

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НПИ) ИМЕНИ М.И. ПЛАТОВА»
(ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова)»

УДК 628.168.3

Рег. № НИОКТР

Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
и инновационной деятельности

ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ)
имени М.И. Платова»,

кандидат технических наук
Пузин Владимир Сергеевич



« 08 » 2025 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ АКТИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ОСАДКА
ПРИ НАГРЕВЕ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ В ТЕПЛООБМЕННЫХ
АППАРАТАХ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

г. КАЛИНИНГРАДА
(заключительный)

Договор № 607.06.25/ 474-ЮУ от 11.06.2025г.

Руководитель НИОКР,
доцент кафедры ВХИСЗОС,
канд. техн. наук


А.Ю. Черкесов
подпись, дата

Новочеркасск 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»:

Руководитель НИР,
доцент кафедры ВХИСЗОС,
канд. техн. наук

01.08.2025 
подпись, дата

А.Ю. Черкесов
(раздел 1 – 8)

Исполнители:

Профессор ВХИСЗОС,
канд. техн. наук

01.08.2025 
подпись, дата

Л.Н. Фесенко
(раздел 1 – 8)

Доцент кафедры ВХИСЗОС,
канд. техн. наук

01.08.2025 
подпись, дата

Р.В. Федотов
(раздел 1 – 8)

Доцент кафедры ВХИСЗОС,
канд. техн. наук

01.08.2025 
подпись, дата

С.А. Щукин
(раздел 1 – 8)

Доцент кафедры ВХИСЗОС,
канд. техн. наук

01.08.2025 
подпись, дата

И.В. Пчельников
(раздел 1 – 8)

Ассистент, инженер
кафедры ВХИСЗОС

 01.08.25
подпись, дата

Д.В. Каберская
(раздел 1 – 8)

Старший преподаватель
кафедры ВХИСЗОС

 01.08.2025
подпись, дата

А.С. Пчельникова
(раздел 1 – 8)

Ведущий инженер
кафедры ВХИСЗОС

 01.08.2025
подпись, дата

Ю.В. Черкесова
(раздел 1 – 8)

Ведущий инженер
кафедры ВХИСЗОС

01.08.2025 
подпись, дата

Н.В. Енгибарьянц
(раздел 1 – 8)

Нормоконтроль

 01.08.2025
подпись, дата

Л.В. Завацкая

8 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СТАБИЛИЗАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ НА ЮВС № 2

Данные рекомендации разработаны для персонала, ответственного за эксплуатацию системы водоподготовки на площадке Южной водопроводной станции № 2 г. Калининград, с целью стабилизационной обработки воды с высоким индексом Ланжелье (LSI) путём подкисления раствором соляной кислоты (HCl). Целью обработки является предотвращение образования карбонатных отложений (накипи) на внутренних поверхностях трубопроводов и оборудования. В качестве реагента допустимо применение соляной кислоты ГОСТ 3118-77 «Реактивы. Кислота соляная. Технические условия» или её разбавленных растворов. При приобретении разбавленной соляной кислоты, например 14% разрешительные документы, на её соответствие ГОСТ 3118-77 и санитарным нормам предоставляет поставщик.

Как было показано в главе 7 подкисление воды целесообразно проводить после резервуаров чистой воды, что объясняется следующим: подкисление воды приводит к переходу растворённой углекислоты из ионной в молекулярную форму, которая в дальнейшем распадается с образованием воды и растворённого углекислого газа (десорбцией CO_2 в газовую фазу). При дальнейшем достижении равновесной концентрации углекислого газа в воде и воздухе, происходит нарушение стабильности, что приводит к увеличению интенсивности выпадения карбоната кальция из воды, что также было показано результатами исследований, приведённых в главе 6.

Для проведения технологической операции по стабилизационному подкислению воды необходимо в перечень технологического контроля работы очистных сооружений водопровода ввести определение и контроль индекса стабильности воды.

Наиболее целесообразным является отслеживание технологом и операторами водоподготовки индекса Ланжелье (LSI), который является

расчётным показателем, определяющим является ли вода коррозионно-активной, стабильной или склонной к образованию отложений.

$$LSI = pH_{\text{фактический}} - pH_s,$$

где $pH_{\text{фактический}}$ – измеренное значение pH воды, pH_s – расчетное значение pH , при котором вода находится в равновесии с карбонатом кальция ($CaCO_3$).

Определение индекса Ланжелье возможно осуществлять тремя основными способами:

1. *Экспериментальный.* Данный способ оценки степени насыщенности воды карбонатом кальция ($CaCO_3$) включает добавление известного количества $CaCO_3$ в пробу воды, выдерживание до достижения равновесия (например, при постоянном перемешивании и контролируемой температуре), после чего измеряют остаточную концентрацию кальция (Ca^{2+}) и карбонатных ионов (CO_3^{2-}), а также pH и щёлочность. По этим данным рассчитывают индекс насыщения, определяя, является ли вода ненасыщенной (растворяет $CaCO_3$), равновесной или пересыщенной (склонна к образованию осадка). Данный способ является достаточно трудозатратным и сильно зависит от квалификации лаборанта поскольку в России ГОСТа, регламентирующего экспериментальное определение степени насыщенности воды карбонатом кальция ($CaCO_3$) нет.

