



УДК 536.423+532.528

Академик НАН Украины А. А. Долинский, Ю. А. Шурчкова

## Вода в условиях обработки путем дискретно-импульсного ввода энергии

*Исследованы свойства воды при обработке по термовакуумной технологии: физические и теплофизические параметры, химические преобразования в примесях, изменение водородного показателя в диапазоне температур от 4 до 100 °С при десятикратном перепаде давлений и перегревах до 50 °С. Установлено изменение электропроводности, удельной теплоты парообразования, кинематической вязкости, химического состава и структуры примесей, величины водородного показателя (рН). Показатель (рН) изменялся в пределах от 6,8–7 до 9–9,2 и сохранялся без изменений до двух лет. Для объяснения полученных результатов выдвинута гипотеза на основе поляризационной модели структуры воды.*

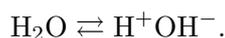
Дискретно-импульсный ввод энергии (ДИВЭ) в гетерогенные среды определяет пути прямого преобразования непрерывно вводимой в аппарат энергии в кратковременные импульсы высокой мощности, дискретно распределенные в рабочем объеме [1].

Термовакуумная технология обработки жидкостей разработана в Институте технической теплофизики НАН Украины. Она построена на механизмах ДИВЭ, в ней используются процессы адиабатного вскипания и кавитации при резких перепадах давления в сочетании с нагревом и охлаждением потока жидкости [2, 3].

Вода в данной работе рассматривается как субстанция, существующая в природе со свойственными ей примесями и включениями.

Термовакуумная технология при обработке жидкостей позволяет получать ряд новых эффектов. Так, при обработке воды получены существенные изменения состава и структуры примесей, а также аномально высокие значения водородного показателя (рН).

Водородный показатель определяется наличием в воде противоположно заряженных ионов  $H^+$  и  $OH^-$ , так как вода способна диссоциировать [4]



В равновесном состоянии при равенстве концентраций ионов  $H^+$  и  $OH^-$  вода обладает нейтральной реакцией. При нарушении равновесия при избыточной концентрации ионов

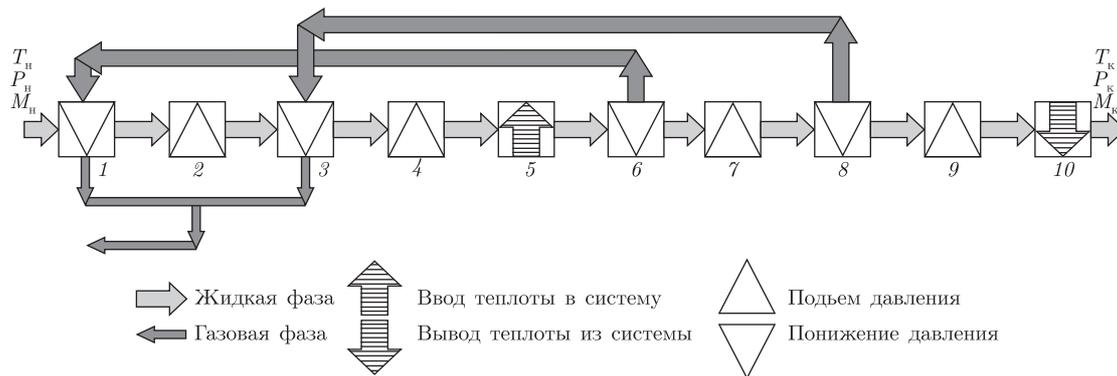


Рис. 1. Термовакuumная технология обработки жидкостей: 1, 3 — конденсация; 2, 4, 7, 9 — повышение давления; 5 — ввод теплоты в систему; 6, 8 — испарение; 10 — отвод теплоты из системы

