

УДК 637.52

Разработка энергосберегающей технологии размораживания рыбы

Антуфьев, В.Т., Бычихин О.В., Громцев С.А.

antufjew2010@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный университет

низкотемпературных и пищевых технологий

Время и затраты энергии являются важнейшими показателями процесса, характеризующего эффективность дефростации рыбы. Разделение блока на тушки с помощью электрогидравлического удара (Бычихин О.В и др. Заявка на изобретение № 2011130124/20(044451) от 19 07 2011 г. Способ и устройство для разделения брикета замороженной рыбы на тушки без оттаивания) происходит мгновенно, а размораживание продукта (тушек) в воде - в 12-14 раз быстрее. Процесс дефростации можно вести исключительно за счет энергии водопроводной воды. Затраты электроэнергии на создание электрогидравлического удара составляют не более 1-2 % от затрат на полное размораживание рыбы, если это предусмотрено технологией при переработке продукта до готовности. Невысокая стоимость установки делает ее доступной для небольших предприятий.

Ключевые слова: двухступенчатая технология, ударная волна, дефростация рыбы, разрушение брикета, затраты энергии.

Working out of power saving up technology in defrosting fish process.

Antufev, V.T., Bychikhin O.V., Gromzew S.A.

antufjew2010@yandex.ru

Saint-Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering

Time and energy expenses are the major of an indicator of the process which is characterizing the efficiency of the defrosting of fish. Division of the block into carcasses by means of electrohydraulic blow (Bychihin O. V, etc. the Demand for the invention № 2011130124/20 (044451) from 19 07 2011 the Way and the device for division of a briquette of the frozen fish into carcasses without thawing) occurs instantly, and defrosting of a product (carcasses) in water - at 12-14 time faster. Process of defrosting can be conducted exclusively due to the energy of tap water.

Expenses of electro-energy for creation of electrohydraulic blow make no more than 1-2 % of the expenditures for the complete thawing out of fish, if this is provided by technology during processing of product to the readiness. Low cost of installation does its accessible for not-big the enterprises.

Keywords: Two-level technology, a shock wave, fish, briquette destruction, energy expenses.

При производстве пищевых продуктов и обработке пищевого сырья, все чаще используются нетрадиционные носители энергии: ускоренные электроны, магнитные поля, электрические поля высокого напряжения, переменные электромагнитные поля сверхвысоких и низких частот, электрогидравлический удар, поля высокого давления и вакуум, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, ультразвук, вибрация, электроплазмолиз, обработка лазерным лучом и др. Анализ направлений исследований, связанных с оптимизацией процесса оттаивания замороженных брикетов рыбы показывает, что их надо подвергнуть воздействию тепловой или волновой энергии с определенным по времени профилем интенсивности. Впрочем, независимо от способа передачи энергии всегда тепло распространяется вглубь брикета постепенно - слой за слоем. Поэтому наблюдается определенная инерционность процесса, которая выливается в существенный температурный дифференциал между поверхностью замороженного продукта и его сердцевиной. Чем длительнее процесс размораживания, тем больше структура тканей будет отличаться по качеству от первоначального состояния. Рыба начинает интенсивно терять сок, и структура ткани становится рыхлой. Быстрая дефростация позволяет в наилучшей степени сохранить первоначальное состояние структуры тканей. Поэтому время дефростации становится одним из важнейших показателей процесса, характеризующих эффективность самого способа.

Нами предложена двухступенчатая технология дефростации рыбы, состоящая из разрушения брикета на тушки дозированными электрогидравлическими ударами, и последующей оттайки в пульсирующей от них воде. В качестве модельного объекта динамического воздействия ЭГУ и размораживания были выбраны минтай, сельдь и салака, как обладающие усредненным соотношением жира и воды среди исследуемых типов рыбы (ГОСТ 20057-96. Рыба океанического промысла мороженая. Технические условия. ОСТ-15-403-97 на сельдь мороженую).