2. *Графический.* Определение pH_s (pH насыщения) по номограммам основано на графическом способе, где с помощью известных параметров воды (температура, общая щёлочность, содержание кальция и общая минерализация) находят точку пересечения соответствующих шкал, что позволяет быстро определить pH , при котором вода находится в равновесии с карбонатом кальция ($CaCO_3$), без сложных расчётов. Данный способ является наименее точным при определении индекса стабильности воды.

3. *Расчётный.* Является наиболее точным способом. Для выполнения расчётов необходимы значения таких показателей как

температура, pH , солесодержание, концентрация ионов кальция и гидрокарбонатов.

Значение pH_s рассчитывается по формуле:

$$pH_s = \lg \frac{L_{CaCO_3}}{K_2} - \lg f_1 \cdot f_2 - \lg [Ca^{2+}] - \lg [HCO_3^-],$$

где: L_{CaCO_3} – произведение растворимости карбоната кальция (принимается по таблице 8.1, строка 7); K_2 – константа ионизации угольной кислоты второй ступени (принимается по таблице 8.1, строка 5); $\lg f_1$ – логарифм одновалентного коэффициента активности, определяется по формуле:

$$f_1 = 10^{-\sigma}$$

$$\sigma = \frac{0,5\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$$

$\mu = 0,000022p$, где p – общее солесодержание воды.

f_2 – коэффициент активности, определяемый как f_1^4 ; $\lg [Ca^{2+}]$ – логарифм эквивалентной концентрации ионов кальция в воде, определяемый как $\lg [Ca^{2+} \text{ (мг – экв/дм}^3) \cdot 10^{-3}]$; $\lg [HCO_3^-]$ – логарифм эквивалентной концентрации ионов кальция в воде, определяемый как $\lg [HCO_3^- \text{ (мг – экв/дм}^3) \cdot 10^{-3}]$.

Таблица 8.1 – Таблица значений констант ионизации угольной кислоты, произведений растворимости для расчёта pH_s

№ п/п	Константа		Температура воды °С				
			0	10	20	25	30
1	$K_w = f_H[H^+] \cdot f_1[OH^-]$	$K_w \cdot 10^{14}$	0,11	0,30	0,69	1	1,48
2		pK_w	14,96	14,53	14,16	14	13,8
3	$K_1 = \frac{f_H[H^+] \cdot f_1[HCO_3^-]}{CO_2}$	$K_1 \cdot 10^7$	2,65	3,43	4,15	4,45	4,71
4		pK_1	6,58	6,47	6,38	6,35	6,33
5	$K_2 = \frac{f_H[H^+] \cdot f_2[CO_3^{2-}]}{f_1[HCO_3^-]}$	$K_2 \cdot 10^{11}$	2,57	4,28	5,3	5,61	5,88
6		pK_2	10,59	10,37	10,28	10,2	5,88
7	$L_{CaCO_3} = f_2[Ca^{2+}] \cdot f_2[SO_4^{2-}]$	$L_{CaCO_3} \cdot 10^9$	7,56	6,37	5,26	4,59	5,88
8		pL_{CaCO_3}	8,12	8,2	8,28	8,34	5,88

9	$L_{Mg(OH)_3} = f_2[Mg^{2+}] \cdot (f_1[OH^-])^2$	$L_{Mg(OH)_3} \cdot 10^{11}$	9,55	7,15	5,02	4,16	5,88
10		$pL_{Mg(OH)_3}$	10,02	10,15	10,3	10,3	5,88
11	$L_{CaSO_4} = f_2[Ca^{2+}] \cdot f_2[SO_4^{2-}]$	$L_{CaSO_4} \cdot 10^5$	3,2	3,4	3,69	3,7	5,88
12		pL_{CaSO_4}	4,49	4,47	4,44	4,43	5,88

Все константы зависят от температуры и общей ионной силы воды (таблицы 8.1). В тех случаях когда фактическая температура находится в проведённых в таблице 8.1 диапазонах (например температура 22,0 °C), то требуемое значение находится методом интерполяции между температурами 20,0 и 25,0 °C.

Интерпретация LSI :

- $LSI > 0$: Вода склонна к образованию накипи (карбонатных отложений). Требуется подкисление.
- $LSI = 0$: Вода стабильна, находится в карбонатном равновесии.
- $LSI < 0$: Вода коррозионно-активна.

Оптимальным является поддержание LSI в диапазоне от +0,2 до +0,4.

Рассмотрим пример определения оптимальной величины pH после подкисления (целевой pH) для исходного состава р. Старая Преголя.

На основании полученных во время проведения натурных исследований данных примем следующий исходный состав воды:

- температура (T) = 20,0 °C;
- pH фактический = 8,2;
- концентрация кальция (Ca^{2+}) = 71,20 мг/дм³ (3,56 мг-экв/дм³);
- концентрация магния (Mg^{2+}) = 16,00 мг/дм³;
- концентрация натрия (Na^+) = 36,90 мг/дм³;
- концентрация хлоридов (Cl^-) = 53,40 мг/дм³;
- концентрация сульфатов (SO_4^{2-}) = 35,50 мг/дм³;
- общая щёлочность (в пересчёте на HCO_3^-) = 250,1 мг/дм³ (4,1 мг-экв/дм³);
- общая минерализация воды P = 463,1 мг/дм³.