$H^+$  она имеет кислую реакцию, при избыточной концентрации ионов  $OH^-$  — щелочную. Причиной нарушения равновесия могут быть либо химические взаимодействия с примесями воды, либо физические воздействия на структуру воды. Химические взаимодействия определяются присутствием в воде примесей, способных соединяться с ионами  $H^+$  и  $OH^-$ . Внешние воздействия на воду в виде различного рода полей, замораживания с последующим размораживанием и т. д. также способствуют изменению водородного показателя. Наиболее существенные его изменения наблюдаются при жесткой акустической кавитации, когда происходит разрушение молекулы воды с разрывом ковалентных связей и образованием новых соединений:  $H^*$ ,  $OH^*$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $O$ ,  $H_2$ ,  $H_2O_2$  в момент схлопывания кавитационных пузырьков при возникновении закритических режимов с высокими значениями температуры и давления. До конца этот механизм не изучен, но существует достаточно большое количество экспериментальных данных, подтверждающих это явление [5–11]. В [11] приводятся экспериментальные данные обработки воды жесткой акустической кавитацией, в результате которой показатель pH возрастал до значений 8–8,1 и сохранялся от нескольких секунд до нескольких часов.

Принципиально новым результатом в наших экспериментах является то, что при обработке по термовакuumной технологии показатель pH сохраняется более двух лет. Это говорит о том, что в воде постоянно поддерживается избыточная концентрация ионов  $OH^-$  и отсутствуют свободные ионы  $H^+$ .

Водородный показатель может определять течение многих химических, технологических и биологических процессов, поэтому изучение этого явления представляет как научный, так и практический интерес.

**Описание термовакuumной технологии обработки жидкостей.** Термовакuumная технология представляет собой ряд последовательных взаимосвязанных процессов в потоке жидкости: диспергирование, конденсация, нагрев, охлаждение, кипение, испарение, насосное перекачивание с возможными эффектами кавитации (см. рис. 1).

В технологии применяется процесс адиабатного вскипания, когда предварительно аккумулярованная в жидкости внутренняя энергия реализуется при истечении потока перегретой жидкости через диафрагму или насадок в виде растущих с высокой скоростью паровых пузырьков, которые на коротком отрезке пути трансформируют жидкостный поток в парожидкостный с образованием пузырьковой, а затем пленочной структуры. Тонкие пленки на выходе из насадка разрушаются с образованием мелких капель размером в несколько мкм

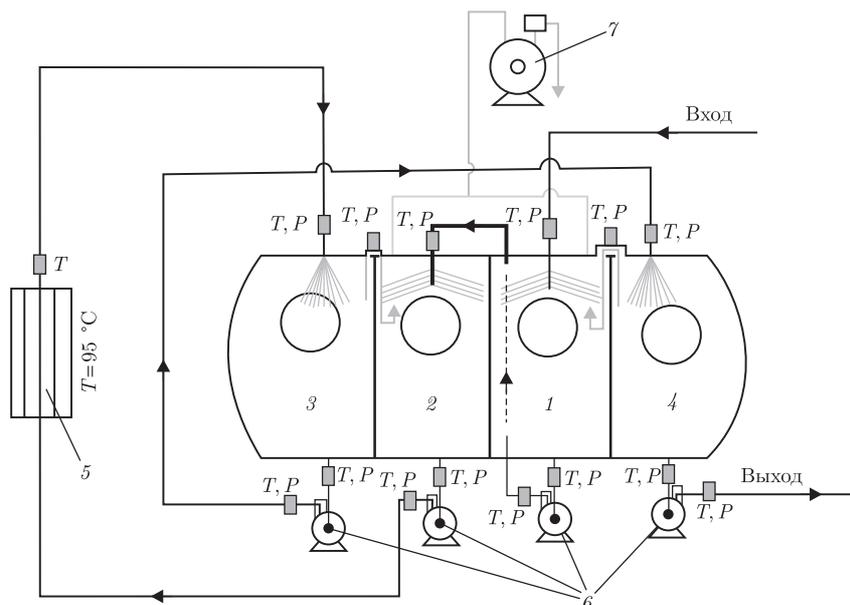


Рис. 2. Принципиальная схема аппарата для обработки жидкости: 1–4 — вакуумные камеры; 5 — теплообменник для нагрева жидкости; 6 — центробежные насосы; 7 — вакуумный насос;  $T, P$  — датчики для измерения температуры и давления, соответственно