Работа экспериментальной электрогидроимпульсной установки происходит следующим образом (рис.1):

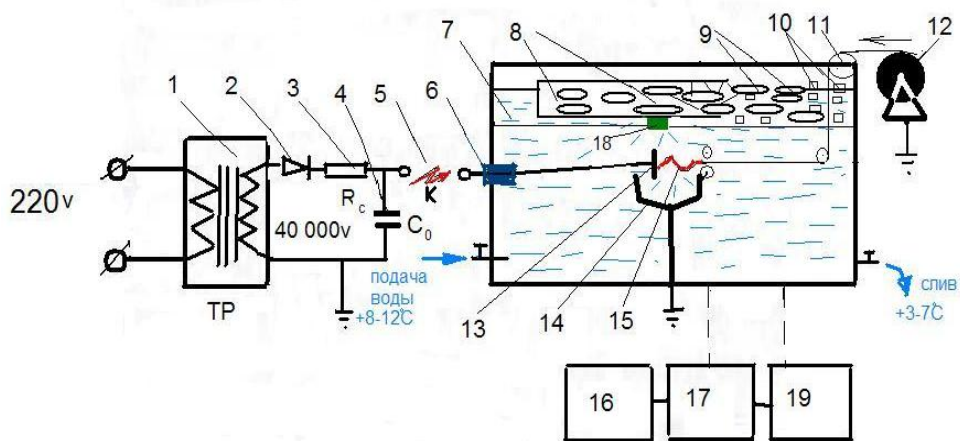


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1-высоковольтный трансформатор; 2- выпрямитель; 3 –зарядное сопротивление; 4 - конденсаторная батарея; 5-контактор; 6-изолятор; 7- ванна с водой; 8- брикет рыбы; 9- тушки рыбы; 10- колотый лед; 11-12-механизм подачи проволоки; 13- высоковольтный электрод; 14- разрядная камера; 15- взрываемый отрезок проволоки; 16-осциллограф типа С1-70; 17-пульт управления стендом; 19 – приборы контроля; 18- пьезодатчик давления.

Механизм подачи проволоки (11-12) обеспечивает автоматическую подачу взрываемого отрезка проволоки (15) в межэлектродный промежуток. При достижении проволокой высоковольтного электрода (13) срабатывает контактор К (5), происходит разряд предварительно заряженной до напряжения U_0 конденсаторной батареи(4) на этот отрезок проволоки, и он взрывается. Таким образом, конденсаторная батарея разряжается на систему электрически взрываемого проводника ЭВП длиной l с высокой плотностью энергии, которая обуславливает быстрое расширение канала и возникновение ударной волны в воде, заполняющей разрядную камеру 14. Высокая температура плазмы канала приводит к появлению парогазовой полости, вызывающей гидродинамические течения в воде (до 300-350м/с при достижении нижней поверхности брикета), которые действуют на часть брикета площадью s . Так как парогазовая полость ЭВП находится в непосредственной близости (4-5см) от проходящего над ней брикета рыбы, механический импульс движения воды с площадью s , близкой к сечению разрядной камеры, заставляет его среднюю часть перемещаться вверх на незначительную величину (по замерам, на 3-7мм) и преобразуется в местный разлом брикета по ледяным мостикам. Последующие взрывы ведут к расширению трещин и дальнейшее измельчение льда от соударений осколков льда и рыбы, а также возникновению новых разломов из-за продвижения

рыбы в ванне на конвейере (конвейер в установке не показан). Лед отбрасывался к стенкам ванны и отбирался для исследования.

Регистрация импульсных токов и падения напряжения на ЭВП осуществлялась с помощью устройств, преобразующих исследуемые сигналы до величины, приемлемой для последующей записи сигнала на электронно-лучевом осциллографе.

Усиление силового воздействия ударной волны на брикет рыбы в достигается следующими методами:

- 1) использованием оригинальных конструктивных решений полости разрядной камеры, для чего применена вертикальная труба с отражателем из нержавеющей стали, расположенная под проходящим на конвейере брикетом;
- 2) регулированием зарядного напряжения конденсаторной батареи и параметров разрядного контура: емкости C , индуктивности L и длины канала разряда l (длины взрывающейся проволоочки).

