

V. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

УДК 628 165

С.С. Акимов, С.Д. Угрюмова, Дальрыбвтуз, Владивосток

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ЛОКАЛЬНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ

Изложен материал по проблеме использования морской воды на потребительские нужды, опресненной методом замораживания.

Несколько десятков миллионов квадратных километров земной поверхности практически лишены воды. Да и на остальной территории водные ресурсы распределены весьма неравномерно.

Объем воды на земном шаре измеряется в 1386 млн км³, а это значит, что на одного человека приходится 350 млн м³ воды.

Однако человеку нужна не просто любая вода, а вода только пресная, т.е. содержащая не более 1 г солей на 1 л, и при этом она не должна быть высокого качества. Известно, что 97,5 % воды сосредоточено в Мировом океане, соленость которого составляет 35 ‰, или 35 г/л. На пресные же воды приходится всего 2,5 %, при этом более 2/3 ее законсервировано в ледниках и снежниках и лишь 0,32 % приходится на озера и реки. Наиболее важные и используемые для самых различных нужд речные воды составляют всего лишь 0,0002 % общих запасов воды. Около 1/7 всей воды вливает в Мировой океан речной исполин Амазонка. В России 84 % речного стока приходится на районы Сибири и Дальнего Востока. А на районы, в которых сосредоточены около 4/5 населения, промышленности и сельскохозяйственного производства, приходится всего лишь 1/6 стока рек. Но дело не только в неравномерности распределения стока по территории. Имеет значение его распределение во времени. Так, в большинстве районов земного шара, в том числе и на территории России, 2/3 стока приходится на 2-3 месяца в году. Во многих аридных областях вода заполняет русла рек только весной [1, 3].

Неравномерность стока отмечается не только в пределах одного года, но и от года к году. И эта неравномерность в некоторых областях земного шара достигает больших величин. В маловодные годы по руслам некоторых рек воды протекает в 100 раз меньше, чем в многоводные. Следует также добавить, что для современного хозяйства требуется очень большой объем воды. При этом предъявляются жесткие требования не только к ее количеству, но и к качеству, к режиму подачи.

Полное потребление воды в сельском хозяйстве возросло на земном шаре с 350 км³ в 1900 г. до 3400 км³ в 2005 г. За тот же период про-

мышленное водопотребление возросло с 30 до 1000 км³ и более. Особенно быстро растет потребление воды на охлаждение ТЭС и АЭС. За последние 20-30 лет в связи с возросшей хозяйственной деятельностью и особенно под влиянием оросительных и осушительных мелиораций, осуществляемых на площади в миллионы гектаров, водные проблемы существенно обострились. В результате интенсивного забора воды на ирригацию годовой сток многих рек земного шара снизился на 20-25 %, а в маловодные годы – до 40-60 %.

Неравномерное географическое размещение речного стока и крупных потребителей воды (городов, индустрии и ирригации) превращает задачу обеспечения потребителей водой во все более трудноразрешимую проблему.

Итак, положение с пресными источниками водными источниками значительно ухудшилось и продолжает осложняться с каждым годом. В этом заключается одна из причин внимания к проблеме опреснения солоноватых и соленых вод.

Решение проблемы опреснения воды наметилось в судоходстве, и первые опреснительные установки (ОУ) стали применяться для судового водоснабжения. С начала XX в. по мере развития туризма ОУ стали строиться на безводных островах Средиземного, Карибского и других морей для водоснабжения гостиничных комплексов, отелей и военных баз. После Второй мировой войны в связи с интенсивным использованием природных богатств в странах аридной зоны началось широкое строительство ОУ на суше в прибрежных районах [4]. В настоящее время во многих странах мира уже построено и строится большое число ОУ, которые применяются для коммунального и промышленного водоснабжения. Наибольшее число ОУ построено в странах аридной зоны и особенно много – в 22 арабских странах, расположенных на площади 14 млн км² и с населением 200 млн человек, где действует 2/3 мощности всех опреснителей в мире. В водоснабжении этих стран ОУ играют решающую роль. Например, в настоящее время ОУ покрывают потребности коммунального и промышленного водоснабжения в Саудовской Аравии на 73,1 %, в Кувейте – даже на 87,2 %. Не менее важна проблема опреснения воды и в России, где аридная зона занимает площадь около 80 млн га, или 14 % территории страны. К проблемным зонам относится и территория Приморского края и, в частности, Владивосток, а также многие приморские береговые предприятия, которые являются потребителями пресной воды и в больших объемах.

Нами рассматривался вопрос о создании локальных ОУ на основе замораживания для таких береговых предприятий.

Экономичность опреснительных процессов во многом зависит от расхода энергии, так как в стоимости опресненной воды топливная составляющая играет заметную роль: 43-47 % в термических методах и 11-38 % в мембранной технологии [2]. Поэтому количественная оценка затрат энергии на опреснение воды различными методами имеет большое технико-экономическое значение.

В конце 1973 г. произошло резкое повышение цен на нефть (основной источник энергии), и это явилось мощным стимулом развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке новых и термодинамическому совершенствованию известных опреснительных процессов, снижению энергозатрат и повышению их экономической эффективности [4].

За прошедшее время уже достигнуты определенные успехи: дистилляция претерпела коренное усовершенствование, разработана и применяется новая мембранная технология, ведутся поиски и опробование новых гибридных схем ОУ, где комбинируются различные методы опреснения воды с целью достижения максимального энергетического КПД процесса, повышается его обратимость, и сокращаются необратимые потери [2, 4]. Это хорошо видно на примере прогресса дистилляционной техники.

Разные опреснительные установки потребляют различного вида преобразованную вторичную энергию – тепловую, механическую и электрическую. Ценность вторичной энергии неодинакова и зависит от степени совершенства энергетических установок, преобразующих энергию первичного топлива (нефть, газ, мазут, уголь) во вторичную. Следовательно, сравнивать тепловую энергию, расходуемую в дистилляционных ОУ, хотя и выраженную в кВт·ч, с электрической энергией в мембранной технологии неверно, так как превращение первичной энергии во вторичную совершается с различными КПД.

Для объективной и корректной оценки энергетической эффективности различных опреснительных процессов нами предложено пользоваться не затратами преобразованной вторичной энергии (пара, электрической и механической энергии), а расходом первичной энергии в общепринятых единицах ($\text{МДж}/\text{м}^3$), либо в виде условного топлива ($\text{кг}/\text{м}^3$) с теплотворной способностью $29,308 \text{ МДж}/\text{кг}$ (за рубежом используется нефтяным эквивалентом $41,868 \text{ МДж}/\text{кг}$).

В таблице представлены результаты обработки существующих проектных, фактических данных о расходах первичной энергии на осуществление процесса опреснения морской воды, а также достигнутое и намечаемое снижение затрат энергии первичного топлива на опреснение морской воды благодаря совершенствованию опреснительных процессов. Из показателей следует, что за прошедшие 50 лет расход первичной энергии на опреснение воды дистилляцией снижен с 2900 до $130 \text{ МДж}/\text{м}^3$, т.е. более чем в 22 раза, мембранной технологией – в 2-3 раза, а вымощиванием в 6-7 раз. Казалось бы, дистилляционная и мембранная техника в своем развитии достигли максимума, и дальнейший прогресс невозможен. Однако сейчас разрабатываются новые технологические процессы, все шире применяются схемы так называемых гибридных ОУ, т.е. комбинации двух, трех и более разных опреснительных процессов, наиболее полно и эффективно использующих энергию первичного топлива. Намечается в дальнейшем снизить затраты энергии до $45\text{-}35 \text{ МДж}/\text{м}^3$ [4]. При решении вопроса о применении ОУ не менее важную роль будет играть экономическая сторона дела, т.е. во сколько

же обойдется получение опресненной воды. Ведь опреснение по сути представляет собой сложное производство с необходимыми затратами капиталов, энергии и рабочей силы. Воспроизводство водных ресурсов в настоящее время тоже перестало быть только природным процессом и во многих водохозяйственных районах страны, в южных безводных в особенности, превращается в особую сферу общественного производства, требующую немалых затрат.

Снижение расхода первичной энергии на опреснение морской воды в результате совершенствования технологии, МДж/м³

| Годы | Методы опреснения воды | | | |
|-----------|------------------------|---------------|---------------|----------------|
| | Дистилляция | Вымораживание | Электродиализ | Обратный осмос |
| 1961-1970 | 950-350 | 300-200 | 400-300 | 300-200 |
| 1971-1980 | 350-130 | 200-120 | 300-200 | 200-100 |
| 1981-1990 | 130-50 | 120-60 | 200-80 | 100-50 |
| 1991-2000 | 130-50 | 120-60 | 200-80 | 100-50 |

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./м³ – сравнима или даже ниже стоимости природной воды, поданной по трубопроводу. Например, жителям Владивостока природная вода обходится в 15 руб./м³.

Приведенные технико-экономические изыскания подтверждают необходимость создания локальных опреснительных установок на основе замораживающего метода для береговых предприятий, ощущающих дефицит пресной воды.

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

Библиографический список

1. *Геллер С.Ю.* Опреснение солоноватых вод естественным вымораживанием // Изв. АН СССР. Сек. геогр. 1962. № 5.
2. *Колодин М.В.* Прогресс опреснительной технологии // Совинтер вод. М., 1991. 44 с.
3. *Львович М.И.* Вода и жизнь. М.: Мысль, 1987. 254 с.
4. *Слесаренко В.Н.* Современные методы опреснения морских и соленых вод. М.: Энергия, 1985. 248 с.

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

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ СИТА

Получено уравнение малых колебаний частицы продукта, находящейся во вращающемся вокруг горизонтальной оси сите.

В пищевых производствах перерабатывается огромное количество различных сыпучих материалов. В бродильных производствах предварительно очищают зерно от примесей, в мукомольном производстве после размола зерна помол разделяют на отруби и муку, в некоторых случаях требуется выделить из сыпучей смеси металлические примеси.

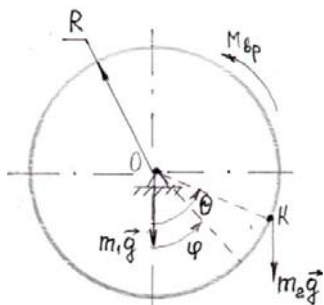
Процесс разделения сыпучей смеси на отдельные фракции называется сортированием (классификацией) сыпучих материалов.

Различают следующие методы сортирования: по размерам (просеивание), по плотности (сепарирование); прочие методы (флотация, электростатические методы).

Механическое сортирование на сетках называют просеиванием. Сита имеют одинаковые отверстия различной формы. Просеиваемый материал перемещается вдоль поверхности сита. Частицы, размеры которых меньше размеров отверстий, проваливаются сквозь сито. Эту часть называют проходом. Более крупные частицы остаются на сите и называются сходом.

Машины для просеивания бывают с неподвижными и подвижными ситами. Первые применяются редко. Вторые делятся на две категории: с плоскими горизонтальными или наклонными и с вращающимися цилиндрическими и коническими ситами, называемыми буратами.

Рассмотрим движение частицы продукта в барабанно-цилиндрическом сите с горизонтальной осью вращения (рисунок).



Движение частицы K в барабанном сите является сложным. Свяжем неподвижную систему координат с осью O , а подвижную – с барабаном. Тогда движение точки K по барабану будет относительным. Траекторией относительного движения является окружность радиусом R . Переносное движение есть вращение барабана вокруг неподвижной оси O .

Траекторией переносного движения точки K является та же окружность радиусом R .

Система *точка K – барабан* имеет две степени свободы. Положение барабана определим обобщенной координатой φ (угол отклонения барабана от вертикали). Положение точки определим обобщенной координатой θ (угол отклонения точки K от вертикали).

На систему действуют задаваемые силы: сила тяжести барабана $m_1\vec{g}$, сила тяжести точки $m_2\vec{g}$ и вращающий момент $M_{вр}$.

Уравнения Лагранжа II рода для системы с двумя степенями свободы имеют вид

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_{\varphi} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} = Q_{\theta} \end{cases}$$

Вычислим кинетическую энергию системы. Она равна сумме кинетических энергий барабана и материальной точки

$$T = T_1 + T_2.$$

Так как барабан совершает вращательное движение вокруг неподвижной оси, то

$$T_1^{вр} = \frac{I_{1X} \omega_1^2}{2} = \frac{m_1 R^2 \dot{\varphi}^2}{2},$$

где $I_{1X}^{кольцо} = m_1 R^2$, $\omega_1 = \dot{\varphi}$.

Точка совершает сложное движение, поэтому

$$T_2 = T_2^r + T_2^e,$$

где T_2^r, T_2^e – кинетические энергии точки в ее относительном и переносном движениях соответственно.

$$T_2^r = \frac{m_2 V_r^2}{2} = \frac{m_2 R^2 \dot{\varphi}^2}{2},$$

где $V_r = R\dot{\varphi}$,

$$T_2^e = \frac{m_2 v_e^2}{2} = \frac{m_2 R^2 \dot{\varphi}^2}{2},$$

где $v_e = R\dot{\varphi}$.

Тогда

$$T_2 = \frac{m_2 R^2 \dot{\varphi}^2}{2} + \frac{m_2 R^2 \dot{\psi}^2}{2} = \frac{m_2 R^2}{2} (\dot{\varphi}^2 + \dot{\psi}^2).$$

Кинетическая энергия всей механической системы следующая:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{m_1 R^2 \dot{\varphi}^2}{2} + \frac{m_2 R^2}{2} (\dot{\varphi}^2 + \dot{\psi}^2) = \frac{R^2}{2} (m_1 \dot{\varphi}^2 + m_2 \dot{\varphi}^2 + m_2 \dot{\psi}^2).$$

Частные производные по $\dot{\varphi}$ и $\dot{\psi}$ от кинетической энергии

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{R^2}{2} (2m_1 \dot{\varphi} + 2m_2 \dot{\varphi}) = R^2 \cdot \dot{\varphi} \cdot (m_1 + m_2);$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \frac{R^2}{2} \cdot 2m_2 \cdot \dot{\psi} = R^2 \cdot \dot{\psi} \cdot m_2.$$

Полные производные по времени от полученных частных производных

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) = R^2 \cdot \ddot{\varphi} \cdot (m_1 + m_2);$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) = R^2 \cdot \ddot{\psi} \cdot m_2.$$

$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0$ и $\frac{\partial T}{\partial \psi} = 0$, так как кинетическая энергия от φ и ψ явно не зависит.