и нм. В процессе роста пузырьков происходит непрерывное обновление поверхности раздела фаз. Эти динамические процессы протекают во временном масштабе наносекунд. В межпузырьковом пространстве возникает сложная гидродинамическая обстановка с образованием макро- и микровихрей, высокой турбулизацией жидкости и высокими сдвиговыми напряжениями. С поверхности образовавшихся мелких капель идет процесс испарения со скоростью, близкой к скорости испарения в вакууме, и также с обновлением поверхности раздела фаз. Образовавшийся пар подается в область диспергированной охлажденной жидкости, где он конденсируется на поверхности капель и пленок.

**Описание экспериментальной базы.** Эксперименты проводились на технологической линии с использованием специально разработанного аппарата, в котором реализуется термовакуумная технология. Принципиальная схема аппарата представлена на рис. 2.

Охлажденная вода в диспергированном состоянии непрерывно подается последовательно в 1-ю и 2-ю камеры аппарата, где поддерживается заданное разрежение. Затем вода подается в теплообменник для подогрева до заданной температуры и поступает последовательно в 3-ю и 4-ю камеры, где также поддерживается разрежение, после чего поступает в теплообменник для охлаждения. Датчики температуры и давления были установлены в точках, указанных на рис. 2.

Исследования проводились в диапазоне температур от 4 до 100 °С при десятикратном перепаде давлений от 1 до 0,1 ат; перегрев воды относительно температуры насыщения достигал 50 °С.

В экспериментах использовалась вода из скважин различных регионов.

Исследовали изменение физических и теплофизических параметров воды; химические преобразования в примесях воды, их структуру и фракционный состав; изменение водородного показателя (рН) в зависимости от величины перегрева воды в потоке, по этапам обработки и от времени хранения.

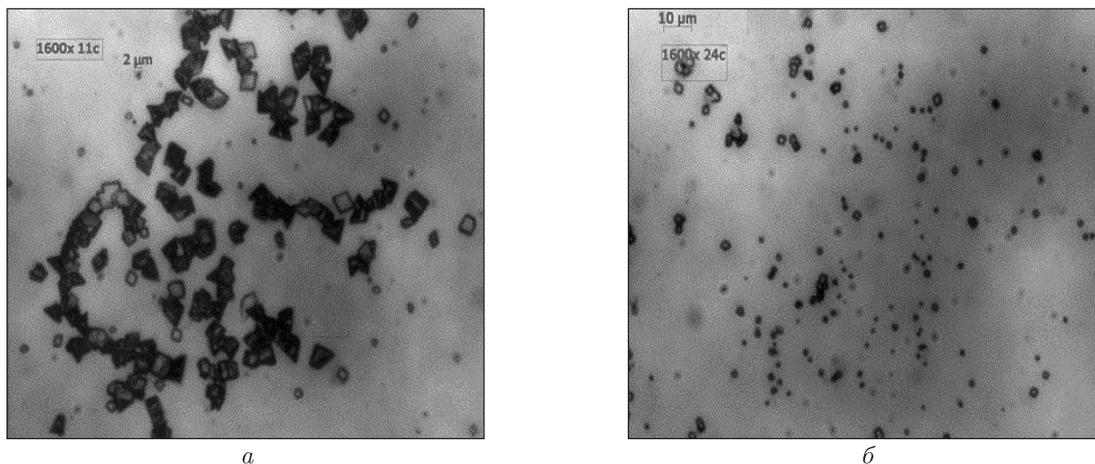


Рис. 3. Изменение микроструктуры сухого остатка (увеличение  $\times 1600$ ): *a* — вода исходная; *б* — вода обработанная

**Результаты экспериментов.** В результате исследований установлено следующее.

1. При обработке воды по термовакuumной технологии изменяется ряд физических и теплофизических параметров: электропроводность, гальванический ток, удельная теплота парообразования, кинематическая вязкость, неизменным остается окислительно-восстановительный потенциал (табл. 1). Анализы проводились совместно с Институтом физики НАН Украины.

