новый слой, который зачастую обладает повышенным тепловым сопротивлением. В этом случае на стадии проектирования необходимо выбирать материалы, которые обладают повышенной стойкостью к коррозии (в частности, нержавеющие стали, а также сплавы на основе никеля). Для предотвращения образования коррозионных отложений так же рекомендуется устанавливать сетчатые магнитные фильтры, улавливающие частицы железа до попадания во внутреннее пространство теплообменника.

ЭТАПЫ ПОДБОРА ТЕПЛООБМЕННИКА

Для большей предсказуемости

ЭТАП 1: АНАЛИЗ БУДУЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

При получении запроса на теплообменник сперва необходимо определить область его будущего применения. Отопление? Подогрев сетевой воды? Пищевая промышленность? Химическая промышленность? Конструктор должен попытаться максимально точно определить тип будущего теплообменника, который соответствует выдвинутым требованиям. На данном этапе определяются следующие характеристики: температуры теплоносителей, давления, максимально допустимые потери давления, режимы работы, особенности условий эксплуатации. Чем точнее и подробнее будущий потребитель опишет свою потребность, тем, во-первых, больше вероятность, что он сам для себя определит какие-то узкие места будущей системы, а во-вторых, поспособствует более тщательному подбору долговечного и эффективного оборудования.

Опросный лист доступен на сайте www.forcel.ru. Все расчеты выполняются бесплатно специалистами производителя

Все особенности (как и основные требования) следует заносить в опросный лист Форсел.

ЭТАП 2: ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

На данном этапе определяются теплофизические свойства теплоносителей: греющего и нагреваемого.

Для получения значений всех параметров сред при различных температурах следует обратиться к справочной информации или к паспорту, поставляемому вместе с веществом. Чем лучше понимание физических свойств участвующих теплоносителей, тем более точно "подогнанной" будет конструкция теплообменника. Любая ошибка в исходных данных физических свойств, участвующих в процессе теплообмена сред, может привести к неверным исходным данным, и, непосредственно к неправильному конструированию аппарата.

ЭТАП 3: ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

После того, как правильно определены физические свойства, вся собранная информация вносится в программу расчета аппаратов Форсел (Forcel HECS). Первым делом проверяется корректность теплового баланса. Обычно заказчик сам определяет расход продукта и желаемую температуру ее входа и выхода из и в теплообменник.

ЭТАП 5: ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

На данном этапе специалист с помощью программы Forcel HECS выполняет тепловой расчет. Конечной целью является вычисление оптимальных коэффициентов теплопередачи с учетом особенностей эксплуатационного цикла. Для аппаратов Форсел применяется собственная методика расчета, поскольку для трубок с геликоидным профилем расчет выполняется иным образом, нежели чем для классических кожухотрубных аппаратов.

Важным параметром, определяемым на данном этапе, является потеря давления по трубному и межтрубному пространству. Гидравлическое сопротивление зависит от числа Рейнольдса, типа Для проведения правильного расчета теплообменного аппарата специалистам по расчетам необходимо знать следующие параметры теплоносителей в опорных (входных и выходных) точках теплообменного процесса:

- Плотность
- Удельная теплоемкость
- Теплопроводность
- Вязкость
- Скрытую теплоту парообразования (для пароконденсатных систем).

18 19 течения среды (ламинарное или турбулентное) и шероховатостей теплопередающих поверхностей теплообменника.

Наконец, подбирается диаметр корпуса и трубного пучка, длина трубного пучка, удовлетворяющая вычисленной необходимой площади теплообмена, с учетом коэффициента запаса (его значение обычно равно 30%), количество трубок, их диаметр, толщина стенок. Затем определяются размеры патрубков для подключения сред к трубному и межтрубному пространству. Также определяется приемлемый конструкционный материал. По умолчанию применяется нержавеющая сталь (08X18H10, 12X18H10T или 08X17H13M2), но в особых случаях также могут использоваться и другие сплавы, в зависимости от условий эксплуатации и дополнительных пожеланий заказчика.

ЭТАП 6: МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

С определенной геометрией теплообменника должны быть сделаны расчеты механической конструкции, чтобы гарантировать, что конструкция теплообменника приемлема для рабочего давления и условий эксплуатации. Типичными расчетами, выполняемыми на данном этапе, являются расчет толщины стенки кожуха и стенок патрубков, расчет толщины трубной решетки.

ЭТАП 7: ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

После проведения расчетов специалист формирует предложение для заказчика, в котором может указать несколько предложений, соответствующих разным целевым показателям системы (расставляются приоритеты по стоимости, конфигурации, потере давления и т.д.). Каждое предложение может быть дополнено технико-экономическим обоснованием — документом, дающим представление об экономической выгоде для потребителя от использования данного решения и о сроках его окупаемости.