Переходим к вычислению обобщенных сил Q_φ и Q_ψ . Дадим механической системе независимые возможные перемещения $d\varphi$ и $d\psi$. При определении Q_φ считаем, что $d\varphi \neq 0$, $d\psi = 0$. Сумма работ зависимых сил будет иметь вид

$$dA = M_{\text{вр}} d\varphi - m_2 g R \cdot \sin \alpha \cdot d\varphi.$$

Обобщенной силой является коэффициент, стоящий при $d\varphi$

$$Q_\varphi = M_{\text{вр}} - m_2 g R \cdot \sin \alpha.$$

Аналогично находим вторую обобщенную силу ($d\alpha = 0$, $d\alpha \neq 0$)

$$dA = -m_2 g R \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha.$$

Обобщенная сила есть коэффициент перед $d\alpha$

$$Q_\alpha = -m_2 g R \cdot \sin\alpha.$$

Полученные результаты поместим в уравнения Лагранжа

$$\begin{cases} R^2 \ddot{\alpha} (m_1 + m_2) = M_{\text{вр}} - m_2 g R \cdot \sin\alpha \\ R^2 \ddot{\alpha} m_2 = -m_2 g R \cdot \sin\alpha. \end{cases}$$

Первое уравнение есть дифференциальное уравнение вращательного движения вокруг неподвижной оси. Из него можно определить угловое ускорение вращательного движения сита

$$\ddot{\alpha} = \frac{M_{\text{вр}} - m_2 g R \cdot \sin\alpha}{R^2 (m_1 + m_2)}.$$

Угловое ускорение тем меньше, чем на больший угол от вертикали отклоняется частица. Угловое ускорение тем меньше, чем больше радиус сита и общая масса барабана сита и продукта.

Второе уравнение можно решить приближенно, положив $\sin\alpha \approx \alpha$. Оно примет вид

$$\begin{aligned} R^2 \cdot \ddot{\alpha} \cdot m_2 &= -m_2 g \cdot R \cdot \alpha, \\ \ddot{\alpha} + \frac{g}{R} \alpha &= 0. \end{aligned}$$

Это дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний точки K .

$$\text{Круговая частота } k = \sqrt{\frac{g}{R}}.$$

$$\text{Период колебаний } T = \frac{2\pi}{k} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}.$$

Общее решение этого уравнения имеет вид

$$\alpha = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt, \text{ где } C_1 = \alpha_0; C_2 = \frac{\dot{\alpha}_0}{k};$$

$$\alpha = \alpha_0 \cos \sqrt{\frac{g}{R}} \cdot t + \dot{\alpha}_0 \sqrt{\frac{R}{g}} \cdot \sin \sqrt{\frac{g}{R}} \cdot t.$$

Амплитуда колебаний

$$A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} = \sqrt{i_0^2 + \frac{\dot{i}_0^2}{k^2}},$$

где i_0 – начальный угол отклонения частицы, \dot{i}_0 – начальная угловая скорость движения частицы.

Если положить, что $i_0 = 0$, т.е. частица находится в нижней точке сита, то уравнение ее малых колебаний примет вид

$$i = \dot{i}_0 \sqrt{\frac{R}{g}} \cdot \sin \sqrt{\frac{g}{R}} \cdot t.$$

Амплитуда $A = \dot{i}_0 \sqrt{\frac{R}{g}}$.

Амплитуда прямо пропорциональна начальной угловой скорости частицы и корню квадратному из радиуса барабана сита.

Библиографический список

1. Баранов Д.А., Кутелов А.М. Процессы и аппараты. М.: Академия, 2005. 303 с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 2000. 416 с.
3. Машины и аппараты пищевых производств / Под ред. акад. В.А. Панфилова. М.: Высш. шк., 2001. 1383 с.

УДК 637.513.68

И.А. Кагановский, Дальрыбвтуз, Владивосток

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРОЗИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Перечисляются существующие методы быстрого замораживания, анализируются их недостатки и предлагается метод гидрофлюидизационного замораживания, существенно повышающего качество замораживаемых продуктов, энергосберегающий и высокопроизводительный. Приведены схемы экспериментального и опытно-промышленного образцов морозильных аппаратов, результаты лабораторных испытаний и перспективы развития техники гидрофлюидизационного замораживания, в том числе с использованием экологически чистых источников холода.

Замораживание продуктов как способ консервирования рыбного сырья не только более экономичен, чем тепловая обработка, но и лучше сохраняет потребительские качества продукта.

В настоящее время в рыбной промышленности получили плиточные и воздушные методы замораживания, имеющие ряд недостатков. У плиточного – это невысокое качество продукта, связанное с тем, что для отделения одной рыбы требуется дефростация или механическое разрушение всего блока, кроме того, при неаккуратной укладке рыбы в блок-формы замораживаемая рыба деформируется. К недостаткам воздушных морозильных аппаратов (МА) можно отнести большие габариты, относительно невысокую скорость замораживания, значительные удельные затраты энергии, усушку продукта до трёх процентов и другие. Но качество, а следовательно, и цена продуктов воздушной заморозки выше.

Качество зависит от скорости замораживания. При медленном замораживании в клетках тела образуются крупные кристаллы льда,рывающие клеточную оболочку, при быстром – лёд имеет мелкодисперсную структуру, не разрушающую её.

Европейский союз в программе «Инко Коперникус» [9] предлагает направить усилия на разработку метода гидрофлюидизационного замораживания, позволяющего получить продукцию высокого качества за счёт существенного увеличения скорости замораживания. Сущность метода гидрофлюидизационного (ГФ) замораживания состоит в использовании циркуляционной системы, которая перекачивает жидкий хладоноситель (ХН) через чиллер в замораживающий сосуд и создаёт в нём быстродвижущиеся струи, обтекающие продукт. Эти струи препятствуют образованию промежуточного слоя, чем обеспечивают высокий коэффициент теплоотдачи. Как показали опыты, коэффициент теплоотдачи при ГФ замораживании превышает $900 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, в то время как у струи воздуха не превышает $25 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Нами была разработана схема гидрофлюидизационного скороморозильного аппарата (ГФСМА), на которую был получен патент на полезную модель [4]. Аппарат предназначался, прежде всего, для штучного замораживания рыбы, упакованной в полимерную пленку. Совет директоров ОАО «Дальрыбтехцентр» заинтересовался предложением и поручил ООО «АИС» изготовить аппарат для лабораторных испытаний. Задачи исследования состояли в определении:

- оптимального направления струй ХН относительно поверхности;
 - рецептуры ХН;
 - скорости замораживания;
 - зависимости скорости замораживания от начальной температуры продукта.
- На рис. 1 показана схема установки, изготовленной и испытанной ООО «АИС».

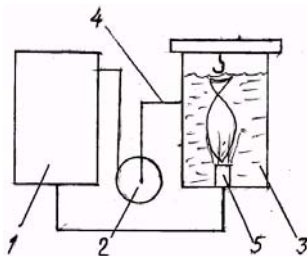


Рис. 1

Аппарат состоял из чиллера 1, циркуляционного насоса 2, морозильной ванны 3, выходного патрубка 4, входного патрубка 5. Замораживанию подвергали кету, краснопёрку, камбалу, корюшку по формуле

$$t_{xp} = (t_n + t_{вн}) / 2,$$

где t_{xp} – температура хранения, °С; t_n – температура в наружных слоях, °С; $t_{вн}$ – температура в центре продукта, °С.

Значение t_{xp} было принято -18°С.

Результаты испытаний фиксировались в протоколах, по которым строились графики процесса замораживания. На рис. 2 показан график замораживания кеты толщиной 60 мм, длиной 700 мм, массой 3,3 кг.

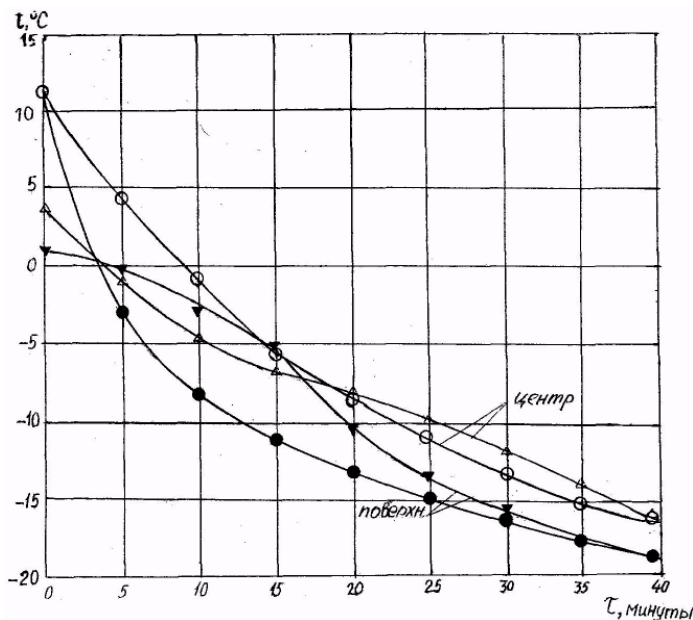


Рис. 2

В ходе эксперимента было установлено:

- наиболее подходящим хладоносителем является хладон марки R 141b с температурой кипения +32 °С, гидрофобный, не изменяющий вязкости при температурах испытания;
- скорости замораживания при подаче струй ХН в поперечном и продольном направлениях относительно тела рыбы практически одинаковы;
- начальная температура продукта, отличающаяся незначительно, практически не влияет на время замораживания.

Скорость замораживания определялась по формуле

$$V_3 = b / 2t,$$

где b – толщина рыбы, см; t – время замораживания до температуры хранения, ч.

Для кеты скорость замораживания составила 4,5, для краснопёрки – 6, для камбалы – 6,2 см /ч.

Время замораживания, по сравнению с воздушными СМА, сократилось в 10 и более раз, а период криоскопических преобразований для кеты составил в поверхностных слоях 5, а в центре – 6 мин.

Следующий этап исследований должен быть выполнен на опытно-промышленной установке. Его цель- определение:

- оптимального соотношения объёма ХН к объёму замораживаемого продукта;
- удельного расхода энергии в отношении кВт/кг;
- производительности циркуляционного насоса относительно объёма ХН в морозильной ванне.

Конструкция такого аппарата представлена на рис. 3.

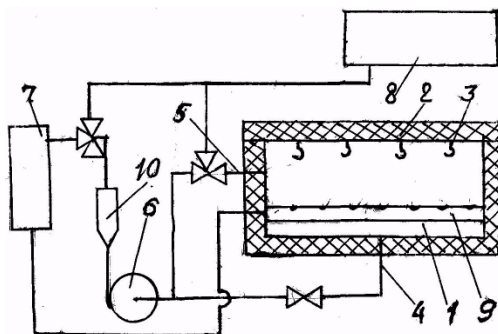


Рис. 3

Аппарат представляет собой ванну 1, снабжённую теплоизоляцией, которая закрывается крышкой 2, на нижней поверхности крышки расположены крючки 3 для подвешивания замораживаемого продукта. В корпусе ванны имеются отверстия 4 – для осушения и 5 – для поддержания требуемого уровня ХН, связанные трубопроводами с циркуляционным насосом 6, перекачивающим ХН через чиллер 7 в резервуар 8. На дне ванны уложены перфорированные трубы 9. Фильтр 10 служит для очистки ХН от загрязнений.

При работе ХН из чиллера 7 поступает в перфорированные трубы 9. Отверстия в трубах направлены вверх и совпадают с положением крючков 3 на крышке 2. Циркуляция хладоносителя осуществляется

циркуляционного насоса 6 и далее через трехходовой клапан и фильтр 10 в чиллер 7, где и происходит охлаждение ХН. Резервуар 8 служит для перекачки в него ХН при изменении уровня в ванне. ГФСМА оснащается двумя крышками. Пока происходит замораживание продукта, подвешенного на одной крышке, другую разгружают и загружают новой порцией продукта. Как показал опыт, цикл замораживания крупной рыбы будет длиться около одного часа. За это время два человека смогут выполнить операции разгрузки-загрузки.

Расчет показал, что ванна высотой 1000 мм, шириной 350 мм, длиной 800 мм, ёмкостью около 200 л, с разовой загрузкой 36 кг будет иметь производительность 828 кг за 23 ч.

На основе предлагаемой схемы можно проектировать ГФСМА различной производительности и назначения.

Для промышленного использования нами разработаны схемы судового и цехового морозильных аппаратов непрерывного действия с автоматической разгрузкой. Конструкция МА определяется техническим заданием заказчика, в котором должны быть указаны:

- место установки (цех берегового предприятия, судно, контейнер и прочее);
- размеры и масса замораживаемых объектов;
- производительность в тоннах в сутки;
- специальные требования.

Применение ГФСМА требуют решения ещё двух вопросов – это вид упаковки замораживаемых продуктов и выбор ХН.

Основные требования к упаковке – безвредность для организма, прочность, технологичность укупорки, теплопроводность.

Для упаковки штучной рыбы таким требованиям отвечает полиэтилен и многослойные пленки. Рыба, помещенная в полиэтиленовый пакет, подвергается вакуумированию.

Для лучшего прилегания плёнки к поверхности и улучшения товарного вида можно применять пакеты из термоусадочного материала. В этом случае, кроме вакуумупаковочной машины, требуется изотермическая ванна, с температурой воды 80-90 °С, в которую на 2-3 с погружают рыбу в вакуумированном пакете. Нагрев поверхности рыбы при этом будет незначительным. Полуфабрикаты и другие продукты могут быть упакованы в традиционные ёмкости.

При выборе ХН нужно учитывать следующие основные требования: вязкость, позволяющую перекачивать ХН при температурах -30...-40 °С, нетоксичность, экологическая безвредность, желателен гидрофобность и низкая стоимость.

Обзор источников информации [1, 3, 4, 7 и др.] выявил жидкости, удовлетворяющие этим требованиям: это водные растворы хлористого кальция, формиата калия, этилового спирта (экофрост), этилкарбитола (экосол 40) и хладон R 141b. В настоящее время ведутся консультации по выбору ХН и согласование их применения в Центре гигиены и эпидемиологии.

Дальнейшее совершенствование СМА будет происходить за счёт замены чиллеров, использующих экологически вредные хладагенты, на термоэлектрические, работающие на основе эффекта Пельтье. Кроме экологических, такие устройства обладают следующими преимуществами: малыми массой и габаритами, простотой обслуживания, гарантированным ресурсом 200 тыс. ч.

Пример такого устройства – блок термоэлектрический жидкостный, холодильной мощностью 3,6 кВт – показан на рис. 4.

