

---

---

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

---

---

УДК 628.165.04

**С.С. Акимов, С.А. Лоншаков, А.И. Фёдорова, С.Д. Угрюмова**

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ БЕРЕГОВЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ РЫБНОЙ ОТРАСЛИ

*Рассмотрены актуальные методы получения пресной воды на основе термической дистилляции, глубокого умягчения и замораживания, обеспечивающие водопотребление береговых предприятий рыбной отрасли.*

**Ключевые слова:** вода, рыбная отрасль, дистилляция, замораживание.

## **S.S. Akimov, S.A. Lonshakov, A.I. Fedorova, S.D. Ugryumova** **PROSPECTS FOR RATIONAL WATER COASTAL ENTERPRISES** **FISHING INDUSTRY**

*Considered the actual method of obtaining fresh water, based on thermal distillation, softening and deep freeze to ensure that water consumption coastal enterprises fishing industry.*

**Keywords:** water, fish industry, distillation, freeze.

Общее количество воды на Земле (объем гидросферы) оценивается в 1400 млн км<sup>3</sup>. Однако стационарные запасы пресных вод, пригодных для использования, в том числе речных, озерных и подземных, составляют всего 1,3 % объема гидросферы (около 4 млн км<sup>3</sup>).

Объем чистой пресной воды с каждым днем уменьшается, так как большинство предприятий сбрасывают в водоемы неочищенную воду. Так, современные рыбные предприятия потребляют большое количество воды, 95 % которой удаляется из производственных цехов в виде сильно загрязненных промышленных стоков. Объемы сточных вод после обработки сырья в несколько раз превышают количество самого обработанного сырья.

Значительное сокращение расходов природной воды можно достичь за счёт включения в схему водопотребления опреснительного комплекса, полученная техническая вода используется для нужд предприятия [1, 2].

Рациональное использование рыбоперерабатывающими предприятиями морской воды имеет большое значение, прежде всего, для районов с ограниченными природными ресурсами пресной воды, к которым можно отнести Приморский край и многие регионы Дальнего Востока.

Актуальность применения морской воды возрастает как в связи с дефицитом пресной воды, ввиду ограниченности её ресурсов, освоения новых мощностей и роста потребления, так и необходимости решения проблемы защиты водного бассейна от загрязнения и в целом решения проблемы более рационального использования водных ресурсов.

Наибольшее использование при получении пресной воды из морской находит термическая дистилляция, однако в последние годы разрабатываются мембранные методы обессоливания воды – электродиализ и обратный осмос. Преимуществом мембранных методов, главным образом, обратного осмоса, по сравнению с дистилляцией являются более низкие затраты энергии, меньшая коррозия оборудования и исключение теплового загрязнения среды.

Метод обратного осмоса применяется преимущественно для целей опреснения воды, когда допускается солесодержание обработанной воды до 1 г/л и не требуется глубокое обессоливание, как это имеет место в котельной. Кроме того, мембранные методы конкурентоспособны с термической дистилляцией вод с исходным солесодержанием до 5 г/л. Отметим, что сумма анионов сильных кислот морской воды в среднем составляет 214 (мг-экв)/л, солесодержание 26 г/л. Итак, для обессоливания минерализованных вод наиболее эффективна термическая дистилляция, что объясняется наибольшей её изученностью, простотой конструктивных решений, возможностью создания установок большой единичной мощности, надёжностью в эксплуатации, а также сравнительно высокими экономическими показателями. Причём затраты на обессоливание практически не зависят от солесодержания исходной воды.

Одним из основных недостатков термического обессоливания морских вод является отложение накипи на поверхности нагрева теплообменного оборудования. В состав образующейся накипи, как правило, входят карбонат кальция, гидроксид магния, сульфат кальция. Предотвращение карбонатной и магниевой накипи затруднений не вызывает. Уже разработаны и внедрены за рубежом и в России довольно эффективные методы предотвращения этой накипи: подкисление и введение затравочных кристаллов [3].

Главной проблемой является предотвращение сульфатной накипи, которая не растворяется ни в воде, ни в кислотах. Метод введения затравочных кристаллов (гипсовой затравки) оказался неэффективным для этой цели.

Во избежание полного вывода из строя теплообменного оборудования, дистилляция в ущерб технико-экономическим показателям установок ведётся в режиме ниже «сульфатного барьера», т.е. испарение проводят при низких температурах и кратностях упаривания, не допуская повышения концентрации сульфата кальция в рассолах выше предельной его растворимости. Так, из-за «сульфатного барьера» температура испарения морской воды в первой ступени испарительных установок ограничивается 105-110 °С, а в последней, при температуре 35-40 °С, степень упаривания за счёт большой продувки поддерживается не более 2-3. Более низкая температура испарения в последних ступенях (меньше 35-40 °С) экономически невыгодна ввиду того, что с понижением температуры резко повышаются удельные объёмы пара, уменьшается коэффициент теплопередачи, растут габариты и металлоёмкость ступени, требуется большой расход воды для конденсации пара последней ступени. Поэтому в мировой практике не прибегают к испарению воды при температурах ниже 35-40 °С.

Необходимость изготовления испарителей из нержавеющей стали продиктована стремлением избежать интенсивной коррозии, причиной которой является работа ступеней под вакуумом, когда неизбежен присос воздуха. Решение проблемы «сульфатного барьера» приводит к возможности повысить температурный уровень испарения, т.е. организовать испарение под избыточным давлением и, решив таким образом проблему коррозии, для обессоливания морской воды, по аналогии с обессоливанием пресной воды, использовать испарители типа И. Это приведет к резкому снижению и в целом затрат на обессоливание.

Повышение температурного уровня испарения приводит к снижению затрат потому, что более высокому температурному уровню соответствует большой коэффициент теплопередачи.

В мировой практике за последние годы наметилась тенденция к использованию плёночных выпарных аппаратов. Обусловлено это, главным образом, высокой интенсивностью теплообмена в тонком слое нагреваемой жидкости. Применение таких аппаратов снижает капитальные затраты на установку. Следует отметить, что при плёночном испарении зависимость коэффициента теплопередачи от температуры имеет более крутой характер в области высоких температур (более 100 °С). Поэтому решение проблем «сульфатного барьера» и повышения температурного уровня испарения также повысит эффективность технологии обессоливания с применением плёночных испарителей.

Решение проблем предотвращения накипеобразования создаёт предпосылки существенно снизить тепловые затраты на термическое обессоливание морской воды. В одноцелевых установках повышение температуры в первой ступени до 180-200 °С увеличит число ступеней и снизит расход греющего пара на выработку одной тонны дистиллята. Известно, что при одинаковой величине температурного перепада, с повышением температурного уровня испарения воды, энергетические потери снижаются. Поэтому экономически наиболее выгодными являются двухцелевые установки. Возможность повышения температурного уровня испарения на таких установках позволяет организовать такую взаимосвязь обессоливающей установки с тепловой схемой энергообеспечения, когда тепловые затраты на обессоливание морской воды сводятся к минимуму, а в ряде случаев полностью отсутствуют [4].

Более эффективной следует признать технологию глубокого умягчения морской воды Na-катионированием с развитой регенерацией. В отличие от эффективных методов эта технология исключает необходимость применения привозной поваренной соли и обеспечивает эффективную регенерацию катионита только за счёт собственных натриевых солей морской воды. Схема обработки морской воды включает очистку от механических примесей, умягчение Na-катионированием, подогрев и деаэрацию умягченной воды, термическую дистилляцию и использование концентрата умягченной воды для регенерации катионита. Основные преимущества данной технологии термического обессоливания морской воды сводятся к следующим: обеспечивается глубокое умягчение морской воды, что решает проблему «сульфатного барьера» в частности и накипеобразования в целом.

Известно, что отходами процесса термического обессоливания являются концентрированные рассолы, которые могут использоваться для получения гидроксида магния, хлорида натрия, гипса и других солей. Чем выше концентрация сбросных рассолов, тем меньше затраты на утилизацию солей. В этом плане технология термического обессоливания умягченной морской воды обладает существенным преимуществом перед другими способами.

Существует ряд технологий глубокого умягчения морской воды, основанных на противоточном и ступенчато-противоточном Na-катионировании. Но не все эти технологии обеспечивают необходимую глубину умягчения. Кроме того, большинство из них требуют высокого уровня эксплуатации и разработки специальной конструкции фильтров. Механизм процесса умягчения морской воды Na-катионированием осуществляется по следующей схеме: Na-катионирование морской воды применяется для удаления ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , замены их на ионы  $Na^+$ . Умягчение осуществляется простым фильтрованием исходной воды через неподвижный или противоточно-перемещающийся слой катионита.

Применение технологии ступенчато-противоточного Na-катионирования, хорошо зарекомендовавшей себя при очистке природных минерализованных вод, позволяет обеспечить необходимый результат [3, 4]. В основе этой технологии лежат два принципа:

1. Размещение ионита в двух ступенях в строго определенном соотношении: 70-75 % в первой, 25-30 % – во второй ступени.

2. Стойменная регенерация ступеней с подачей регенерационного раствора сначала на вторую, затем на первую ступени, с соблюдением прямотока в первой ступени.

Указанное размещение катионита в ступенях фильтров обусловлено необходимостью обеспечения одинакового времени защитного действия ступеней. Т.е. фильтр первой ступени принимает на себя основную нагрузку по умягчению воды и, естественно, в случае равного размещения катионита по ступеням, быстрее допустит проскок ионов жесткости.

Нами также рассматривался вопрос о возможности использования локальных опреснительных установок, основанных на размораживании для береговых предприятий рыбной отрасли.

Экономичность опреснительных процессов ее во многом зависит от расхода энергии, так как и у стоимости опресненной воды топливная составляющая играет заметную роль: 43-47 % – в термических методах и 11-38 % – в мембранной технологии. Поэтому количественная оценка затрат энергии на опреснение воды различными методами имеет большое технико-экономическое значение.

Замораживание является единственным методом опреснения воды, свободным от отложения солей и требующим затрат на водоподготовку. Решение изложенных проблем лежит в основе наших научных исследований.

Искусственное получение пресной воды (опреснение) сейчас обходится дороже получения ее из природных источников. Из-за истощения и загрязнения естественных источников воды стоимость ее очистки возрастает, а затраты на опреснение воды благодаря совершенствованию технологии уменьшаются. Поэтому в будущем стоимость опреснения воды может в некоторых районах сравняться или быть даже ниже затрат на добычу природной. Уже теперь стоимость воды, полученной на атомном опреснителе в г. Шевченко (ныне Актау) – 7,5-8,5 руб./м<sup>3</sup>, – сравнима или даже ниже стоимости природной воды, поданной по трубопроводу. Например, жителям г. Владивостока природная вода обходится в 15 руб./м<sup>3</sup>.

### Список литературы

1. Абдулаев К.М. Технология комплексной переработки высокоминерализованных вод на примере воды Каспийского моря [Текст] / К.М. Абдулаев // Водоподготовка и водный режим ТЭС: материалы науч.-практ. конф. – Баку, 1984. – С. 3-7.