Для предложенной цилиндрической разрядной камеры разработана математическая модель расчета параметров парогазовой полости от взрыва проволоочки, играющей основную роль в усилении силового воздействия ударной волны на брикет. В нее входит три уравнения 1,2,3:

1. Уравнение изменения скорости расширения радиуса парогазовой полости и объема разрядной камеры

$$\frac{dr_{nz}}{dt} = \frac{d^2}{16r_{nz}^2} v_s, \quad (1)$$

где:

r_{nz} – радиус парогазовой полости, d – диаметр разрядной камеры, v_s – скорость воды при ударе о нижнюю поверхность брикета рыбы.

2. Уравнение движения своеобразного водяного поршня в разрядной камере, нагруженного общей массой брикета рыбы M :

$$(M + M_e) \frac{dv}{dt} = \frac{\pi d^2}{4} (P_{nz} - P_a) - F, \quad (2)$$

где: M_e – масса жидкости, приводимая в движение в разрядной камере, диаметром d ; P_{nz} – давление газовой полости от взрыва проволоочки; P_a – давление окружающей среды – 1 кгс/см²; F – противодействующая сила инерции брикета; v – скорость брикета; $\frac{dv}{dt}$ – изменение скорости брикета.

3. Третье уравнение, полученное согласно закону сохранения энергии:

$$\frac{dP_{n2}}{dt} = \frac{R_{np} I^2 - \Delta W - \frac{\pi D^2}{4} P_{n2} v_s \left(\frac{s}{2} \right)}{\frac{2}{3} \pi r_{n2}^3 s}, \quad (3)$$

где: R_{np} - электрическое сопротивление взрывающейся проволоочки, I - ток разряда, ΔW - потери мощности на испарение стенки полости (определялись по уравнению Кнудсена-Ленгмюра), v_s - скорость воды при ударе о нижнюю поверхность брикета рыбы, s - число степеней свободы частиц, составляющих газ полости, $\frac{dP_{n2}}{dt}$ - скорость изменения давления в парогазовой области.

Основным элементом, определяющим значение и режим выделения энергии в канале разряда, является разрядный контур из соединенных емкости C_0 , которая заряжается до напряжения U_0 ; общей индуктивности L и активного сопротивления R . Параметры L и R содержат кроме постоянных по величине L_0 и R_0 конденсаторной батареи, коммутирующего разрядника, шин и т.п., динамическую индуктивность L_c и активное сопротивление R_{np} собственно проволоочки.

Уравнение переходного процесса в разрядном контуре, записанное относительно разрядного тока, выглядит следующим образом:

$$C_0 + L_c \frac{d^2 I}{dt^2} + \left(R_0 + R_{np} + 2 \frac{dL_c}{dt} + I \frac{dR_{np}}{dI} \right) \frac{dI}{dt} + \left(\frac{1}{C_0} + \frac{d^2 L_c}{dt^2} \right) \cdot I = 0. \quad (4)$$

Расчеты характеристик ударной волны выполняются после расчетов всех характеристик разрядного канала от проволоочки.

Определено, что основное влияние на давление ударной волны на брикет оказывает зарядное напряжение U_0 . Силовые характеристики, представленные на рис.2., получены для $L=0,001$ Гн, $C=0,1$ мФ при варьировании напряжения в диапазоне 35 – 45 кВ и длины проволоочки диаметром 0,25мм– 1–5 см.

Расчеты и эксперимент показывают, что увеличение индуктивности сопровождается уменьшением максимального давления и крутизны главного пика. Убывает также сообщаемый жидкости за время t импульс; поэтому необходимо ограничивать длину соединительных проводов. Увеличение емкости сопровождается ростом максимального давления и его крутизны. При увеличении емкости увеличивается время выделения энергии, что положительно влияет на разрушение брикета.

Следовательно, для получения наибольшего эффекта дробления льда и роста давления ударной волны необходимо отдавать приоритет конструкциям с наименьшей индуктивностью и наибольшей емкостью. Расчетные данные давления во фронте волны от электрогидравлического удара при разрушении брикетов рыбы на тушки показывают, что увеличение напряжения повышает эффективное давление при ударе о брикет даже при малой длине ЭВП (Рис.2.) и отличается от экспериментальных данных на 7-9%.

