

УДК 621.646.973

Поступила в редакцию 22.02.2018
Received 22.02.2018**З.В. Ловкис, С.И. Корзан***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ЛОПАСТИ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС РОТОРНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Аннотация: Разработка и внедрение в пищевую промышленность современных высокопроизводительных и эффективных устройств для обеззараживания жидкостей, в частности воды питьевой, является актуальным направлением научных исследований. В настоящее время во всем мире ведутся активные исследования по изучению свойств гидродинамических нагревателей и применению их в различных сферах деятельности. В статье описаны теоретические исследования движения жидкости в гидродинамическом нагревателе, используемого для подготовки и улучшения качества питьевой воды. Установлено: принцип действия устройства основано на преобразовании механической энергии, подведенной к ротору, в энергию вихревого движения жидкости. Основная диссипация энергии в устройстве происходит в области бокового зазора, а тепловыделение в нем можно увеличить за счет увеличения окружной скорости лопастей ротора и расхода жидкости в рабочей полости.

Ключевые слова: вода, пастеризация, нагрев, роторный нагреватель, канал, ширина лопасти, мощность, масса ротора

Z.V. Lovkis, S.I. Korzan*RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus*

THE LOAD WIDTH INFLUENCE ON THE WORKING PROCESS OF A ROTARY HEATER

Abstract: The development and introduction to the food industry of modern high-performing and efficient devices for the disinfection of liquids, in particular drinking water, is an actual line of scientific research. At present, active research is being carried out all over the world on the properties of hydrodynamic heaters and their application in various fields of activity. The paper describes theoretical studies of fluid motion in a hydrodynamic heater used to prepare and improve the quality of drinking water. It is established that the principle of operation of the device is based on the conversion of the mechanical energy supplied to the rotor into the energy of the vortex motion of the liquid. The basic dissipation of energy in the device occurs in the region of the side gap, and the heat release in it can be increased by increasing the circumferential speed of the rotor blades and the flow of liquid in the working cavity.

Keywords: water, pasteurization, heating, rotary heater, channel, blade width, power, rotor mass

Введение. Вода является одним из основных продуктов питания взрослых и детей, основным материалом клеток живого организма и участвует во многих биологических процессах. От качества воды зависит здоровье каждого человека. Проявление различных инфекционных заболеваний связано с качеством питьевой воды. Предъявляемые требования к воде, потребляемой человеком, характеризуются жесткими параметрами [1]. Для исключения причин, вызывающие инфекционные заболевания, производят обеззараживание воды — уничтожение бактерий, вирусов, спор [2].

Начало исследований по обеззараживанию жидкостей путем нагрева положено основателем пастеризации Луи Пастером более 100 лет назад. Один из способов обеззараживания является пастеризация — процесс однократного нагрева жидких продуктов или веществ до 60 °С в течение 60 мин или нагрева до температуры 70–80 °С в течение 30 мин [3, 4]. Для осуществления данного процесса, применяют пастеризаторы, которые подразделяются по способу воздействия на продукт: косвенного и прямого теплового воздействия. В аппаратах косвенного теплового воздействия нагрев продукта производится промежуточным теплоносителем. Аппараты прямого воздействия на продукт осуществляют нагрев его без промежуточного теплоносителя. Среди этой группы пастеризаторов особый интерес представляют гидродинамические нагреватели [5, 6].

В настоящее время существует ряд конструкций, в которых используется метод гидродинамического нагрева жидкости. Их условно можно разделить на три основных типа:

- ♦ устройства, в которых нагрев происходит только за счет жидкостного трения при ее относительном движении в узком зазоре между поверхностями;
- ♦ устройства, в которых нагрев происходит за счет гидродинамической кавитации;
- ♦ устройства, в которых нагрев происходит за счет трения так и за счет интенсивной турбуликации [7–9].

Одним из основных преимуществ гидродинамического нагревателя по сравнению с другими нагревательными установками является то, что в нем не образуется накипь.