2. Агамалиев М.М. Оптимальные условия организации процесса умягчения морской воды в параллельноточных фильтрах [Текст] / М.М. Агамалиев, Ю.Г. Якубов. – Баку: АЗНЕФТЕХИМ, 1985. – 35 с.

3. Слесаренко В.Н. Современные методы опреснения морских и соленых вод [Текст] / В.Н. Слесаренко. – М.: Энергия, 1985. – 248 с.

4. Угрюмова С.Д. Водоснабжение и подготовка воды в искусственной среде обитания [Текст] / С.Д. Угрюмова // Водные и лесные ресурсы России: проблемы и перспективы использования, социальная значимость: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2009. – С. 62-65.

**Сведения об авторах:** Акимов Сергей Сергеевич, аспирант;  
Лоншаков Сергей Александрович, аспирант;  
Фёдорова Александра Игоревна, магистр, e-mail: aleksa13@list.ru;  
Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор.

УДК 637:664

С.П. Григорьева, Л.К. Юрченко, И.В. Пищулина

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

### УРАВНЕНИЯ ЛАГРАНЖА II РОДА ДЛЯ ПЛОСКОГО ПОДВИЖНОГО СИТА

Составлены два уравнения Лагранжа II рода для подвижного плоского сита, наклоненного под углом  $\alpha$  к горизонту, по которому движется частица классифицируемого сырья. Из первого уравнения получено ускорение относительного движения частицы. Из второго – дифференциальное уравнение движения сита без частицы.

**Ключевые слова:** сито.

### S.P. Grigoreva, L.K. Jurchenko, I.V. Pishchulina THE EQUATIONS OF LAGRANZHA OF THE SECOND SORT FOR A FLAT MOBILE SIEVE

Two equations of Lagranzha of the second sort for the mobile flat sieve inclined at an angle  $\alpha$  to horizon, on which the particle of classified raw materials moves, are worked out. From the first equation acceleration of relative movement particle, of the second -differential equation of movement of a sieve without a particle is received.

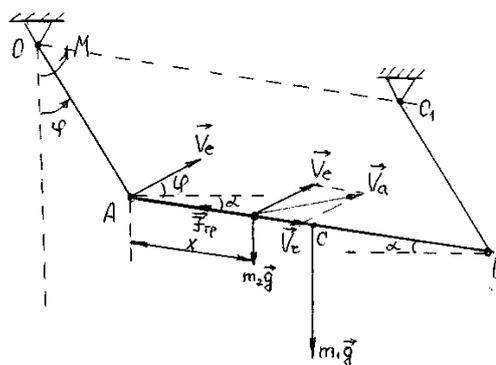
**Key words:** sieve.

Для того чтобы получить частицы близкого размера, производят классификацию исходного сырья. Классификация – это процесс разделения сыпучего материала на части (фракции, классы) с различным размером содержащихся частиц.

Из всех способов классификации рассмотрим механическую, т.е. рассев сыпучих материалов на плоских движущихся поступательно ситах. Составим уравнения Лагранжа II рода для подвижного плоского сита, наклоненного к горизонту под углом  $\alpha$ , по которому перемещается частица исходного сырья [1].

На рисунке показано плоское сито АВ, подвешенное на тягах ОА и О<sub>1</sub>В. Будем считать эти тяги невесомыми. М – частица (материальная точка). На систему действуют активные силы:  $m_1\vec{g}$  – вес сита,  $m_2\vec{g}$  – вес частицы, М – вращающий момент, приводящий сито в движение и сила трения  $\vec{F}_{тр}$ . Механическая система «сито – материальная точка М» имеет 2 степени свободы. Ее положение определяется двумя обобщенными координатами.

За обобщенную координату системы примем «х» – смещение точки М вдоль сита из положения покоя и «φ» – угол поворота тяги ОА. На рисунке показано положение системы при положительных обобщенных координатах.



Плоское сито с частицей М  
A flat sieve with the particle M

Уравнения Лагранжа II рода:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x, \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \phi} = Q_\phi, \end{cases}$$

где  $T$  – кинетическая энергии системы;  $\dot{x}$  – относительная скорость частицы;  $\dot{\phi}$  – угловая скорость тяги;  $Q_x, Q_\phi$  – обобщенные силы [2].

Для вычисления кинетической энергии системы определим абсолютную скорость точки М. Ее относительное движение есть движение вдоль поверхности сита, относительная скорость  $V_r = \dot{x}$ ; переносное движение – поступательное движение сита, переносная скорость равна скорости точки А тяги, т.е.  $V_e = \omega \ell = \dot{\phi} \ell$  ( $\ell$  – длина тяги).

По теореме косинусов:

$$V_a = \sqrt{V_r^2 + V_e^2 + 2V_r \cdot V_e \cos(\alpha + \phi)} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{\phi}^2 \ell^2 + 2\dot{x}\dot{\phi}\ell \cos(\alpha + \phi)}.$$

Кинетическая энергия сита (совершает поступательное движение):

$$T_1^{\text{пост}} = \frac{m_1 V_e^2}{2} = \frac{m_1 \dot{\phi}^2 \ell^2}{2}.$$

Кинетическая энергия частицы (совершает сложное движение):

$$T_2^{\text{сн}} = \frac{m_2 V_a^2}{2} = \frac{m_2 (\dot{x}^2 + \dot{\phi}^2 \ell^2 + 2\dot{x}\dot{\phi}\ell \cos(\alpha + \phi))}{2}.$$

Кинетическая энергия системы:

$$T = T_1 + T_2 = \left( \frac{m_1}{2} + \frac{m_2}{2} \right) \dot{\phi}^2 \ell^2 + \frac{m_2}{2} \dot{x}^2 + m_2 \dot{x}\dot{\phi}\ell \cos(\alpha + \phi),$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = m_2 \dot{x} + m_2 \dot{\phi} \ell \cos(\alpha + \phi),$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} = (m_1 + m_2) \dot{\phi} \ell^2 + m_2 \dot{x} \ell \cos(\alpha + \phi),$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) = m_2 \ddot{x} + m_2 \ddot{\phi} \ell \cos(\alpha + \phi) - m_2 \dot{\phi}^2 \ell \sin(\alpha + \phi),$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \right) = (m_1 + m_2) \ddot{\phi} \ell^2 + m_2 \ddot{x} \ell \cos(\alpha + \phi) - m_2 \dot{x} \dot{\phi} \ell \sin(\alpha + \phi),$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \phi} = -m_2 \dot{x} \dot{\phi} \ell \sin(\alpha + \phi).$$

Для подсчета обобщенной силы  $Q_x$  сообщим координате «х» приращение  $\delta x > 0$ , при этом  $\delta \phi = 0$ , элементарная работа будет иметь вид:

$$\delta A_1 = (m_2 g \sin \alpha - m_2 g f \cos \alpha) \delta x.$$

Следовательно:

$$Q_x = m_2 g (\sin \alpha - f \cos \alpha).$$

Для подсчета обобщенной силы  $Q_\varphi$  сообщим координате « $\varphi$ » приращение  $\delta\varphi > 0$ , при этом  $\delta x = 0$ .

Элементарная работа:  $\delta A_2 = (M - m_2 g (\ell \sin \varphi + x \cdot \cos \alpha) - F_{\text{тр}} \ell \cos(\alpha + \varphi) - m_1 g (\ell \sin \varphi + \frac{b}{2} \cos \alpha)) \delta\varphi$ , где  $b$  – длина сита,  $F_{\text{тр}} = f m_2 g \cos \alpha$ .

$$\delta A_2 = (M - m_2 g \ell \sin \varphi - m_2 g x \cos \alpha - f m_2 g \ell \cos \alpha \cos(\alpha + \varphi) - m_1 g \ell \sin \varphi - m_1 g \frac{b}{2} \cos \alpha) \delta\varphi.$$

Обобщенная сила:

$$Q_\varphi = M - m_2 g (\ell \sin \varphi + x \cos \alpha + f \ell \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha) - m_1 g (\ell \sin \varphi + \frac{b}{2} \cos \alpha).$$

Уравнения Лагранжа:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x} + m_2 \ddot{\varphi} \ell \cos(\alpha + \varphi) - m_2 \dot{\varphi}^2 \ell \sin(\alpha + \varphi) = m_2 g (\sin \alpha - f \cos \alpha), \\ (m_1 + m_2) \ddot{\varphi} \ell^2 + m_2 \ddot{x} \ell \cos(\alpha + \varphi) - m_2 \dot{x} \dot{\varphi} \ell \sin(\alpha + \varphi) + m_2 \dot{\varphi} \ell \sin(\alpha + \varphi) = \\ = M - m_2 g (\ell \sin \varphi + x \cos \alpha + f \ell \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha) - m_1 g (\ell \sin \varphi + \frac{b}{2} \cos \alpha), \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\ddot{\varphi} \ell \cos(\alpha + \varphi) + \dot{\varphi}^2 \ell \sin(\alpha + \varphi) + g (\sin \alpha - f \cos \alpha), \\ (m_1 + m_2) \ddot{\varphi} \ell^2 = -m_2 \ddot{x} \ell \cos(\alpha + \varphi) + M - m_2 g (\ell \sin \varphi + x \cos \alpha + f \ell \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha) - \\ - m_1 g (\ell \sin \varphi + \frac{b}{2} \cos \alpha). \end{cases}$$

Первое уравнение Лагранжа дает нам выражение относительного ускорения точки в зависимости от угловой скорости и углового ускорения вращения тяги. Если  $\ddot{x} = \alpha_r$ ,  $\ddot{\varphi} = \varepsilon$ ,  $\dot{\varphi} = \omega$ , то

$$\alpha_r = g (\sin \alpha - f \cos \alpha) - \ell \varepsilon \cos(\alpha + \varphi) + \ell \omega^2 \sin(\alpha + \varphi). \quad (1)$$

Это же уравнение Лагранжа можно получить, если составить уравнение относительного движения материальной точки:

$$m_2 \vec{\alpha}_r = m_2 \vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + \vec{\Phi}_e^r + \vec{\Phi}_e^n$$

и спроецировать его на ось, направленную по поверхности сита. Здесь:  $\Phi_e^r = m_2 \varepsilon \ell$  – модуль переносной касательной силы инерции, а  $\Phi_e^n = m_2 \omega^2 \ell$  – модуль переносной нормальной силы инерции.

Второе уравнение Лагранжа дает выражение углового ускорения тяги:

$$(m_1 + m_2) \ell^2 \ddot{\varphi} = m_2 \ell \ddot{x} \cos(\alpha + \varphi) + M - m_2 g (\ell \sin \varphi + x \cos \alpha + f \ell \cos(\alpha + \varphi) \cos \alpha) - m_1 g (\ell \sin \varphi + \frac{b}{2} \cos \alpha).$$

В таком виде оно не поддается интегрированию.