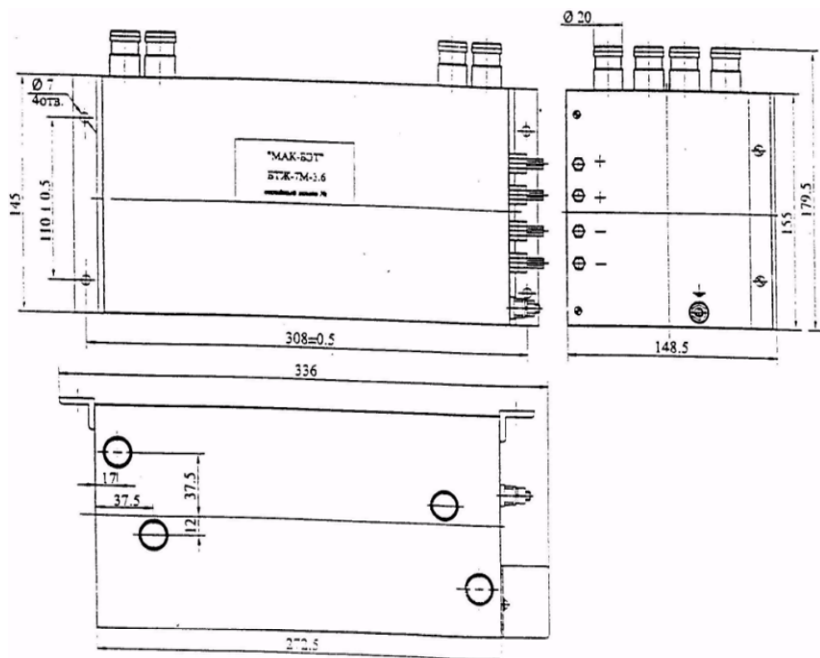


Рис. 4

За один проход через блок температура жидкости от нормальной понижается на 20 °С. За счёт последовательного соединения жидкостной системы блоков можно получить требуемую отрицательную температуру. Ограниченное применение в народном хозяйстве термоэлектрических охлаждающих устройств в настоящее время связано с их высокой стоимостью и холодильным коэффициентом ниже, чем у существующих чиллеров. По мнению специалистов, в скором времени эти недостатки будут устранены.

Разрабатываемые нами ГФСМА могут работать с любыми охлаждающими устройствами.

Библиографический список

1. *Бабков Н.И., Поламарчук А.С.* Перспективы развития рыбного хозяйства Украины // Сб. тр. Одесской национальной академии пищевых технологий. Одесса: ОНАПТ, 2008.
2. *Баранник В.П., Маринюк Б.Т.* Низкотемпературные экологически чистые хладоносители // Холодильная техника. 2003. № 6. С. 14-15.
3. *Быкова В.М., Белова З.И.* Справочник по холодильной обработке рыбы. М.: Агропромиздат, 1989. 303 с.
4. *Кагановский И.А.* Морозильные аппараты. Пат. № 73458 на полезную модель. 2008.
5. *Кагановский И.А.* Гидрофлюидизационные скороморозильные аппараты / Раздел в отчете в ГБТ № 281/2000-2005. Восстановление и улучшение потребительских свойств деталей оборудования рыбной промышленности. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2005. С. 6-18.
6. *Кириллов В.В., Петров В.Т.* Водно-спиртовые растворы электролитов в качестве хладоносителей с оптимальными свойствами // Холодильная техника. 2004. № 7. С. 14-15.
7. *Колодязная В.С., Соколов В.Н.* Массообменные характеристики при замораживании растительных продуктов в айс-сларри // Холодильная техника. 2004. № 3. С. 16-17.
8. *Родин Е.М.* Холодильная технология рыбных продуктов. 2-е изд. М.: Агропромиздат, 1989. 303 с.
9. *Фикин К.А., Фикин А.Г.* Быстрое замораживание пищевых продуктов посредством гидрофлюидизации и перекачиваемых ледяных суспензий // Холодильная техника. 2003. № 1. С. 22-25.

УДК 66 045

И.В. Панюкова, С.Д. Угрюмова, Дальрыбвтуз, Владивосток

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В ЭЛЕМЕНТАХ ГИДРОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИИ

Изложены результаты исследований влияния различных видов вибрации на скорость истечения и движения жидкости в гидравлических системах технологических комплексов.

В гидравлических системах различных технологических комплексов часто имеет место вибрация отдельных ее элементов (трубопровода, насадки, емкости) или всей гидросистемы. Так, моющие машины высокого давления, которые используются для нанесения моющих препаратов и послеоперационной обработки в пищевой отрасли, не только являются источником вибрации для оператора, более того, имеются случаи повреждения узлов оборудования из-за сильного напора струи.

Причины вибрации могут быть как искусственно создаваемые, так и случайными. Искусственно создаваемая вибрация элементов гидросистем в настоящее время начинает широко использоваться в целях интенсификации процессов теплообмена и массопереноса. Случайная вибрация элементов гидросистем обуславливается пульсацией давления жидкости, вызванной насосами или турбулентностью потока жидкости, а также вибрационными нагрузками, возникающими в связи с неуравновешенностью вращающихся масс.

Физическая сущность соответствующих явлений, обуславливающих возможное влияние вибрации твердых стенок тех или других систем на движение жидкости вдоль этих стенок (на величину энергии потока, расхода жидкости и т.п.) основывается на следующем:

1. В результате вибрации стенок шланга в движущейся жидкости возникают некоторые дополнительные ускорения. Такого рода ускорения обуславливают возникновение соответствующих сил инерции жидкости. Можно утверждать, что жидкость, движущаяся в шланге, подверженном вибрации, находится в поле не только массовых сил тяжести, но еще и в поле массовых сил инерции.

2. Колеблющиеся твердые стенки, омываемые жидкостью, являются источниками энергии: через них к потоку жидкости подводится некоторое количество механической энергии, затрудняющее или, наоборот, способствующее движению жидкости.

3. Возникает возможность возникновения в жидкости кавитационных разрывов, которые могут влиять на условия движения жидкости.

4. Рассматривая силы инерции, действующие на жидкость, следует учитывать влияние их на степень турбулентности потока, а следовательно, и на величину критического числа Рейнольдса.

На примере обтекания потоком жидкости вибрирующей пластинки нами рассмотрено влияние вибрационных сил на возникновение турбулентности, т.е. на переход от ламинарного режима течения к турбулентному. На основании ранее опубликованных работ [1, 2, 3, 7] показано, что возмущения, вносимые в поток жидкости вибрирующей пластинкой, вызывают возникновение синусоидальных колебаний, составляющих дополнительный компонент скорости, и тем самым способствуют зарождению более ранней турбулизации потока. Кроме того, вибрация металлической ленты, расположенной вблизи пластины, обтекаемой потоком, является источником периодически возникающих «вихрей». Влияние этих вихрей на течение вдоль пластины проявляется в увлечении коэффициента сопротивления пластины.

Таким образом, следует ожидать, что при движении жидкости в вибрирующей трубе также возможно появление вторичных течений, которые могут способствовать турбулизации потока и соответственно увеличению коэффициента гидравлического трения λ .

Нами исследовано влияние поперечной вибрации шланга на параметры (скорость и давление) протекающей в нем жидкости. Возможно существование обратной связи между вибрацией шланга и пульсация-

ми давления и скорости. В общем случае вибрирующий тонкостенный трубопровод может быть описан уравнением вида [6, 8]

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} \sigma_n(\tau) \sin \frac{n\pi x}{l},$$

где $\sigma_n(\tau)$ – функция времени, которую можно определить из предварительного расчета вибрации шланга под действием заданной нагрузки; l – расстояние между опорами шланга; n – количество колебаний во времени; x – расстояние от оси до стенки шланга.

Вследствие вибрации шланг прогибается, в результате чего происходят приращение его длины и уменьшение внутреннего радиуса

$$\Delta l = \frac{\pi^2 A^2}{8l} (1 - \cos 2\omega\tau) \text{ и } \Delta r = -\mu_n r_0 \frac{\Delta l}{l},$$

где A – амплитуда основного тона колебаний двухопорной балки-трубы; ω – угловая частота вынужденных колебаний шланга; r_0 – внутренний радиус неподвижного шланга; μ_n – коэффициент Пуассона материала стенок шланга.

Считая жидкость несжимаемой, для объема жидкости, заполняющей шланг в произвольный момент времени

$$W = W_0 + \frac{\pi^3 r_0^2 A^2}{8l} (1 - 2\mu_n) (1 - 2\cos 2\omega\tau),$$

где W_0 – объем жидкости, заполняющей шланг в прямолинейном положении ($y = 0$).

Окончательно получаем, что вследствие вибрации шланга на скорость основного стационарного потока накладывается дополнительная составляющая скорости, вызванная изменением объема жидкости

$$V_{\delta} = \frac{\pi^2 A^2 \omega}{4l} (1 - 2\mu) \sin \omega\tau.$$

Соответственно давление жидкости в шланге также изменится на величину

$$P_{\delta} = \frac{\rho c \pi^2 A^2 \omega}{4l} (1 - 2\mu) \sin \omega\tau,$$

где ρ – плотность жидкости; c – скорость распространения волны гидравлического удара в жесткой трубе.

При исследовании вопроса об истечении жидкости из емкости в условиях вибрации предварительно теоретическим путем (на основании работ М. Эпштейна, А. Григоряна, Р. Венедиктова, С. Кана, П. Доджа, К. Блейха, Т. Беркнеса и т.д.) были определены условия возникновения и дальнейшего существования паровоздушных пузырьков, возникающих в жидкости при вибрации емкости. Оказывается, что при этом на пузырек, находящийся в жидкости на глубине h , действует полное давление

$$P_n = P_a + P_z + P_e = P_a + pgh - ph\omega^2 A \sin \omega t,$$

где P_a , P_z , P_e – соответственно атмосферное, гидростатическое и вибрационное давления; ω – угловая частота; A – амплитуда вибрации столба жидкости.

Предполагая внешнее давление, как следующее закону Бойля-Мариотта, окончательно получено выражение для параметров вибрации, при которых возможно появление в жидкости паровоздушных пузырьков

$$\omega^2 A = - \left(g + \sqrt{3g^2 + \frac{2gP_a}{ph}} \right).$$

При исследовании влияния продольной вертикальной вибрации емкости на расход жидкости через донное отверстие получено, что в этом случае расход изменяется (во времени) согласно уравнению

$$Q = \mu \cdot S_0 \sqrt{2gz_0 \left[1 - \frac{A_z}{g} \cos(\omega t + \beta) \right]},$$

где μ – коэффициент расхода; S_0 – площадь отверстия; z_0 – статический напор; A_z – амплитуда ускорения от вибрации емкости.

Из анализа этого уравнения вытекает, что при значениях $\cos(\omega t + \beta) = 1$ и $A_z = g$ может иметь место прекращение истечения жидкости из емкости, а при $A_z > g$ возможно к тому же проникновение наружного воздуха внутрь емкости через донное отверстие. Соответственно при значении $\cos(\omega t + \beta) = -1$ давление жидкости над отверстием увеличивается за счет дополнительной силы инерции, возникающей в жидкости при вибрации емкости. Вопрос о том, какое значение величины $\cos(\omega t + \beta)$ (положительное или отрицательное) имеет преобладающее влияние на расход жидкости через донное отверстие, можно установить только экспериментально.

Нами исследовано также влияние вибрации горизонтального насадка на истечение жидкости из неподвижной емкости. Истечение происходит при постоянном напоре через насадок длиной l . Насадок под действием вибрации отклоняется от своего нейтрального положения на угол α , и его конец перемещается на расстояние z_2 . Применяя принцип

Даламбера к относительному движению элемента жидкости длиной ds , можно записать следующее уравнение:

$$-pF \frac{dV}{d\tau} ds - F \frac{dP}{ds} ds - \gamma F ds \sin \alpha - pF ds a_s = 0,$$

где F – площадь сечения насадка; P, V – средние (по сечению потока) давление и скорость; a_s – проекция ускорения переносного движения элемента ds на направление s .

Составляющая расход жидкости, обусловленная вибрацией насадка, определяется по формуле

$$q = \frac{Q_0}{4(1 + \varepsilon_{ex})} \left(\frac{U_l}{V} \right),$$

где $V = Q/F$ – средняя скорость при стационарном истечении жидкости; Q_0 – стационарный расход; ε_{ex} – коэффициент сопротивления входа в насадок; U_l – центростремительное ускорение, действующее на весь объем жидкости, находящейся в насадке.

На основании анализа имеющихся работ установлено, что в жидкости, находящейся в вибрирующей емкости, возможно появление пузырьков двоякого рода:

- а) воздушных пузырьков, возникающих в результате захвата наружного воздуха поверхностью колеблющейся жидкости;
- б) паровых (кавитационных) пузырьков, появление которых обусловлено снижением давления в жидкости до давления насыщенных паров.

Исследования показали:

1. В случае вибрации шланга, легко деформирующегося в радиальном и продольном направлениях, скорость и давление потока жидкости изменяются по синусоидальному закону.

2. При воздействии на поток жидкости вибрационных сил происходит более ранняя турбулизация потока. На основании проведенного исследования получено, что верхнее и нижнее критические числа Рейнольдса для наших условий снижаются почти в два раза.

3. Путем распространения известного уравнения неустановившегося движения жидкости в шланге на случай истечения жидкости через вибрирующий насадок была теоретически определена та составляющая расхода, которая вызвана вибрационными силами, воздействующими на жидкость.

4. Вибрация емкости, заполненной жидкостью, тесно связана с вопросом возникновения в жидкости воздушных и кавитационных пузырьков.

5. Время опорожнения емкости, подверженной продольной и вертикальной вибрации, значительно уменьшается по сравнению со временем опорожнения неподвижной емкости.

6. Нами дано описание физической картины явления, происходящего при истечении жидкости из емкости в условиях вибрации; при этом установлено, что уменьшение коэффициента расхода отверстия вызвано отрывом жидкости от дна емкости в районе отверстия и проникновением внутрь емкости наружного воздуха.

7. Использование внешнего цилиндрического насадка является препятствием, которое приводит к уменьшению коэффициента расхода отверстия вибрирующей емкости.

Библиографический список

1. *Иевлев В.М.* Численное моделирование турбулентных течений. М.: Наука, 1990. 216 с.
2. *Издельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
3. *Урюмова С.Д. и др.* Экспериментальное исследование распада вертикальной струи жидкости на капли // ТОИ ДВНЦ АН СССР, 1983. 37 с.
4. *Урюмова С.Д.* К вопросу оптимизации аппаратов пищевых производств // Пищевые технологии: проблемы и перспективы в XXI веке. Владивосток: ДВГАЭУ, 2000. 48 с.
5. *Урюмова С.Д. Панюкова И.В.* Организация санитарно-защитных зон как метод рассеивания вредных выбросов // Проблемы бизнеса и технологии в Дальневосточном регионе. Находка: ИТиБ, 2000. 43 с.
6. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
7. *Шмыглевский Ю.Д.* Аналитические исследования динамики жидкости и газа. М.: Эдитория УРСС, 1999.
8. *Юн А.А.* Теория и практика моделирования турбулентных течений. 2009. 272 с.