Процессы, протекающие в рабочей полости гидродинамического нагревателя подобны процессам, протекающим в гидромуфтах в режиме стопроцентного торможения вторичного вала и в гидротормозах, поэтому для анализа работы нагревателя можно применить методики расчета гидродинамических передач, с соответствующими поправками на особенности рабочего процесса и форму рабочей полости [10].

Цель данных исследований проведение анализа влияния ширины лопастей на поверхности ротора на рабочий процесс роторного нагревателя.

Основная часть. Для анализа влияния ширины лопастей на рабочий процесс роторного нагревателя, рассмотрим характеристики экспериментальной гидромуфты при различной ширине рабочей части лопасти по данным Б.А. Гавриленко [11], которые приведены на рис. 1.

Как видно из кривых (рис. 1) с увеличением ширины лопасти, передаваемый муфтой момент увеличивается, это связано с увеличением циркуляции (расхода). При работе устройства на стоповом режиме, можно наблюдать, что не всегда на этом режиме момент максимальный. При достаточно большой ширине лопасти (от 13,5 мм и более), начиная с некоторой величины скольжения, момент, передаваемой гидромуфтой, снижается. Это объясняется увеличением потерь трения при значительном увеличении относительной скорости движения жидкости в лопастном канале.

Несмотря на то, что формы рабочих полостей роторного нагревателя и гидромуфты отличаются, можно утверждать, что с увеличением ширины лопасти при сохранении всех остальных размеров увеличивается расход жидкости в лопастной системе. Это приведет к пропорциональному увеличению гидравлической мощности роторного нагревателя. Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в зазоре, остается постоянной, т. к. она не зависит от расхода (при ширине лопасти во много раз большей величины зазора).

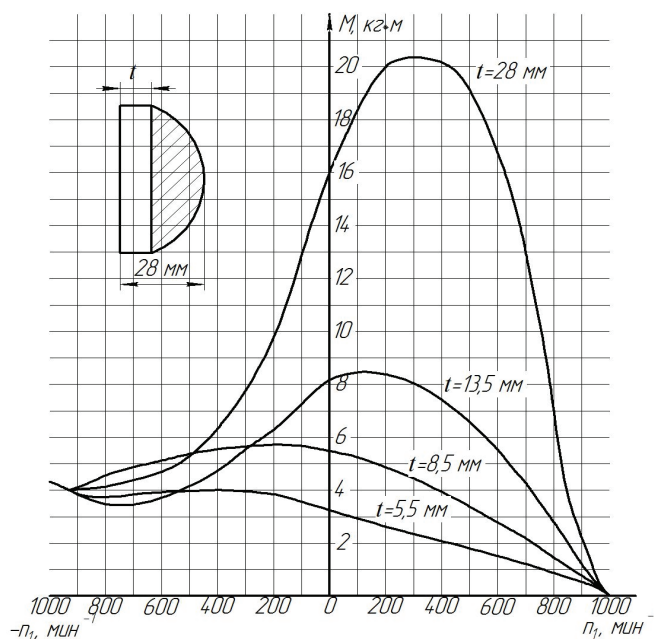


Рис. 1. Зависимость момента от частоты вращения гидромуфты при различной ширине рабочей части лопастей

Fig. 1. The dependence of the torque on the frequency of rotation of the hydraulic clutch with a different width of the working part of the blades

Величина гидравлических потерь пропорциональна гидравлической мощности

$$N_r = \eta_r N_H = \eta_r \rho g H_t Q_{л}, \quad (1)$$

где η_r — гидравлический КПД нагревателя; N_H — гидравлическая мощность, Вт; ρ — плотность жидкости, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; H_t — теоретический напор, создаваемый нагревателем, м; $Q_{л}$ — расход жидкости в лопастном канале нагревателя, м³/с.

При постоянной частоте вращения ротора тепловыделение в зазоре можно выразить в долях от гидравлической мощности

$$N'_r = \beta \rho g H_t Q_{л}, \quad \text{при } n = \text{const}, \quad (2)$$

где β — коэффициент пропорциональности.

