

ОПТИМИЗАЦИЯ АКУСТО-МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ СИСТЕМ.DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.73.675](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.73.675)*Onishchenko Stefan, Avdzhyan Artem, Korzhakov Alexey**Adyghe State University,
Maykop, Russian Federation;***ABSTRACT**

Существует способ безреагентной обработки воды на основе воздействия акустических и переменных магнитных полей. Для этого используется акусто-магнитный аппарат, который позволяет значительно замедлять процесс образования твердых отложений внутри систем теплоснабжения. Наиболее остро возникает проблема накипеобразования в системах геотермального теплоснабжения, использующих воды с высоким содержанием солей. Для достижения наибольшей эффективности обработки, необходимо оптимизировать работу устройства. В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния совокупности нескольких факторов на эффективность обработки жидкости с помощью акусто-магнитного аппарата. Выдвигается предположение о возможности оптимизации акусто-магнитной обработки жидкости при определенных значениях определенных факторов. Для проведения экспериментального исследования было принято решение использовать физическую модель процесса с проведением на ней натурных экспериментов. Для ее создания был собран лабораторный стенд, позволяющий воссоздать процессы, происходящие в реальной системе геотермального теплоснабжения. Были проведены эксперименты по обработке воды, имеющей высокую степень минерализации и высокие коррозионные свойства, в результате которых, получены экспериментальные данные о количестве образовавшихся твердых отложений на поверхности металлической пластины, помещенной внутрь установки. Для проведения эксперимента были выбраны следующие варьируемые факторы: скорость протекающей обрабатываемой жидкости, величина подаваемого напряжения питания, температура обрабатываемой жидкости. Для проведения и обработки результатов экспериментов, применялись методы математического планирования экспериментов. На основе полученных данных было определено, при каких значениях совокупности выбранных факторов возможно добиться наибольшей эффективности обработки жидкости акусто-магнитным полем.

Key words: Акусто-магнитный аппарат (АМА), оптимизация обработки жидкости, методы планирования эксперимента.

Introduction

При выращивании агрокультур в холодное время года, необходимо обеспечивать необходимые для их роста температурные условия. Для этого используются различные системы теплоснабжения. При их длительном функционировании внутри системы начинает образовываться накипь и прочие твердые отложения. В результате происходит снижение теплоотдачи, что приводит к нарушению температурного режима в теплице. Отклонение от заданного температурного режима на несколько градусов может приводить к снижению урожайности растений, или вовсе к их гибели. Особенно остро становится эта проблема если используются системы геотермального теплоснабжения, так как в них происходит интенсивное отложение солей, способное привести к ухудшению работы системы или вовсе к выходу её из строя.

На сегодняшний день, существуют различные методы, позволяющие с различной эффективностью бороться с проблемой накипеобразования. Они могут быть разделены на две категории: реагентные и безреагентные. Большинство из них имеет различные недостатки: высокая стоимость, относительно малая эффективность, пагубное воздействие на окружающую среду, высокие энергетические затраты и другие.

Существуют различные устройства позволяющие проводить безреагентную обработку воды различными типами полей: магнитными, электрическими, акустическими [1]. Следует отметить, что работа этих устройства базируются лишь на одном из методов воздействия на обрабатываемую жидкость, что приводит к невысокой эффективности обработки. Наиболее распространенными являются различные аппараты магнитной обработки воды, которые потребляют достаточно большие мощности [2]. Более эффективно с этой задачей может справиться акусто-магнитный аппарат, осуществляющий одновременное воздействие двумя составляющими: акустическим и магнитным полями. Данный эффект достигается за счет подачи напряжения высокой частоты на обмотки устройства. Это приводит к возникновению колебаний в ферритовом кольце, что приводит к акустическому воздействию на обрабатываемую жидкость. Наиболее эффективна обработка при частоте подаваемого напряжения, равной резонансной частоте ферритовых колец. Резонансная частота колец зависит от самого феррита и его габаритов. Использование композиционного способа воздействия на обрабатываемую жидкость, позволяет добиться значительного замедления процесса отложения солей внутри систем теплоснабжения [3].