Процесс расчёта:

1. Расчёт составляющих уравнения:

L_{CaCO_3} – принимаем по таблице 8.1 равным $5,26 \cdot 10^{-9}$;

K_2 – принимаем по таблице 8.1 равным $5,3 \cdot 10^{-11}$;

$\mu = 0,000022p = 0,000022 \cdot 463,1 = 0,0101882$;

$$\sigma = \frac{0,5\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} = \frac{0,5\sqrt{0,0101882}}{1 + \sqrt{0,0101882}} = 0,0458$$

$$f_1 = 10^{-\sigma} = 10^{-0,0458} = 0,899;$$

$$\lg f_1 = -0,0458;$$

$$f_2 = f_1^4 = 0,899^4 = 0,653;$$

$$\lg[Ca^{2+}] = \lg[3,56 \cdot 10^{-3}] = -2,449;$$

$$\lg[HCO_3^-] = \lg[4,1 \cdot 10^{-3}] = -2,387;$$

2. Расчёт pH_s (равновесного pH):

Используя формулу $pH_s = \lg \frac{L_{CaCO_3}}{K_2} - \lg f_1 \cdot f_2 - \lg [Ca^{2+}] - \lg [HCO_3^-]$.,
подставляем значения констант и концентраций:

$$\begin{aligned} pH_s &= \lg \frac{5,26 \cdot 10^{-9}}{5,3 \cdot 10^{-11}} - (-0,0458) \cdot 0,653 - (-2,449) - (-2,387) \\ &= \lg \frac{0,00000000526}{0,000000000053} + 0,0299074 + 2,449 + 2,387 = 6,86 \end{aligned}$$

3. Расчёт Индекса Ланжелье (LSI):

Используем формулу, где LSI определяется как разница между фактическим pH_0 фактический минус pH_s :

$$LSI = 8,2 - 6,86 = 1,34.$$

Вывод: поскольку $LSI = 1,34 > 0$, вода является сильно пересыщенной и склонна к образованию накипи. Необходимо подкисление.

4. Определение целевого pH после подкисления:

Чтобы сделать воду стабильной, нужно снизить pH до такого уровня, чтобы LSI стал равен примерно 0 (или положительным, например от +0,2 до 0,4).

С целью оптимизации расхода реагентов и режимов работы систем горячего водоснабжения г. Калининград величина целевого значения LSI может быть уточнена по результатам опыта эксплуатации системы водоснабжения муниципального образования.

При целевом $LSI = +0,2$ целевой pH , до которого необходимо осуществлять подкисление (для данного расчётного примера) составит:

$$pH' = pH_s + LSI = 6,86 + (+0,2) = 7,06.$$

Таким образом для данного расчётного случая оптимальная величина pH после подкисления (целевой pH) составляет примерно **7,06**.

На момент проведения пусконаладочных работ и эксплуатации узла подкисления, целевой pH будет отключаться, поскольку расчётное значение pH_s зависит от температуры воды, её pH , минерализации и физико-химического состава (ионов кальция и гидрокарбонатов).

Дозирование реагентов целесообразно осуществлять пропорционально показаниям pH -метра.

Подготовка и безопасность:

- Персонал должен быть обучен и иметь доступ к средствам индивидуальной защиты (СИЗ): защитные очки, перчатки, халат.
- раствор соляной кислоты является агрессивным реагентом. Необходимо соблюдать все меры безопасности при работе с ним.
- Убедитесь в исправности насоса-дозатора, pH -метра, датчика pH и системы хранения реагента.

Система дозирования должна включать в себя:

- Ёмкость для хранения HCl .
- Насосы-дозаторы (мембранный или плунжерный) (1 рабочий, 1 резервный).
- Статический смеситель для равномерного распределения кислоты в потоке воды (если ввод осуществляется перед насосным агрегатом, то устройство статического смесителя не требуется)

– Датчик pH и контроллер.

Алгоритм дозирования:

Установка целевого значения pH на контроллере: установите на контроллере значение целевого pH , рассчитанное в п. 3, например, 7,24.

Установите допустимые пределы отклонения, например, $\pm 0,1 pH$.

Калибровка pH-метра:

Перед началом работы необходимо откалибровать датчик pH с использованием буферных растворов с известными значениями pH (например, 4,01, 7,0 и 11,0). Рекомендуется проводить калибровку не реже одного раза в неделю.

Автоматическое управление дозированием (пропорциональное дозирование):

Система дозирования должна работать в режиме пропорционального (ПИД) регулирования. Это означает, что насос-дозатор будет изменять производительность в зависимости от разницы между текущим и целевым pH .

Если измеренный pH воды **выше** целевого значения (например, 8,2 > 7,06), контроллер включает насос-дозатор.

Чем больше разница, тем выше производительность насоса, и тем больше кислоты подаётся в поток.

При приближении pH к целевому значению, производительность насоса снижается.

Если измеренный pH **ниже** целевого значения, насос-дозатор автоматически отключается.

Мониторинг и контроль:

Осуществляйте постоянный мониторинг показаний pH -метра.

Периодически (не реже одного раза в смену) отбирайте пробы воды после точки введения кислоты и измеряйте pH в лабораторных условиях для подтверждения точности показаний датчика.