Если положить, что частица прошла сквозь сито, т.е. ушла в «проход» ( $m_2 = 0$ ), то дифференциальное уравнение движения сита примет вид:

$$m_1 \ell^2 \ddot{\zeta} = M - m_1 g \left( \ell \sin \zeta + \frac{b}{2} \cos \alpha \right),$$
$$\ddot{\zeta} + \frac{g}{\ell} \sin \zeta = \frac{M}{m_1 \ell^2} - \frac{gb}{2\ell^2} \cos \alpha.$$

Если положить  $\sin \zeta \approx \zeta$ , то

$$\ddot{\zeta} + \frac{g}{\ell} \zeta = \frac{M}{m_1 \ell^2} - \frac{gb}{2\ell^2} \cos \alpha.$$

Правая часть этого уравнения есть величина постоянная. Это уравнение можно решить как линейное неоднородное с постоянными коэффициентами.

Уравнением (1) можно воспользоваться для вычисления угла наклона сита к горизонту для различных значений коэффициента трения исходного сырья [3].

Если положить в уравнении (1)  $\zeta = 0$  и  $e = 0$ , то

$$b_r = g(\sin \alpha - f \cos \alpha).$$

Здесь  $b_r > 0$ , поэтому  $g \sin \alpha > f \cos \alpha$ .

Для  $f = 0,1$   $g \sin 5^\circ < 0,1 \cos 5^\circ$ , а  
 $g \sin 6^\circ > 0,1 \cos 6^\circ$

Следовательно,  $\alpha = 6^\circ$  и больше.

Для  $f = 0,2$   $\alpha = 12^\circ$ . Для  $f = 0,3$   $\alpha = 17^\circ$ .

Мы приходим к выводу, что угол наклона сита к горизонту нужно брать в пределах от  $\alpha = 5^\circ$  до  $\alpha = 17^\circ$ .

### Список литературы

1. Баранов Д.А. Процессы и аппараты [Текст] / Д.А. Баранов, А.М. Кутепов. – М.: Академия, 2005. – 303 с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики [Текст] / С.М. Тарг. – М.: Высш. шк., 2000. – 416 с.
3. Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств [Текст]: учеб. для вузов: в 2 кн. Кн. 2 / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М: Высш. шк., 2001. – 680 с.

**Сведения об авторах:** Григорьева Светлана Петровна, главный специалист ИЗО, e-mail: spru\_vl@lift.ru;

Юрченко Лилия Константиновна, доцент;

Пищулина Ирина Валентиновна, старший преподаватель, e-mail:stepka53@mail.ru.

УДК 665.937.6: 66.084

**В.И. Погонец**

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

### **УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ РАСТВОРОВ ПОЛИСАХАРИДОВ ВО ВЗВЕШЕННО-ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

*Разработана конструкция установки для сушки растворов и гелей полисахаридов (агара, альгинатов) на инертных телах во взвешенно-закрученных потоках теплоносителя. Использование в ней частиц инертных тел в виде эластичных пластинок позволит получить сухой продукт заданного фракционного и гранулометрического состава. Группа студентов совместно с руководителем выполнят эксперименты по кинетике и гидродинамике процессов сушки этих пищевых продуктов.*

**Ключевые слова:** установка, сушка, растворы, полисахариды, взвешенные потоки.

**V.I. Pogonets**

### **THE PLANT FOR DRYING SOLUTIONS OF POLYSACCHARIDES IN SUSPENSION-SWIRLING FLOWS**

*The construction of the plant for drying solutions and gels of polysaccharides (agar, alginates) on inert bodies in suspension-swirling flows of heat carrier was designed. The use of particles of inert bodies in this system in the form of elastic plates will provide to get a dry product specified fraction and granulometric composition. A group of students together with the leader will carry out experiments on the kinetic and hydrodynamics of the drying process of foods.*

**Key words:** the plant, drying, solution, polysaccharide, suspended flow.

Объемы вырабатываемых сухих полисахаридов (агара, альгинатов натрия и кальция) из морского сырья предприятиями очень ограничены [3], это связано в первую очередь с трудоемкостью технологий получения этих продуктов, а также с отсутствием современного эффективного оборудования для сушки исходных растворов. Отсутствие современных сушилок [1, 2], необходимых для аппаратурного оформления этих процессов, не позволяет предприятиям получать из растворов сухие продукты высокого качества. Производители и частные предприниматели не могут обеспечить снижение энергозатрат на их производство и удешевить себестоимость продуктов.

Поэтому эти исследования нацелены на разработку новой установки с передовыми технологиями сушки растворов агара и альгинатов во взвешенно-закрученных потоках теплового агента на инертных носителях. Форма и размеры инертных тел отличаются от традиционных, они обладают эластичностью, легко деформируются и тем самым обеспечивают хорошую скалываемость сухих частиц высушенных растворов со своих поверхностей. На установке планируется провести исследования по сушке измельченных гидробионтов (ламинарии, кальмара, рыбной крупки, фарша и т.п.). Авторы считают, что этот вариант сушилки позволит, во-первых, отработать все параметры процесса, а во-вторых, провести полный объем исследований на указанных морепродуктах. Исследователи приступили к разработке чертежей и эскизов на детали и узлы этой конструкции.

Предлагаемая установка (рисунок) состоит из вентилятора 1 с электроприводом 2 мощностью 2,2 кВт, рабочей площадки 7. Вентилятор марки Ц4-70-№3 обеспечивает максимальную производительность по воздуху до 8000 м<sup>3</sup>/ч, его число оборотов регулируется за счет использования в электроприводе электродвигателя постоянного тока и реостата

ЛАТР-1м. Вентилятор засасывает наружный воздух и его под давлением подает в электрокалорифер 3 мощностью 12 кВт, где он нагревается до требуемой температуры в шести последовательно расположенных секциях. Магистраль имеет мягкую вставку и цилиндрический стабилизирующий участок 4 (его длина более 3000 мм). Сушильная коническая камера 6 укомплектована беспровальной газораспределительной решёткой 5 (её диаметр равен 150 мм), шнековым загрузочным устройством и коллектором с форсунками для распыливания растворов на инертные тела-пластинки. В камеру предварительно засыпают 0,5 кг инертного носителя (тонкие частицы в виде пластинок), изготовленных из фторопласта-4. Коническая камера представляет собой усечённый конус высотой  $h = 570 \div 650$  мм и имеет размеры оснований  $D_{\text{верх.}} = 600$  мм,  $d_{\text{нижн.}} = 150$  мм. Сверху камеры расположена фильтрующая капроновая сетка 14, размер её ячеек составляет  $1,0 \times 1,0$  мм. Вытяжная магистраль сушилки состоит из раструба 13, циклона 12 и вытяжного вентилятора 15 марки 30-ЦС-24. Циклон снабжён сборником для сухого продукта. Для улавливания дисперсных пылевидных частиц высушиваемых продуктов в магистрали после циклона предусмотрена осадительная камера 16. Размеры камеры следующие: диаметр 800 мм, высота 2000 мм. Внутри этой камеры размещены вертикальные, рукавные, матерчатые фильтры 17, и все они снабжены встряхивающими устройствами.

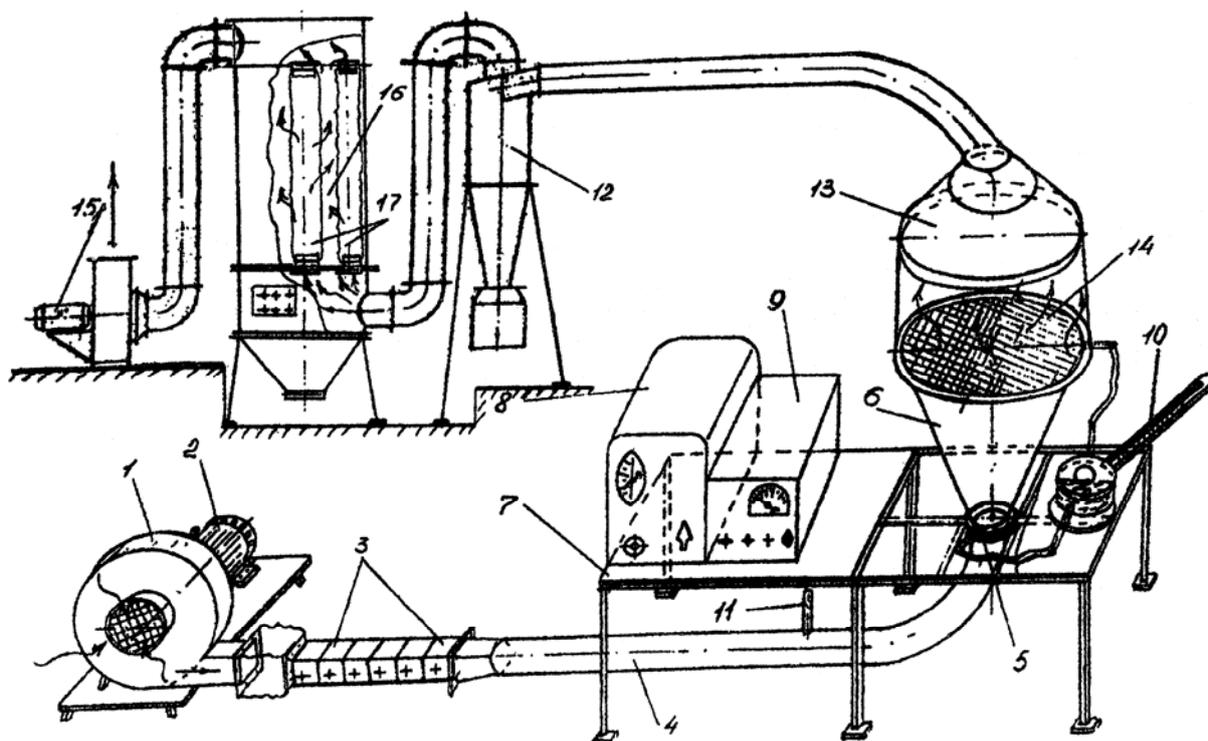


Схема экспериментальной установки для сушки полисахаридов и гидробионтов во взвешенно-закрученных потоках  
The scheme of experimental plant for drying of polysaccharides and aquatic organisms in suspension-swirling flows

Экспериментальная установка будет укомплектована измерительными приборами: влагомером КСМ 8 для контроля убыли влаги в процессе сушки морепродуктов, а для записи этих показаний потенциометром КСП-4. Для регистрации скорости потока теплоносителя в подводящей магистрали установки будет использован термоанемометр 9, а для измерения температуры сушильного агента – стационарные ртутные термометры 11. Перепады давлений в сушильной камере (над решеткой и на выходе из камеры) и на

участке воздушной магистрали будут замеряться с помощью микроанометров 10 марки ММН-240. Для оценки процесса кипения и циркуляции шинкованных частиц морепродуктов в объеме сушильной камеры при их сушке будет использоваться киносъёмка процесса скоростной кинокамерой СКС-1М-16.