УДК 665.937.6:66.084

В.И. Погонец, Дальрыбвтуз, Владивосток

ПРИБЛИЖЁННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ЧАСТИЦАХ МОРЕПРОДУКТОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ СУШКЕ ВО ВЗВЕШЕННО-ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ (ВЗП)

При исследованиях процессов сушки измельченных частиц морепродуктов (ламинарии, кальмара и др.) во взвешенно-закрученных потоках использовали скоростную киносъемку. Покадровая расшифровка киноленты и анализ гидродинамики кипения частиц в сушильной камере позволили построить модель процесса и получить уравнения, используя которые можно приближенно рассчитать толщину пограничного слоя на криволинейных поверхностях частиц продукта. Владея ими, возможно также рассчитать основные параметры процесса сушки.

Уравнения пограничного слоя, появляющегося на криволинейных поверхностях шинкованных частиц морепродуктов (ламинарии, кальмаров, фукусов, и др.), подвергаемых сушке в активных взвешенно-закрученных потоках, мы уже рассматривали в ранее опубликованной работе [1].

Для стационарного пограничного слоя это общеизвестные уравнения

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + V \frac{\partial u}{\partial y} = U \frac{du}{dx} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_n}{\partial y},$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

где τ_n – касательное напряжение трения между слоями осредненного течения теплоносителя и включает в себе как турбулентное, так и обычное вязкостное трение.

$$\tau_n = \mu \frac{\partial u}{\partial y} - \rho u'v' = \mu \frac{\partial u}{\partial y} + \tau.$$

В уравнении (1) откинута член $\frac{\partial}{\partial x}(-\rho u'^2)$ и $\mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ как малые по сравнению с основным членом $\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_n}{\partial y}$, характеризующим влияние трения. Такое откидывание общепринято, хотя и нет твердой уверенности в том, что оно одинаково справедливо во всех областях пограничного слоя, в частности, вблизи отрыва пограничного слоя.

Уравнения пограничного слоя (1) представляют неопределенную систему уравнений, так как в отличие от случая ламинарного слоя, τ_n содержит неизвестное слагаемое τ . Рассмотрим приемы расчета турбулентного слоя, которые широко применяются на практике, так как, владея этими расчетами, можно получить основные параметры процесса взвешенно-закрученных потоков при сушке различных пищевых продуктов и научиться управлять ими. Приемы эти базируются на использовании первого и наиболее простого выводимого из уравнений (1) интегрального соотношения – похожего на уравнение импульсов, широко известное в гидроаэромеханике.

Уравнение импульсов в случае турбулентного течения вязкой среды между частицами имеет вид [2]

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} + \frac{U'\delta^{**}}{U}(2+H) = \frac{\tau_{\omega}}{\rho U^2}, \quad (2)$$

где тремя основными неизвестными являются: толщина потери импульса δ^{**} , отношение $\delta^*/\delta^{**} = H$ и напряжение трения вязкого потока на поверхности частиц гидробионтов τ_{ω} или коэффициент местного трения $C_f = 2\tau_{\omega}/(\rho u^2)$. В случае турбулентного слоя величины τ_{ω} или C_f определены быть не могут, и в этом случае необходимо пользоваться полуэмпирическими законами, либо эмпирическими законами сопротивления.

Задача сравнительно просто решается о турбулентном пограничном слое в случае продольного обтекания гладкой и шероховатой частицы продукта, когда $U = const = U_{\infty}$, $U' = 0$.

Интегральное соотношение импульсов (2) для продольно обтекаемой отдельной частицы имеет вид

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} = \frac{\tau_{\omega}}{\rho U_{\infty}^2},$$

где x – координата, направленная вдоль поверхности частицы продукта; U_{∞} и ρ – соответственно скорость и плотность набегающего потока; τ_{ω} – напряжение трения на стенке; δ^{**} – толщина потери импульса. Используем универсальные координаты

$$\varphi = \frac{u}{v_*}, \quad \eta = \frac{v_* y}{\nu};$$

здесь y – координата по нормали к поверхности частицы продукта; ν – коэффициент кинематической вязкости потока; v_* – динамическая скорость. Тогда

$$\delta^{**} = \frac{\nu h}{U_{\infty}} \int_0^{\infty} \frac{\varphi}{h} \left(1 - \frac{\varphi}{h}\right) d\eta,$$

где $h = U_{\infty}/v_*$.

Принимая в качестве независимой переменной φ вместо η , получим

$$\delta^{**} = \frac{\nu h^2}{U_\infty} \int_0^1 \frac{\varphi}{h} \left(1 - \frac{\varphi}{h}\right) \dot{\eta} d\left(\frac{\varphi}{h}\right). \quad (3)$$

Принимая упрощенное допущение о постоянстве напряжения трения поперек слоя $\tau = \tau_\omega$ и переходя к универсальным координатам $\varphi = u/v_*$, $\eta = yv_*/\nu$, получим

$$\frac{\varphi''}{\varphi'^2} = -\chi. \quad (4)$$

Знак минус появляется после извлечения корня в связи с тем, что $\varphi'' < 0$. В равенстве (4) поменяем местами аргумент и функцию, тогда получим уравнение $\dot{\eta}/\ddot{\eta} = \chi$, из которого следует, что

$$\dot{\eta} = C e^{\chi\varphi}. \quad (5)$$

Если обозначить через f величину производной $d\varphi/d\eta$ на границе ламинарного подслоя то $\eta = \eta_n = \alpha$, тогда

$$f = \left(\frac{d\varphi}{d\eta}\right)_{\eta=\eta_n+\alpha} = \varphi'(\alpha+0) = \frac{1}{\chi\alpha},$$

и равенство (5) примет вид

$$\dot{\eta} = \frac{e^{-\chi\alpha}}{f} e^{\chi\varphi} \quad (6)$$

Возвращаясь к равенству (3), заметим, что, строго говоря, интеграл в правой части этого равенства следовало бы разбить на два участка, так как $0 \leq \varphi \leq \alpha$ и $\alpha \leq \varphi \leq h$, и в каждом из них подставить свое значение $\dot{\eta}$. Однако ввиду относительной точности ламинарного подслоя, мало влияющего на значения интеграла (3), можно опустить первый участок.

Таким образом, исключая $\dot{\eta}$ из равенства (3) и (6), получим следующее выражение:

$$\delta^{**} = \frac{\nu h^2 e^{-\chi\alpha}}{f U_\infty} \int_0^1 \bar{u} (1 - \bar{u}) e^{\chi h \bar{u}} d\bar{u}, \quad (7)$$

где $\bar{u} = \varphi/h$.

Величина χh , как это видно из ее определения, существенно превосходит единицу.

Выполняя в (7) интегрирование, получим выражение

$$\delta^{**} \approx \frac{ve^{-\chi\alpha}}{f\chi^2 U_\infty} e^{\chi h} \left(1 - \frac{2}{\chi h} \right). \quad (8)$$

Найдем еще выражение $H = \delta^* / \delta^{**}$. Способом, аналогичным показанному выше, можно найти следующее выражение для толщины пограничного слоя

$$\delta^* \approx \frac{ve^{-\chi\alpha}}{f\chi^2 U_\infty} e^{\chi h}.$$

Составляя отношение δ^* / δ^{**} , согласно приближенному равенству (8) получим выражение для H

$$H = \frac{1}{1 - \frac{2}{\chi h}} \approx \left(1 - 5\sqrt{\frac{c_f}{2}} \right)^{-1}.$$

Возвращаясь к выражению (8), заметим, что при вычислении толщины пограничного слоя можно пренебречь вторым слагаемым в скобках по сравнению с первым.

После простых преобразований получим следующее уравнение:

$$\frac{e^{-\chi\alpha}}{f\chi^2} h^2 d(e^{\chi h}) = dRe_x; \quad Re_x = \frac{U_\infty \chi}{\nu}.$$

Беря интеграл от обеих частей этого уравнения и используя граничное условие $Re_x = 0$ при $\nu_* = \infty$, т.е. $h = 0$, будем иметь в том же приближении

$$\frac{e^{-\chi\alpha}}{f\chi^2} h^2 e^{\chi h} = Re_x.$$

Логарифмируя обе части этого равенства и возвращаясь от переменной h к c_f , по равенству $h = \sqrt{2/c_f}$ получим формулу

$$1/\sqrt{c_f} = A + B \lg(\text{Re}_x c_f).$$

Введя рейнольдсово число $\text{Re}^{**} = U\delta^{**}/\nu$, перепишем уравнение в форме

$$\frac{d\text{Re}^{**}}{d\text{Re}_x} = \frac{\tau_\omega}{\rho U_\infty^2}.$$

Предположим сначала, что ламинарный участок пограничного слоя пренебрежимо мал, и турбулентный слой устанавливается прямо с передней кромки частицы продукта. Тогда $\delta^{**} = 0$ при $x = 0$ или, что всё равно, $\text{Re}^{**} = 0$ при $\text{Re}_x = 0$; это означает, что $C = 0$.

При таком предположении будем иметь

$$\text{Re}^{**} = 0,0153 \text{Re}_x^{6/7}, \quad (9)$$

или, возвращаясь от рейнольдсовых чисел Re^{**} и Re_x к толщине потери импульса δ^{**} и абсциссе x

$$\delta^{**} = 0,0153 \left(\frac{\nu}{U_\infty} \right)^{1/7} x^{6/7}.$$

Таким образом, приходим к выводу, что толщина пограничного слоя при турбулентном режиме теплоносителя на частице продукта растёт пропорционально абсциссе в степени шесть седьмых, и это почти линейная зависимость. Вспомним [1], что в случае ламинарного слоя на высушиваемой частице толщина пограничного слоя возрастала пропорционально корню квадратному из абсциссы, т.е. гораздо медленнее, чем в турбулентном слое.

Отношение толщины потери импульса к абсциссе представляет слабую функцию рейнольдсова числа

$$\delta^{**}/x = 0,0153 \text{Re}_x^{-1/7}.$$

Заметим, что при продольном обтекании частицы продукта теплоносителем, при котором из гидродинамики известно, что dp/dx и dU/dx равны нулю, имеем

$$c_{f0} = \frac{\tau_\omega}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2} = 0,0131 \text{Re}^{**-1/6} = 0,0131 \cdot 0,0153^{-1/6} \text{Re}_x^{-1/7}. \quad (10)$$

Окончательный вид формулы для местного коэффициента трения на частице продукта будет

$$c_{f0} = 0,0263 \operatorname{Re}_x^{-1/7}. \quad (11)$$

Отсюда уже легко получить и выражение полного коэффициента сопротивления частицы длиной L в потоке теплоносителя

$$C_{f0} = \frac{W}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 L}. \quad (12)$$

Окончательно следует заметить, что полученные аналитические выражения не учитывают наличие биополимеров на частицах морепродуктов, подвергаемых сушке в активных гидродинамических потоках теплоносителя, а их присутствие всегда имеет место быть в силу своего естественного биологического происхождения продукта. Формулы (11) и (12) можно использовать для приближенного расчета сопротивления частиц, обтекаемых теплоносителем в сушильной камере.

В итоге можно сделать следующие выводы. Масса частиц и их количественное наличие легко определяются при загрузке в сушильную камеру. Температура теплоносителя всегда задана для конкретного объекта сушки. Скорость потока теплоносителя уже может быть рассчитана с учетом установленного сопротивления всей массы продукта для соответствующего известного сечения сушильной камеры.

Библиографический список

1. *Погонец В.И.* К вопросу развития пограничного слоя на шинкованных частицах морепродуктов, подвергаемых сушке в ВЗП // Науч. тр. Дальрыбвтуза. Вып. 20. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. С. 263-266.
2. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969. 742 с.

УДК 665.937.6:66.084

В.И. Погонец, Дальрыбвтуз, Владивосток

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СУШКИ РАСТВОРОВ АГАРА И АЛЬГИНАТОВ НА ИНЕРТНЫХ ТЕЛАХ ВО ВЗВЕШЕННО-ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Проведены исследования сушки растворов полисахаридов на инертных частицах во взвешенно-закрученных потоках на цеховом аппаратном комплексе. Получены первые положительные результаты по кинетике и гидродинамике процессов. Они позволят уточ-

нить конструкцию узлов создаваемой лабораторной установки, необходимой для выполнения полного объема исследований по сушке этих пищевых продуктов.

Объемы вырабатываемых предприятиями сухих полисахаридов (агара, альгината натрия и альгината кальция) из морского сырья очень ограничены, 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, необходимых для аппаратурного оформления этих процессов, не позволяет предприятиям получать из растворов сухие продукты с высоким качеством, им невозможно обеспечить снижение энергозатрат на их производство и удешевить себестоимость продукции.

Поэтому эти исследования нацелены на разработку новых установок с передовыми технологиями сушки растворов агара и альгинатов во взвешенно-закрученных потоках, а проведенные нами ранее предварительные опыты в этом направлении показали обнадеживающие результаты.

Экспериментальные работы были проведены на аппаратурном комплексе ЗАО «Конвекс» (рис. 1). Эта установка имеет два энергетических узла, которые могут работать одновременно на одну камеру, а также поочередно раздельно, причем один узел включает в себя теплогенератор марки ТГ-1а и работает на дизельном топливе, а другой узел обеспечивает нагрев теплоносителя электротэнами.

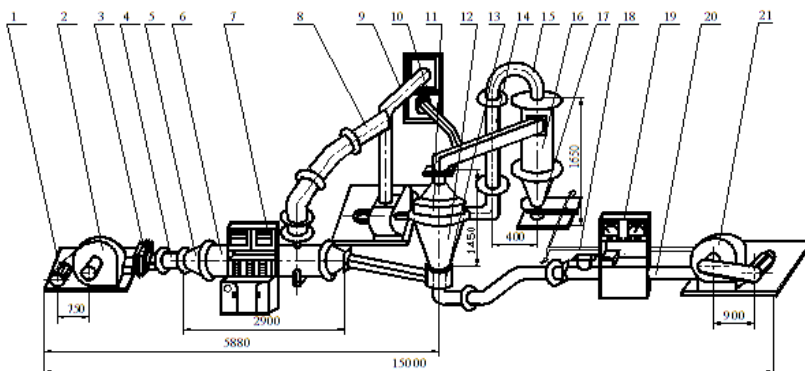


Рис. 1. Схема аппаратурного комплекса для сушки растворов агара и альгинатов, разработанного в ЗАО «Конвекс»

Установка состоит из двух вентиляторов высокого давления ВВД-8 (поз. 2 и поз. 21), которые засасывают наружный воздух, и его под давлением подают в магистрали. Левая магистраль состоит из мягкой вставки 3, цилиндрического стабилизирующего участка 4, конического переходника 5 и теплогенератора 6. Правая магистраль состоит из цилиндрическо-

го стабилизирующего участка 20, электротепловой нагревательной секции с пультом управления 19 и рычажного устройства 18, предназначенного для регулирования шиберной заслонкой, которая установлена на всасывающем патрубке вентилятора высокого давления.