2. Изменяется химический состав примесей исходной воды. Анализы проводились по 17 параметрам, согласно действующим Государственным нормативам в сертифицированной лаборатории Украинского научно-исследовательского института спирта и биотехнологий продовольственных продуктов. Результаты приведены в табл. 1.

Как видно, уменьшаются общая жесткость, общая щелочность, массовая концентрация гидрокарбонатов. Изменяется микроструктура и фракционный состав примесей, которые определялись по сухому остатку: повышается дисперсность и структура (см. рис. 3).

3. Наиболее существенно изменяется величина водородного показателя (рН). В экспериментах она достигала значений 9–9,2 при исходном значении 6,8–7.

Было установлено, что рН изменяется по этапам обработки. На первом–втором этапах в камерах аппарата 1–2 (см. рис. 2) наблюдается некоторое повышение показателя. При нагревании в теплообменнике после камер 1, 2 рН незначительно снижается. Основное

Таблица 1. Изменение физико-химических показателей воды при обработке по термовакuumной технологии

| Параметры   | Вода исходная           | Вода, обработанная при 80 °С |
|---|-------------------------|------------------------------|
| Электропроводность, мкС                                   | 501                     | 428                          |
| Окислительно-восстановительный потенциал, мВ              | +221                    | +221                         |
| Гальванический ток, с. е.                                 | 125                     | 115                          |
| Удельная теплота испарения, Дж/кг                         | 2187,22                 | 2265,86                      |
| Вязкость кинематическая, м <sup>2</sup> /с                | $1,01543 \cdot 10^{-6}$ | $1,01080 \cdot 10^{-6}$      |
| Общая жесткость, ммоль/дм <sup>3</sup>                    | 4,4                     | 2,85                         |
| Общая щелочность, ммоль/дм <sup>3</sup>                   | 5,4                     | 3,92                         |
| Массовая концентрация гидрокарбонатов, мг/дм <sup>3</sup> | 351                     | 300                          |
| Водородный показатель, рН                                 | 7,6                     | 8,9                          |

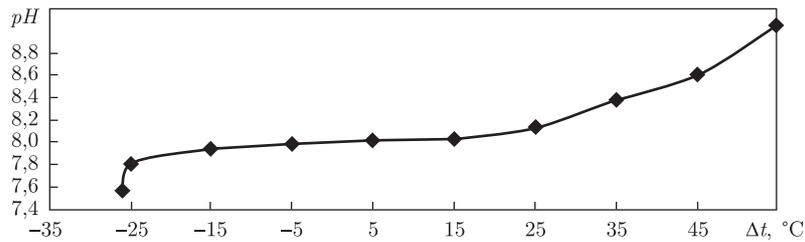


Рис. 4. Изменение водородного показателя в зависимости от перегрева воды

повышение рН наблюдается после камер вскипания 3, 4. Степень повышения зависит от уровня перегрева потока воды на входе в камеру 3 (см. рис. 2).

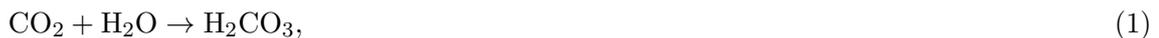
На рис. 4 показаны результаты экспериментов по определению зависимости величины рН от перегрева воды на входе в зону адиабатного вскипания — в камеру 3. При недогреве воды до температуры насыщения и при перегревах до 10–15 °С величина рН не изменяется и остается постоянной. С увеличением перегрева, по мере развития процесса адиабатного вскипания, начинается рост величины рН. Максимального значения в данной серии экспериментов она достигала 9,2 при перегреве 55 °С.

Были проведены длительные исследования изменения величины рН в процессе хранения. Герметично закрытые колбы с обработанной водой хранились при температуре 18–22 °С более двух лет. В течение этого времени величина рН практически не изменялась.

**Анализ результатов экспериментов.** В природе не существует абсолютно чистой воды. В ней всегда присутствуют примеси в виде газов, органических и неорганических соединений, которые определяют ряд ее свойств и течение многих реакций.