Работа установки будет выполняться в следующей последовательности: навеска подготовленного раствора полисахаридов помещается в нагретый водяной термостат. Из термостата под давлением гель подается в трубный коллектор (на рисунке не показан), установленный в нижней части сушильной камеры. Коллектор снабжен четырьмя форсунками, которые закреплены на конической образующей камеры. Раствор распыляется форсунками вовнутрь камеры на кипящий слой тонких пластинок, изготовленных из инертного материала. Перед подачей распыленных частиц раствора в сушильную камеру предварительно включают вентилятор 1 и все шесть секций калорифера 3, тем самым обеспечивают нагрев теплоносителя до требуемой температуры и одновременно создают активное кипение пластинок инертного материала в сушильной камере. В процессе кипения пластинок в горячем теплоносителе слой продукта на их поверхности высыхает в виде тонкой плёнки.

Тонкие пластинки инертного материала легко деформируются потоком теплоносителя в процессе витания в сушильной камере, а это обеспечивает хорошее скалывание пленки продукта с их поверхности. Плёнки продукта при многократном перемешивании и взаимодействии со стенками камеры, частицами инертного материала и друг с другом истираются до пылевидного состояния. Пылевидные частицы продукта отфильтровываются от инертных пластинок капроновой сеткой 14 и по пневматическому трубопроводу транспортируются в циклон 12. Сухие частицы крупной фракции полисахаридов оседают в сборнике циклона, а мелкие транспортируются отработанным теплоносителем в осадительную камеру 16. В этой камере теплоноситель с продуктом проходит через вертикальные, рукавные, матерчатые фильтры 17, где окончательно отфильтровывается от мельчайших частиц. Рукавные фильтры снабжены встряхивающими устройствами. Эти устройства обеспечивают отделение частиц продукта от матерчатых фильтров. Пылевидные частицы агара или альгинатов при этом осыпаются в нижнюю коническую часть осадительной камеры, откуда выгружаются шлюзовым дозатором в расфасовочную тару.

При сушке измельченных гидробионтов, например, шинкованной ламинарии или шинкованного кальмара, узлы для подготовки, подачи и распыливания растворов отключаются на данной установке. Последовательность сушки этих шинкованных и других морепродуктов на подобных установках подробно описана в работах [1, 2].

### Список литературы

1. Погонец В.И. Сушка морепродуктов во взвешенно-закрученных потоках [Текст] / В.И. Погонец. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. – 193 с.
2. Погонец В.И. Новое оборудование для сушки морепродуктов и основы его расчёта [Текст] / В.И. Погонец. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 1996. – 108 с.
3. Погонец В.И. Исследования кинетики процесса сушки полисахаридов во взвешенно-закрученных потоках [Текст] / В.И. Погонец // Исследования Мирового океана: материалы Междунар. науч. конф. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – С. 396-398.

**Сведения об авторе:** Погонец Владимир Ильич, доктор технических наук, доцент, e-mail: pogonetsvi@mail.ru.

УДК 664.85.006

**А.А. Тушко<sup>1</sup>, А.А. Куцкий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт технологии и бизнеса, 692900, г. Находка, ул. Дальняя, 14

<sup>2</sup> Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

### **ГИДРОВАКУУМНОЕ УДАЛЕНИЕ ВНУТРЕННОСТЕЙ ИЗ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ РЫБЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА**

*Описана принципиально новая схема удаления внутренностей из брюшной полости рыбы. В качестве рабочего органа используется гидровакуумная насадка, которая одновременно позволяет за счет ее соединения с центробежным насосом создать разрежение в рабочем канале насадки и подавать в обрабатываемую тушку рыбы струи жидкости через систему водоснабжения. Изложены основы теории гидровакуумного удаления внутренностей.*

**Ключевые слова:** фракция, гидронасадка, вакуумная насадка, гидровакуумная насадка.

**A.A. Tushko, A.A. Kutsyy**

### **HYDRO VACUUM REMOVAL OF INTESTINES FROM FISH ABDOMINAL CAVITY WITH THE CENTRIFUGAL PUMP**

*Basically new scheme of intestines removal from fish binominal cavity has been described Hydro vacuum nozzle is used as working agent. It allows creating negative pressure in the nozzle working channel (on account of its connection with centrifugal pump) and flow liquid into fish processed via water pipeline. The basics of the theory of hydro vacuum intestines removal are given.*

**Key words:** fraction, hydro nozzle, vacuum nozzle, hydro vacuum nozzle.

Разделка рыбы относится к числу наиболее трудоемких технологических операций при производстве многих видов продукции, в том числе консервов, пресервов, копченой рыбы, полуфабрикатов и кулинарных изделий. Требования к качеству разделки высокие, так как от этого зависит не только товарный вид и качество конечной продукции, но и доля выхода пищевой части от общей массы рыбы-сырца.

Существуют механический, гидравлический и вакуумный способы разделки. При применении механического способа удаления применяют различные рабочие органы: дисковые ножи для отрезания головы и хвостового плавника; выдавливающие валики, барабаны, фрезы, расположенные над технологическим транспортером; отводящие транспортеры для удаления внутренностей вместе с подрезанной тушкой в районе головы и расположенной под углом к технологическому транспортеру [1].

Основными недостатками указанного способа разделки являются следующие: низкое качество разделки, особенно при обработке рыбы-сырца длительного хранения в аккумуляционном отделении перерабатывающего предприятия и при разделке дефростированной рыбы.

Для обеспечения качественного выполнения процесса желательно производить сортирование рыбы на размерные фракции и обеспечивать настройку рабочего инструмента на обрабатываемую фракцию.

Гидравлический способ извлечения внутренностей основан на принципе использования энергии струи воды, с помощью которой производится отрыв кишечника от

анального отверстия и стенок брюшной полости, вывод образовавшейся пульпы и ополаскивание брюшной полости. Техрыбпромом (г. Калининград) разработаны серии машин для разделки средних рыб [2]. Гидравлический способ имеет следующие недостатки: при рабочем давлении  $(6\div 7) \cdot 10^5$  Па возникает эффект гидрорезания, происходит разрыв брюшной полости в районе анального отверстия и выброс внутренностей через этот разрыв вместо вымывания их через приголовной срез. Кроме того, данный способ требует значительного расхода воды (до  $16 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), во многих разделанных тушках имеются остатки прямой кишки, в связи с тем требуется дозачистка брюшной полости; необходимыми условиями разделки является ориентирование брюшной полости рыбы относительно гидронасадки и удерживание тушки от смещения, вызванного напором воды.

Использование вакуумного способа удаления внутренностей эффективно при разделке маломерных рыб. Разделка рыб с помощью вакуума осуществляется за счет действующих на внутренности возникающих от разряжения касательных и нормальных напряжений. Внутренности при затягивании в вакуум-насадку формируются в жгут, стремятся занять центральное положение относительно его оси, а затем попадают в ресивер [3]. К недостаткам вакуумного способа удаления относятся следующие: на создание и поддержание вакуума в системе необходимы значительные мощности ( $6\div 7$  кВт), при отсутствии зазора между срезом тушки и торцом насадки возможны случаи отрыва кусочков мяса рыбы; отрыв прямой кишки происходит не в области анального отверстия, и часть внутренностей остается в брюшной полости.

Ранее нами предложена конструкция гидровакуумной насадки, которая позволяет удалять внутренности с использованием разряжения, создаваемого в канале насадки, и применять гидроструи также для удаления внутренностей и зачистки брюшной полости [4].

На рис.1 представлена предлагаемая нами принципиально новая схема гидровакуумного удаления внутренностей. Рыба, помещенная в рабочие колодки рыборазделочной машины, подвозится к дисковому ножу для отрезания головы и затем подается в зону действия гидронасадки. Когда перед насадкой находится тушка, то из нее посредством вакуума извлекаются внутренности, которые поступают в центральный канал насадки. Струи воды, выходящие из наклонных каналов, расположенных слева, способствуют лучшему удалению внутренностей. При отходе тушки от насадки струи воды, выходящие из каналов, расположенных по ходу движения тушки, перекрываются последней, а струи из противоположных каналов (за тушкой) промывают освобожденную от внутренностей брюшную полость. Пульпа, состоящая из жгута внутренностей, эмульсии (вода + жир + слизь) через диффузор попадает в рабочее пространство центробежного насоса, а затем за счет избыточного давления насоса поступает на водоотделитель и жиромучную установку.

В тот момент, когда тушка прошла полностью гидронасадку, вода, выходящая из каналов из-за разряжения в насадке, засасывается в нее, вследствие чего резко уменьшается количество подсосываемого воздуха. В дальнейшем обезглавленная тушка с очищенной брюшной полостью поступает к дисковым ножам для отрезания хвостового плавника.

За счет разряжения в насадке создается усилие удаления внутренностей при наличии касательных напряжений по периметру жгута внутренностей и нормальных на торцевом срезе тушки.

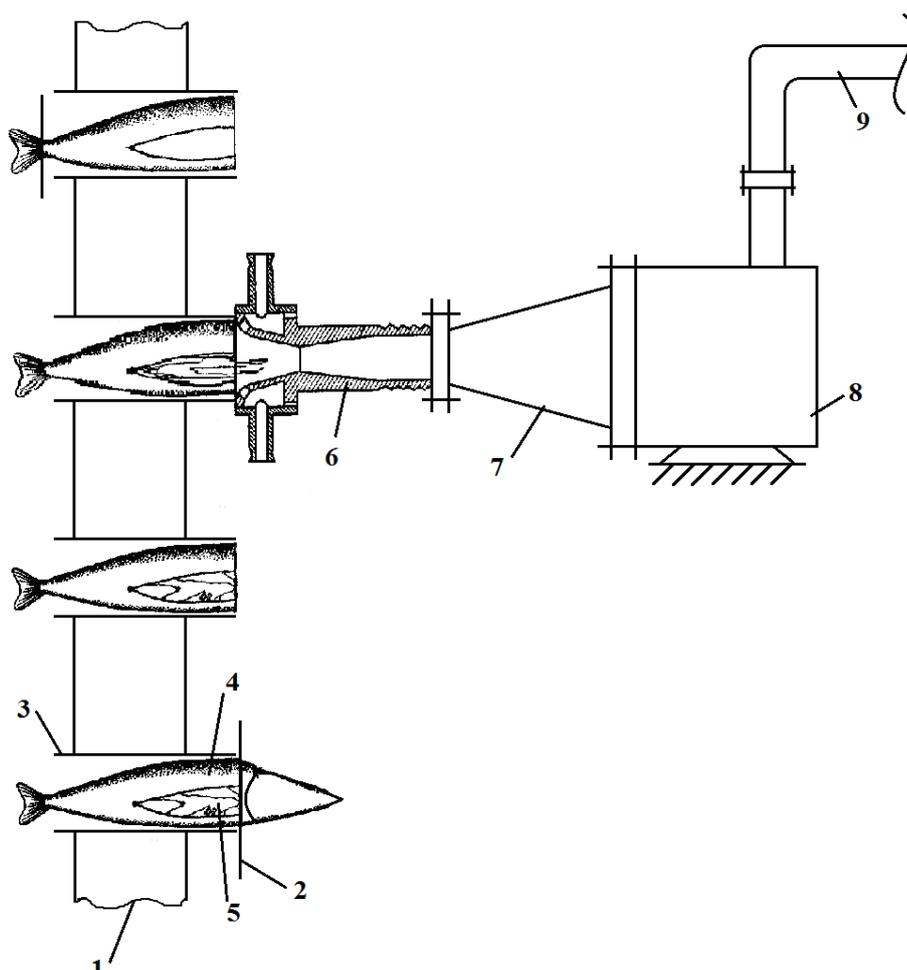


Рис. 1. Схема гидровакуумного удаления внутренностей: 1 – рабочее полотно операционного транспортера рыбобороздочной машины; 2 – отрезной нож для головы; 3 – лоток транспортера; 4 – рыба; 5 – внутренности; 6 – гидровакуумная насадка; 7 – диффузор; 8 – центробежный насос; 9 – трубопровод для внутренностей