Пульт управления 7 левой магистрали сконструирован в отдельном корпусе. Воздуховоды 8 и 9 предназначены для выброса отработанных дымовых газов в атмосферу, а воздуховоды 10, 14, 15 предназначены для отвода теплоносителя после камеры сушки 12 и циклона 16. Пульты управления сушильной установки позволяют регулировать температуру сушильного агента в диапазоне 40-180 °С. Количество воздуха, прокачиваемого через магистраль, может изменяться в пределах от 4000 до 12000 м³/ч. Вентиляторы обеспечивают требуемое давление под газораспределительной решёткой, что в итоге предопределяет необходимую величину удельной нагрузки инертного материала с нанесенным раствором полисахаридов в сушильной камере. Схема узла подачи растворов в сушильную камеру приведена на рис. 2.

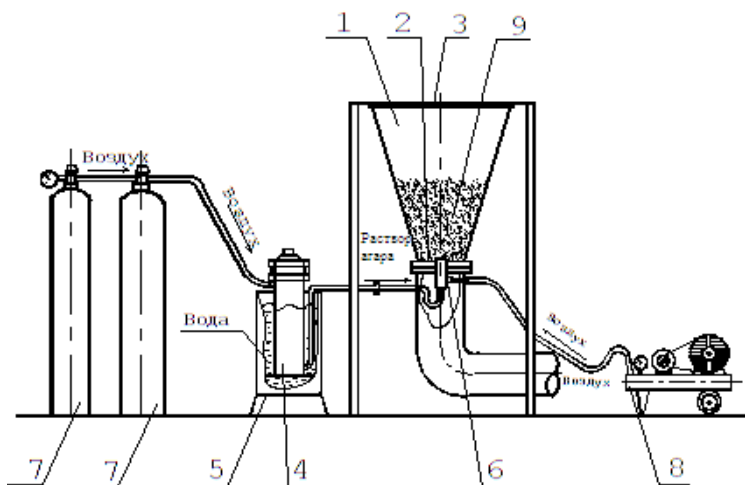


Рис. 2. Схема узла подачи растворов: 1 – камера сушильная; 2 – решетка газораспределительная; 3 – сетка; 4 – емкость с раствором агара; 5 – термостат; 6 – распылитель; 7 – баллон со сжатым воздухом; 8 – компрессор; 9 – носитель, изготовленный из фторопласта-4

Испытания сушилки проводили по двум вариантам. Первый вариант заключался в том, что раствор агара помещали в стальной цилиндр 4, снабженный герметичной крышкой. Цилиндр помещали в водяную баню 5 и в ней поддерживали постоянную температуру воды +90 °С. Полость цилиндра с раствором агара через гибкий шланг и систему запорной арматуры соединялась с воздушными баллонами 7. Запорная арматура

трубопровода через редуктор позволяла устанавливать широкий диапазон избыточных давлений в камере на раствор агара, а это в свою очередь обеспечивало возможность при экспериментах варьировать расходом и в конечном итоге задавать требуемую производительность форсунки-распылителя. Таким образом, раствор агара или (альгината натрия) под давлением подавался в форсунку-распылитель 6, которая устанавливалась под газораспределительной решеткой. Форсунка-распылитель состоит из двух цилиндрических трубок состыкованных телескопически, между которыми имеется кольцевой зазор. Трубки закреплены в крестовине и крепятся к трубопроводу с жидким раствором. Форсунка-распылитель при эксплуатации показала удовлетворительную работу и хороший устойчивый факел распыла растворов агара и альгинатов на инертные тела. В этой конструкции сушилки были подвергнуты испытаниям также тангенциальные распылительные форсунки, с отверстиями диаметрами 0,5; 0,8; 1,0; 1,25; и 1,5 мм. Наилучших результатов распыливания растворов агара и альгината натрия в сушилке удалось достигнуть при применении механической форсунки с центробежным распыливанием и с диаметром отверстий до 1,5 мм, которая была рекомендована для данной сушилки.

Второй вариант подачи растворов в сушильную камеру нами апробирован по той же схеме, но уже с использованием воздушного компрессора 8 вместо воздушных баллонов 7. Этот вариант наиболее прост и показал хорошие результаты при испытаниях.

На рис. 3 приведена схема компоновки форсунок в узле распыливания растворов агара и альгината натрия и показана желательная компоновка этого узла с шестью форсунками, общим распределительным коллектором и запорной арматурой. Здесь термостат 1, внутри которого помещена емкость с раствором агара (или альгинатом); регулировочные вентили 2 (шесть штук) установлены симметрично на коллекторе.

Для осуществления распыливания растворов пневматической форсункой необходимо использование воздушного компрессора, фильтров очистки подаваемого воздуха, как в компрессор, так и после него. При использовании механической форсунки наличие такого оборудования не требуется и поэтому значительно упрощает подготовку и подачу растворов через форсунку в камеру сушики. Для того чтобы обеспечить требуемое давление воздуха на раствор в момент его подачи к каждой форсунке, необходимо, во-первых, поддерживать более высокое давление воздуха в расходной емкости 1 (рис. 3), а затем уже регулировочными вентилями 2, последовательно для каждой форсунки, обеспечивать установку заданных параметров расхода раствора.

На рис. 4 представлены зависимости производительности механической форсунки от давления подаваемого раствора при различных диаметрах сопла форсунки и температуре растворов 80 °С с содержанием в них 4 % сухих веществ.

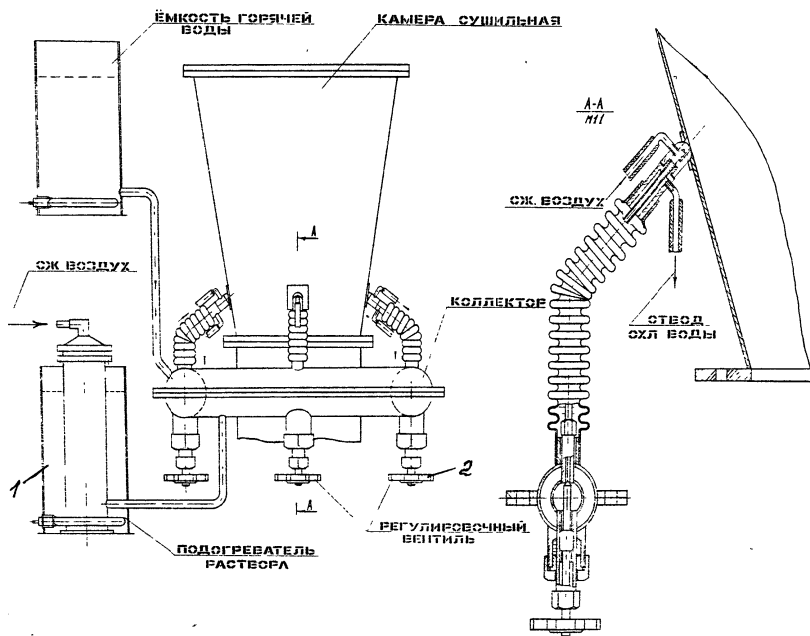


Рис. 3. Схема компоновки форсунок в узле распыливания растворов агара и альгината натрия

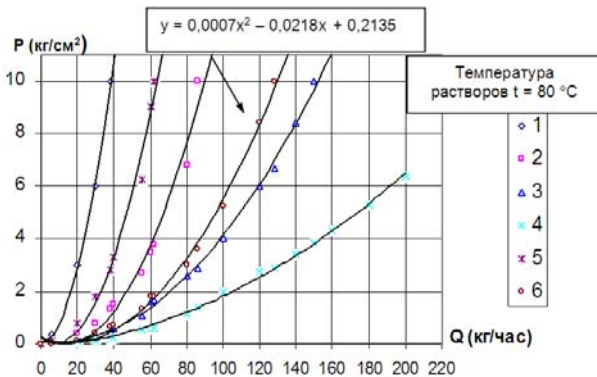


Рис. 4. Зависимости производительности механической форсунки от давления подаваемых растворов при различных диаметрах сопла форсунки с содержанием 4 % сухих веществ. Диаметр форсунки для подачи растворов альгината натрия: 1 – 0,5 мм; 2 – 1,0 мм; 3 – 1,5 мм; 4 – 2,0 мм; диаметр форсунки для подачи растворов агара 5 – 1,0 мм; 6 – 1,5 мм

Замечено, что производительность форсунок уменьшается для более вязких растворов агара и альгинатов. По характеру распыливания наиболее тонкое получалось тогда, когда увеличивали давление на раствор, подаваемый в форсунку. По приведенным графическим кривым легко определить желаемую величину расхода подаваемого раствора в камеру на сушку, в зависимости от создаваемого давления и используемых форсунок.

По этим зависимостям можно также произвести расчет требуемого количества форсунок, если известны их диаметр, давление и требуемый расход полисахаридов, которые необходимо в них поддерживать.

Высушенные частицы агара или альгината натрия предварительно в процессе сушки скалываются с частиц инертного материала и отфильтровываются через капроновую сетку (размер её ячеек составляет 1,0 x 1,0 мм), установленную в верхней части сушильной камеры. Инертные тела (они изготовлены в виде тонких эластичных пластинок из фторопласта-4), отделяемые таким образом от сухих частиц продукта, остаются в пространстве сушильной камеры и вновь участвуют в дальнейшем процессе кипения. Инертные тела просты по форме (их предложили авторы [1]), форма тел – это легко деформируемые пластинки, поэтому они обеспечивают эффективное скалывание сухих частиц агара и альгината натрия в процессе их деформации при витании и соударении. Такая форма тел не подвержена комкованию в сушильной камере и стабильно кипит с напыленными растворами.

Испытания сушилки проводили следующим образом. Вначале испытания процесса кипения частиц инертного материала были проведены без нанесения на них растворов, причём их размеры были разные от (20 x 0,2 x 2,5) мм до (70 x 0,8 x 4,0) мм, здесь соответственно длина, толщина и ширина, а также изменяли их удельную нагрузку на газораспределительную решётку от 45 до 120 кг/м² для того, чтобы определиться в характере и стабильности процесса кипения. Замеры скорости теплоносителя под газораспределительной решёткой определяли по изменению перепада давления на нормальной диафрагме, установленной на подводящем трубопроводе. Сопротивление слоя инертного материала находило как разницу давлений над решеткой и в верхней части кипящего слоя.

В результате выявлено, что при удельных нагрузках от 45 кг/м² до 60 кг/м² характер кипения частиц неустойчив, наблюдали прорывы отдельных «пузырей» теплоносителя по образующей камеры, либо характер кипения представлял собой интенсивное вращение слоя с малым перемешивающим эффектом. Такие режимы работы сушилки были неприемлемыми для исследований, поэтому постепенно удельная нагрузка была доведена до 120 кг/м², а затем до 153 кг/м², и в итоге добились и наблюдали стабильный характер кипения частиц инертного материала.

При исследовании кинетики процесса сушки растворов агара и альгината натрия важным конечным фактором для нас являлось то, что требовалось выявить и установить такие режимы процесса, которые

позволили бы получить сухие частицы готового продукта необходимой формы и соответствующей размерной фракции. Так при проведении опытов было замечено, что темп подачи раствора в сушильную камеру через форсунку предопределяет в конечном итоге выход частиц сухого продукта различных по форме (в виде хлопьев-снежинок, в виде пылевидных частиц или чешуек). По оценке специалистов и производителей, наиболее приемлемой формой являются сухие частички этих полисахаридов в виде снежинок, потому что такая форма обеспечивает, в производственных условиях, лучшую растворимость этих сухих частиц агара и альгинатов при подготовке исходных растворов.

При небольших количествах (в пределах 20-60 г/мин) подачи растворов на сушку (при стабильном процессе кипения инертного материала) и предельно возможных температурах теплоносителя (для агара) наблюдали выход сухого продукта в виде пылевидных частичек. Такие же результаты получали и при сушке растворов альгината натрия при температуре теплоносителя $100 \div 120$ °С.

Увеличение темпа подачи для растворов агара до 160 г/мин при температуре теплоносителя 90 °С форма сухих веществ напоминала хлопья-снежинки, и это по всей видимости объясняется тем, что распыленные частички раствора в меньшей степени оседают на поверхности инертного материала и сушка их обеспечивается во взвешенном состоянии.

Дальнейшее увеличение темпа подачи исходного раствора (более 160 г/мин) в сушильную камеру приводило к тому, что форма полученных сухих частичек продукта напоминала пластинки или чешуйки. Отдельные из них имели довольно большие размеры, и такие частицы, естественно, не могли проникнуть через фильтрующую сетку (размер ячеек $1,0 \times 1,0$ мм) при выходе из камеры, а это в итоге снижало производительность процесса. Объясняется это, по всей видимости, тем, что количество подаваемого раствора в единицу времени было большим, и поэтому раствор наносился толстым слоем на инертные частицы. Этот слой в процессе высушивания образовывал толстую пленку, которая в результате соударения частиц разрушалась, и скалывание уже происходило в виде чешуек.

Выявлено, что наиболее приемлемые удельные нагрузки инертного материала в камере составляют $80-120$ кг/м², поэтому последующие исследования проводили с учетом этого выбранного диапазона. Так, на рисунках 5 и 6 приведены результаты экспериментов по сушке растворов агара и альгината натрия при удельных нагрузках 120 кг/м² и 80 кг/м². Наблюдаем, что характер кривых почти идентичен, однако ввиду различных адгезионных их свойств процесс начала кипения этих растворов различен.

Так, начало кипения инертных частиц с нанесенным на них раствором агара наблюдали в диапазоне его сопротивлений $180-186$ кг/м², в то время как с нанесенным раствором альгината натрия кипение происходило уже при сопротивлении слоя в пределах $160-168$ кг/м². Объяснение этому, видимо, в том, что вязкость растворов агара значительно выше, чем растворов альгината натрия.

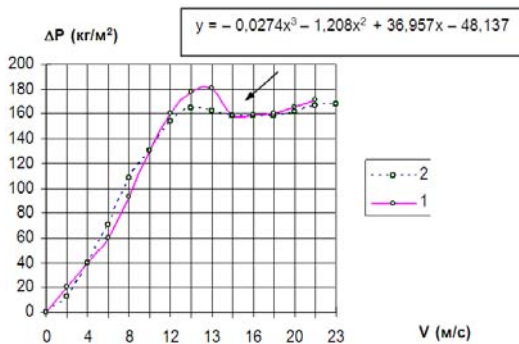


Рис. 5. Кривые сушки растворов агара и альгината натрия.
 Размеры частиц инертного материала (70 × 0,5 × 2,5) мм.
 Удельная нагрузка на решетку $q = 120 \text{ кг/м}^2$; 1 – агар с содержанием сухих веществ 4 %; 2 – альгинат натрия с содержанием сухих веществ 1,5 %

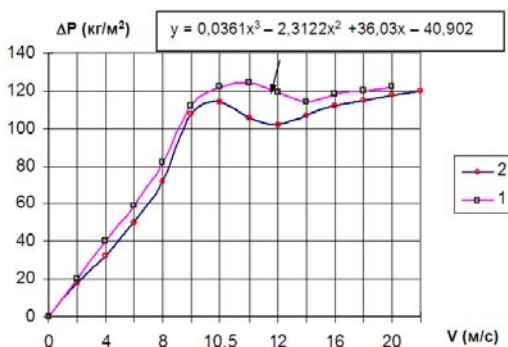


Рис. 6. Кривые сушки растворов агара и альгината натрия.
 Удельная нагрузка на решетку $q = 80 \text{ кг/м}^2$; 1 – агар с содержанием сухих веществ 18 %; 2 – альгинат натрия с содержанием сухих веществ 4 %

Установлено [1, 3], что при подаче растворов в сушильную камеру с повышенным содержанием в них сухих веществ сопротивление слоя увеличивается и соответственно начало процесса кипения уже обеспечивается только с увеличением давления и скорости подачи теплоносителя под газораспределительную решётку.

