

Серебренов Тимофей Владимирович

курсант

Научный руководитель

Солодовников Алексей Витальевич

канд., доцент

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

**ДВУХМЕТРИЧНАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ
РАЗБОРНЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
ПО ДАННЫМ ШТАТНОЙ АВТОМАТИКИ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА**

Аннотация: в работе рассматривается проблема эксплуатационного контроля пластинчатых теплообменников, деградация которых в системах теплоснабжения часто проявляется не во внезапных отказах, а в постепенном ухудшении энергоэффективности из-за загрязнений. На основе анализа конструктивных особенностей и физики процессов предложен интегральный индекс состояния H . Данный показатель одновременно учитывает два ключевых признака деградации – падение коэффициента теплопередачи и рост гидравлического сопротивления. Индекс нормируется относительно эталонных значений чистого аппарата, что позволяет численно оценить степень загрязнения и планировать промывку, опираясь на данные штатной автоматики, а не на регламентные сроки. Приведен расчетный пример, демонстрирующий чувствительность индикатора, и обозначены ограничения метода.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, загрязнение, коэффициент теплопередачи, перепад давления, тепловой пункт, диагностика.

1. Постановка задачи.

На объекте деградация ПТО чаще выглядит не как отказ, а как накопление мелких «симптомов»: насосы уходят в более энергоемкий режим, а температурный запас по вторичному контуру уменьшается. Локализовать причину по одной температуре на выходе сложно: на нее влияет график, регулирующий клапан и текущие расходы.

Нормативно класс аппарата определен давно: ГОСТ 15518-87 формулирует область применения так, что ошибиться трудно – «Настоящий стандарт распространяется на теплообменные пластинчатые аппараты... поверхностью теплообмена от 1 до 800 м²» [1]. Разборная конструкция упрощает обслуживание, но сама по себе не отвечает на вопрос «когда именно пора разбирать/промывать».

Цель работы – предложить индикатор, который рассчитывается из эксплуатационных данных и ловит две физические причины деградации: падение теплопередачи и рост гидравлического сопротивления.

2. Конструктивные особенности, которые важно учитывать в диагностике.

Потоки в ПТО текут по каналам между пластинами, а сами пластины в пакете ставятся попеременно «с поворотом на 180°», формируя чередование каналов для двух сред [4].

Интенсификация достигается гофрами: в расчетных материалах отмечено, что «проточная часть пластин выполняется гофрированной... гофры могут быть... расположены в «елку» [3]. Даже в ГОСТ 15518-87 углы гофр (60° и 120°) фигурируют как конструктивный параметр пластин [1]. Для диагностики это означает простую вещь: любое загрязнение влияет сразу на K и на ΔP .

3. Расчетные соотношения, используемые в индикаторе.

Тепловая нагрузка берется из баланса: $Q = G \cdot c_p (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})$.

Логарифмическая средняя разность температур для прямотока/противотока задается как $\Delta t_{\text{ср}} = (\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}) / \ln(\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}})$ [3].

Далее $Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}}$, откуда $K_{\text{тек}} = Q / (F \cdot \Delta t_{\text{ср}})$. Если F неизвестна, допускается мониторинг произведения $K \cdot F$.

Физическая интерпретация K задается суммой сопротивлений. В пособии по расчету ПТО формулировка дана прямо: «Коэффициент теплопередачи K определяется из уравнения аддитивности термических сопротивлений...» [3], включая вклад загрязнений гз.

4. Механизм загрязнения и наблюдаемые признаки.

Для тепловых пунктов характерны минеральные отложения. В статье БГТУ им. В.Г. Шухова указывается, что накипь может формироваться в виде слоев карбоната кальция, сульфата кальция или силикатов, и что для каналов между гофрированными пластинами типичен кристаллизационный механизм [6].

Эксплуатационно это проявляется ожидаемо: в методике контроля промывки говорится, что у загрязненного аппарата «снизился коэффициент теплопередачи» и «возросло гидравлическое сопротивление» [7]. А в ГОСТ Р ИСО 15547-1-2009 отдельно подчеркивают совместимость прокладок с химреактивами: «... включая реагенты для химической очистки» [2].

5. Индекс состояния К-ДР.