Fig. 1. Scheme of hydro vacuum removal of intestines: 1 – working belt of fish-cutting machine transporter; 2 – head-cutting blade; 3 – transporter tray; 4 – fish; 5 – intestines; 6 – hydro vacuum nozzle; 7 – diffuser; 8 – centrifugal pump; 9 – pipeline for intestines

Общие усилия удаления внутренностей за счет наличия разрежения в насадке [5]:

$$F_{\text{вак}} = \frac{2\mu a l \varphi}{\sqrt{2\pi v t}} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} + \Delta p S,$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости воздуха с распыленной в нем жидкой фазой от внутренностей (жир + слизь);  $a$  – периметр жгута;  $l$  – длина выступающей части жгута (0,01÷0,02 м);  $\varphi$  – коэффициент скорости;  $v$  – кинематический коэффициент вязкости рабочей среды;  $\Delta p$  – разрежение в системе;  $S$  – площадь поперечного сечения внутренностей.

Усилие отрыва внутренностей из брюшной полости при подаче в нее струи воды [6]:

$$R_{\text{гидр}} = 0,75 c f_{\text{нас}}^2 \cdot v_{\text{ж}}^2,$$

где  $c$  – коэффициент, характеризующий геометрические параметры рыбы;  $f_{нас}$  – площадь выходного сечения насадки;  $v_{ж}$  – скорость истечения жидкости из насадки.

$$C = \frac{k \rho L_{бр.пол.}}{V_{бр.пол.}},$$

где  $k$  – коэффициент заполнения брюшной полости внутренностями;  $\rho$  – плотность внутренностей;  $L_{бр.пол.}$  – длина брюшной полости;  $V_{бр.пол.}$  – объем брюшной полости.

Условие удаления внутренностей:

$$R_{вак} + R_{зидр} \geq F + F_{тр},$$

где  $F$  – усилие связи внутренностей с брюшной полостью;  $F_{тр}$  – сила трения внутренностей о брюшную полость.

Сила трения определяется по следующей формуле [2]:

$$F_{тр} = f_{тр} (mg + P) = f_{тр} (V_{бр.пол.} K \rho g + \varepsilon E d_{нас} l_{бр.пол.}),$$

где  $f$  – коэффициент трения внутренностей о брюшную полость;  $P$  – сила давления среды;  $\varepsilon$  – относительная деформация внутренностей;  $E$  – модуль упругости внутренностей.

На рис. 2 приведена зависимость усилий связи внутренностей сайры с брюшной полостью [1].

Из чего видно, что усилие связи  $F$  изменяется от 2,7 до 4,9 Н для свежееохлажденной рыбы и от 0,97 до 1,8 Н – для размороженной рыбы. Данный факт указывает на необходимость регулирования усилия удаления внутренностей. Это достигается за счет изменения усилия от воздействия на тушку гидроструи за счет изменения давления подаваемой воды. Для этой цели на водяной магистрали устанавливается регулирующий вентиль и манометр.

Скорость истечения воды, от которой зависит данное усилие, определяется по формуле

$$\gamma = \frac{(1+n^2)\mu_{вн}\mu_e}{(n\mu_{вн} + \mu_e) \cdot (n\rho_{вн} + \rho_e)},$$

где  $\mu_{вн}$  – коэффициент динамической вязкости внутренностей;  $\mu_e$  – коэффициент динамической вязкости воды;  $n$  – соотношения объемов смешиваемых внутренностей и воды;  $\rho_{вн}$  – плотность внутренностей;  $\rho_e$  – плотность воды.

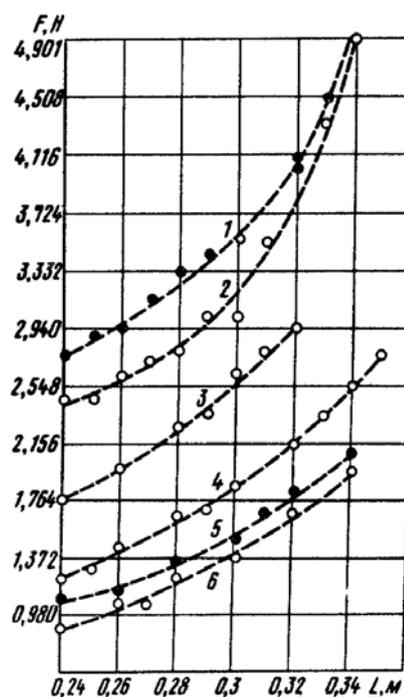


Рис. 2. Зависимость усилий связи внутренностей сайры с брюшной полостью:

- 1 – свежееохлажденная; 2 – хранение 3 ч;
  - 3 – хранение 4 ч; 4 – хранение 10 ч;
  - 5 – хранение 11 ч; 6 – размороженная
- Fig. 2. Dependence of the linking force of saury intestines with abdominal cavity:  
 1 – freshchilled; 2 – storage 3 h (hours);  
 3 – storage 4 h; 4 – storage 10 h;  
 5 – storage 11 h; 6 – thawed

Рассмотрим преимущество удаления внутренностей с использованием центробежного насоса и струи жидкости в сравнении с удалением внутренностей с использованием водокольцевого вакуум-насоса и ресивера.

Примем для расчетов, что в системе создается разрежение  $\Delta\rho = 2,65 \cdot 10^4$  Па, плотность внутренностей  $\rho_{вн} = 1100 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_в = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{воз} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ , длительность удаления внутренностей  $t_p = 0,3 \text{ с}$ , межоперационный период  $t_x = 0,2 \text{ с}$ , проходное сечение насадки  $d_H = 0,01 \text{ м}$ , коэффициент расхода  $\mu = 0,82$ , производительность машины – 120 рыб/мин.

Скорость всасывания внутренностей:

$$v_1 = \mu \sqrt{\frac{2\Delta\rho}{\rho_{вн}}} = 0,82 \sqrt{\frac{2 \cdot 2,65 \cdot 10^4}{1100}} = 6,94 \text{ м/с}.$$

Скорость всасывания воды:

$$v_2 = \mu \sqrt{\frac{2\Delta\rho}{\rho_в}} = 0,82 \sqrt{\frac{2 \cdot 2,65 \cdot 10^4}{1000}} = 7,28 \text{ м/с}.$$

Скорость всасывания воздуха:

$$v_3 = \mu \sqrt{\frac{2\Delta\rho}{\rho_{воз}}} = 0,82 \sqrt{\frac{2 \cdot 2,65 \cdot 10^4}{1,2}} = 210 \text{ м/с}.$$

Производительность центробежного насоса при гидровакуумном удалении внутренностей:

$$Q_{ц.б.} = \frac{\pi d_H^2}{4} \left( \frac{v_1 \cdot 0,3 + v_2 \cdot 0,2}{60} \right) \cdot 120 \cdot 60 = 3,33 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Производительность вакуум-насоса при вакуумном удалении внутренностей:

$$Q_в = \frac{\pi d_H^2}{4} \left( \frac{v_1 \cdot 0,3 + v_3 \cdot 0,2}{60} \right) \cdot 120 \cdot 60 = 41,52 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Так как потребляемая мощность определяется по уравнению

$$N = \eta \frac{Q\Delta\rho}{102},$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия насоса, то снижение потребляемой мощности при использовании гидровакуумного удаления внутренностей по сравнению с вакуумным составит в нашем примере:

$$n_1 = \frac{Q_в}{Q_{ц.б.}} = \frac{41,52}{3,33} = 12,5 \text{ раза}.$$

Таким образом, при использовании гидровакуумного удаления внутренностей вместо вакуумного резко снижается энергоемкость процесса, уменьшаются производственные мощности оборудования из-за необходимости наличия ресивера при предлагаемом способе разделки рыбы и возникает возможность транспортирования внутренностей центробежным насосом от рыбообделочной машины к рыбомучной установке.

### Список литературы

1. Пospelов Ю.В. Механизированные разделочные линии рыбообработывающих производств [Текст] / Ю.В. Пospelов. – М.: Агропромиздат, 1978 – 188 с.
2. Смирнов П.Д. Машины для гидравлической разделки рыбы [Текст] / П.Д. Смирнов. – М.: Пищ. пром-сть, 1977 – 85 с.
3. Погонец В.И. Основы вакуумной разделки рыбы (теория – эксперимент – оптимизация) [Текст] / В.И. Погонец. – Владивосток: Дальнаука, 1976 – 95 с.
4. Тушко А.А. Вакуумные насадки для удаления внутренностей у рыб [Текст] / А.А. Тушко, В.Д. Солнцев // Науч. тр. Дальрыбвтуза: в 2 ч. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. – Вып. 22, ч. 2. – С. 41-47.

**Сведения об авторах:** Тушко Александр Андреевич, кандидат технических наук, доцент;

Куцый Александр Александрович, студент, e-mail: billionyx@mail.ru.

УДК 66.015.24:664

**С.Д. Угрюмова, Е.Ю. Попова, С.А. Акимов, И.В. Панюкова**

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ В КОМПАКТНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ**

*Интенсификация теплообмена может быть достигнута компактностью теплопередающей поверхности, которая зависит от назначения и конструкции аппарата. Разработанная схема энергетической оценки позволяет рассчитать эффективность при сравнительном анализе теплообменников, применяемых в пищевой отрасли.*

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, интенсификация, теплоотдача, теплообмен.

**S.D. Ugryumova, E.Yu. Popova, S.A. Akimov, I.V. Panyukova**

### **INTENSIFICATION OF PROCESSES OF HEATING AND COOLING IN COMPACT HEAT-TRANSMITTING DEVICES**

*The heat exchange intensification can be reached compactness of a heat-transmitting surface which depends on appointment and a device design. The developed scheme of a power estimation allows to calculate efficiency at the comparative analysis of the heat exchangers applied in food branch.*

**Keywords:** the teploobmennyyj device, an intensification, heat conductivity, heat exchange.

Теплообменные аппараты и устройства – важная составная и металлоёмкая часть всех двигательных и энергетических установок. Они широко применяются в теплоэнергетике, технологических процессах химической, нефтеперерабатывающей и пищевой промышленности, металлургии, строительстве и многих других отраслях народного хозяйства. Масса теплообменных аппаратов составляет около 35-40 % суммарной массы всей технологической аппаратуры в пищевых производствах.