Выявлено также [2], что разные конструкции форсунок, используемые для нанесения растворов на инертные частицы, также влияют на размеры получаемых сухих частиц. Так, применение механической форсунки для распыла растворов позволяло получать желаемую форму частичек в виде снежинок при темпе подачи исходного раствора агара с 60 г/мин до 160 г/мин, а при применении пневмофорсунок этот ре-

зультат достигался уже в пределах темпа подачи, начиная с 140 г/мин, до 200 г/мин.

При сравнении результатов кинетики процесса сушки растворов альгината натрия и агара выявлено, что эти системы имеют общие закономерности по образованию гранул сухих частиц. В первую очередь это зависит от количества раствора, наносимого на кипящие инертные тела в сушильную камеру, а также от количества сухого вещества, содержащегося в этих подготовленных растворах.

При анализе полученных результатов и особенностей протекания процессов сушки растворов полисахаридов во взвешенно-закрученных потоках теплоносителя было установлено, что для них можно разработать одинаковые узлы при создании опытного промышленного образца сушилки. Однако чтобы окончательно ответить на этот вопрос, необходимо создать лабораторный вариант сушилки, на котором потребуется отработать все параметры процесса и провести полный объем исследований. Авторы, совместно с группой студентов, приступили к разработке чертежей и эскизов на детали и узлы этой конструкции.

Библиографический список

1. *Погонец В.И.* Сушка морепродуктов во взвешенно-закрученных потоках. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. 193 с.

2. *Погонец В.И.* Новое оборудование для сушки морепродуктов и основы его расчёта. Владивосток: Дальрыбвтуз, 1996. 108 с.

3. *Погонец В.И.* Исследования кинетики процесса сушки полисахаридов во взвешенно-закрученных потоках // Исследования Мирового океана: матер. Междунар. науч. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. С. 396-398.

УДК 515.2:681.3

Н.Ю. Смекаева, Е.В. Шамрай-Лемешко, Дальрыбвтуз, Владивосток

РАЗВЕРТКИ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПРОГРАММЕ AutoCAD

Описано построение разверток некоторых конических поверхностей. Такие поверхности встречаются при изготовлении вентиляционных систем, бункеров, водосточных труб. Чертежи разверток выполнены в современном исполнении – программе AutoCAD.

Боковой разверткой конуса вращения (рис. 1) является сектор окружности, радиус которой равен образующей конуса, а угол может быть

определен по формуле
$$\alpha = \frac{2\pi \cdot r}{\ell} = 360^\circ \cdot \frac{r}{\ell}.$$

l – длина образующей конуса, r – радиус окружности основания конуса

На практике целесообразно иметь значение угла не в радианах, а в градусах, поэтому в формуле вместо значения 2π часто указывают 360° .

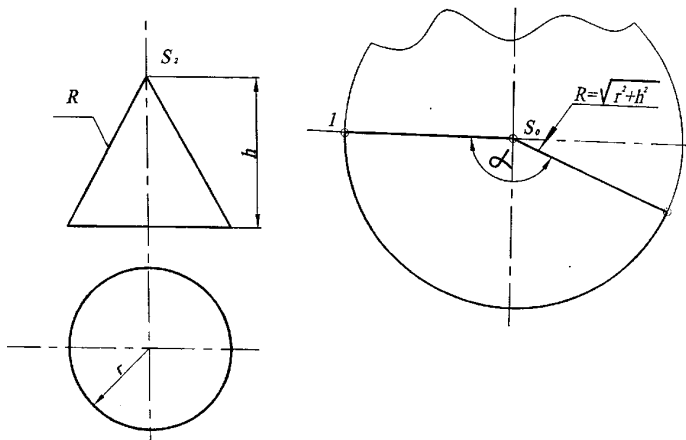


Рис. 1

Развертка боковой поверхности конуса вращения с отверстием

На рис. 2 изображено пересечение конуса с цилиндром. Обе поверхности являются поверхностями вращения. Оси их пересекаются под прямым углом. Поэтому линия пересечения на фронтальной проекции совпадает с проекцией основания цилиндра. Фронтальная проекция имеет ось симметрии, поэтому выполняют половину боковой поверхности. Полную развертку получают командой ЗЕРКАЛО.

Построение чертежа выполняют в следующей последовательности:

1. Построена половина поверхности развертки как сектор с углом

$$\alpha/2 = (360^\circ R) : L \text{ команда РАЗМЕРЫ УГЛОВЫЕ}$$

Длина образующей L определена командой РАЗМЕРЫ.

2. На фронтальной проекции проведены образующие A, B, C и D .

Образующая B – проведена касательной к проекции линии пересечения, образующая C – делит дугу $ВДД$ пополам.

3. Точки линии пересечения обозначены 1, 2, 3, 4 и 5.

4. На развертке отложим хорды, заменяющие дуги BC и CD (команды КОПИРУЙ, ПЕРЕНЕСИ) и проведем образующие командой отрезок.

5. Расстояние от вершины конуса до точек линии пересечения определены методом вращения образующих вокруг оси конуса и перенесены на образующие развертки.

6. Полученные точки соединены плавной кривой командой СПЛАЙН.
7. Полный контур развертки боковой поверхности с отверстием получен командой ЗЕРКАЛО.

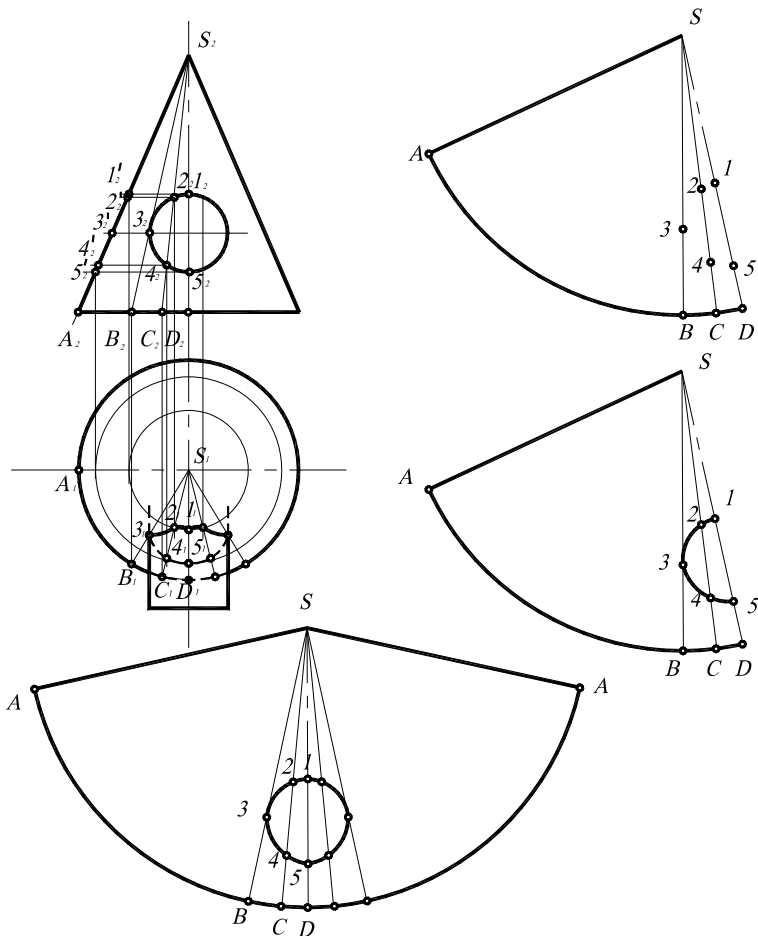


Рис. 2

Построение разверток усеченного конуса

Конические переходы с одного диаметра на другой (воронки) встречаются в устройстве водосточных труб и во многих других изделиях из тонколистовой стали (бидонах, лейках и пр.). Если при этом

угол конуса не имеет особого значения, то его величину можно выбирать 29° , 60° или 97° . В этом случае развертки имеют очень простую форму – $1/4$, $1/2$ и $3/4$ круга. Примеры представлены на рис. 3.

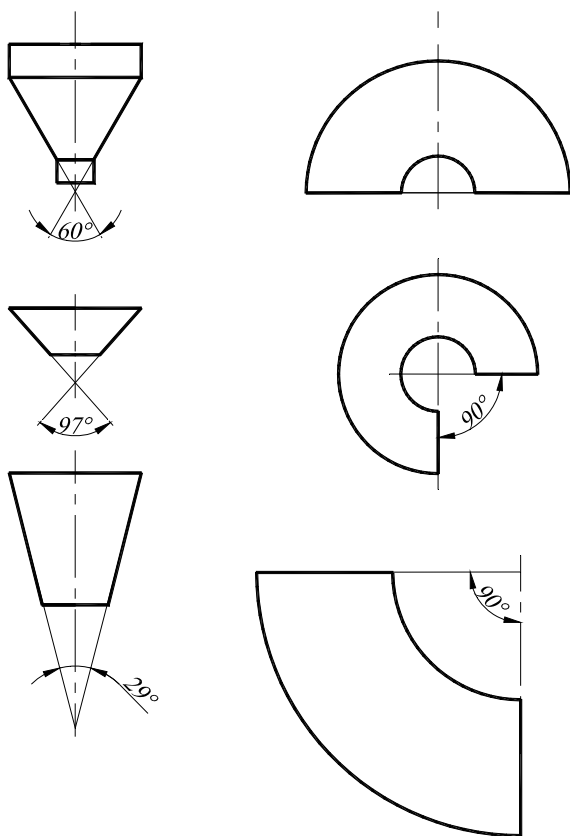


Рис. 3

Построение приближенной развертки боковой поверхности усеченного конуса

В некоторых случаях разметку бывает невозможно отложить угол сектора на заготовке. В таком случае развертку выполняют приближенно. Для этого в конус вписывают правильную пирамиду и строят ее точную развертку. Окружность основания аппроксимируют (заменяют) вписанной ломаной линией. На горизонтальную плоскость Π_1 она проецируется в натуральную величину, так как лежит в горизонтальной плоскости уровня.

Соединив точки 1, 2, 3 и 4 ломаной линией с вершиной конуса, получим пирамиду, аппроксимирующую поверхность конуса.

Построение такой развертки показано на рис. 4. Так как конус имеет фронтальную плоскость симметрии, выполняем половину развертки. Полную развертку получаем командой ЗЕРКАЛО.

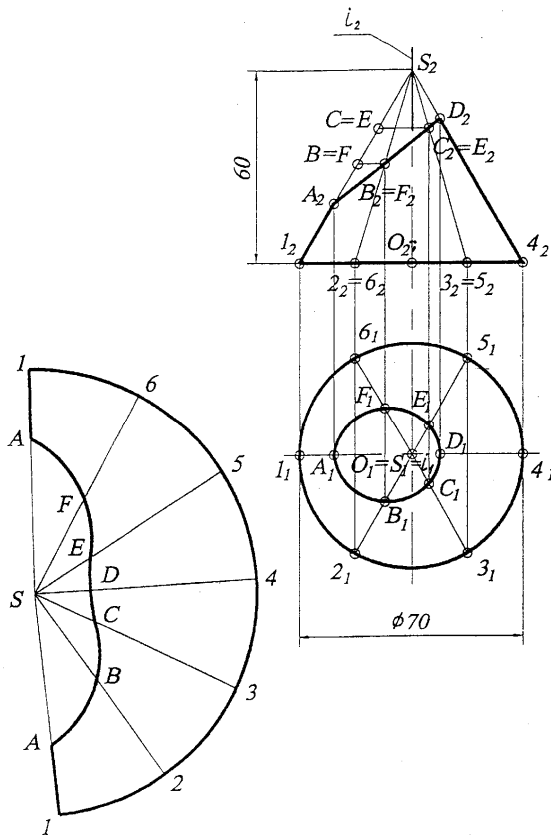


Рис. 4

Все ребра пирамиды имеют равную длину – S_1 .

Дальнейшее построение сводится к построению треугольников S_1A, S_1B, S_1C и S_1D по трем сторонам. Отрезки SA, SB, SC и SD показывают, на сколько каждое ребро срезано фронтальной плоскостью. Их величины определены способом вращения вокруг проецирующей оси i .

Точки A, B, C и D , а также точки 1, 2, 3 и 4 соединены плавной кривой (команда СПЛАЙН).

Построенная половина развертки пирамидальной поверхности является половиной точной развертки конической поверхности.

Полная приближенная боковая развертка усеченного конуса построена командой ЗЕРКАЛО.

Библиографический список

1. *Иванов Г.С.* Начертательная геометрия. М.: Машиностроение, 1995. 208 с.

2. *Смекаева Н.Ю.* Развертки поверхностей. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. 28 с.

3. *Смекаева Н.Ю.* Развертки поверхностей в программе AutoCAD. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2007. 30 с.

УДК 664. 85. 006

**А.А. Тушко, ИТИБ, Находка;
В.Д. Солнцев, ТГЭУ, Владивосток**

ВАКУУМНЫЕ НАСАДКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВНУТРЕННОСТЕЙ У РЫБ

Предложены конструкции трех вакуумных насадок. Они позволяют улучшить качество удаления внутренностей из брюшной полости рыбы и снизить затраты на проведение процесса. Описанные в статье конструкции насадок защищены авторскими свидетельствами.

Использование вакуумных процессов при механизации рыбообработки привлекает внимание как со стороны исследователей, так и работников вакуумной техники [1, 2].

Одним из основных элементов вакуумной системы является конструкция вакуумной насадки. Применяемые в настоящее время вакуумные насадки имеют ряд недостатков, которые ухудшают качество удаления внутренностей из брюшной полости рыб и приводят к увеличению энергозатрат на осуществление данного процесса.

Нами предложен ряд конструкций насадок для удаления внутренностей при обработке маломерных рыб, в частности, сайры, мойвы, мелкой сельди, песчанки, наваги.

Одним из недостатков используемых насадок является то, что при отсутствии в зоне их действия обрабатываемой рыбы в нее засасывается воздух из окружающей среды, что приводит к снижению разрежения в ресивере и необходимости значительного завышения производительности вакуум-насоса, а следовательно, и расхода энергии на его привод.