Вводятся два нормированных показателя: $\phi_K = K_{\text{тек}}/K_{\text{эт}}$ и $\phi_P = \Delta P_{\text{тек}}/\Delta P_{\text{эт}}$, где «эталон» фиксируется сразу после промывки или приемки (в близком режиме расходов).

Интегральный индекс состояния: $H = \phi_K / \sqrt{\phi_P}$. Корень выбран как компромисс: ΔP отражает энергозатраты на прокачку, но на ранней стадии загрязнения не должен «перевешивать» тепловую деградацию.

Практический алгоритм: выбрать квазистационарный интервал; посчитать Q по балансу; получить $\Delta t_{\text{ср}}$ [3]; рассчитать $K_{\text{тек}}$ и $\Delta P_{\text{тек}}$; нормировать и вычислить H . Обязательная проверка – согласование Q по двум сторонам.

6. Расчетный пример.

Покажем порядок чисел на расчетном сценарии (без попытки выдать его за натурные испытания). Принято: режим противотока, температурные точки 95/70 °С и 10/60 °С; площадь $F = 3,3 \text{ м}^2$; эталон после промывки: $K_{\text{эт}} = 6500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\Delta P_{\text{эт}} = 35 \text{ кПа}$. Формула для $\Delta t_{\text{ср}}$ – логарифмическая [3].

Таблица 1

Расчетные значения индикатора состояния

<i>Сценарий</i>	$K, Вт/(м^2 \cdot К)$	$\Delta P, кПа$	φK	φP	H
После промывки (эталон)	6500	35	1.000	1.000	1.000
Умеренное загрязнение	4200	55	0.646	1.571	0.515
Выраженное загрязнение	2800	85	0.431	2.429	0.276

В примере H падает с 1,00 до $\approx 0,52$ (умеренное загрязнение) и до $\approx 0,28$ (выраженное). Пороговые значения нужно калибровать по истории объекта и погрешностям датчиков.

7. Ограничения метода.

1. При малой разности температур Δt_{cp} становится чувствительной к погрешностям. Лучше отбирать интервалы, где разности температур не «схлопываются».

2. При сильных изменениях расхода меняются коэффициенты теплоотдачи, и $K_{тек}$ меняется даже на чистом аппарате. Выход – эталонные точки в нескольких режимах расхода.

3. Диагностика должна быть связана с обслуживанием: химия промывки выбирается с учетом материалов прокладок [2].

Заключение.

Комбинация двух измеримых признаков – падения K и роста ΔP – дает простой индекс состояния H , который можно считать по данным штатной автоматики. Метод опирается на стандартные расчетные соотношения [3] и позволяет обоснованнее планировать промывку, чем «раз в год по привычке». Качество результата определяется тем, насколько аккуратно выбрано эталонное состояние и насколько честны датчики.

Список литературы

1. ГОСТ 15518–87. Аппараты теплообменные пластинчатые. Типы, параметры и основные размеры. – Введ. 01.01.1990. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294836/4294836588.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

2. ГОСТ Р ИСО 15547–1-2009. Нефтяная и газовая промышленность. Пластинчатые теплообменники. Технические требования. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293812/4293812835.pdf> (дата обращения: 01.03.2026).

3. Ведерникова М.И. Расчет пластинчатых теплообменников: учеб.-метод. пособие / М.И. Ведерникова, В.С. Таланкин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. – URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/56/5/Vedernikova_M.I.%2C_Talankin_V.S.pdf (дата обращения: 01.03.2026).

4. Руководство по эксплуатации разборных пластинчатых теплообменников (ООО «Логика»). – URL: https://www.logika-consortium.ru/wp-content/uploads/2017/01/Rukovodstvo-po-ekspluatatsii___-1.pdf (дата обращения: 01.03.2026).

5. Пластинчатые теплообменники – дело тонкое // Ростепло.ру. – URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2224 (дата обращения: 01.03.2026).

6. Relevance of contamination models for diagnostics of plate heat exchangers // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov (Editorum). – URL: <https://bulletinbstu.editorum.ru/en/nauka/article/39278/view> (date of access: 01.03.2026).

7. Контроль качества химической промывки от загрязнения теплообменных аппаратов // Ростепло.ру. – URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=94 (дата обращения: 01.03.2026).