Записывайте показания расхода воды и объем израсходованного раствора HCl для контроля дозирования и расчёта удельного расхода.

Примерная дозировка

При подкислении 1-го эквивалента щёлочности 1-им эквивалентом кислоты, щелочность снижается.

При добавлении 1 эквивалента HCl , pH снижается, и часть карбонатов переходит в угольную кислоту.

Для снижения pH потребуется определённое количество кислоты, зависящее от буферной ёмкости воды (её щёлочности).

Примерная формула для расчёта дозировки (мг/дм³):

$$D_{HCl} = (Щ_{исх} - Щ_{цел}) \cdot \frac{M_{HCl}}{M_{CaCO_3}}$$

где $Щ_{исх}$ – исходная щёлочность воды, $Щ_{цел}$ – целевая щёлочность (которая соответствует целевому).

Поскольку точный расчёт целевой щёлочности сложен, рекомендуется полагаться на автоматизированную систему дозирования с контролем по pH , с предварительным пробным подкислением воды для определения начальной оптимальной дозы реагента.

9 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВОДОПОДГОТОВКЕ ДЛЯ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ЮВС № 2

В соответствии с СанПиН 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (изменения и дополнения к СанПиН 1.2.3685-21)». В схеме водоподготовки систем централизованного горячего водоснабжения (СЦГВ) необходима специальная обработка воды, обусловленная технологическими требованиями. Ингибирование процессов коррозии и отложений солей в СЦГВ следует осуществлять реагентами и методами, разрешёнными органами санитарно-эпидемиологического надзора.

Для защиты от внутренней коррозии и образования накипи трубопроводов и оборудования централизованных систем горячего водоснабжения, присоединяемых к тепловым сетям через водонагреватели, следует предусматривать обработку воды, осуществляемую, как правило, в ЦТП. Решение о выборе технологии обработки воды, а также об отказе в использовании технологии обработки воды должно приниматься на основании химического анализа воды.

Министерством строительства и ЖКХ РФ 25.01.2022 г. издан приказ № 42/пр «Об утверждении свода правил «Тепловые пункты и системы внутреннего теплоснабжения» СП 510.1325800.2022. согласно п. 9.3 и 9.4 которого рекомендуется осуществлять защиту водонагревателей и трубопроводов горячего водоснабжения ультразвуковыми и электромагнитными аппаратами.

Таким образом, проблема носит технологический, а не качественный характер и обусловлена исключительно особенностями работы системы ГВС. Немаловажным фактом является то, что проблема, согласно количеству и специфике обращений в водоканал, присуща исключительно для индивидуальных тепловых пунктов многоквартирных домов, где, нагрев воды ведётся до 60 °С. Такой нагрев необходим для исключения заражения воды

бактерией – *Legionella pneumophila* (легионеллой). Такое требование обязательно, и регламентируется СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», СП 55.13330.2016 «Дома жилые одноквартирные» и СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные».

В случаях применения в многоквартирных домах индивидуальных водонагревателей (колонок, бойлеров и т.п.), где, нагрев воды производится непосредственно перед использованием и как правило до 40,0 – 45,0 °С, проблема осадкообразования и зарастания нагревательных элементов слабо выражена и проявляется только в течении длительного периода их эксплуатации.

7.4 Рекомендации по водоподготовке перед нагревом в тепловом пункте

В целях предотвращения засорения и минимизации негативного воздействия на гидравлические характеристики систем ГВС предлагается внедрение специализированных установок водоподготовки, ориентированных на умягчение воды непосредственно перед водонагревом. Оптимальным решением является их размещение на уровне ЦТП, что обеспечит:

- подавление процессов кристаллизации солей жёсткости уже после теплообменников;
- сохранение пропускной способности трубопроводов;
- увеличение межремонтного интервала оборудования.

Реализация данного подхода может позволить существенно повысить энерго-эффективность и эксплуатационную надёжность систем ГВС без необходимости реконструкции городских водопроводных очистных сооружений.

Ниже представлены возможные варианты дополнительной, специальной обработки воды в ЦТП, направленной на уменьшение

интенсивности осадкообразования в системах ГВС, а также приведены их ключевые достоинства и недостатки.

1. Умягчение воды на ионообменных фильтрах. Один из эффективных способов умягчения воды посредством её фильтрования через ионообменную смолу. Несмотря на эффективность, данный метод в условиях ИТП сложно реализуем и сопровождается значительными эксплуатационными затратами. Стоимость самого оборудования будет зависеть от производительности. Во время эксплуатации, требуется регенерация ионообменной смолы раствором пищевой соли 1 – 2 раза в сутки, следовательно, необходим оператор. Кроме того, после регенерации ионообменной смолы образуются сложно утилизируемые регенерационные (солевые) растворы, сброс которых в городскую сеть канализации может привести к неблагоприятным последствиям.

2. Подкисление воды соляной или серной кислотой. Данный метод является одним из ключевых и эффективных способов стабилизационной обработки воды, однако, в условиях водоподготовки в ИТП не может быть применён в виду высокого риска для здоровья и безопасности жителей в случае возникновения неисправности системы или передозировании реагента. Индивидуальный тепловой пункт как правило, расположен в подвале жилого дома. При неконтролируемом попадании кислоты в систему ГВС в случае сбоя может привести к химическим ожогам или отравлениям. Также, хранение, транспортировка и дозирование концентрированной соляной кислоты в месте, где постоянно находятся люди (даже если это подвал) – нарушение норм промышленной и экологической безопасности. Пролив кислоты приведёт к повреждению конструкций и выбросу токсичных паров.