Нами предложена конструкция вакуумной насадки, которая в основном позволяет устранить указанный недостаток. На рисунках 1, 2 приведена принципиальная схема насадки [3].

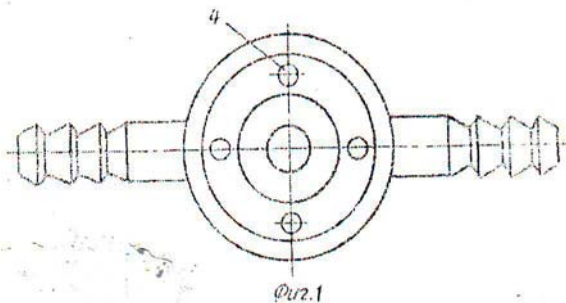


Рис. 1. Вакуумная насадка. Вид спереди

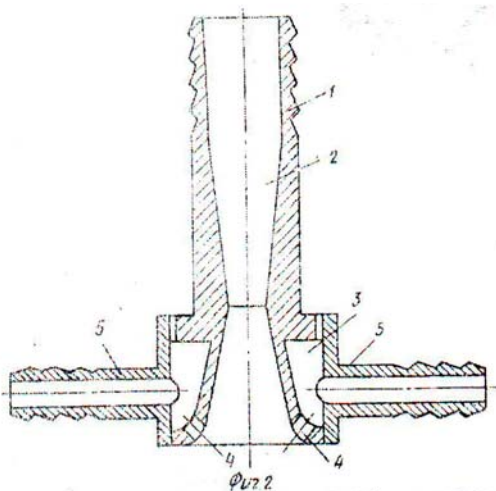


Рис. 2. Вакуумная насадка. Разрез

Вакуумная насадка 1 имеет центральный канал 2, выполненный в форме сопла Лавалья, кольцевую полость 3 и наклонный канал 4, соединяющий кольцевую полость 3 с каналом 2. Оси наклонных каналов 4 расположены так, что они пересекают ось канала 2 вне насадки. Кольцевая полость насадки 3 с помощью штуцеров 5 подключена к системе подачи воды.

Устройство работает следующим образом. Когда перед насадкой 1 находится тушка, то из неё посредством вакуума извлекают внутренности, которые попадают в ресивер устройства. Струи воды, выходящие из наклонных каналов 4, способствуют лучшему удалению внутренностей. При отходе тушки рыбы от насадки 1 струи, выходящие из кана-

лов, расположенных по ходу движения тушки, перекрываются последней, а струи из противоположных каналов (за тушкой) промывают освобожденную от внутренностей брюшную полость тушки. В тот момент, когда тушка прошла полностью насадку 1, вода, выходящая из каналов, из-за разрежения в насадке засасывается в неё, вследствие чего уменьшается количество засасываемого воздуха.

Количество засасываемой среды (внутренности, воздух, вода) определяется по формуле

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \mu \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (1)$$

где d – внутренний диаметр насадки, м; μ – коэффициент расхода; Δp – перепад давлений, кПа; ρ – плотность среды, кг/м³.

Плотность воздуха при нормальных условиях намного меньше плотности воды, следовательно, в тот момент, когда перед насадкой отсутствует тушка и в насадку вместо воздуха засасывается вода, её расход будет значительно меньше, чем расход воздуха. Кроме того, применение данной насадки позволяет совместить вакуум-отсос внутренностей с их гидровывовом и осуществить промывку брюшной полости после удаления из неё внутренностей.

Предложена конструкция вакуум-насадки для эффективного удаления внутренностей у различных пород рыб.

Конструкция данной насадки представлена на рис. 3.

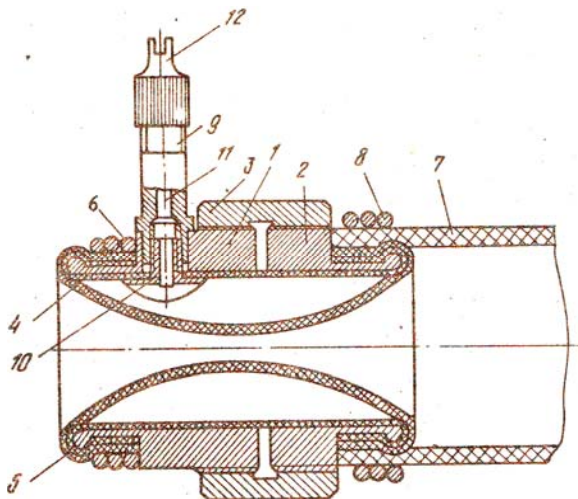


Рис. 3. Конструкция вакуумной насадки

Данная насадка включает в себя корпус, состоящий из левого 1 и правого 2 колец, имеющих с одной стороны резьбу разного исполнения. Кольца соединены между собой накидной гайкой 3. В отверстие конуса вставлена втулка 4 цилиндрической формы, а вовнутрь втулки 4 вставлена втулка 5, выполненная в виде однополостного гиперboloида. Обе втулки выполнены из эластичного материала, например резины. Втулки 4 и 5 концами с одной стороны жестко защемляются на кольце 1 посредством зажима 6. С другой стороны втулки 4 и 5 надеваются на кольцо 2 и защемляются через шланг посредством зажима 8.

Между двумя эластичными втулками 4 и 5 образуется полость. Она снабжена ниппелем 9, который крепится на корпусе насадки гайкой 10 и снабжен золотником 11 и колпачком 12.

Вакуумная насадка работает следующим образом.

При подключении насадки к вакуум-системе в ней создается разрежение. Эластичная втулка 5 под действием перепада давлений (в канале и в полости) сжимается до определенного размера, вследствие чего уменьшается диаметр минимального проходного сечения.

Прогиб втулки 5 можно приблизительно определить по формуле Эйлера

$$\delta = \frac{P \cdot l^3}{12E \cdot J}, \quad (2)$$

где P – сила, действующая на втулку в любой плоскости, проведенной через центральную ось втулки, H ; l – расстояние между точками защемления концов втулки, м; E – модуль упругости материала, кПа; J – момент инерции минимального проходного сечения, м.

Действующая сила P рассчитывается по формуле

$$P = \Delta p \cdot F_{\text{сегм}} = \Delta p \frac{2}{3} h \cdot l, \quad (3)$$

где h – толщина эластичной втулки, м.

При $\Delta p = 40$ кПа и $h = 5 \cdot 10^{-3}$, $l = 5 \cdot 10^{-2}$ м величина силы численно равна $1,8 \cdot 10^{-2}$ Н.

Прогиб втулки (м) при $E = 600$ кПа

$$J = 0,1 \left[(d + 2t)^4 - d^4 \right] = 1,8 \cdot 10^{-2},$$

где d – диаметр насадки ($2,5 \cdot 10^{-2}$ м), $t = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м, численно равен $6,4 \cdot 10^{-2}$ м.

При указанных данных диаметр проходного сечения уменьшается с $25 \cdot 10^{-3}$ м до $12,2 \cdot 10^{-3}$ м. Это оптимальный размер для удаления внутренностей у мелкой сельди.

При разделке другой рыбы, например, песчанки, необходимо создать избыточное давление в кольцевой полости. Для этой цели подключают через ниппель 9 насос и создают им требуемое давление. Для песчанки необходимо уменьшить диаметр проходного сечения до $7,4 \cdot 10^{-3}$ м, для чего, согласно формуле Эйлера, требуется создать избыточное давление 15 кПа.

Конструкция предложенной насадки позволяет регулировать также размер проходного сечения путем изменения расстояния между точками заземления концов втулок 4 и 5.

Для этого необходимо посредством перемещения накидной гайки 3 отодвинуть одну половину от другой, т.е. добиться осевого перемещения колец 1 и 2 корпуса, вследствие чего эластичные втулки 4 и 5 растянутся. Так, при переходе с разделки мелкой сельди на разделку песчанки надо сместить втулки на $5 \cdot 10^{-3}$ м (согласно формуле Эйлера).

Выполнение внутренней втулки по формуле однополостного гиперболоида способствует тому, что минимальное проходное сечение при изменении давления в полости и расстояния между концами заземления втулок находится всегда посередине втулки. Сечения, находящиеся на равном от середины расстоянии, равновелики.

Применение предлагаемой вакуумной насадки позволяет эффективно обрабатывать рыбу различного размерного и видового состава на одной универсальной рыбообработочной машине без значительных изменений и регулировок её узлов.

Кроме того, вследствие уменьшения подсоса воздуха через канал насадки уменьшается энергоёмкость процесса.

В работе [2] указано, что для обеспечения эффективного удаления внутренностей из брюшной полости обезглавленной рыбы необходимо обеспечить зазор между торцом насадки и приголовным срезом тушки рыбы. Зазор с достаточной степенью точности можно определить из выражения

$$x = \frac{d^2}{4D}, \quad (4)$$

где d – проходное сечение насадки, м; D – входной диаметр насадки, м.

Предложена конструкция насадки для регулирования указанного зазора. Регулированием зазора можно изменять усилие засасывания, что необходимо при переходе на обработку другой рыбы. Прямое воздействие всасывающего воздуха на весь торец приголовного среза рыбы, а не только на внутренности приводит также к срыву мяса с торцевой части среза тушки рыбы.

На рисунках 4 и 5 изображена предлагаемая вакуумная насадка.

Насадка состоит из корпуса 1 с внутренним каналом, который соединен с источником разрежения через трубопровод. Корпус 1 с одной стороны имеет резьбу, причем ближайшая к торцу резьбовая часть за-

круглена, а с другой – насечку для соединения с трубопроводом. На резьбовую часть навинчена гайка 4, на которой на шинах 5 цилиндрической формы укреплена воронка 6.

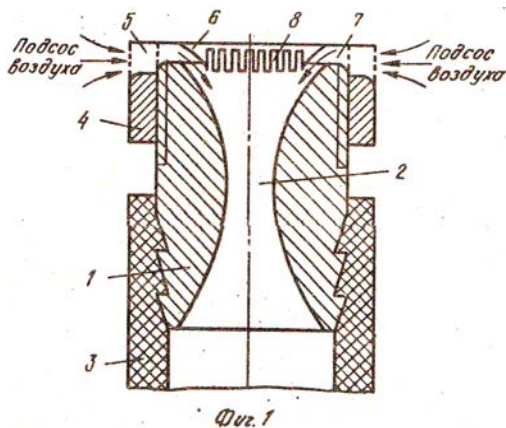


Рис. 4. Разрез вакуумной насадки

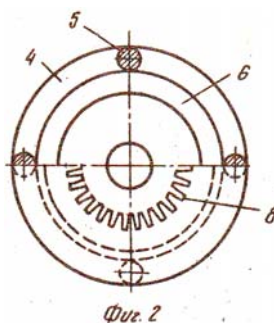


Рис. 5. Вид вакуумной насадки сверху

Образующая воронки 6 выполнена по форме входного сечения внутреннего канала 2 корпуса 1 и установлена с образованием кольцевого зазора 7 между её наружной поверхностью и корпусом. Кроме того, по периметру нижней части воронка 6 имеет прорези 8. Применение резьбового соединения корпуса с гайкой позволяет перемещать корпус относительно оси насадки, за счет чего можно регулировать зазор между корпусом и воронкой, перемещающейся вместе с гайкой.

При подключении насадки к источнику разрежения в ней создается вакуум, причем воздух засасывается (при условии отсутствия в начальный момент тушки рыбы) в её внутренний канал 2 с торца, а также через кольцевой зазор 7 и прорези 8 в воронке 6. При подходе тушки к насадке её торец перекрывает входное сечение воронки 6, и воздух будет засасываться только через кольцевой зазор и прорези 8. За счет этого засасывания создается скоростной поток воздуха, который воздействует на внутренности и удаляет их из брюшной полости.

Оптимальная величина зазоров для засасывания воздуха составляет от 1 до 3 мм, что легко регулируется путем перемещения гайки 4 при переходе на обработку другой рыбы. Кусочки мяса при наличии определенного зазора не вырываются с торца, так как при таких зазорах не создается достаточного для этого усилия.

Помимо качественной разделки рыбы различного видового и размерного состава значительно уменьшается процент отходов ценного пищевого сырья за счет сохранения приголовного кусочка, масса ко-

торого у каждой рыбы составляет в среднем 10-20 г. Данная вакуумная насадка позволяет улучшить качество извлечения внутренностей из брюшной полости с 67 % до 97,2 %, по результатам экспериментальных исследований. Насадка позволяет сохранить ровный пригловный срез у тушек.

Библиографический список

1. *Поспелов Ю.В.* Машины, автоматы, поточные линии и их проектирование. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. 235 с.
2. *Погонец В.И.* Основы вакуумной разделки рыбы (теория – эксперимент – оптимизация). Владивосток: Дальнаука, 1976. 95 с.
3. А.с. № 703078. СССР. Устройство для удаления внутренностей у рыбы / *Поспелов Ю.В., Иванченко И.С., Тушко А.А., Доронин А.Н.*; опубл. в БИ, 1979. № 46. 8 с.
4. А.с. №1026744. СССР. Вакуум-насадка для удаления внутренностей у рыбы / *Поспелов Ю.В., Доронин А.Н., Тушко А.А.*; опубл. в БИ, 1983. № 25. 6 с.
5. А.с. №1026745. СССР. Вакуумная насадка для удаления внутренностей у рыбы / *Поспелов Ю.В., Погонец В.И., Тушко А.А.*; опубл. в БИ 1983. № 25. 5 с.

УДК 664.047.5

**А.А. Тушко, ИТИБ, Находка;
В.Д. Солнцев, ТГЭУ, Владивосток**

УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ МОРЕПРОДУКТОВ

Описана конструкция сушильной установки для сушки шинкованных морепродуктов (морской капусты, кальмара) в псевдооживленном слое. Применение предложенной установки позволяет повысить качество сушки и снизить энергозатраты на ее проведение. Данная конструкция установки защищена авторским свидетельством.

Предложена конструкция сушильной установки для шинкованных морепродуктов с использованием псевдооживления продуктов в процессе сушки. Применение данной установки позволит сушить термолабильные материалы и снизить энергозатраты при сушке морепродуктов с большой высотой псевдооживленного слоя.

Несмотря на наличие ряда технических решений по сушке шинкованных морепродуктов, в частности – морской капусты и кальмара, возникает необходимость создания эффективной сушильной установки. Разработанные установки сушат указанные продукты в неподвижном слое, что значительно увеличивает время сушки. Использование псевдооживления позволяет значительно ускорить процесс сушки, однако его при-

менение на существующих конструкциях сушилок кипящего слоя затруднительно из-за того, что при шинковании морской капусты выделяется много слизи, кальмара – жидкой белковой массы, которые приводят к комкованию указанных продуктов. Из-за образования комков приходится значительно усиливать энергозатраты на создание кипящего слоя.

Нами предложена сушильная установка, использование которой повышает качество сушки и снижает энергозатраты (рисунки 1, 2).