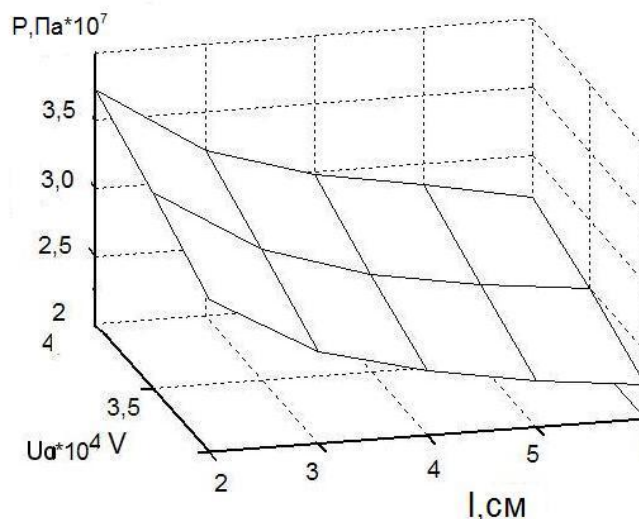


Рис.2. Расчетные данные давления во фронте волны от электрогидравлического удара при разрушении брикетов рыбы на тушки.

Как показали эксперименты, разделение брикета на тушки с помощью электрогидравлического удара происходит мгновенно, а размораживание продукта (тушек) в проточной и пульсирующей от взрывов водопроводной воде - в 12-14 раз быстрее. Соответственно, потери сока существенно снизились. Создание установок, использующих ЭГУ, позволяет ввести операции высокоскоростной деформации в технологический поток. Расчет показывает, что процесс можно вести практически за счет энергии водопроводной воды. Затраты электроэнергии на создание электрогидравлического удара составляют не более 1-2 % от затрат на полное размораживание рыбы, если это предусмотрено технологией при переработке продукта до готовности. Невысокая стоимость установки делает ее доступной для небольших предприятий. Полученные данные о зависимости температуры в центре тушки от времени нагрева за счет энергии водопроводной воды ($+12^\circ\text{C}$) в присутствии гидроударов (0,5 Гц), показывают повышенную эффективность процесса размораживания при сохранении высокого качества рыбы (рис.3). При этом, для условий

периодических ударных воздействий теплоносителя на тушки рыбы в ванне с проточной водой, получены аппроксимационные зависимости температуры в центре тушки от времени дефростации:

$$\text{с ЭГУ: } t = -0,0552x^2 + 1,7207x - 13,534 \quad R^2 = 0,998 \quad \text{салака (1);}$$

$$t = -0,0237x^2 + 1,1429x - 13,174 \quad R^2 = 0,999 \quad \text{сельдь (2);}$$

$$t = -0,0207x^2 + 1,052x - 13,132 \quad R^2 = 0,999 \quad \text{минтай (3);}$$

$$\text{без ЭГУ: } t = -0,0052x^2 + 0,5842x - 12,753 \quad R^2 = 0,992 \quad \text{сельдь (4);}$$