При изменении ширины лопасти коэффициент ρ изменится обратно пропорционально изменению ширины лопасти, т.к. при росте гидравлической мощности, потери на трение в зазоре остаются постоянными.

С учетом выражений (1) и (2) определим тепловой КПД нагревателя как

$$\eta_{\text{теп}} = \frac{\beta \rho g H_t Q_{л} + \eta_r \rho g H_t Q_{л}}{\beta \rho g H_t Q_{л} + \rho g H_t Q_{л}} = \frac{\beta + \eta_r}{\beta + 1}. \quad (3)$$

Расход жидкости в рабочей полости нагревателя можно определить, как

$$Q_{л} = w b r_s, \quad (4)$$

где w — относительная скорость жидкости в лопасти, м/с; b — ширина лопасти, м; r_s — радиус кривизны лопасти, м.

Пусть ширина лопасти увеличилась в n раз, причем все остальные размеры остаются постоянными. Тогда площадь поперечного сечения канала, и расход жидкости в нем увеличится в n раз.

Мощность гидравлических потерь определится через предыдущие величины как

$$N_{r1} = \eta_r N_H = m \eta_r \rho g H_t Q_{л}, \quad (5)$$

а мощность потерь на трение в боковом зазоре останется без изменений.

С учетом изменений тепловой КПД нагревателя ($\eta_{\text{теп}1}$) будет равен

$$\eta_{\text{теп}1} = \frac{\beta \rho g H_t Q_{л} + m \eta_r \rho g H_t Q_{л}}{\beta \rho g H_t Q_{л} + n \rho g H_t Q_{л}} = \frac{\beta + m \eta_r}{\beta + n}. \quad (6)$$

Определим при каких условиях выполняется условие

$$\frac{\eta_{\text{теп}1}}{\eta_{\text{теп}}} > 1. \quad (7)$$

Подставим формулы (3) и (6) в выражение (7)

$$\frac{\beta + m \eta_r}{\beta + n} \cdot \frac{\beta + 1}{\beta + \eta_r} = \frac{\beta^2 + m \eta_r + \beta(m \eta_r + 1)}{\beta^2 + m \eta_r + \beta(\eta_r + n)} > 1. \quad (8)$$

Очевидно, что условие (8) может существовать при выполнении условия

$$\frac{m \eta_r + 1}{\eta_r + n} > 1. \quad (9)$$

Тогда уравнение (9) может быть преобразовано

$$n(\eta_r - 1) > \eta_r - 1. \quad (10)$$

Гидравлический КПД (η_r) всегда меньше единицы. Следовательно, неравенство (10) верно при условии, что $n < 1$, т.е. тепловой КПД нагревателя растет с уменьшением ширины лопасти.

Приведенные исследования показывают, что максимальный тепловой КПД будет у роторных нагревателей, тепловыделение у которых происходит только за счет трения, и, что оптимальной формой ротора является диск с установленными по окружности штифтами. Подобные конструкции

применяются в гидравлических тормозах. Вся энергия движущейся жидкости в таких тормозах преобразуется в тепло. Однако известно, что у дисковых гидроагрегатов энергоемкость значительно ниже, чем у лопастных, представляющих собой несколько измененную гидромуфту с заторможенным вторичным валом. Так по данным Б.А. Гавриленко при одинаковой мощности и числе оборотов диаметр дискового гидротормоза на 62 % больше диаметра лопастного. Это связано со значительно меньшим объемом жидкости, вовлекаемым в циркуляцию.

Таким образом, увеличение ширины лопасти приводит к снижению теплового КПД и к повышению тепловыделения за счет увеличения циркуляции жидкости в лопастном канале.

Увеличению тепловыделения способствует также увеличение диаметра ротора, как это видно из формулы

$$N = M\omega = \lambda_N \rho \omega^3 D^5, \quad (11)$$

где λ_N – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом мощности.

Формулу (11) можно представить в следующем виде

$$N_t = \lambda_{N_t} \rho \omega^3 D^4 b, \quad (12)$$

где b – ширина лопасти, м.