Materials and methods

Для проведения исследования выдвигается гипотеза о возможности оптимизации акусто-магнитной обработки жидкости путем подбора оптимальных параметров обработки для конкретного устройства. Существует ряд различных внутренних и внешних факторов, позволяющих оптимизировать работу устройства, и повысить эффективность обработки жидкости [4,5]. Повышение эффективности работы устройства различными способами обусловлено необходимостью снижения потребляемой мощности, для предотвращения перегрева устройства и его дальнейшего выхода из строя [5]. Для проверки выдвигаемой гипотезы необходимо решить следующие задачи:

- спроектировать лабораторный стенд, позволяющий производить варьирование необходимых параметров;
- составить план эксперимента;
- провести эксперименты и обработать полученные экспериментальные данные;
- определить значимость исследуемых факторов;
- по полученной математической модели определить оптимальные значения варьируемых факторов в диапазоне их варьирования.

Для проведения эксперимента используется геотермальная вода с высоким уровнем минерализации из месторождения Победа (минерализация 35 г/л, температура в устье скважины 63-76 градусов цельсия) [6]. Следует отметить, что количество содержащихся в воде солей может меняться со временем, поэтому проводились контрольные измерения специальным прибором. Для используемого нами Tds-метра диапазон измерения минерализации воды составляет: 0~9990 ppm (мг/л) [7]. Для определения истинной концентрации солей приходилось измерять показатели в разбавленной воде и вычислять значения исходя из пропорций разбавления. Полученные данные измерений близки к заявленным данным из открытых источников.

В качестве параметра оптимизации было решено использовать противонакипный эффект, который напрямую определяет эффективность обработки жидкости в теплоустановках. Его значение может быть определено следующим образом:

$$\theta = \frac{M_H - M_0}{M_H} \quad (1)$$

где M_H – масса твердых отложений на пластинке за время проведения эксперимента (без обработки жидкости),

M_0 – масса твердых отложений на пластинке за время проведения эксперимента (при обработке жидкости).

Для определения количества образовавшихся образований был выбран приведенный ниже метод. Металлические пластины помещают в стенд и проводят серию экспериментов с необработанной водой и обработанной водой с различными факторами. В результате каждого эксперимента количество соли, нанесенной на пластины, определяется с помощью высокоточной электронной шкалы. Затем, используя выражение (1), на основе полученных данных вычисляется показатель эффективности обработки. Существуют и другие методы определения противонакипного эффекта, но они требуют специального оборудования и применения различных химических реагентов [2,8].

На лабораторном стенде можно изучить влияние следующих управляемых факторов:

- X_1 – величина напряжения питания U (В);
- X_2 – скорости протекающей воды ($\frac{м}{с}$);
- X_3 – температуры обрабатываемой воды t ($^{\circ}C$);
- X_4 – интенсивности ультразвуковых колебаний I_y ($\frac{Вт}{м^2}$);
- X_5 – жесткость обрабатываемой воды;
- X_6 – форма подаваемого напряжения.

С учетом ранее опубликованных работ [3,4,9] было принято решение поддерживать на фиксированном уровне следующие факторы: X_4, X_5, X_6 . Варьируя три оставшихся фактора X_1, X_2, X_3 , можно проводить полный факторный эксперимент [9]. Зависимость количества проводимых экспериментов от числа управляемых факторов выражается как: $N = 2^p$, где N – число опытов, p – количество управляемых факторов.

Для проведения эксперимента необходимо составить план его проведения с определением интервалов варьирования. Основной уровень выбирается в соответствии с априорной информацией о протекающем процессе [10].

Перед проведением экспериментов необходимо провести кодирование значений. Кодирование элементов происходит по следующей формуле [11]:

$$X_j = \frac{x'_j - x'_{j0}}{\Delta_j}; \quad (2)$$

Где:

- X_j – кодированное значение фактора;
- x'_j – натуральное значение фактора;
- x'_{j0} – значение основного уровня;
- Δ_j – интервал варьирования

Далее проведено кодирование элементов, в соответствии с указанной формулой.

Таблица 1

Факторы и интервалы варьирования эксперимента

Уровни факторов	Кодированные обозначения	Факторы и их натуральные значения		
		X_1 (U), В	X_2 (v), м/с	X_3 (t), °С
Основной уровень	0	12	1	60
Интервал варьирования	1	2	0,5	10
Верхний уровень	+1	14	1,5	70
Нижний уровень	-1	10	0,5	50

Следует отметить, что опыты проводились на одном устройстве, в связи с чем величину подаваемого напряжения возможно было изменять лишь в малом диапазоне, во избежание поломки устройства. Чтобы варьировать величину напряжения на больший уровень, необходимо провести расчеты и спроектировать новое устройство, рассчитанное на большую нагрузку.