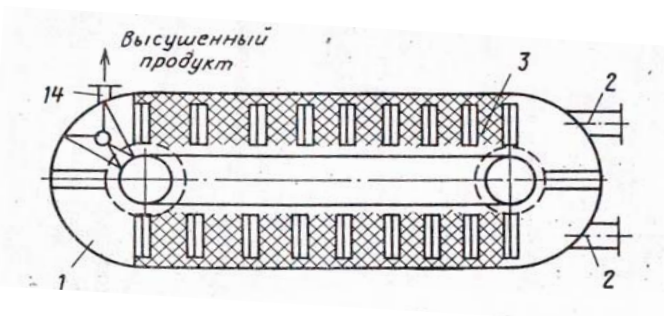


Рис. 1. Сушильная установка. Вид сверху

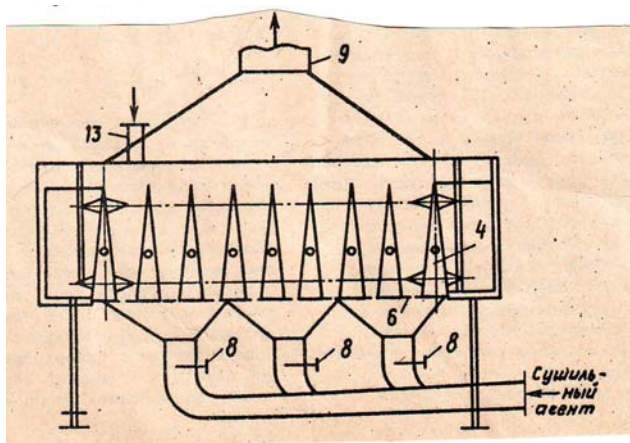


Рис. 2. Сушильная установка. Продольный разрез

Установка (рис. 3) состоит из кольцевой камеры 1, воздухопроводов 2, подводящих в камеру теплоноситель, двухъярусного кольцевого конвейера 3 с вертикальными перегородками 4 в виде полых трехгранной призмы с открытым основанием, обращенным к газораспределительной решетке (рис. 4).

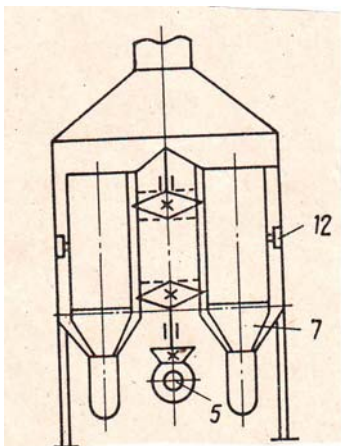


Рис. 3. Сушильная установка.
Вид сбоку

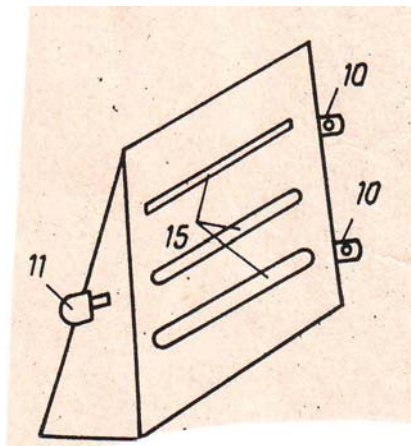


Рис. 4. Отдельная перегородка

Конвейер 3 приводится в движение приводным и натяжными вертикальными валами с закрепляемыми на них двумя парами звездочек и электроприводом. Каждая зона сушильной камеры снабжена газораспределительной решеткой, выполненной из сетки-рабицы, под которую подается теплоноситель с помощью распределительных коробов 7, снабженных шиберами 8.

Отработанный теплоноситель отводится посредством воздуховода 9.

Перегорodka 4 с одной стороны крепится на цепи конвейера посредством шарниров 10, а с другой стороны перегородка имеет ролик 11, который, двигаясь по направляющим 12, удерживает перегородку в вертикальном положении. Шинкованный продукт подается через патрубок 13, сухой продукт выводится посредством патрубка 14. Две грани призмы имеют щели 15 для подачи дополнительного теплоносителя вглубь слоя продукта. Щели выполнены в виде прямоугольника, большая сторона которого параллельна газораспределительной решетке, площадь щелей уменьшается по высоте перегородки. Щели имеют такое живое сечение, которое обеспечивает суммарное сопротивление щелей, меньше сопротивления слоя продукта на решетке в секции.

Установка работает следующим образом.

Нагретый в калорифере теплоноситель по воздуховодам 2 подается в кольцевую камеру 1 с помощью распределительных коробов 7. Величина подачи теплоносителя регулируется шиберами 8.

При включении электропривода 5 приводится в движение двухъярусный конвейер с закрепленными на нем вертикальными перегородками 4. По истечении времени нагрева камеры до необходимой температуры влажный продукт через загрузочный патрубок попадает в вос-

ходящий поток сушильного агента первой зоны сушки. Создается псевдооживленный слой шинкованного продукта потоком теплоносителя, проходящего через газораспределительную решетку.

В начальной стадии сушки происходит формирование кипящего слоя продукта, который по мере перемещения его перегородками 4 конвейера 3 по длине камеры высушивается до требуемой влажности. Перегородки 4 перемещают весь псевдооживленный слой продукта. Кроме того, через щели 15 вглубь слоя продукта дополнительно подают теплоноситель для интенсификации процесса теплообмена. Высушенный продукт удаляют по патрубку 14.

Прекращение работы установки выполняют в обратном порядке: прекращают подачу влажного продукта, удаляют высушенный продукт, отключают подачу теплоносителя и выключают привод конвейера.

Библиографический список

1. *Погонец В.И., Доронин А.Н., Супрунова Е.А.* Сушка морепродуктов во взвешенно-закрученных потоках. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2004. 193 с.

2. А.с. № 1474414 СССР. Установка для сушки сыпучих материалов / А.А. Тушко, Ю.Д. Проскура, Ю.Г. Шокун; опубл. в БИ, 1989. № 15. 7 с.

УДК 669.713.7

С.Д. Угрюмова, О.И. Маслова, Дальрыбвтуз, Владивосток

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКРУББЕРА ВЕНТУРИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВ В КОПТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Изложен материал, раскрывающий технологию очистки коптильного дыма при использовании скруббера Вентури в коптильных производствах.

На Дальнем Востоке в настоящее время на рыбоперерабатывающих предприятиях изготавливается рыба холодного и горячего копчения, поскольку копченая продукция традиционна для нашего населения, а технология ее изготовления не требует значительных финансовых вложений. На многих малых предприятиях процесс копчения осуществляется без должного соблюдения технологических режимов, на «кустарном» оборудовании с использованием некондиционной древесины, являющейся отходами различных производств, в том числе и экологически опасных. К настоящему времени в составе коптильного дыма идентифицировано более 400 соединений, в том числе фенолы, кислоты, карбонильные вещества и другие различные агенты, влияние которых на здоровье человека варьируется в широких пределах и за-

ключается в канцерогенном, мутагенном, аллергенном, токсическом и ином действии. Поэтому, согласно действующим санитарным нормам и правилам, вокруг подобных комплексов обязательно наличие санитарно-защитной полосы.

Как известно, копчение – сложный физико-химический способ обработки рыбы, заключающийся в ее насыщении компонентами копильной среды, а также удалении из сырья определенного количества поверхностной и капиллярной влаги, изменении химического (белкового) состава.

На предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли в зависимости от температуры процесса различают холодный, полугорячий и горячий способы копчения. Особый интерес представляет способ горячего копчения, в котором предусматривается обработка продукта в диапазоне температуры среды 80...170 °С. На многих рыбоперерабатывающих предприятиях при производстве продукции горячего копчения не предусматривается очистка дымовых выбросов, таким образом, на данном предприятии необходимо устанавливать газоочистительные установки.

В большинстве промышленных газоочистительных установок комбинируется несколько приемов очистки от аэрозолей, причем конструкции очистных аппаратов весьма многочисленны. Особый интерес представляют: скруббер Вентури, пенные аппараты, насадочные скрубберы, центробежные скрубберы.

Проведенный нами сравнительный анализ скрубберов позволил определить эффективность очистки дымовых выбросов в копильных производствах (табл. 1).

Таблица 1

Эффективность очистки дымовых выбросов при помощи скрубберов

| Наименование пылеуловителя | Диаметр частиц d , мкм | Скорость газа ω_r , м/с | Эффективность очистки η , % |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Скруббер Вентури | 0,3-2 | 100-200 | 97 |
| Пенные аппараты | <5 | 1-4 | 75-90 |
| Насадочные скрубберы | >5 | 14-16 | 70-80 |
| Центробежные скрубберы | 2-9 | 18-20 | 50 |

Эффективность очистки дымовых выбросов в зависимости от типа газоочистительной установки представлена на рис. 1.

Из рассмотренных газоочистительных установок особое место занимает процесс очистки дымовых газов в скруббере Вентури, где осуществляется контакт между запыленной газовой смесью и жидкостью. Скруббер Вентури (рис. 2) является наиболее распространенным аппаратом, его используют в технологических линиях производительностью 1 т/смену (для малых предприятий).

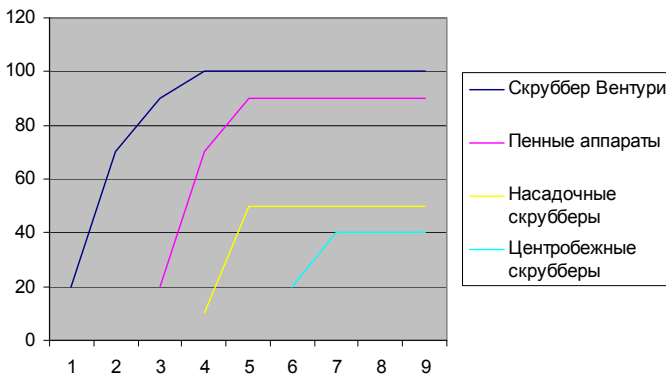


Рис. 1. Эффективность очистки скрубберов

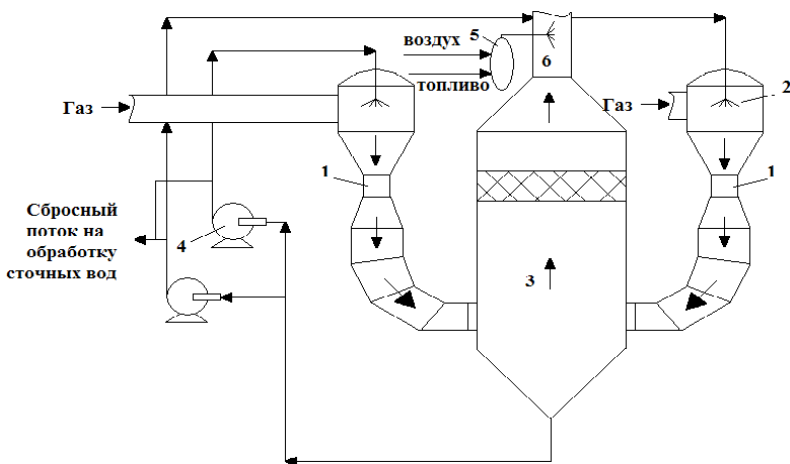


Рис. 2. Схема скруббера Вентури: 1 – скруббер Вентури; 2 – сопло для распределения шлама; 3 – барабанный сепаратор; 4 – рециркуляционный насос; 5 – топка обогрева трубы; 6 – труба

Конструктивной особенностью скруббера Вентури является труба Вентури, имеющая плавное сужение на входе (конфузор) и плавное расширение на выходе (диффузор). В конфузор на некотором расстоянии от горловины с помощью форсунок подводится жидкость. Запыленный поток с большой скоростью проходит через горловину и входит в диффузор. В процессе истечения газа через горловину происходит тесный контакт между газом и жидкостью. Процесс очистки газа в аппарате можно рассматривать как фильтрование газа через объемный фильтр,

состоящий из мельчайших капелек; образующихся при дроблении жидкости. При очистке горячего влажного газа повышению эффективности процесса способствуют охлаждение газа ниже точки росы и выделение сконденсированной влаги. При движении газа через диффузорный участок трубы скорость потока снижается, в результате происходит агрегация мелких капель.

В случае использовании опилок для получения копильного дыма эффективность работы скруббера Вентури может быть оценена по следующим показателям:

Загрязнитель – копильный дым B -константа ($B = 9,88 \cdot 10^{-2}$),
 n – объем жидкости подаваемой в газ ($n = 0,4663 \text{ дм}^3/\text{м}^3$)

Плотность газа в горловине $\rho_e = 0,9 \text{ кг/м}^3$

Скорость газа в горловине $W_e = 135 \text{ м/с}$

Массовый расход газа $M_e = 0,9 \text{ кг/с}$

Массовый расход орошающей жидкости $M_{ж} = 0,865 \text{ кг/с}$

Удельный расход жидкости $m = 1,5 \text{ л/м}^3$

Давление жидкости $\rho_{ж} = 300 \text{ кПа}$

Плотность жидкости $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$

Коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы $\zeta_c = 0,15$

Требуемая эффективность очистки от копильного дыма не менее 0,9

Результаты расчета физических показателей работы устройства приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Физические показатели скруббера Вентури

| Наименование устройства | Показатели | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|----------------------------------|
| | Гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури, $\Delta p_c, \text{ Н/м}^2$ | Гидравлическое сопротивление, обусловленное введением орошающей жидкости, $\Delta p_{ж}, \text{ Н/м}^2$ | Гидравлическое сопротивление трубы Вентури, $\Delta p, \text{ Н/м}^2$ | Суммарная энергия сопротивления $K_T, \text{ Па}$ | Эффективность очистки $\eta, \%$ |
| Скруббер Вентури | 1230 | 10661625 | 10662855 | 10663114 | 97 |

Расчетное значение величины η , позволяет оценить значение эффективности очистки дымовых выбросов в пределах 97 %. Отрицательным фактором копчения является загрязнение окружающей среды компонентами дымовоздушной смеси.

Значительно улучшить экологическую ситуацию в местах расположения коптильных комплексов и производить копченую продукцию с высокими органолептическими свойствами и санитарно-гигиеническими показателями можно, используя коптильные препараты типа «жидкий дым», но, к сожалению, этот процесс недостаточно изучен. Таким образом, возможность очистки газов в коптильных производствах может быть с успехом реализована при помощи скруббера Вентури.

Библиографический список

1. *Антипов С.Т., Кретов И.Т. и др.* Машины и аппараты пищевых производств: учеб. для вузов. В 2 кн. / Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. М.: Высш. шк., 2001. Кн. 1. С. 6.
2. *Бредихин С.А.* Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств. М.: КолосС, 2005. 464 с.
3. *Ким И.Н.* Эколого-технологические аспекты копчения пищевых изделий: моногр. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2004. С. 3.