3. Обработка воды реагентами противонакипной обработки, например силиката натрия и др., разрешённых для применения в установленном порядке. Для противонакипной обработки воды в настоящее время нашли применение комплексоны – комплексы многоосновных органических фосфоновых кислот с ионами металлов. Цинковые

комплексонаты рекомендуется применять без других способов обработки воды, например, при отсутствии деаэрации или неэффективной работе катионных фильтров по умягчению воды. Наиболее широко распространены ингибиторы комплексного действия. *Выбор конкретной марки ингибитора может быть осуществлён только путём пробной обработки воды.* Также, следует учитывать, что применение данного метода требует точного и непрерывного дозирования реагента и его контроля. Расход воды в системе и её исходный состав (карбонатная жесткость, щёлочность) могут меняться. Система автоматического дозирования, способная адекватно реагировать на эти изменения, — дорогое и сложное устройство. Выход её из строя может привести к передозированию реагента, что, в свою очередь, может негативно сказаться на здоровье человека.

4. Противонакипная обработка воды физическими методами, например, магнитная обработка при напряжённости магнитного поля в рабочем зазоре не более 160 кА/м (200 мТл, в пересчёте на магнитную индукцию). Данный метод малоэффективен, в особенности в ИТП.

5. Одним из наиболее эффективных и безопасных методов обработки воды для системы горячего водоснабжения является нанофильтрация. Нанофильтрация как способ водоподготовки занимает промежуточное положение между обратным осмосом и ультрафильтрацией. Пористая мембрана, используемая при нанофильтрации, задерживает частицы размером порядка 0,002-0,001 мкм. Мембрана для нанофильтрации обладает более проницаемым и менее плотным селективным покрытием, чем в обратноосмотических установках.

Одним из главных преимуществ нанофильтрации является то, что этот способ водоподготовки позволяет получить воду точной жёсткости. К тому же немаловажным достоинством нанофильтрации является экономическая целесообразность в процессах умягчения и опреснения воды. Это обусловлено тем, что в сравнении с обратным осмосом процесс нанофильтрации протекает при меньших напорах (до 7 бар) и, следовательно, потребляет меньше энергии.

Селективность (выборочность) нанофильтрационной мембраны позволяет их использовать в случаях, когда системы обратного осмоса, ионный обмен или реагентной умягчение использовать невыгодно. Речь идёт об частичном снижении солесодержания воды за счёт удаления многовалентных ионов. Селективность нанофильтрации по двух- и поливалентным ионам как правило составляет 60–80 %, и 20 – 40% по одновалентным. Что касается 2-зарядных катионов кальция и магния то тут селективность может достигать 98 %, по многовалентным солям до 85 %. Таким образом нанофильтрация умягчает, доочищает, снижает рН но при этом частично сохраняет минерализацию воды.

В случае водоподготовки для систем ГВС нанофильтрация не просто позлит предотвратить накипиобразование, но и значительно улучшить качество воды, поступающей в систему.

Нанофильтрация за удаляет соли жёсткости (кальций, магний), а также двухвалентное железо, марганец, кремний, коллоидные частицы, органические примеси (гумусовые вещества) и даже часть сульфатов. Это полная защита от накипи, коррозии и биологических обрастаний. Удаляя органику и сульфат-ионы (которые являются питанием для сульфатредуцирующих бактерий), нанофильтрация также лишает почвы для развития микробиологической коррозии.

С точки зрения здоровья человека нанофильтрация обладает наибольшей из известных методов безопасностью, поскольку данный процесс относится к безреагентным методам водоподготовки, тем самым исключаются риски, связанные с хранением, дозированием и возможной передозировкой опасных реагентов (кислоты, комплексоны). Это делает ИТП безопасным для персонала и жителей.

В отличии от реагентных методов и ионного обмена в установках нанофильтрации отсутствуют трудно утилизируемые отходы. Основной побочный продукт – это «концентрат» исходной воды, который по составу близок к исходной воде, но более концентрированный. Сброс концентрата

возможен в городскую сеть хозяйственно-бытовой канализации при согласовании с ГП КО «ВОДОКАНАЛ».

Что касается конструктивных особенностей установки нанофильтрации и технологических режимов её эксплуатации, то для подготовки воды в ИТП для систем ГВС целесообразна трёх- или четырёхкаскадная нанофильтрация. В таком случае установки нанофильтрации имеют высокий гидравлический по очищенной воде (до 85 – 90 %), в канализацию, виде концентрата, будет уходить около 10 – 15%. На рисунке 9.1 представлена наиболее эффективная для ИТП гидравлическая схема работы одноступенной четырёхкаскадной установки нанофильтрации, где гидравлический КПД по очищенной воде достигает 93,75 %.