ЭТАП 8: ПОДГОТОВКА ЧЕРТЕЖЕЙ И ПРОИЗВОДСТВО АППАРАТОВ

После определения размеров теплообменника конструкторский отдел готовит пакет производственных чертежей. Этот пакет содержит различные детали комплектующих теплообменника - кожуха, трубок теплообменного пучка, узлов расширения, присоединений, трубных решеток и т.д.

При производстве аппаратов сотрудники Форсел уделяют особое внимание надежности и качеству сборки аппаратов. Фактически, каждое устройство проходит четырехкратное тестирование на герметичность (гидравлические испытания всех изготавливаемых теплообменных трубок, трубного пучка, корпуса и аппарата в сборке). По окончании тестирования аппарат получает заводской номер и поступает на склад для упаковки и отгрузки заказчику.

ЭТАП 10: СОПРОВОЖДЕНИЕ И СЕРВИС

Отгрузка аппаратов производится со склада производителя. По предварительному согласованию с заказчиком специалисты Форсел могут отправить аппараты в любую точку страны или мира наиболее удобным для заказчиком способом.

Так же специалисты компании предложат наиболее подходящие решения по монтажу и эксплуатации аппаратов, а при необходимости произведут выезд и шеф-монтаж непосредственно на месте будущей установки.

ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЕ ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ НА НИХ

(BMECTO PE3IOME)

ЧЕМ ОБУСЛОВЛЕН СТОЛЬ МАЛЫЙ ВЕС И ГАБАРИТЫ АППАРАТОВ ПРИ СОХРАНЕНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ?

Геликоидные аппараты Форсел спроектированы и изготовлены с оглядкой на принцип эффективного расходования ресурсов, использования современных материалов и низкой металлоемкости. При этом геликоидный профиль теплообменных трубок настолько турбулизирует поток флюида, что коэффициент теплопередачи остается в пределах 7500-8500 даже при относительно невысоких скоростях.

Аппараты могут быть до 12-16 раз компактнее и легче классических кожухотрубных теплообменников (до 6 раз легче пластинчатых теплообменников). Дополнительные схемы подключения и различные модификации аппаратов (например, для применения одного аппарата при двухступенчатой системе) обеспечивают возможность размещения аппаратов Форсел в условиях ограниченного пространства.

ПОЧЕМУ АППАРАТЫ ФОРСЕЛ НЕ НУЖДАЮТСЯ В РЕГУЛЯРНОЙ ЧИСТКЕ При монтаже аппаратов, оснащенных приварными патрубками, следует обеспечить отвод теплоты во избежание деформации высокими температурами

Существенным преимуществом теплообменных аппаратов Форсел по сравнению с пластинчатой и струйной техникой является то, что они не нуждаются в регулярной чистке. При соблюдении режимов работы заданных при проектировании аппарата и обеспечивающих рассчитанную скорость движения среды в процессе работы, достигается высокая турбулизация потока теплоносителя по всему поперечному сечению (то есть минимализируются буферный и пристенный ламинарный слой), за счет чего и предотвращается отпожение накипи на стенках.

Благодаря конструкционным особенностям геликоидных трубок, используемых в трубном пучке аппаратов, гидравлическое сопротивление при турбулизации возрастает незначительно (сопротивление по средам у аппаратов Форсел в большинстве случаев является минимальным из возможных для существующих теплообменников). Чистку рекомендуется проводить исключительно в случае снижения температурных показателей, чего при правильной работе с аппаратами обычно можно избегать в течение многих лет.

ТРЕБУЕТСЯ ЛИ ШЕФ-МОНТАЖ ИЛИ ПУСКОНАЛАДКА ДЛЯ УСТАНОВКИ АППАРАТОВ?

В отличие от струйной и кожухотрубной техники, теплообменные аппараты Форсел не требуют шеф-монтажа или пусконаладки с привлечением обученных специалистов. Данные работы без труда выполняются техническими специалистами заказчика. По всем возникающим вопросам, а также при любом затруднении наши специалисты дают бесплатную развернутую консультацию.

КАКОВЫ ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА?

Отсутствие необходимости устанавливать дополнительный усиленный фундамент, возможность устанавливать аппарат в любом положении, а также возможность использования аппарата в качестве элемента трубной системы снимает многие ограничения, встречающиеся при работе с пластинчатыми и кожухотрубными аппаратами.

Для установки аппарата не требуется высококвалифицированный специалист, знакомый с данной техникой, достаточно соблюдать несколько несложных правил. Аппараты не требуют жесткого крепления к опорам. Аппараты могут устанавливаться как вертикально, так и горизонтально.