Основной задачей является рассмотрение возможности оптимизации путем выбора оптимальных параметров процесса обработки жидкости, для уже созданных устройств. В результате проведения экспериментов была использована следующая матрица планирования, и получены соответствующие результирующие признаки:

Таблица 2

Матрица планирования и результаты экспериментов

№ опыта	X_1	X_2	X_3	Y
1	+	+	+	0,9
2	+	+	–	0,891
3	+	–	+	0,905
4	+	–	–	0,89
5	–	+	+	0,86
6	–	+	–	0,85
7	–	–	+	0,89
8	–	–	–	0,87

В результате обработки результатов опытов использовался матричный подход к

регрессионному анализу, в результате чего удалось получить уравнение множественной регрессии:

$$Y = 0,7643 + 0,0103X_1 - 0,0186X_2 + 0,00031X_3 \quad (3)$$

Полученная модель нуждается в проверке её адекватности. Для этого необходимо использовать F–критерий (критерий Фишера). Для его определения необходимо вычислить множественный коэффициент детерминации

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 0.93 \quad (4)$$

Подставляя его значение в формулу для определения F–критерия имеем:

$$F = \frac{R^2(n-m)}{(1-R^2)(m-1)} = 31.24 \quad (5)$$

Уравнение множественной регрессии является значимым, если с уровнем значимости α если статистика удовлетворяет условию:

$$F > F_{1-\alpha; m-1; n-m}, \quad (6)$$

где $F_{1-\alpha; m-1; n-m}$ – квантиль распределения Фишера. Для рассматриваемого уравнения его значение равно 4.34. Следовательно можно сделать вывод о том, что исследуемая зависимость хорошо описывается факторами X_1, X_2 с заданной

точностью [12]. Проверим значимость коэффициентов регрессии. Значимость коэффициентов регрессии проверяется по критерию Стьюдента. Для этого определим дисперсию воспроизводимости по выражению:

$$S_{\text{уст}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{n-l} \quad (7)$$

Где, $Y - \hat{Y}$ – неувязка i -го измерения;
 n – число проводимых наблюдений (опытов);
 l – число рассматриваемых параметров.

Для выполнения условия значимости найдём среднее квадратическое отклонение коэффициентов уравнения регрессии b_i по формуле:

$$S_{b_j} = S_{\text{уст}} \sqrt{[(X^T X)^{-1}]_{j,j}} \quad (8)$$

Вычислим среднеквадратическое отклонение для коэффициентов b_i используя диагональные элементы $(X^T X)^{-1}_{i,i}$ обратной матрицы $(X^T X)^{-1}$. В качестве критерия проверки статистической гипотезы: $H_0: b_j = 0$ (коэффициент β_j незначим); $H_1: b_j \neq 0$ (коэффициент β_j значим) примем

случайную величину:

$$T_{\beta_j} = \frac{b_j}{s_{b_j}} \quad (9)$$

Где, b_i – коэффициенты уравнения регрессии;
 s_{b_j} – среднее квадратическое отклонение коэффициентов уравнения регрессии.

В результате проверки значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента коэффициент уравнения (6) – b_3 , не является значимым на этих интервалах вариации и воспроизводимости ошибок. Это означает, что уравнение регрессии можно переписать как (10):

$$y = 0,7643 + 0,0103X_1 - 0,0187X_2 \quad (10)$$

Из этого следует, что наибольшее влияние на процесс обработки жидкости оказывают величины X_1 и X_2 , при этом увеличение фактора X_1 приводит к увеличению значения результирующего признака, а увеличение значения X_2 приводит к его уменьшению. Так как полученное уравнение регрессии (10) является адекватным, а по результатам опытов видно, что область оптимума достаточно близка, поэтому целесообразно осуществить движение по градиенту для определения оптимальных параметров.

Таблица 3

Выбор составляющих градиента и их шага

b_i	0.0103	-0.0187
$b_i I_i$	0.0206	-0.0094
Увеличенный шаг градиента	0.4120	-0.1870
№ опыта	X_1	X_2
9	12.41	0.81
10	12.82	0.62
11	13.24	0.48
12	13.65	0.3

В связи с адекватностью модели было принято решение о проведении мысленных экспериментов. Шаг градиента был увеличен в 20 раз для более быстрого продвижения. Его увеличение не приводит к ошибкам, так как умножение его составляющих на любое положительное число, также дает точки, лежащие на градиенте [9]. Их значение конечно может отличаться от значений полученных экспериментально, но это не требует проведения дополнительной серии опытов. По их результатам удалось определить оптимальные значения факторов X_1 , X_2 и значение итогового результирующего признака Y для рассматриваемых интервалов варьирования:

