

Серебренов Тимофей Владимирович

курсант

Солодовников Алексей Витальевич

доцент

Филиал ФГКВОУ ВО «Военная академия
Ракетных войск стратегического назначения
им. Петра Великого» Минобороны России
г. Серпухов, Московская область

УЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация: авторы подчеркивают, что пластинчатый теплообменник нередко подбирают «по чистому режиму», а затем в эксплуатации получают рост потерь давления и недогрев. В статье предложен прием, который связывает запас по загрязнению с обслуживаемостью: вместо процентов площади задается допустимая прибавка к $(1/K)$ и проверяется, выдержит ли аппарат режим при таком $R_{\text{доп}}$. Ориентиры и термины взяты из российских нормативных документов и учебных методик.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, загрязнение, накипь, коэффициент теплопередачи, потери давления.

1. *Контекст:* где «ломается» красивый расчет. ПТО в ИТП и технологических схемах ценят за компактность и возможность донаращивания пакета пластин. Слабое место тоже очевидно: межпластинные каналы узкие, и все, что не ушло в фильтр или умягчение, рано или поздно ложится на поверхность. Поэтому при подборе полезно считать не только теплотехнику, но и сервис: доступ к аппарату, промывка, интервал остановки.

ЕЭК указывает, что ТР ТС 032/2013 «вступил в силу 1 февраля 2014 года» [2]. Для оборудования, работающего под давлением, это означает

требования к документации и подтверждению соответствия – и в итоге влияет на стоимость владения, а не только на этап закупки.

ГОСТ 15518–87 задает область применения пластинчатых аппаратов так: «поверхностью теплообмена от 1 до 800 м², работающие при избыточном давлении не ниже 0,002 МПа и температурах рабочих сред от минус 70 до плюс 200°С» [1].

2. *Конструкция и режимы: три параметра, которые определяют судьбу аппарата.* Геометрия канала задает и теплопередачу, и склонность к зарастанию. В учебном пособии (ВГАСУ) приводятся типовые диапазоны: «толщина пластин – 0,5...2 мм», «поверхность теплообмена одной пластины – 0,15...1,4 м²», «расстояние между пластинами – 2...5 мм» [3].

Профиль гофра влияет на турбулентность и потери давления. ГОСТ ISO 15547-1-2016 фиксирует термин: «шеvronный угол пластины» – «угол, образованный между гофрой и горизонталью» [4]. Чем агрессивнее профиль, тем выше шанс «упереться» в Δp .

Исполнение (разборный/сварной) тоже про эксплуатацию. По ВГАСУ, разборные аппараты на прокладках применяют при необходимости чистки, и они «выдерживают температуру 20...150 °С и давление не более 2...2,5 МПа», тогда как сварные могут работать «до 400 °С» и «до 3 МПа» [3].

3. *Многопроходность и гидравлика: почему «ускорим поток» не всегда спасает.* Когда тепловой расчет не сходится, пытаются поднять скорости, переходя на многопроходную схему. ГОСТ ISO 15547-1-2016 вводит для этого конкретный термин: «ходовая пластина (pass plate)» – «пластина, используемая для изменения направления потока в пластинчатом теплообменнике не менее чем с двумя проходами» [4]. Прием рабочий, но он почти всегда увеличивает Δp и делает аппарат чувствительнее к качеству фильтрации.

При межпластинном зазоре 2...5 мм [3] даже небольшое количество взвеси или хлопьев быстро превращается в проблему. Поэтому компромисс «К против Δp » разумно решать вместе с регламентом промывок и схемой фильтрации, а не отдельным «ускорением потока».

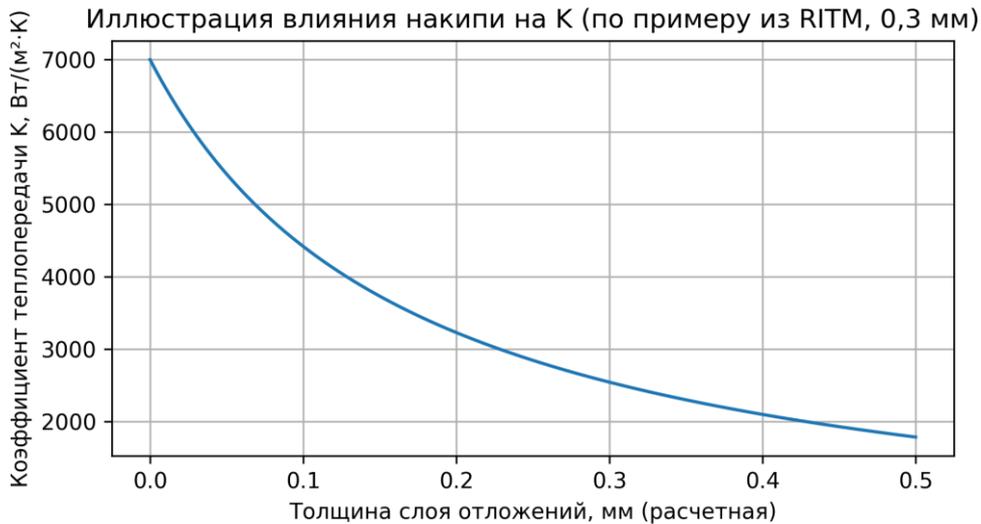


Рис. 1. Влияние отложений на К (расчетная иллюстрация по примеру: 0,3 мм → К: 7000 → 2545 Вт/(м²·К) [5])