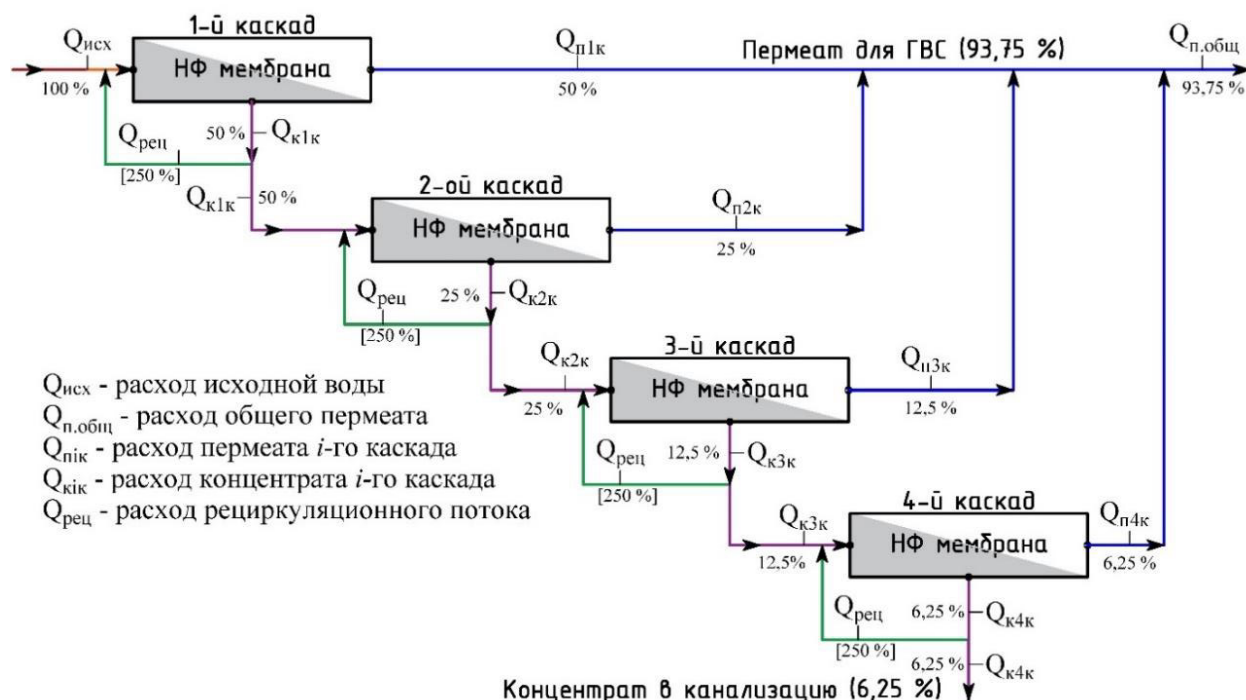


Рисунок 9.1 – Рекомендуемая для ИТП гидравлическая схема работы одноступенной четырёхкаскадной установки нанофильтрации

Ориентировочная производительность установки нанофильтрации для подготовки воды системы ГВС в пятиэтажном, многоквартирном доме, с количеством жителей около 150 человек составит $0,15 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($3,6 \text{ м}^3/\text{сут}$). Более точная производительность рассчитывается из фактического количества жителей дома.

Из недостатков нанофильтрации стоит отметить достаточно высокую первоначальную стоимость установки нанофильтрации, которая несколько выше, чем у традиционных систем умягчения.

Таким образом, на основании вышесказанного, а также учитывая физико-химический состав воды реки Старая Преголя, одноступенную, трёх или четырёх каскадную нанофильтрацию следует рассматривать как наиболее целесообразный, безопасный и простой для подготовки воды в ИТП многоквартирных жилых зданий Московского района, г. Калининграда.

Что касается режима работы установки умягчения воды, то её использование для дополнительной очистки в ИТП целесообразно только в холодный период времени, предположительно, с ноября по апрель. Анализ изменения качественных показателей воды в р. Старая Преголя, от которых зависит склонность воды к интенсивному осадкообразованию, показал, что именно в это время года в реке наблюдается увеличение общей жёсткости воды и содержания гидрокарбонатов, являющихся основой в процессе накипиобразования. В период, когда дополнительная обработка перед системой ГВС не требуется, установка нанофильтрации сожет быть законсервирована и введена в последующем при необходимости.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

По результатам выполненной научно-исследовательской работы по теме: «Исследование природы активного образования осадка при нагреве водопроводной воды в теплообменных аппаратах систем горячего водоснабжения г. Калининграда» были сделаны следующие выводы:

1. Выполненная оценка качества питьевой воды, получаемой после Южной водопроводной станции № 2, показала, что качество очищенной воды соответствует требованиям действующих санитарных норм. Анализ качества очищенной воды выполнялся в соответствии с «Рабочей программой производственного контроля качества питьевой воды ГП КО «ВОДОКАНАЛ», утверждённой Управлением Роспотребнадзора по Калининградской области, на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

2. Анализ изменения качества исходной и очищенной питьевой воды Южной водопроводной станции № 2 за многолетний период с 2015 по 2025 г.г. по данным по данным аккредитованных лабораторий ООО «КИЦ», ФГБУ «ЦЛАТИ по СЗФО» и ГП КО «ВОДОКАНАЛ» показал, что вода из р. Старая Преголя, являющаяся источником водоснабжения Московского района, относится к водам средней жёсткости (от 4,0 до 6,0 °Ж), изначально имеет повышенную щёлочность (от 3,5 до 4,5 мг-экв/дм³) и имеет положительный индекс Ланжелье (LSI) от +0,9 до +1,2, что делает её изначально склонной к осадкообразованию, в особенности при нагреве в системах ГВС.