При обработке воды по термовакуумной технологии на первых двух этапах в результате вакуумирования и частичного подогрева удаляется значительная (до 50%) часть газовой составляющей примесей.

Наибольшей растворимостью в воде обладает углекислый газ, который образует с ней угольную кислоту [4]



которая диссоциирует



В результате в воде создается повышенная концентрация ионов  $\text{H}^+$ . При удалении из воды углекислого газа реакции (1)–(3) сдвигаются влево с уменьшением концентрации свободных ионов  $\text{H}^+$ . При этом уменьшаются массовая концентрация гидрокарбонатов, общая жесткость и общая щелочность и, как следствие, повышается значение рН.

Мы проанализировали и экспериментально проверили вклад  $\text{CO}_2$  в изменение рН при обработке воды по термовакуумной технологии. Полное удаление  $\text{CO}_2$  в сочетании с вакуумированием и нагревом приводит к изменению рН на 5–7% от конечного результата.

Повышение рН на 3, 4 этапах обработки определяется условиями протекания адиабатного вскипания: резкое падение давления определяет резкий фазовый переход с образованием

тонких пленок и мелких капель, с поверхности которых идет интенсивное испарение. Эти процессы приводят к аномально высокому и стойкому повышению показателя рН. Сравнение этой величины при различных способах обработки показывает, что при термовакuumной технологии она значительно выше, чем в результате удаления  $\text{CO}_2$  и при жесткой кавитации.

Для объяснения полученных результатов выдвинута гипотеза на основе поляризационной модели структуры воды [12–14]. Известно, что молекула воды представляет собой диполь, содержащий положительный и отрицательный заряды на полюсах, что определяет ее способность к межмолекулярным взаимодействиям за счет водородных связей. Каждая молекула воды может образовывать водородную связь с четырьмя соседними молекулами, образуя ажурный сетчатый каркас. При определенных условиях в системе водородных связей могут возникать различного рода дефекты, в том числе возможно образование комплекса  $\text{H}_5\text{O}_2^+$ , который состоит из двух молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , связанных прочной короткой водородной связью. В результате образования таких комплексов освобождается ион  $\text{OH}^-$ . В [15] описываются условия, необходимые для возникновения таких комплексов: низкие давления, нахождение воды в тонких пленках и наноразмерных объемах, резкие фазовые переходы. Сравнение условий, вызывающих дефекты в структуре воды, с условиями течения процессов в термовакuumной технологии показывает, что они во многом совпадают: низкие давления, резкие фазовые переходы, наноразмерные капли, тонкие пленки, интенсивная турбулизация и высокие сдвиговые напряжения в межпузырьковом пространстве при адиабатном вскипании. На основании этого можно утверждать, что причиной избыточной концентрации ионов  $\text{OH}^-$  в воде после обработки по термовакuumной технологии является образование комплексов  $\text{H}_5\text{O}_2^+$ .

Таким образом, в данной работе приведены результаты исследований изменений свойств воды при обработке по термовакuumной технологии и гипотеза, объясняющая причину изменения водородного показателя.

Водородный показатель определяет течение многих химических, технологических и биологических процессов. В практической деятельности изменение рН достигается чаще всего путем ввода химических реагентов, что не всегда благоприятно сказывается на конечном результате. Представляемая технология позволяет получать воду с заданным рН без введения каких-либо добавок. Это может быть использовано во многих отраслях деятельности человека. Например, в бальнеологии, в частности, в гастроэнтерологии, когда длительное применение минеральной воды с высоким рН может привести к нежелательной минерализации организма, использование воды, обработанной по термовакuumной технологии, которая может иметь как угодно низкую минерализацию, не будет иметь нежелательных побочных эффектов. В пищевой, фармацевтической, микробиологической и медицинской промышленности она может быть использована в целом ряде технологических процессов. В энергетике может быть использована для нейтрализации кислых вод, в частности, продуктов сгорания природного газа.

Можно уверенно сказать, что представляемая технология имеет широкую перспективу применения в реальных технологиях.

Что касается научного аспекта работы, полученные экспериментальные данные расширяют представления о возможности изменения свойств воды за счет изменения ее структуры, возможно, подтверждает экспериментально ряд положений поляризационной модели структуры воды.