В формуле (12) предполагается, что все линейные размеры нагревателя, за исключением его ширины изменяются пропорционально диаметру. При этом масса нагревателя будет определяться как

$$m = \alpha \rho_m D^2 b, \quad (13)$$

где α – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму ротора и статора; ρ_m – плотность материала, из которого изготовлен нагреватель, кг/м³; m – масса нагревателя, кг; D – диаметр ротора, м.

Отношение массы нагревателя к тепловыделению будет иметь следующий вид

$$\frac{m}{N_t} = \frac{\alpha \rho_m}{\lambda_{N_t} \rho \omega^3 D^2}, \quad (14)$$

где N_t – мощность нагревателя, Вт; λ_{N_t} – коэффициент пропорциональности; ρ – плотность жидкости, кг/м³; ω – угловая скорость ротора, рад/с.

Полученная зависимость отношения массы нагревателя к тепловыделению (14), показывает, что при увеличении диаметра ротора тепловыделение растет быстрее, чем его масса, а при изменении ширины лопасти тепловыделение в нагревателе и его масса растут одинаково.

Закключение. Анализ показал, что изменять тепловыделение при сохранении формы рабочей полости предпочтительнее за счет изменения диаметра ротора при пропорциональном изменении всех остальных размеров.

Так как форма рабочей полости нагревателя в опытной установке отличается от формы лопастного канала гидромуфты, окончательный вывод о выборе величины ширины лопасти можно будет сделать после экспериментального определения характера диссипации энергии в нагревателе.

Список использованных источников

1. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к питьевой воде, расфасованной в емкости», Гигиенического норматива «Требования к безопасности питьевой воды, расфасованной в емкости» и признании утратившим силу постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 29 июня 2007 г. № 59; постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 15 декабря 2015 г. № 123.
2. Корзан, С.И. Конструктивные особенности роторного нагревателя / С.И. Корзан // Молодежь в науке — 2017: сборник материалов Международной конференции молодых ученых, Минск, 30 октября — 2 ноября 2017 г.: в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси. Совет молодых ученых ; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. — Минск, 2017. Ч. 1. — С. 238–243.
3. Пастеризация [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пастеризация>. — Дата доступа 21.02.18.

4. Ловкис, З.В. Гидродинамический нагрев жидкости / З.В. Ловкис, С.И. Корзан // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2017. — № 3. С. 73–79.
5. Краснова, А.Ю. Совершенствование процесса пастеризации молока в установке с гидродинамическим нагревателем : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.Ю. Краснова. Зерноград, 2008. — 185 с.
6. Лебедько, Д.А. Обоснование процесса работы и параметров установки для пастеризации молока гидродинамическим воздействием в условиях АПК : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Д.А. Лебедько. Зерноград, 2017. — 167 с.
7. Устройство для стерилизации (пастеризации) продукта: пат. 316216 FR: МПК C02F1/48 / Р. Ангюе, Р. Вандер; дата публ.: 18.04.1968.
8. Frederick, J. Economic Benefits of Utilizing Controlled Cavitation Technology for Black Liquor Oxidation and Heating / J. Frederick, D. Armstead, S. Lien, W. Schmidl, B. Kazem // TAPPI Journal. — 2002. — Январю. — P. 1–10.
9. Устройство для коагуляции жидких продуктов: а. с. 1161060: МПК A23C3/02 / В.Е. Заушицин, В.И. Фомин, А.Х. Терсков, Г.И. Проценко; дата публ.: 15.06.1985.
10. Ашуралиев, Э.С. Обоснование параметров и повышение эффективности функционирования гидродинамического нагревателя жидкости сельскохозяйственного назначения : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Э.С. Ашуралиев. Ростов-на-Дону, 2002. — 165 с.
11. Гидравлический привод / Б.А. Гавриленко [и др.] — М.: Машиностроение, 1968. — 503 с.