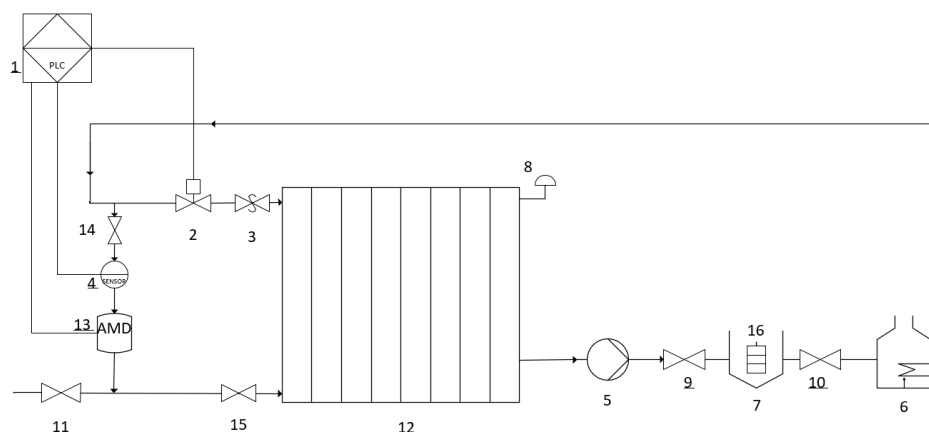
$$X_1 = 13.65 \text{ (В)},$$

$$X_2 = 0.48 \text{ (м/с)},$$

$$Y = 0.901$$

Results and discussion

Для выполнения поставленной задачи, требуется проведение экспериментов с использованием реальной физической модели. С этой целью был собран стенд, позволяющий варьировать значения выбранных факторов и поддерживать их уровень в ходе эксперимента. Далее приведена принципиальная схема стенда:



1 — ПЛК SIEMENS, 2 — электрический шаровой кран, 3 — кран Маевского, 4 — датчик скорости потока жидкости, 5 — циркуляционный насос, 6 — нагревательный элемент, 7 — отстойник, 8 — отверстие для заполнения, 9, 10, 14, 15 — вентили, 11 — слив, 12 — радиатор, 13 — акусто-магнитный аппарат, 16 — металлическая пластина

Рисунок 1 — Принципиальная схема стенда.

Для регулирования скорости потока жидкости используется программируемый логический контроллер и соответствующая программа.

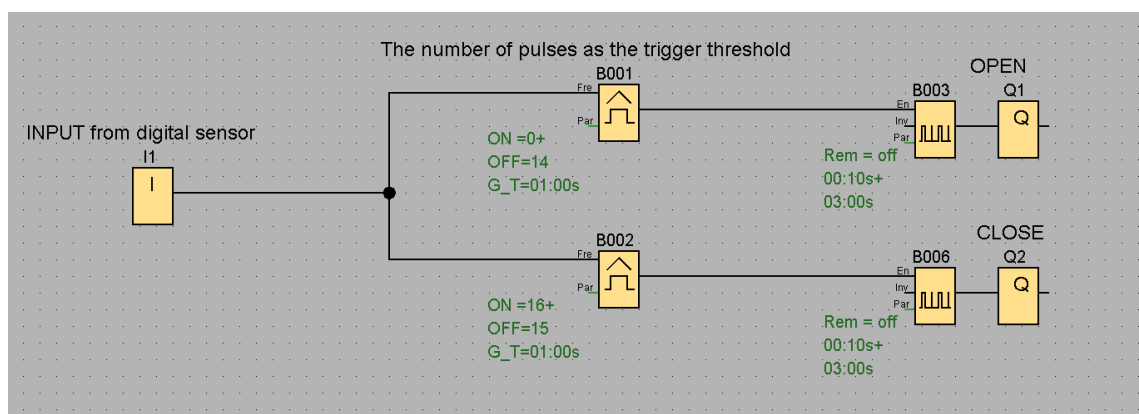


Рисунок 2 — Программа для регулирования скорости потока жидкости

Поддержание уровня необходимой скорости происходит на основе показаний с датчика скорости потока жидкости. Существует выражение для датчика, связывающее число импульсов, поступающих с него, с объемом протекающей жидкости за одну минуту [13].

$$F = (Q * 5) \pm 3\% \quad (11)$$

F — число импульсов за единицу времени;

Q — скорость потока жидкости (л/мин).

Для удобства необходимо преобразовать исходное значение протекающего объема в скорость протекания жидкости. Для это воспользуемся формулой объемного расхода вещества [14]:

$$Q = \frac{V}{t} = vS; v = \frac{Q}{S}, S = \pi R^2 \quad (12)$$

Полученное выражение позволяет получить скорость протекания жидкости в метрах в секунду.