1. Долінський А. А., Іваницький Г. К. Тепломасообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных системах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии. Проект "Наукова книга". – Киев: Наук. думка, 2008. – 381 с.
2. Шурчкова Ю. А. Адиабатное вскипание. Практическое использование. – Киев: Наук. думка, 1999. – 225 с.
3. Долінський А. А., Басок Б. И., Гулый С. И. и др. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. – Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 1966. – 204 с.
4. Глинка Н. Л. Общая химия. – Москва: Гос. научно-техн. изд-во хим. лит-ры, 2003. – 728 с.
5. Промтов М. А. Экспериментальное исследование импульсной акустической кавитации в аппарате типа гидродинамической сирены // Акустич. журн. – 1977. – 43. – № 4. – С. 566–569.
6. Полоцкий И. Г. Химическое действие кавитации // Журн. общей химии. – 1947. – 17, вып. 6. – С. 1048–1054.
7. Маляренко В. В., Гончарук В. В. Свободные радикалы, образующиеся при озонировании воды // Химия и технология воды. – 2002. – 24. – С. 3–21.
8. Исследование по развитой кавитации: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1976. – 144 с.
9. Федоткин И. М. Физические явления и эффекты в жидких средах, предсказание механизма их влияния на технологические процессы, применение в технике // Химич. машиностроение. – 1985. – Вып. 41. – С. 10–16.
10. Флинн Г. Физика акустической кавитации в жидкостях / Под ред. У. Мезона // Физич. акустика. – 1967. – Т. 1. Ч. Б. – С. 7–138.
11. Вітенько Т. М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних хімічних і біологічних процесах. – Тернопіль: Вид-во Терноп. держ. техн. ун-ту ім. І. Пулюя, 2009. – 224 с.
12. Антонченко В. Я., Давыдов А. С., Ильин В. В. Основы физики воды. – Киев: Наук. думка, 1991. – 668 с.
13. Бродский А. И. Роль водородных связей в процессах переноса протона // Водородная связь. – 1964. – № 10. – С. 115–125.
14. Зацепина Г. Н. Физические свойства и структура воды. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 184 с.
15. Антонченко В. Я., Ильин В. В., Маковский Н. Н., Полесья С. А. Молекулярно-статические характеристики тонких пленок воды при учете поляризуемости молекул // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1985. – № 8. – С. 41–44.

*Институт технической теплофизики  
НАН Украины, Киев*

*Поступило в редакцию 27.02.2013*

Академік НАН України А. А. Долінський, Ю. О. Шурчкова

## **Вода в умовах обробки шляхом дискретно-імпульсного введення енергії**

*Досліджено властивості води при обробці за термовакуумною технологією: фізичні та теплофізичні параметри, хімічні перетворення в домішках, зміна водневого показника в діапазоні температур від 4 до 100 °С при десятикратному перепаді тисків і перегрівих до 50 °С. Встановлено зміну електропровідності, питомої теплоти пароутворення, кінематичної в'язкості, хімічного складу та структури домішок, величини водневого показника рН. Показник рН змінювався в межах від 6,8–7 до 9–9,2 і зберігався без змін до двох років. Для пояснення отриманих результатів висунуто гіпотезу на основі поляризаційної моделі структури води.*

Academician of the NAS of Ukraine **A. A. Dolinskiy, J. A. Shurchkova**

### **Water under the treatment by a discrete-pulse introduction of power**

*Properties of water under the treatment by the thermal vacuum technology are investigated: physical and thermophysical parameters, chemical transformations in impurities, and change of a hydrogen indicator in a range of temperatures from 4 to 100 °C at the tenfold difference of pressures and overheats to 50 °C. The changes in electric conductivity, galvanic current, specific heat of steam formation, kinematic viscosity, and change of a hydrogen indicator (pH) are established. The pH values increased from 6.8...7 to 9...9.2 and remained without changes till 2 years. To explain the results, the hypothesis based on the polarization model of the structure of water is proposed.*