3. На основании выполненного анализа гидрологических, антропогенных и техногенных условий формирования качества р. Преголя и её рукава р. Старая Преголя по информации, предоставленной ГП КО «ВОДОКАНАЛ» и данным государственной наблюдательной сети Калининградского ЦГМС - филиала ФГБУ «Северо-Западное УГМС» - гидрологического поста в г. Гвардейск, расположенного в г. Гвардейске Калининградской области за период с 2015 по 2025 год, было установлено, что за рассматриваемый период в бассейне р. Старая Преголя наблюдается снижение количества выпадающих атмосферных осадков, а также уменьшение среднего и верхнего уровней воды. При неотъемлемом естественном, ежегодном смыве солей с поверхности водосбора, возможной подпитке подземными источниками и размыве речных береговых и донных отложений во время половодья или паводка и одновременном уменьшении водности реки, характерным эффектом будет увеличение минерализации и входящих в неё ионов кальция и гидрокарбонатов. В результате математической обработки данных установлено, что даже несущественные колебания концентрации кальция и гидрокарбонатов в р. Старая Преголя влекут за собой изменения стабильности воды и влияют на интенсивность осадкообразования в системах холодного, и в особенности горячего водоснабжения. Колебания содержания ионов кальция или гидрокарбонатов в воде на 0,5 мг-экв/дм³ ведёт к увеличению или уменьшению LSI примерно на 0,12 единицы, а при их совместном изменении динамика может кратно увеличиваться. Изменение pH среды на 0,5 единицы ведёт к изменению LSI на 0,5 единицы.

4. Одной из причин увеличения интенсивности осадкообразования в системах ГВС Московского района, где источником водоснабжения служит река Старая Преголя, может являться сезонное колебание качественных показателей исходной воды, от которых зависит её стабильность. Основной причиной сезонного изменения качественного состава воды в реке Преголя, в

частности содержания ионов Ca^{2+} и HCO_3^- а также pH среды, является влияние природных факторов, в первую очередь климатических.

5. Экспериментально установлено, что на момент выполнения исследований существующее антропогенное воздействие на р. Старая Преголя в створе водозабора (от 500 метров ниже до 7800 м выше водозабора «Рыбное») не оказывает влияния на показатели качества воды, от которых зависит её стабильность. Колебание концентрации ионов кальция, магния и гидрокарбонатов в рассматриваемом створе реки лежит в пределах 4 – 6 %.

6. Оценка технологической схемы водоподготовки Южной водопроводной станции № 2 (ЮВС-2) показала, что применяемые методы очистки воды, в том числе и реагенты, не оказывают значимого влияния на стабильность воды и её способность к образованию осадка в системах горячего водоснабжения (ГВС) г. Калининграда. Применяемые на станции коагулянты относятся к категории средне- и высокоосновных реагентов, оказывающих наименьшее влияние на pH воды и её стабильность. Что касается обеззараживающих реагентов, то применяемый на станции электролизный гипохлорит натрия, приготавливаемый на месте потребления из пищевой соли, как на индекс стабильности, так и на физико-химический состав очищенной воды влияния не оказывает. Использование для обеззараживания воды привозного гипохлорита марки А, применяемого на ЮВС № 2 до строительства электролизной станции, может только усугубить ситуацию с осадкообразованием в системах ГВС Московского района, так как данный реагент имеет в своём составе сравнительно большую массу привносимой в воду щелочи (NaOH), что ведёт к увеличению pH и, как результат, к увеличению индекса Ланжелье и интенсивности осадкообразования.

7. Сравнительный анализ качества воды и её способности к осадкообразованию (или коррозионной активности) в точках перед подачей в распределительную сеть и в распределительной сети холодного

водоснабжения г. Калининграда в зоне влияния ЮВС-2 показал, что качество воды в распределительной сети г. Калининград не претерпевает изменений, а полученная разность результатов проб в различных точках отбора водопроводной сети укладывается в статистическую погрешность методов измерения концентрации примесей воды.

8. Анализ состава осадка, образующегося в системе ГВС г. Калининграда, в зоне действия ЮВС-2 показал, что преобладающим соединением в составе отложений системы горячего водоснабжения является карбонат кальция ($CaCO_3$). Его доля от общей массы варьируется от 75 до 85%. Вторым по значимости компонентом является сульфат кальция ($CaSO_4$). Его доля может составлять от 12,0 до 22,0 %. И наименьшая доля из основных компонентов, входящих в состав отложений, приходится на магниевые соединения, предположительно карбонат магния ($MgCO_3$).

9. Основной причиной образования отложений и осадков в системах ГВС Московского района является термическое разложение гидрокарбонатов, присутствующих в большом количестве (до 300 мг/дм³) как в исходной воде из реки Старая Преголя, так и в очищенной, подаваемой населению в системы холодного и горячего водоснабжения. Кроме термического разложения гидрокарбонатов одной из причин интенсивного осадкообразования в системах ГВС Московского района г. Калининград может служить минерализация воды и её катионно-анионный состав. Влияние минерализации зависит от природы минеральных примесей, при этом анионы оказывают более сильное влияние, чем катионы. Доля кальция в катионном составе составляет около 46 %, магния около 23 %. Остальная часть катионов приходится на натрий, калий и ряд других компонентов. Что касается анионов, то большую долю занимает гидрокарбонаты, около 60 %, и хлориды, около 28 %. Наименьшая доля приходится на сульфаты, доля которых составляет около 11 %. Таким образом вода изначально имеет катионно-анионный баланс, склонный к интенсивному осадкообразованию.