4. *Запас по загрязнению как R: меньше магии, больше контроля.* В расчетном примере из учебного пособия ИТМО приведено сопротивление загрязнений на стороне воды $R_{\text{загр}} = 0,00023 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и получен итоговый коэффициент теплопередачи порядка 1971 Вт/(м²·К) [6]. Идея проста: удобнее оперировать прибавкой к (1/К), чем спорить о процентах «запаса площади».

В публикации журнала RITM показан эффект еще нагляднее: при расчетном $K=7000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ в работе К снижается до 2545 Вт/(м²·К) при слое накипи 0,3 мм [5]. Пересчет дает добавку к 1/К порядка $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – величину, сопоставимую с $R_{\text{загр}}$ из учебного примера.

Таблица 1

Порядок величин термических сопротивлений (ориентир)

Составляющая	Обозн.	м ² ·К/Вт
Пластина ~1 мм (пример ИТМО)	$R_{\text{ст}}$	≈0,00007
Загрязнение (пример ИТМО)	$R_{\text{загр}}$	0,00023
Отложения 0,3 мм (пример RITM)	$R_{\text{отл}}$	≈0,00025

Практически это означает: $R_{\text{загр}}$ нужно «держать руками» обслуживанием, иначе красивый K_0 быстро исчезает.

5. *Практический прием подбора: задаем $R_{\text{доп}}$ и проверяем два ограничения.* Вместо «+10% площади» задают $R_{\text{доп}}$ и проверяют два ограничения: (а) температурный режим при $K=1/(1/K_0+R_{\text{доп}})$ и (б) Δp по сторонам. Если условие не выполняется, корректируют компоновку проходов, тип пластин и регламент промывок.

Минимальный чек-лист до закупки:

- фактический межпластинный зазор и допустимые включения для выбранной пластины;
- расчетные Δp при вашем расходе и «остаток» до ограничения насоса;
- допустимые реагенты промывки и совместимость с материалом пластин/прокладок (если разборный).

Расчетный пример (без привязки к объекту). $Q=250$ кВт, ГВС: $10 \rightarrow 55$ °С, сеть: $70 \rightarrow 45$ °С, $\Delta T_{\text{ср.лог.}} \approx 21$ °С. При $K_0=5000$ Вт/(м²·К) $F_0 \approx 2,38$ м². Добавим $R_{\text{отл}} \approx 0,00025$ м²·К/Вт: K падает до ≈ 2220 Вт/(м²·К), и без изменения площади теплопередача проседает примерно в 2,2 раза.

Заключение. Пластинчатый теплообменник выигрывает высоким K и компактностью, но в российских условиях ключевым становится управление загрязнением и Δp . Задавать запас через $R_{\text{доп}}$ и проверять одновременно температуры и потери давления – практичный способ уменьшить разрыв между проектом и эксплуатацией.

Список литературы

1. ГОСТ 15518–87. Аппараты теплообменные пластинчатые. Типы, параметры и основные размеры. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/120/12044.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

2. О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением: ТР ТС 032/2013: принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 02.07.2013 №41: (вступил в силу 01.02.2014). – URL: <https://eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/TP-TC-032.php> (дата обращения: 01.03.2026).

3. Карпузова Е.Н. Расчет теплообменных аппаратов: учеб. пособие / Е.Н. Карпузова; Воронежский ГАСУ. – Воронеж. – URL: <https://vgasu.ru/attachments/karapuzova-01.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

4. ГОСТ ISO 15547-1-2016. Теплообменники пластинчатого типа. Часть 1. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/724/72440.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

5. Рентабельность производства спирально-профильных труб применительно к теплообменной технике // РИТМ машиностроения. – URL: <https://ritm-magazine.com/ru/public/rentabelnost-proizvodstva-spiralno-profilnyh-trub-primenitelno-k-teploobmennoj-tehnike> (дата обращения: 01.03.2026).

6. Мамченко В.О. Пластинчатые теплообменники в низкотемпературной технике и биотехнологических процессах: учеб. пособие / В.О. Мамченко, А.А. Малышев. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 116 с. – URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1547.pdf> (дата обращения: 01.03.2026). EDN ZUZGFX