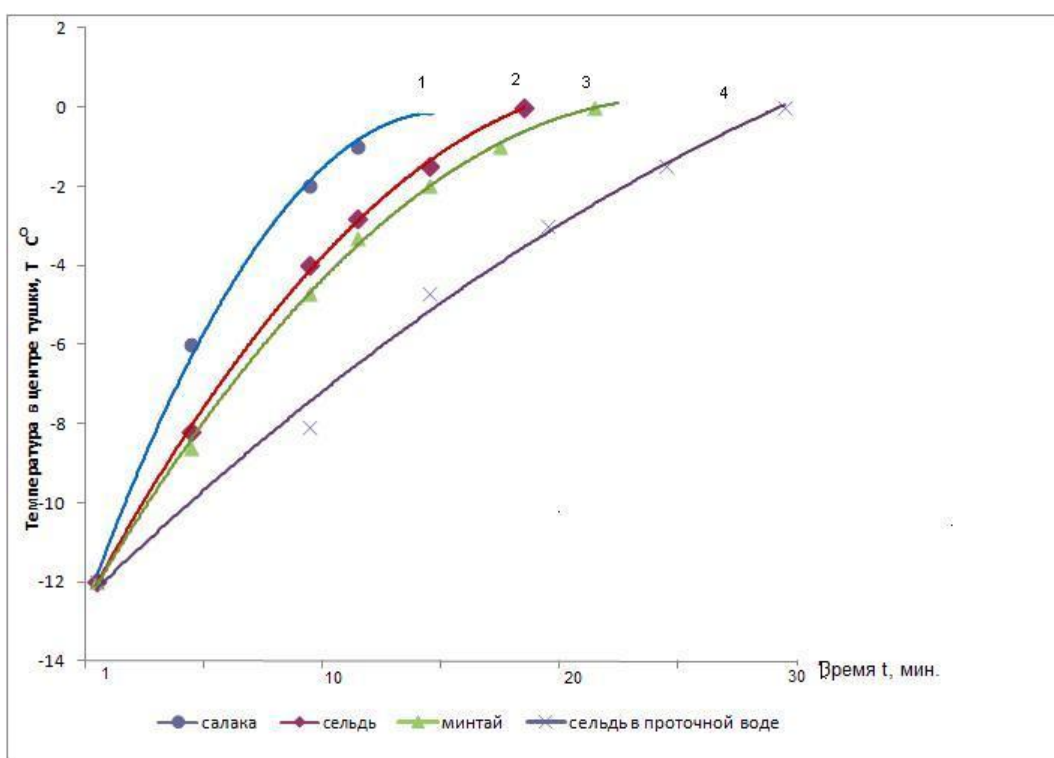


Рис.3. Зависимость температуры в центре рыбы от времени дефростации в пульсирующей воде(1,2,3) и без наложения ЭГУ(4): 1-салака; 2-сельдь; 3-минтай; 4-сельдь без ЭГУ.

Так скорость дефростации тушек сельди в условиях ЭГУ возросла на 27%.

Расчеты и экспериментальные исследования показывают, что применение двухступенчатой технологии эффективно (экономия энергии и временных затрат, снижение потерь).

О ее преимуществах позволяет судить сводная таблица показателей самых распространенных технологий.

**Сравнительные характеристики
различных методов дефростации брикетов замороженной рыбы.**

Показатель	Дефростация в воздушной среде	Дефростация в водной среде	Паро-воздушной смесью	Микроволновый метод	Инфракрасный метод	Использование ЭГУ
Время дефростации 1 брикета массой 12 кг	До 24 часов	До 4 часов	До 10 часов	20-40 минут	Макс. 16 часов	15 – 18 минут
Потери	До 15%	До 5%	До 4%	До 4%		1-...1,5%
Равномерность t сырья на выходе	на поверхность и намного выше	на поверхность и выше	на поверхность и выше	почти равномерна	перегрев поверхности	почти равномерна
Санитарное состояние сырья	Ухудшается : развитием микрофлоры	Ухудшается : развитие микрофлоры	Ухудшается развитие микрофлоры	Стабильно	Стабильно	Улучшается: частичная стерилизация сырья и воды
Санитарное состояние помещения	Ухудшается значительно : сильный запах	Ухудшается незначительно: запах	Ухудшается незначительно: запах	Без изменений	Ухудшается : сильный запах	Без изменений
Удобство эксплуатации (возможность механизации и автоматизации)	ручное управление	ручное управление	частичная автоматизация	частичная автоматизация	частичная автоматизация	возможна полная автоматизация
Эксплуатационные расходы	Высокие	Средние	Высокие	Средние	Высокие	Низкие
Стоимость	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая	Средняя
Средний срок окупаемости	Нет данных	До 12 месяцев	До 10 месяцев	Нет данных	До 12 месяцев	До 2 – 3 месяцев

Список литературы

1. Антуфьев В.Т., Громцев С.А. Заявка на изобретение № 4931859/13 (037505) от 5 мая 1991 г. Способ и устройство для оттаивания (дефростации) продуктов.
2. Бычихин О.В., Антуфьев В.Т., Алексеев Г.В., Громцев С.А.. Заявка на изобретение № 2011130124/20(044451) от 19 07 2011 г . Способ и устройство для разделения брикета замороженной рыбы на тушки без оттаивания.
3. Современные способы размораживания рыбы «Известия СПбГУНиПТ» №2 2008 г Антуфьев, В.В. Пеленко, Бычихин О.В..
4. Технологии разделения замороженных продуктов электрогидравлическим ударом (с применением взрыва проволок). «Известия СПбГУНиПТ» №4 2007 г.