Среди теплообменных аппаратов наиболее распространены трубчатые и пластинчатые. В масштабах страны на них расходуется огромное количество легированных и цветных металлов.

Создание более эффективных и компактных теплообменников обеспечивает значительную экономию топлива, металлов и затрат труда.

Весомую роль в решении этих проблем может сыграть широкое внедрение эффективных методов интенсификации теплообмена в каналах при разработке и производстве теплообменных аппаратов и устройств в машиностроении.

Опыт создания и эксплуатации различных тепломассообменных устройств показал, что разработанные в цикле исследований методы интенсификации теплообмена в каналах обеспечивают снижение габаритов и металлоёмкости (массы) этих устройств в 1,5-2 и более раз (по сравнению с аналогичными серийно выпускаемыми устройствами при одинаковой тепловой мощности и мощности на прокачку теплоносителей), а также существенное уменьшение засоряемости и солеотложений в проточных каналах. Это в 2-3 раза снижает затраты и трудоёмкость эксплуатации, увеличивает ресурс и надёжность.

Задачи интенсификации теплообмена возможно решить путём уменьшения габаритов и массы теплообменных устройств или снижением температурного напора по срав-

нению с их величиной, которая достигается в данных условиях обычными путями. Если увеличение скорости потока в пределах, допустимых на практике, не обеспечивает получения необходимых габаритов теплообменного устройства или заданной температуры стенок, то необходима интенсификация теплообмена методами, которые обеспечат уменьшение габаритов при умеренном увеличении суммарных потерь мощности на прокачку теплоносителей через теплообменные аппараты.

Выделяются два направления интенсификации. Одно из них связано с увеличением теплового потока без учёта дополнительных потерь энергии.

Второе направление связано с увеличением теплового потока при заданной величине энергии, затрачиваемой на перекачку теплоносителя, т.е. с увеличением эффективности теплоотдачи. Оно становится особенно важным для стационарно работающих теплообменных аппаратов.

Как известно, при взаимодействии твёрдой теплопередающей непроницаемой поверхности с омывающим ее потоком образуется пограничный слой, оказывающий основное сопротивление теплопередаче. Чем больше толщина теплового потока пограничного слоя и чем ниже теплопроводность теплоносителя, тем меньше теплоотдача. Увеличить теплосъём можно разными путями, в первую очередь подбором теплоносителя, поскольку  $Nu \sim Pr^n$ .

Определив теплоноситель с учётом его теплофизических свойств, можно рассматривать вопрос интенсификации теплообмена за счёт выбора надлежащего гидродинамического режима. Наивыгоднейшим в отношении теплообмена гидродинамическим режимом является турбулентный, или переходный, режим в пограничном слое, но естественное развитие турбулентности начинается при весьма высокой скорости потока, а следовательно, и значительном гидравлическом сопротивлении. Поэтому во многих случаях для интенсификации конвективного теплообмена необходима либо искусственная турбулизация пограничного слоя, позволяющая перенести процесс теплообмена из ламинарной области в турбулентную, либо уменьшение толщины или разрушение пограничного слоя [1].

Важным фактором на пути увеличения теплосъёма является подбор оптимальной геометрии и типа теплообменной поверхности. Условия работы теплообменника определяют и тип поверхности. Так, при больших давлениях наиболее приемлемы круглые трубы, при малых коэффициентах теплоотдачи – различные оребрённые поверхности и т.д. Технология обработки алюминия и других металлов даёт возможность сконструировать каналы любых форм, и в настоящее время наиболее качественным примером этого служат пластинчатые теплообменники.

Исследован ряд методов интенсификации [2, 3, 4, 5]:

1. Метод целенаправленной искусственной турбулизации потока в пристенной зоне, основанный на периодическом создании небольших вихревых зон около стенки, являющихся источником дополнительной турбулизации потока. Метод реализован для трубчатых и пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов. Для трубчатых теплообменных аппаратов – путём накатки труб на автоматизированных стенках, обеспечивающей двустороннюю интенсификацию теплообмена: внутри труб – за счёт плавно очерченных поперечных выступов, на которых создаётся система продольных винтообразных вихрей; снаружи труб при их продольном обтекании – за счёт поперечных канавок, на которых возникают поперечные вихри. Для пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов метод реализован с помощью автоматизированных технологий периодического рассечения и относительного смещения ребер или штамповки на реб-

рах поперечных выступов и канавок. На передних кромках рассеченных ребер и на поперечных выступах-канавках возникают поперечные вихри.

2. Метод закрутки потока внутри овальных труб и при продольном и поперечном обтекании плотноупакованных пучков витых труб и стержней. Метод реализован протягиванием круглых труб через фильеру, придающую им заданную овальную форму и закрутку, или получением витых стержней по специальной технологии [3].

3. Метод управляемого отрыва пограничного слоя при поперечном обтекании пучков труб с помощью образования на них специальных турбулизаторов. Метод турбулизации пограничного слоя с использованием искусственной шероховатости реализован для плоских поверхностей и трубчатых теплообменников применительно к потокам различных жидкостей [6, 7].

С увеличением компактности теплообменника, как правило, уменьшается удельный расход металла на единицу передаваемого тепла. Применение компактных теплообменников оправдывает себя в том случае, если одним из теплоносителей служит газ, а сами теплоносители достаточно чисты и не вызывают коррозии поверхностей.

Наиболее высокая компактность достигается в пластинчато-ребристых теплообменниках [1, 3, 6], состоящих из пакета плоских пластин, между которыми находятся соединяющие их ребра. Оба теплоносителя движутся между чередующимися парами пластин, причем течение теплоносителей может быть противоточным или перекрёстным. Конструкции пластинчато-ребристых теплообменников таковы, что теплообмен может происходить между несколькими теплоносителями одновременно.

Результаты исследования теплообменников, работающих на жидкостях большой плотности, показали, что затраты энергии на преодоление сил трения обычно малы по сравнению с тепловыми нагрузками поверхности, вследствие чего влияние затрат мощности на преодоление трения редко является определяющим. Однако в теплообменниках, работающих на жидкостях малой плотности, например на газах, затраты механической энергии на преодоление силы трения очень легко могут достигнуть величины, близкой к количеству энергии, передаваемой в виде тепла.

В связи с этим следует помнить, что в большинстве тепловых систем механическая энергия стоит в 4-10 раз дороже, чем эквивалентное ей количество тепла.

Для большинства геометрических форм каналов, которые могут быть использованы при компоновке поверхности теплообменника, как показали наши теоретические исследования, тепловая нагрузка на единицу поверхности может быть увеличена путём увеличения скорости жидкости, изменение этой нагрузки пропорционально изменению скорости в степени несколько меньшей, чем единица.

Затрата энергии на преодоление трения также возрастает с увеличением скорости потока, но она изменится пропорционально кубу или, по крайней мере, квадрату скорости, но никак не меньше. Это и есть та характерная особенность взаимной зависимости параметров, которая позволяет принимать в расчёт именно эти два показателя – тепловую нагрузку и трение (потерю напора); это та особенность, которая определяет многие характеристики теплообменников различных классов, в том числе и пластинчатых теплообменных аппаратов.

Падение тепловой нагрузки может быть компенсировано увеличением поверхности теплообмена (увеличением поверхности пластин), что, в свою очередь, также приведёт к увеличению затрат энергии на преодоление сил сопротивления движению, но только в той пропорции, в какой увеличена поверхность теплообмена.

Следует отметить, что выбор конфигурации поверхности для конкретного теплообменника является сложной задачей.

Поверхность, основной характеристикой которой является высокое отношение теплого потока к затрате энергии на преодоление трения, будем в дальнейшем называть высокоэффективной поверхностью.

Исследования показали, что компактность сама по себе является залогом высокой эффективности теплообменной поверхности. Сечения каналов компактной поверхности малы, а коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  всегда изменяется пропорционально гидравлическому диаметру канала в отрицательной степени. Таким образом, в самой природе компактных поверхностей заложены свойства, обуславливающие высокий коэффициент теплоотдачи.

На высокую эффективность теплообменной поверхности влияет не только малый диаметр каналов, но и любая модификация геометрии поверхности, ведущая к более высокому коэффициенту теплоотдачи для данной скорости потока.

Один из наиболее широко используемых способов увеличения коэффициента теплоотдачи состоит в применении прерывистых поверхностей [2] с таким расчётом, чтобы уменьшить толщину пограничного слоя у этих поверхностей.

Придание поверхности прерывистости увеличивает фактор трения, однако небольшое увеличение интенсивности теплоотдачи может возместить значительное увеличение фактора трения, поскольку скорость потока может быть при этом уменьшена, а потери энергии на продление трения изменятся пропорционально кубу скорости.

Другие методы достижения высокой эффективности с помощью изменения геометрии канала включают использование криволинейных или волнистых (рифлёных) поверхностей, на которых происходит отрыв пограничного слоя. Пучок труб, в котором поток жидкости перпендикулярен оси труб, является высокоэффективной поверхностью, так как на каждой отдельной трубе образуется новый пограничный слой, и коэффициент теплоотдачи в этом случае намного выше, чем при течении жидкости с той же скоростью внутри труб. Для увеличения теплоотдачи часто применяют различные типы вставок (турбулизаторов), но такой метод не является столь эффективным, как разрыв и уменьшение толщины пограничного слоя непосредственно на поверхности теплообмена.

Естественно, что компактные высокоэффективные поверхности теплообмена могут иметь множество разнообразных геометрических форм, и во многих случаях наиболее приемлемыми являются как раз те, которые имеют очень сложную геометрическую форму. Только для поверхности с простой геометрической формой, такой, как пластинчатая форма, можно произвести полный аналитический расчёт для выявления основных её характеристик; для остальных поверхностей основные показатели могут быть получены только экспериментальным путём с использованием законов моделирования для определения диапазона применимости полученных результатов.

Различные типы рассматриваемых нами компактных поверхностей объединены в следующие группы:

1. Трубчатые поверхности: а) движение потока внутри круглых и плоских (сплюснутых) труб; б) поперечное обтекание пучков гладких труб.

2. Пластинчато-ребристые поверхности: а) гладкие рёбра; б) жалюзийные рёбра; в) короткие пластинчатые рёбра; г) волнистые рёбра; д) стерженьковые рёбра; е) перфорированные рёбра.

3. Поперечное обтекание пучков оребренных труб: а) круглые рёбра и трубы; б) круглые трубы, сплошные рёбра; в) плоские трубы, сплошные рёбра.