References

1. Ob utverzhdenii Sanitarnykh norm i pravil «Trebovaniya k pit'evoy vode, rasfasovannoj v emkosti», Gigienicheskogo normativa «Trebovaniya k bezopasnosti pit'evoy vody, rasfasovannoj v emkosti» i priznaniu utrativshim silu postanovleniya Ministerstva zdavoohraneniya Respubliki Belarus' ot 29 iyunya 2007 g. № 59: postanovleniya Ministerstva zdavoohraneniya Respubliki Belarus' ot 15 dekabrya 2015 g. № 123 [On the Approval of Sanitary Norms and Regulations “Requirements for drinking water, packed in a container”, Hygienic Standard “Requirements for safe drinking water bottled in a container” and the revocation of Resolution No. 59 of the Ministry of Health of the Republic of Belarus dated June 29, 2007: resolutions of the Ministry of the Republic of Belarus of December 15, 2015, no. 123].
2. Korzan S.I. Konstruktivnyye osobennosti rotnogo nagrevatelya [Design features of the rotary heater]. Molodezh v nauke — 2017: sbornik materialov Mezhdunarodnoy konferentsii molodyih uchenyih, Minsk, 30 oktyabrya — 2 noyabrya 2017 g.: v 2 ch. [Young People in Science - 2017: Proceedings of the International Conference of Young Scientists, Minsk, October 30 — November 2, 2017: at 2 pm]. Minsk. 2017. pp. 238–243.
3. Pasterizatsiya (Pasteurization) Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пастеризация> (accessed 21 February 2018).
4. Lovkis Z.V., Korzan S.I. Gidrodinamicheskij nagrev zhidkosti [Hydrodynamic heating of a liquid]. Pischevaya promyshlennost: nauka i tehnologii = Food industry: science and technology, 2017, no. 3, pp. 73–79.
5. Krasnova A.YU. Sovershenstvovanie processa pasterizacii moloka v ustanovke s gidrodinamicheskim nagrevatelem [Krasnova, A. Yu. Perfection of the milk pasteurization process in a unit with a hydrodynamic heater]. Zernograd, 2008. 185 p.
6. Lebed'ko D.A. Obosnovanie processa raboty i parametrov ustanovki dlya pasterizacii moloka gidrodinamicheskim vozdejstviem v usloviyah APK [Lebedko, DA Justification of the operation process and plant parameters for milk pasteurization by hydrodynamic action in agroindustrial complex conditions]. Zernograd, 2017. 167 p.
7. Angyue R., Vander R., e.a. Ustroystvo dlya sterilizatsii (pasterizatsii) produkta [Device for sterilization (pasteurization) of the product]. Patent FR, no. 316216, 1968.
8. Frederick J. Economic Benefits of Utilizing Controlled Cavitation Technology for Black Liquor Oxidation and Heating / J. Frederick, D. Armstead, S. Lien, W. Schmidl, B. Kazem // TAPPI Journal. — 2002. — Январю. — P. 1–10.

9. Zaushitsin V.E., Fomin V.I., Terskov A.H., Protsenko G.I., e.a. Ustroystvo dlya koagulyatsii zhidkih produktov [Device for coagulation of liquid products]. Certificate of authorship, no. 1161060, 1985.
10. Ashuraliev E.S. Obosnovanie parametrov i povyshenie ehffektivnosti funkcionirovaniya gidrodinamicheskogo nagrevatelya zhidkosti sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [Ashuraliev E.S. Substantiation of parameters and increase of efficiency of functioning of hydrodynamic liquid heater of agricultural purpose]. Rostov-na-Donu, 2002. 165 p.
11. Gavrilenko V.A. Gidravlicheskiy privod [Unidade hidrбulica]. Moscow. Engenharia месvница, 1968. 503 p.

Информация об авторах

Ловкис Зенон Валентинович — заслуженный деятель науки Республики Беларусь, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, генеральный директор РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belproduct.com

Корзан Сергей Иванович — младший научный сотрудник РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: seroga.korzanmc@mail.ru

Information about the authors

Lovkis Zenon Valentinovich — Honored Science Worker of the Republic of Belarus, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Engineering sciences, Professor, General Director of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com

Korzan Sergey Ivanovich — junior researcher of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: seroga.korzanmc@mail.ru