10. В результате исследований установлено, что исключить осадкообразование в системах горячего водоснабжения г. Калининграда в зоне действия ЮВС-2 полностью, практически невозможно в виду особенности физико-химического состава исходной воды из р. Старая Преголя. Однако, для нормализации работы систем ГВС возможно снижение интенсивности образования отложений и осадков за счёт изменения катионно-анионного баланса, достигаемого дополнительной реагентной обработкой воды в процессе её очистки на ЮВС № 2 и непосредственно в центральных или индивидуальных тепловых пунктах многоквартирных жилых домов.

11. Учитывая физико-химические показатели исходной воды, а также состав отложений в системе ГВС, из всех известных способов водоподготовки, наиболее целесообразным способом снижения интенсивности осадкообразования является подкисление воды и доведение pH до значений, при которых индекс Ланжелье (индекс стабильности воды) будет находиться в диапазоне от +0,2 до + 0,4 единиц. Целевое pH , в зависимости от состава исходной воды будет находиться в диапазоне от 7,2 до 7,6 единиц.

12. В результате исследований альтернативного метода водоподготовки – умягчения воды едко-натровым способом, способствующего снижению осадкообразования в системах ГВС, было установлено, что его применение в условиях работы ЮВС № 2, в виду высоких доз используемых реагентов экономически и технологически не целесообразно. Другие методы умягчения воды в исследованиях не рассматривались в виду того, что их внедрение в существующие условия водоподготовки ЮВС №2 будут сопровождаться значительно большими капитальными и эксплуатационными затратами.

13. Существующая технология водоподготовки ЮВС № 2, согласно проекту, не предусматривает стабилизационную обработку воды, в том числе подкисление. Реализация подобной технологии в условиях очистных сооружений ГП КО «ВОДОКАНАЛ» требует привлечения сторонних, профильных организаций для осуществления предпроектных и проектных

работ, позволяющих полноценно внедрить технологию стабилизационной обработки воды.

14. По результатам проведённых лабораторных исследований составлены рекомендации по стабилизационной обработке воды на водопроводных очистных сооружениях ЮВС-2 г. Калининград, с указанием рекомендуемой точки ввода реагентов, методом подбора оптимальных доз и автоматизации процесса дозирования реагентов. В качестве реагента для подкисления воды целесообразно применять соляную кислоту (HCl). При использовании коагулянта марки «ЭПОХА» рабочая доза соляной кислоты, позволяющая снизить индекс стабильности воды до требуемого значения, составляет от 16,0 до 20,0 мг/дм³ по активной части продукта. При использовании коагулянта марки «АКВА-АУРАТ-18» рабочая доза кислоты, позволяющая снизить индекс Ланжелье до требуемого значения, составляет от 8,0 до 14,0 мг/дм³ по активной части продукта. Фактическая рабочая доза соляной кислоты может быть уточнена во время проведения пусконаладочных работ. Проведённые исследования показали, что для достижения наибольшей эффективности стабилизационной обработки воды, введение соляной кислоты должно производиться после резервуаров чистой воды, перед насосной станцией второго подъёма. Введение кислоты в блок смесителей или после скорых фильтров может в значительной степени снизить эффективность стабилизационной обработки воды, из-за дегазации образующегося углекислого газа в процессе водоподготовки. Для достижения требуемого эффекта стабилизационной обработки при подкислении воды перед смесителем на ЮВС № 2 потребуются значительно большие дозы соляной кислоты.

15. В ходе исследований установлено, что проблема интенсивного осадкообразования характерна только для систем горячего водоснабжения. (колонки и легионелла). При транспортировке воды через трубопроводную сеть холодного водоснабжения Московского района нехарактерных (повышенных) признаков зарастания трубопроводов, образования осадка и

уменьшения сечения труб не установлено. Следовательно, проблема интенсивного осадкообразования в системах ГВС носит локальный характер в отдельных частях Московского района. Для снижения интенсивности образования в системах ГВС, в особенности в холодный период времени года, управляющим компаниям необходимо либо осуществлять локальную водоподготовку (стабилизационная обработка или умягчение), либо корректировать режим эксплуатации теплообменных аппаратов и увеличивать количество их промывок/прочисток.

16. В виду того, что питьевая вода после ЮВС №2 подаваемая потребителям Московского района соответствует всем требованиям СанПиН 1.2.3685-21, а её транспортировка по системе холодного водоснабжения не сопровождается проблемой осадкообразования и зарастания трубопроводов карбонатными отложениями, внедрение стабилизационной обработки воды на Южной водопроводной станции №2 носит только рекомендательный характер и в соответствии с СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» к обязательному применению не подлежит. В соответствии с СП 31.13330.2021 стабилизационную обработку воды или обработку её ингибиторами применяют в тех случаях, когда технико-экономические расчёты с учётом качества, расхода и назначения воды подтверждают целесообразность такой защиты трубопроводов.