Поддержание уровня температуры достигается использованием нагревательного элемента.

По исследованиям, проведенным согласно плану эксперимента была получена математическая модель, описывающая процесс акусто-магнитной обработки жидкости (10). Данная модель была проверена на адекватность, были определены значимые факторы. Реализовано движение по градиенту, в результате чего были определены оптимальные значения варьируемых факторов. Данные исследования проводились для одного акусто-магнитного аппарата из серии устройств, установленных в системе теплоснабжения тепличного комплекса ЗАО Радуга. В дальнейшем планируется с помощью критериев подобия вычислить по полученной модели оптимальные значения факторов и для остальных устройств? установленных на производстве. После этого, возможно проведение производственного эксперимента для определения процента повышения эффективности акусто-магнитной обработки жидкости в

производственных условиях за счет соблюдения оптимальных условий.

Conclusions

В результате проведенных опытов было выяснено, что влияние оказывают лишь два из трех варьируемых факторов, а именно напряжение питания и скорость протекания обрабатываемой жидкости. Третий фактор, оказывал незначительное влияние на процесс обработки для рассмотренных интервалов варьирования. По результатам обработки экспериментальных данных удалось получить адекватную модель процесса, благодаря которой были вычислены оптимальные параметры процесса: $X_1=13.65$ (В), $X_2=0.48$ (м/с), $Y=0.901$

Благодаря поддержанию этих параметров на необходимом уровне для данного устройства возможно будет обеспечить качественную обработку жидкости в тепловых системах и получить наибольшую эффективность в борьбе с образованием твердых отложений. Однако данные значения параметров актуальны лишь для данного и схожих с ним классов устройств, а для устройств других модификаций будет необходим перерасчет параметров.

References

- [1] Невердов А.В. Защита теплофикационного оборудования от накипи путем обработки воды физическими полями/ Невердов А.В., Ушаков Г.В., Трясунов Б.Г., Солодов Г.А // Вестн. Кузбас. ГТУ. – 2003. – N 1(32). – С.73-76.
- [2] Антонов С. Н. Аппараты магнитной обработки воды // Антонов С. Н., Адошев А. И., Шарипов И. К., Шемякин В.Н. / – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного университета, 2014. – 220 с.
- [3] Korzhakov A.V. The identification of the most effective form of the pulse voltage supply of electric windings of the acoustic magnetic device / Korzhakov A.V., Oskin S.V// Engineering for rural development -:materials of the XVIII international research and practical conference, 2018 – 2141 p.
- [4] Korzhakov A.V. Investigation of the influence of the pulse voltage form on the change of the voltage gradient of the magnetic field in the working zone of the acoustic and magnetic device model / Korzhakov A.V., Korzhakov V.E., Sokolov M.S. //European Science and Technology – :materials of the XVII international research and practical conference, 2017 – 244 p.
- [5] Korzhakov V.E. Method of power optimization in geothermal heating system by solving interrelated problems of acoustic and magnetic device model / Korzhakov V.E., Korzhakov A.V., Korzhakova S.A.,// Engineering for rural development – :materials of the XVIII international research and practical conference, 2019-1964 p.
- [6] https://znaytovar.ru/gost/2/VSN_5687_Geotermalnoe_teploxla.html
- [7] <https://moemgorod.com/product/tds3-meter/>
- [8] Коржаков В.Е. Реализация метода оптимизации процесса предварительной акусто-магнитной обработки технической воды теплоагрегатов / Коржаков В.Е., Коржаков А.В.// Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. 2005. Вып. 1 (211). С. 12–19. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
- [9] Адлер Ю.П./Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий // Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.// – М.: Наука, 1971.
- [10] Финаев В.И., Егоров А.В. Практическое применение методов математического планирования экспериментов.// – Таганрог: ТРТИ, 1993.
- [11] Venikov V.A. Theory of similarity and modeling (in relation to the tasks of the electric power industry): a manual for higher schools. 2nd ed., ext. and rev.// – М.: Vysshaya shkola, 1976. 479 p.
- [12] Дубров А.М. Многомерные статистические методы /. Дубров А.М, Мхитарян В.С., Трошин Л.И.// – М.: Финансы и статистика, 1998.
- [13] https://www.alibaba.com/product-detail/Water-flow-sensor-Sea-YF-S201_60770221520.html
- [14] <https://infofaq.ru/massovaya-skorost-obemnogo-potoka.html>