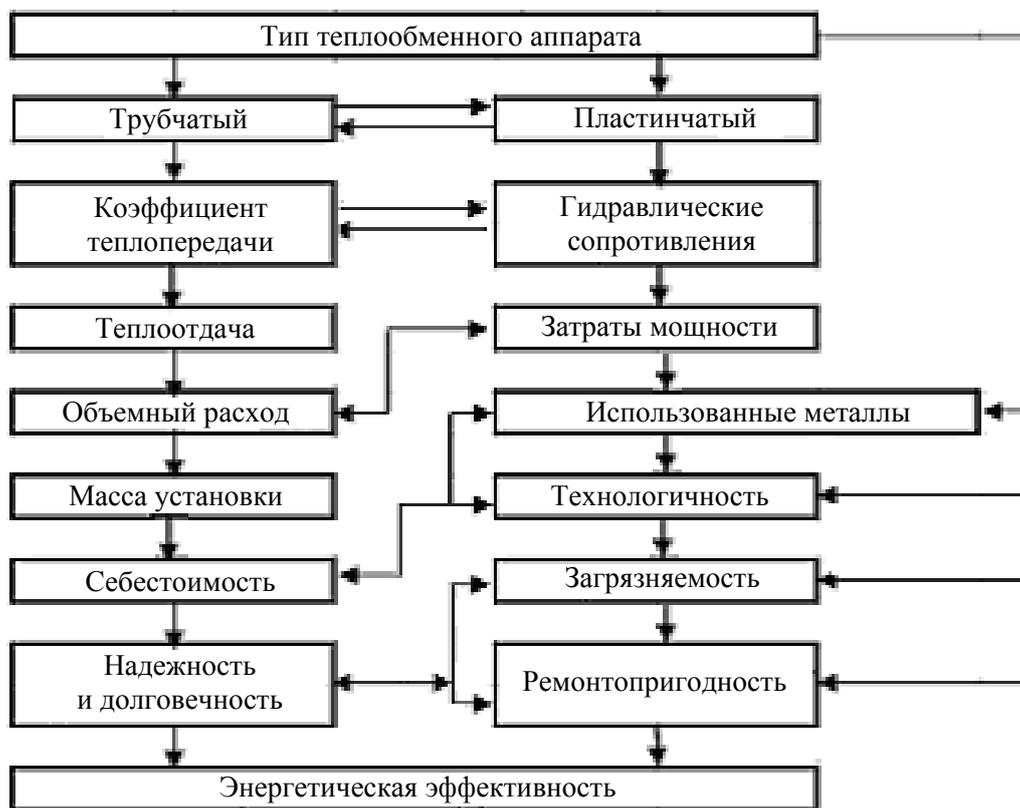
4. Насадочные поверхности.

Установлено, что трубчатые поверхности являются простейшей формой компактной поверхности теплообмена. Опытные данные получены как для случая движения внутри труб, так и для поперечного их обтекания в пучках, причём были использованы

круглые трубы и трубы, сплюсненные до овальной формы. Модификацией плоских труб являются трубы, сплюсненные на отдельных участках; это приводит к разрушению пограничного слоя и интенсифицирует теплоотдачу без увеличения скорости движения теплоносителя.

Однако применение пластинчато-ребристых поверхностей особенно целесообразно, когда осуществляется теплообмен между газовым и жидкостным потоками, так как при этом развитая поверхность может быть эффективно использована на обеих сторонах аппарата. Они позволяют сосредоточить в единице объема большую поверхность теплообмена. При конструировании таких теплообменников имеются широкие возможности комбинирования форм поверхности с учётом специфических свойств теплоносителей, для каждого из которых может быть выбрана наиболее подходящая развитая поверхность. Такой свободы в выборе типа поверхностей нет в пучках труб, где оба теплоносителя движутся во взаимно перпендикулярных направлениях, причем поверхность теплообмена на обеих сторонах приблизительно одинакова.

Оценка различных типов теплообменных аппаратов (кожухотрубного и пластинчатого типов) проведена нами по схеме, представленной на рисунке.



Примерная взаимосвязь свойств теплообменников при их оценке и сравнении  
Approximate interrelation of properties of heat exchangers at their estimation and comparison

Так как наиболее ответственным элементом теплообменника является поверхность теплообмена, то в первую очередь надо оценить основные ее свойства.

Совершенство теплообменной поверхности с энергетической точки зрения характеризуется соотношением переданного количества тепла  $Q$  через данную поверхность теплообмена и энергии  $N$ , затраченной движущейся жидкостью на преодоление сопротивления:

$$E = \frac{Q}{N} = \frac{\alpha F \Delta t}{V \Delta p} = \frac{\alpha \Delta t}{(f/F)u \Delta p}, \quad (1)$$

где  $V$  – средний объёмный расход теплоносителя;  $F$  – площадь теплообменной поверхности;  $f$  – минимальное проходное сечение;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $\Delta t$  – температурный напор;  $\Delta p$  – перепад давлений.

Из уравнения (1) следует, что эффективность теплообменника зависит от конструктивного параметра  $f/F$ .

Для идентичности условий сравнения различных поверхностей и теплоносителей необходимо принять:  $\Delta t = 1$  °C;  $(Pr_f/Pr_w)^s = 1$ ;  $D = 1$  м, проводя ряд преобразований, получим:

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad (2)$$

где комплекс  $E_1$  характеризует влияние на эффективность размеров поверхности теплообмена, комплекс  $E_2$  определяет влияние физических свойств теплоносителя на эффективность теплообмена, а комплекс  $E_3$  выражает взаимосвязь между теплоотдачей и мощностью, затрачиваемой на преодоление сопротивления движению теплоносителя.

$$E_1 = \frac{F_1}{f_1} \left( \frac{d}{D} \right)^2, \quad E_2 = \frac{D^2 \lambda_f^n Pr_f^n (Pr_f/Pr_w)^p \Delta t}{p_f v_f^3}, \quad E_3 = \frac{c}{k} Re_f^{m-r-3}, \quad (3)$$

где  $c/k$  – постоянная эксперимента;  $r$  – показатель степени в зависимости числа Эйлера от числа Рейнольдса;  $F$  – поверхность теплообмена;  $f$  – поверхность пластины;  $D$  – наружный диаметр трубы;  $d$  – внутренний диаметр трубы;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности теплоносителя;  $Pr_f$  – критерий Прандтля для теплоносителя;  $Pr_w$  – критерий Прандтля для аппарата;  $\Delta t$  – температурный напор;  $p_f$  – давление теплоносителя в аппарате;  $v$  – коэффициент кинематической вязкости;  $c$  – теплоёмкость;  $Re_f$  – критерий Рейнольдса;  $m$  – параметр эффективности пластины.

Эффективность теплоотдачи  $E$  характеризует процесс теплообмена только энергетически. Но энергетически выгоднее, чтобы процесс теплоотдачи протекал при меньших скоростях. Однако надо учитывать, что в этом случае поверхность теплообмена увеличивается. Поэтому только совместная оценка эксплуатационных и капитальных затрат может дать оптимальное решение вопроса в каждом отдельном случае.

Сравнительная оценка эффективности теплообмена в пластинчатых и трубчатых теплообменных аппаратах, проведённая по схеме, представленной на рисунке, показала, что коэффициент теплоотдачи в пластинчатых аппаратах на 20-25 % выше, чем в трубчатых аппаратах.

Подводя итоги, можно отметить следующие основные задачи в области создания наиболее эффективных теплообменников:

1. Расширение исследований по созданию теплообменных процессов и аппаратов, направленных на экономию энергии за счёт использования вторичных энергетических ресурсов.

2. Создание новых усовершенствованных методов для расчёта разных задач на ЭВМ с целью скорейшего внедрения полученных научных результатов и производство эффективных компактных аппаратов, значительно повышающих производительность труда и качество продукции.

### Список литературы

1. Кейс В.М. Компактные теплообменники [Текст] / В.М. Кейс, А.Л. Лондон; пер. с англ. – М.: Энергия, 1967. – 224 с.
2. Барановский Н.В. и др. Пластинчатые и спиральные теплообменники [Текст]. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
3. Гоголин А.А. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин [Текст]. / Гоголин А.А., Данилова, Азерсков В.М., Медникова Н.М. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1982. – 224 с.
4. Жукаускас А.А. Проблемы интенсификации конвективного теплообмена [Текст] / А.А. Жукаускас // Теплообмен-VII: Проблемные докл. VII Всесоюз. конф. по теплообмену. – Минск, 1985. – Ч. 1. – С. 17-41.
5. Угрюмова С.Д. и др. Использование методов интенсификации в аппаратах пищевых производств [Текст] // Социально-экономические приоритеты российского общества. – Екатеринбург: МОРФ, УГЭУ, 2000.
6. Угрюмова С.Д. и др. Повышение эффективности работы тепловых установок по переработке пищевого сырья [Текст] // Пищевые технологии: проблемы и перспективы в XXI веке. – Владивосток: ДВГАЭУ, 2000.
7. Власенко А.С. Поверхностные интенсификаторы в теплообменниках [Текст] / А.С. Власенко, В.С. Глазов, Э.Д. Сергиевский // Молоч. пром-сть. – 2009. – № 5. – С. 16-18.

**Сведения об авторах:** Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор;

Попова Екатерина Юрьевна, магистр;

Акимов Сергей Александрович, аспирант;

Панюкова Ирина Владимировна, аспирант.

УДК 664.951.022.6

**А.М. Хлыстун, С.Д. Угрюмова**

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА РЫБНОЙ МУКИ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Проведен анализ существующих рыбомучных установок на отечественных рыбообработывающих предприятиях и рассмотрены перспективы использования варочного котла «Контерм», трехфазного декантера и кассетного выпарного аппарата, позволяющих осуществлять кратковременную тепловую обработку исходного сырья.*

**Ключевые слова:** *рыбная мука и жир, варочный котел «Контерм», трехфазовый декантер, кассетный выпарной аппарат.*

**A.M. Khlystun, S.D. Ugryumova**

## **PROSPECTS PRODUCTION OF FISH MEAL IN RUSSIAN ENTERPRISES**

*An analysis of existing fish meal installations on domestic fish processing enterprises and the prospects of using digester «Contherm», three-phase decanter and cassette evaporator, allowing for short-term heat treatment of raw materials.*

**Key words:** *fish meal and oil, digester «Contherm», three-phase decanter, cassette evaporator.*

По оценке продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), мировое производство рыбной муки в настоящее время составляет 5-7 млн т при потребности 10 млн т. Производство рыбьего жира достигает около 1 млн т в год. Россия в настоящий момент производит на кормовые цели всего около 60 тыс. т рыбной муки и порядка 1 тыс. т рыбьего жира [1]. При этом, по данным Минсельхоза России, реальная потребность (в случае насыщения рынка отечественной продукцией) в рыбной муке составляет 500 тыс. т в год. Импорт этой продукции в РФ на кормовые цели достигает 100 тыс. т в год и будет расти при интенсивном развитии животноводства, птицеводства и аквакультуры.

За период рыночного реформирования экономики отечественное производство рыбной муки уменьшилось в 5 раз, а рыбьего жира в – 80. Главной причиной сокращения производства стало уменьшение сырьевых возможностей рыболовства для производства рыбной муки, а именно, уменьшение по биологическим и иным причинам уловов водных биоресурсов, ранее традиционно направляемых на выпуск этой продукции, и сокращение промысла в отдаленных районах Мирового океана. В результате сегодня основным сырьевым источником для отечественного производства рыбной муки стали отходы от разделки минтая и некоторых других рыб.