При монтаже аппаратов, оснащенных приварными патрубками, следует обеспечить отвод теплоты во избежание деформации высокими температурами прокладок уплотняющих элементов. Запрещается устанавливать заземление на корпус аппарата.

Системы крепления аппаратов рассчитаны на использование в суровых условиях. В то же время, крайне не рекомендуется оказывать механические воздействия на корпус аппарата и трубки. Аппарат чувствителен к ударам, падениям и иным грубым воздействиям окружающего мира.

Более подробно с рекомендациями по монтажу можно ознакомиться в «инструкции по монтажу и эксплуатации», идущей в комплекте с каждым аппаратом Форсел.

ОБЪЕКТЫ ФОРСЕЛ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ



«Агрохолодмаш», г. Ижевск

«ТЭК» г. Санкт-Петербург

«ТГК №2», г. Великий Новгород

«Спецгазавтотранс», г. Ижевск

«Ижевский опытно-механический завод» г. Ижевск

Гусевмолоко» г. Гусев

«Далес» г. Черняховск

«Вимм-Билль-Данн» г. Москва

«Петербургтеплоэнерго» г. Санкт-Петербург

«Газпром»

«Газпром теплоэнерго Воронеж» г. Воронеж

«Кока-Кола ЭйчБиСи Россия», г. Санкт-Петербург

«Металлургический завод «Петросталь» г. Санкт-Петербург

«Русский холод монтаж» г. Санкт-Петербург

«УСО» г. Удомля

«Модуль-строй» г. Рыбинск

«Дятьково-ДОЗ» г. Дятьково

«Брянский электромеханический завод» г. Брянск

«Стройальянспроект» г. Казань

«Макстерм инжиниринг» г. Тюмень

«Удмуртская птицефабрика» г. Глазов

«БАЗ-СУАЛ» г. Краснотурьинск

«Карельская фанера» г. Лахденпохья

«СамРЭК» г. Самара

«Карелэнергоресурс» респ. Карелия

«Голден-Адлер» г. Сочи

«Комэнерго» г. Вараксино

«Пармалат» г. Белгород

«Птицефабрика Вараксино» г. Вараксино

«Частная пивоварня «Афанасий» г. Тверь

«TCO «Надвоицы», пос. Надвоицы

«Смоленскрегионтеплоэнерго» г. Вязьма

«Теплосеть Санкт-Петербурга» г. Санкт-Петербург ГУП

«Брянсккоммунэнерго», г. Брянск

«ТатЭнерго», г. Казань

Ремтепло» г. Мытищи

«Романовское сельское поселение» г. Всеволожск

«Петроинж» г. Санкт-Петербург

«Курганская Генерирующая Компания» г. Курган







Теплосеть Санкт-





.

«Петербургтепло



ТСО «Надвоицы»

«Пармала



Карельская фанера»

Архангельск (8182)63-90-72 Астана (7172)727-132 Астрахань (8512)99-46-04 Барнаул (3852)73-04-60 Белгород (4722)40-23-64 Брянск (4832)59-03-52 Владивосток (423)249-28-31 Волгоград (844)278-03-48 Вологда (8172)26-41-59 Воронеж (473)204-51-73 Екатеринбург (343)384-55-89 Иваново (4932)77-34-06 Ижевск (3412)26-03-58 Иркутск (395)279-98-46 Казань (843)206-01-48 Калининград (4012)72-03-81 Калуга (4842)92-23-67 Кемерово (3842)65-04-62 Киров (8332)68-02-04 Красноярск (381)204-63-61 Курск (4712)77-13-04 Липецк (4742)52-20-81 Киргизия (996)312-96-26-47 Магнитогорск (3519)55-03-13 Москва (495)268-04-70 Мурманск (8152)59-64-93 Набережные Челны (8552)20-53-41 Нижний Новгород (831)429-08-12 Новокузнецк (3843)22-46-81 Новосибирск (383)227-86-73 Омск (3812)21-46-40 Орел (4862)44-53-42 Оренбург (3532)37-68-04 Пенза (8412)22-31-16 Казахстан (772)734-952-31 Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78
Севастополь (8692)22-31-93
Симферополь (3652)67-13-56
Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Таджикистан (992)427-82-92-69

Сургут (3462)77-98-35 Тверь (4822)63-31-35 Томск (3822)98-41-53 Тула (4872)74-02-29 Тюмень (3452)66-21-18 Ульяновск (8422)24-23-59 Уфа (347)229-48-12 Хабаровск (4212)92-98-04 Челябинск (351)202-03-61 Череповец (4852)02)49-02-64 Ярославль (4852)69-52-93