Производство рыбной муки складывается из многих операций, цель которых – получение готового продукта, соответствующего требованиям ГОСТ 2116–2000. В кормовой рыбной муке должно содержаться влаги не более 12 %, жира – не более 14 % (для муки из жирного сырья не более 18 %), белка – не менее 50 %, металлопримесей – не более 0,1 г на 1 кг муки. Эти основные требования обуславливают построение схемы производства рыбной муки: для ограничения влажности введен процесс сушки, для ограничения жирности применяется частичное обезжиривание с помощью прессов или центрифуги. Для облегчения отделения жира сырье предварительно разваривают, при

этом выделяется жирсодержащий бульон. Разваривание используется также и для стерилизации рыбного сырья. Термолабильность сырья и требования к содержанию белка в готовом продукте заставляют применять низкотемпературные, щадящие режимы обработки. Это в основном касается выбора способа сушки. Для отбора металлопримесей в состав оборудования вводятся специальные магнитные сепараторы. Требования к качеству помола муки заставляют применять мельницы соответствующих конструкций [2].

На российских рыбоперерабатывающих судах и береговых предприятиях для производства кормовой муки используют рыбомучные установки (РМУ) советского производства (А1-ИЖР, И7-ИВБ и др.) и их китайские аналоги, работающие по прессово-сушильной схеме. Их главными недостатками являются высокая температура варки сырья и отделение жира с помощью винтового пресса. В процессе варки разрушается часть аминокислот и полезных веществ, а применение пресса не позволяет обезжирить сырье из жирных сортов рыб, таких, как сельдь и лосось [2].

Для производства рыбной муки и жира за рубежом широко используют технологическую линию «Кондек», разработанную для получения высококачественной рыбной муки и жира, совмещающую в себе технологию и оборудование компании «Альфа Лаваль» (Швеция). Получаемая из свежей рыбы или морепродуктов, например криля, мука имеет более высокую питательную ценность, чем любая другая рыбная мука, имеющаяся в настоящий момент на рынке. Данный продукт в среднем содержит 70 % белка, в то время как мука российского производства – 60 %. Также содержание жира остается стабильно низким независимо от жирности сырья, соответственно повышаются срок хранения, питательная ценность и качество продукции.

Сырье – свежее выловленная рыба или рыбные остатки – подается в измельчитель, обеспечивающий равномерность твердых частиц и открытие жировых клеток. Далее для быстрого нагрева измельченная масса при помощи насоса подается на варку в котел «Контерм». Последующее выдерживание при температуре 100 °С, способствующей эффективному выделению жира и коагуляции белка, позволяет сохранить все питательные свойства будущих продуктов. Затем разжиженная нагретая масса поступает в промежуточный бак, который обеспечивает равномерность подачи сырья на этапе сепарирования. В случае если сырьем являются морепродукты, не имеющие жесткой внутренней структуры, например криль, технологический этап измельчения отсутствует и криль напрямую подается в варочный котел [3].

Сразу после варки рыбная разжиженная масса подается на трехфазовый декантер, где разделяется на твердую белковую фазу, белковый бульон и жир. После выхода из декантера клейкая вода подвергается сгущению в выпарной установке. Твердая фаза из декантера вместе с концентратом клейкой воды подается на сушилку. Процесс сушки (как и варки) должен проводиться с минимальным воздействием тепла. Этого можно добиться, используя воздушную или вакуумную сушилку. Полученная таким способом мука из свежей рыбы – это продукт исключительной биологической ценности. Его способность к разбуханию, или водопоглощающая способность, также очень высока, что указывает на сохранение всех функциональных свойств белка.

В основе технологии производства лежат процессы нагрева и последующего извлечения (сепарирования) белка методом центробежного разделения. Нагрев сырья осуществляется для достижения двух целей: выделения жира и коагуляции белка. Как только эти цели достигнуты, дальнейшая тепловая обработка приводит лишь к снижению качества получаемых продуктов. Процесс нагрева происходит в теплообменных аппаратах – варочных котлах. Однако большинство содержащего белок сырья из-за своих низких теплофизических свойств плохо подвергается тепловой обработке. Таким образом, только максимально необходимый и кратковременный нагрев гарантирует высокое качество белка и жира.

Благодаря своей конструкции варочный котел «Контерм» в 5-6 раз эффективнее традиционных котлов. Высокий коэффициент теплопередачи и полное использование поверхности теплообмена позволяет осуществлять нагрев измельченного сырья при температуре 5-95 °С не более чем за 100 с, в то время как при использовании традиционного варочного котла для вытопки жира на это требуется 15-20 мин. В результате обеспечивается наилучшее сохранение витаминов и аминокислот в белках. Кроме того, для размещения аппарата нужно намного меньше площади, чем для стандартных варочных котлов эквивалентной производительности, что особенно ценно в том случае, если производство базируется непосредственно на морских рыболовческих судах.

Варочный котел представляет собой теплообменник с очищаемой поверхностью, состоящий из двух концентрических цилиндров. Поток сырья поступает во внутренний цилиндр, снабженный ротором с закрепленными на нем коаксиальными ножами из нержавеющей стали, которые закалены и отполированы для защиты от истирания и коррозии. Под действием центробежной силы ножи прижимаются к стенке цилиндра и непрерывно очищают его, что предотвращает загрязнение поверхности теплообмена. Помимо этого они обеспечивают механическое перемешивание массы сырья, создавая тем самым турбулентность в потоке продукта.

Очень тонкая и хорошо отполированная стенка внутреннего цилиндра, являющаяся поверхностью теплообмена между паром и сырьем, позволяет достигать максимально возможного коэффициента теплопередачи. Цилиндр обычно изготавливают из нержавеющей стали или для еще большего повышения коэффициента теплопередачи хромированного никеля.

Помимо нагрева технологический цикл производства белка включает в себя процессы сепарирования твердых веществ (остатков сырья) и жидкостей (белковый бульон и жир), которые осуществляются на декантерах. Сепарация на декантере происходит в горизонтальном цилиндрическом барабане, оснащенный винтовым шнеком. Продукт непрерывно подается в барабан через стационарную входную трубу и плавно разгоняется во впускном роторе. Центробежные силы вызывают быстрое осаждение твердых частиц на стенках барабана. Шнек вращается в том же направлении, но с другой скоростью, перемещая твердые частицы в направлении конической части барабана. В результате с одной стороны установки выходит жидкость, а с другой – твердые частицы. Применение декантера позволяет обезжиривать сырье из любых видов рыб [3].

Для концентрации белкового бульона в линии используется выпарная установка кассетного типа. На первой ступени кассетного испарителя продукт нагревается паром, циркулирующим в закрытых сварных отсеках кассет. Насосы удаляют конденсат, так как давление пара в кассете может опуститься ниже 1 бар. Продукт при этом циркулирует по разборным отсекам пакета кассет и в одноступенчатом испарителе соединяется с путями для пара посредством регулирующего клапана, контролируемого монитором уровня жидкости в циклоне-сепараторе I ступени.

Такая система контроля гарантирует, что свежий продукт будет поступать в испаритель с определенной скоростью по мере удаления системой выпара на стадии I. Оптимальная температура подачи продукта в испаритель должна быть примерно равна температуре кипения продукта на стадии I. Обычно рабочая температура системы составляет 55-98 °С.

Выпар из кассет стадии I очищается от одиночных мелких капелек в циклоне-сепараторе I. Затем он при помощи вакуумного насоса пропускается по закрытым отсекам кассетного испарителя стадии II, на этот раз уже выступая в роли нагревающей среды. Создаваемый на стадии II вакуум обычно соответствует температуре кипения продукта. В то же время в этом процессе удаляется пар, полученный на стадии II, вме-

сте с неконденсируемыми газами. Затем выпар конденсируется на пластинах теплообменника при помощи охлаждающей воды и удаляется в виде конденсата, а неконденсируемые газы удаляются посредством вакуумного насоса.

Концентрация циркулирующего продукта на стадии II измеряется постоянно. Когда желаемое значение достигнуто, продукт покидает контур стадии II в качестве конечного концентрата. После того как концентрат удален и вода испарилась, давление в контуре II стадии падает. Все это контролируется датчиком уровня в циклоне-сепараторе I и передается на регулирующий клапан подачи продукта стадии I. Таким образом, весь испаритель становится единой управляемой, полностью автоматизированной системой [4].

Применение выпарного аппарата позволяет получить на выходе воду и концентрат, пригодный для смешивания с основной массой и последующей сушки, а также увеличивается выход и улучшается качество продукции. Благодаря полученной замкнутой технологической системе отсутствует неприятный запах, что особенно важно при нахождении производства в населенных пунктах.

В настоящее время на территории России нет предприятия-изготовителя рыбомучных установок. Советские РМУ моделей И7-ИВБ и А1-ИЖР продолжает выпускать «Нежинский механический завод» (Украина), производительностью 8-10 и 30-35 т в сутки соответственно. Они работают по прессово-сушильной схеме и не предназначены для переработки отходов от жирных сортов рыб.

По статистическим данным центра мониторинга рыболовства и связи, в 2010 г. официально освоено порядка 330 тыс. т лососевых. Отходы от производства обезглавленного лосося составляют 15-20 % – получается около 66 тыс. т. Используя рассматриваемую современную технологию, можно извлечь из этого объема порядка 15 тыс. т муки и 11,5 тыс. т ветеринарного жира. При средней мировой цене 1800 долл. США за тонну муки и 1300 долл. США за тонну жира легко определить, что только от переработки лососевых в текущем году отрасль недополучила более 40 млн долл. США [5].

Таким образом, нехватка кормовых продуктов и рост их цен на мировом рынке, развитие животноводства и аквакультуры, регулярные штрафы со стороны контролирующих органов делают актуальным применение рыбомучных установок на рыбоперерабатывающих предприятиях.

### Список литературы

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2008 [Текст]. – Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций, 2009. – 198 с.
2. Исаев В.А. Кормовая рыбная мука [Текст] / В.А. Исаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 189 с.
3. Рябиков В.Е. Производство белковых продуктов: оборудование и технологии от компании «Альфа Лаваль» [Текст] / В.Е. Рябиков // Рыбпром. – 2008. – С. 32-35.
4. Системы AlfaVap [Электронный ресурс]. URL: <http://local.alfalaval.com/ru-ru/key-technologies/heat-transfer/plate-heat-exchangers/alfavap/Documents/AlfaVap.pdf>. Дата обращения 15.01.2010.
5. Модернизация переработки рыбных отходов – залог быстрой окупаемости [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fishnews.ru/mag/articles/8828>. Дата обращения 26.12.2010.

**Сведения об авторах:** Хлыстун Александр Максимович, магистр,  
e-mail: AlexanderWolf@list.ru;  
Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор.