

УДК 664.951.022.1

О ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА ПЛЕНОЧНОГО СТЕКАНИЯ ВОДЫ ИЗ РЫБНЫХ БУНКЕРОВ

И.И.Саенко, В.П.Ковальков
(ВНИРО)

Существующие схемы гидромеханизированного транспорта рыбы предполагают наличие бункеров, куда рыба поступает по трубопроводу от рыбонасоса. В этих бункерах вода отделяется, измеряется количество рыбы, которую затем выгружают для дальнейшей обработки. Бункера - устройства периодического действия и работают циклично. Рабочий цикл складывается из времени заполнения бункера рыбоводяной смесью, времени отделения воды, времени замера количества рыбы и времени ее выпуска /4/.

Время заполнения бункера зависит от интенсивности подачи рыбоводяной смеси рыбонасосом и зависит от его производительности. Время определения количества рыбы незначительно, а время выпуска рыбы из бункера определяется местными условиями и возможностями обработки рыбы. Таким образом, для расчета цикла бункера необходимо определить длительность водоеделения.

А.В.Терентьев предлагает рассматривать процесс отделения воды состоящим из двух основных периодов: интенсивного ("Грубое") отделения воды и замедленного стекания, что хорошо подтвердилось экспериментами. Первый период характеризуется турбулентным режимом течения струй воды сквозь слой рыбы и достаточно точно описывается законами фильтрации /3/. Второй период исследуем в данной статье, представляет собой стекание пленки воды с поверхности рыбы в слое; причем толщина этой пленки непрерывно уменьшается во времени. В конце стекания воды начинается нежелательное выделение внутримышечных

соков рыбы. Поэтому необходимо, чтобы на поверхности рыбы остался какой-то слой воды, препятствующий выделению соков рыбы.

В технологической литературе данных, характеризующих "допустимую" величину δ_k толщины этой пленки воды, нет. Поэтому возникла необходимость в экспериментальном определении этой величины. Так, для сельди, на основании сорока измерений с соответствующей оценкой концентрации сока в стекающей жидкости выяснено, что "допустимая" остаточная толщина пленки может быть примерно $\delta_k = 0,13$ мм.

В дальнейшем под окончанием процесса отделения воды из бункера будем понимать время, когда толщина (δ) пленки воды на рыбе достигнет значения $\delta = \delta_k$.

Более условно установлено время окончания первого периода "грубого" отделения воды и начала второго, так как эти два периода частично накладываются друг на друга.

На рис. I представлены экспериментальные данные, характеризующие расход W отделяющейся воды из слоя сельди в бункере во времени. Анализ экспериментально-графической зависимости $W = f(t)$ показывает, что в интервал времени $t = 0-50(60)$ сек интенсивно отделяется вода (такой характер, вероятно, и присущ для турбулентного режима); интервал времени с момента $t = 50(60)$ сек условно назван периодом стекания воды; переходная область, где сочетаются турбулентный режим и пленочное стекание не выделяем.

Наиболее интересен период стекания воды, при котором возможно ухудшение технологических качеств рыбы. Обоснованным выбором последнего интервала является линейная зависимость $W = W(t)$ в пределах $t > 50(60)$ сек.

Правильность такого вывода подтверждается данными рис. 2, на котором приведена расчетная зависимость $\delta = \delta(\tau)$. Основой для построения этой графической зависимости служит известная формула Нуссельта /6/, выведенная им для течения пленок жидкости с вертикальной стенки и подтвержденная рядом других исследователей /1, 5/:

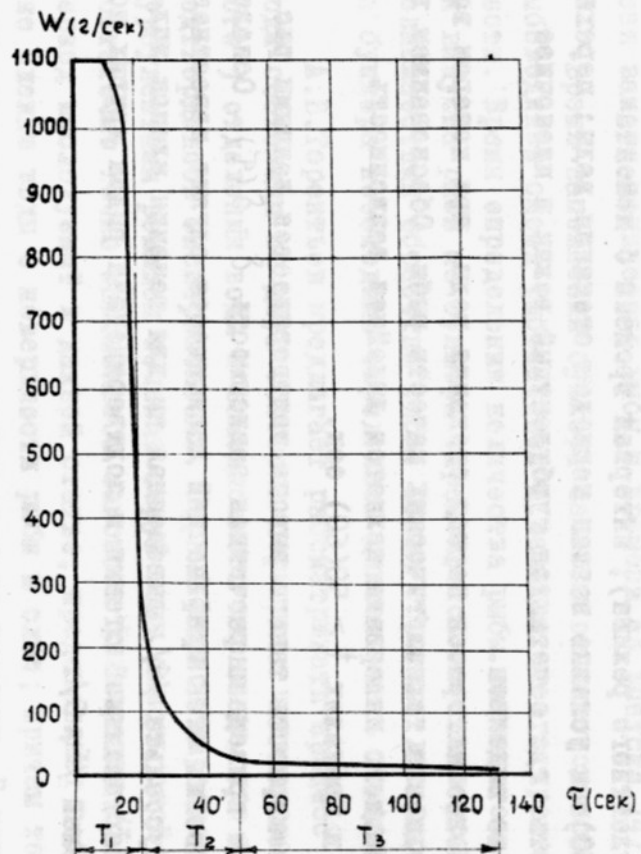


Рис.1. Зависимость от времени расхода стекающей воды из бункера, загруженного сельдью с высотой слоя 0,4 м

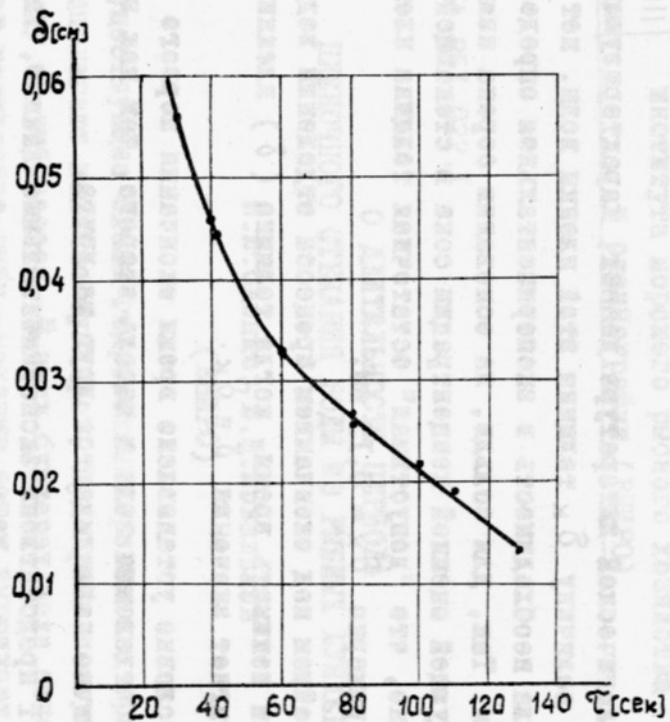


Рис.2. График зависимости толщины пленки жидкости от времени в период стекания

$$\delta(x, \tau) = \sqrt[3]{\frac{3\mu D(x, \tau)}{\gamma^2}}, \quad (I)$$

где x - переменная координата вдоль высоты бункера, в нижнем сечении $x = 0$ $0 = x \leq H$;

H - высота слоя рыбы,

которая описывает зависимость толщины пленки жидкости δ от динамической вязкости μ (кг·сек/м²), удельного веса жидкости γ (кг/м³), от весовой плотности D (кг/сек·м) стекающей жидкости, т.е. весового расхода, отнесенного к единице периметра.

При самопроизвольном стекании толщина пленки с течением времени уменьшается.

Установим характер этого изменения. Для получения этой зависимости формула (I) была несколько преобразована.

Весовая плотность стекающей жидкости в сечении $x = 0$ бункера в любой момент времени τ может быть представлена в виде

$$D(0, \tau) = \frac{W(0, \tau)}{L(0)}, \quad (2)$$

где $W(0, \tau)$ - расход воды в нижнем сечении бункера в момент времени τ , кг/сек;

$L(0)$ - периметр стекающей пленки в нижнем сечении бункера, м.

Периметр стекающей пленки определяли экспериментально (находили удельную величину периметра стекающей пленки, приходящуюся на единицу площади S дна бункера). Для этого цементировали несколько блоков сельди в ящиках с одинаковой высотой и площадью дна. Делали горизонтальные срезы и в нижнем сечении подсчитывали суммарный периметр на определенной площади сечения. Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что отношение суммарного периметра к площади нижнего сечения бункера есть величина постоянная:

$$\frac{L(0)}{S} = \beta. \quad (3)$$

Это подтверждает приведенные в таблице опытные данные по периметрам на горизонтальных срезах блоков сельди.

№ блока	Мелкая сельдь			Крупная сельдь		
	$S, \text{ см}^2$	$L(0), \text{ см}$	$b = \frac{L(0)}{S}, \text{ I/см}$	$S, \text{ см}^2$	$L(0), \text{ см}$	$b = \frac{L(0)}{S}, \text{ I/см}$
1	6400	2495	0,390	6400	2460	0,384
2	6400	2400	0,375	6400	2483	0,388
3	6400	2460	0,384	6400	2464	0,385
1	900	344	0,382	900	338	0,375
2	900	338	0,375	900	343	0,384
3	900	349	0,388	900	348	0,387
1	324	122	0,375	324	120	0,370
2	324	120	0,370	324	122	0,375
3	324	121	0,372	324	121	0,372

Как видно из таблицы, значение b для мелкой и крупной сельди - величина одинаковая и равная 0,38 I/см.

С учетом (2) и (3) формула (1) запишется так:

$$\delta(0, \tau) = \sqrt[3]{K \frac{W(0, \tau)}{S \cdot b}}, \quad (4)$$

где $K = \frac{3\mu}{\gamma^2}$.

Ввиду того что характеристику стекающей жидкости из-за выделения соков рыбы теоретически трудно определить, значение K целесообразно находить опытным путем для конкретных условий (вида рыбы, температуры и т.п.), т.е., помимо физических характеристик стекающей жидкости, он учитывает и особенности рыбного сырья. Так, для сельди в бункере с площадью дна $S = 6400 \text{ см}^2$ при известных толщине пленки $\delta = 0,013 \text{ см}$ и при расходе в этот момент $W = 1 \text{ г/сек}$ при температуре 15°C , $K = 5,35 \cdot 10^{-8} \text{ см}^4 \cdot \text{сек/кг}$.

Имея экспериментальные данные расхода воды, стекающей с поверхности сельди с площадью дна $S = 6400 \text{ см}^2$ и высотой слоя рыбы 40 см и используя формулу (4), можно построить графическую зависимость изменения толщины пленки от времени $\delta = \delta(\tau)$, представленную на рис.2.

Графическая зависимость $\delta = \delta(\tau)$ имеет сложный вид: интервал 10-50 (60) сек - гиперболоа; интервал 50 (60) сек - прямая.

Из анализа рис.1 и рис.2 следует, что при $t > 50$ сек, вода стекает спокойно (ламинарный режим). При $t > 50$ сек расчетная зависимость также имеет вид прямой. Это подтверждается правомерностью формулы (1); правомерностью установления граничного интервала (50+60 сек) перехода в ламинарный режим; достоверностью экспериментальных данных, приведенных на рис.1.

Кроме того, можно сделать вывод о том, что область при $t < 50$, характеризует переходный режим течения жидкости.

Приведенная на рис.2 зависимость $\delta = \delta(0, \tau)$ дана для определенной высоты H слоя рыбы в бункере. Из анализа ряда кривых для различных H выяснилось, что начало ламинарного течения пленок можно характеризовать некоторой определенной толщиной (для сельди $\delta_{нач.} = 0,0322$ см).

Время стекания пленки будет определяться скоростью $\left(\frac{d\delta}{d\tau}\right)$ понижения толщины пленки в сечении $x = 0$. Таким образом, создается возможность период t пленочного течения определять, когда δ меняется от $\delta_{нач.} = 0,0322$ см до $\delta_k = 0,013$ см.

Графики $\delta = \delta(0, \tau)$ для различных высот слоя сельди в бункере приведены на рис.3. Для удобства математического описания моменты окончания процесса сведены в одну точку K , а продолжительность периода стекания определяется тангенсом наклона прямой для каждой высоты H .

В общем виде зависимость толщины пленки от времени (если учесть, что δ_k - нерабочая, т.е. отсчет изменяющейся толщины ведется от $\delta_{нач.}$ до δ_k) выразится в виде:

$$\delta = -B\tau, \quad (5)$$

где B (см/сек) - тангенс угла наклона прямых на графиках рис.3 к оси τ и зависит от высоты H .

Для сельди зависимость коэффициента B от высоты слоя сельди в бункере представлена на рис.4.

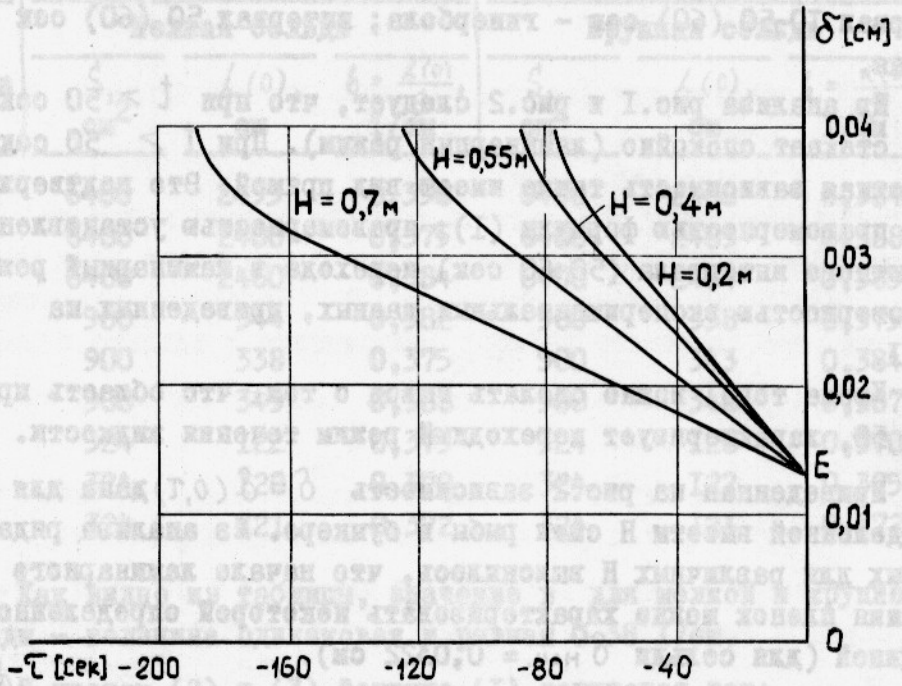


Рис.3. Графическая зависимость толщины пленки от времени для различных высот слоя сельди

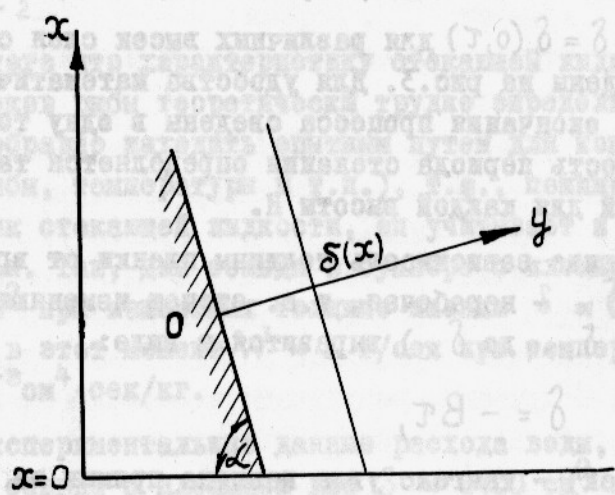


Рис.4. Стекло воды с наклонной поверхностью

Поскольку различные слои рыбы в бункере находятся в разных условиях на них действует вес слоев, лежащих выше, средняя величина площади "живого сечения" каналов, по которым стекает жидкость, непрерывно меняется по высоте бункера. Наименьшее его значение в нижнем сечении бункера, наибольшее - в верхнем. Эксперименты показали, что можно принять линейную зависимость площади "живого сечения" каналов по высоте слоя рыбы. Поэтому условно можно считать, что пленка жидкости течет как бы по поверхности усеченного конуса с некоторым постоянным углом наклона α образующей конуса (для сельди $\alpha = 88^{\circ}30'$).

С другой стороны распределение скоростей по толщине пленки (см. рис. 4) описывается известным дифференциальным уравнением /2, 3/:

$$dw = \frac{\gamma}{\mu} 10^2 \sin \alpha (\delta - y) dy, \quad (6)$$

где w - скорость по толщине пленки, см/сек;
 γ - удельный вес жидкости, кг/см³;
 μ - коэффициент динамической вязкости, г·сек/см²;
 δ - толщина пленки жидкости, см;
 y - текущая координата, нормальная к поверхности стекания; $y = 0$ на поверхности тела: $0 \leq y \leq \delta$.

Интегрируя выражение (6) по y , получаем скорость в любой координате y :

$$w = \frac{\gamma}{\mu} 10^2 \sin \alpha \left(\delta y - \frac{y^2}{2} \right). \quad (7)$$

Расход воды в сечении x в любой момент времени τ можно представить в виде:

$$W(x, \tau) = L(x) \int_0^{\delta(x, \tau)} w(y, \tau) dy. \quad (8)$$

Для сечения $x = 0$

$$W(0, \tau) = L(0) \int_0^{\delta(0, \tau)} w(y, \tau) dy. \quad (9)$$

Так как левая часть уравнения (9) - это объем воды, вытекающий из бункера в единицу времени

$$W = \frac{dV}{d\tau \cdot r}, \quad (10)$$

$$\text{то} \quad dV = L(0) r \int_0^{\delta(0,\tau)} w(y,\tau) \cdot dy \, d\tau. \quad (11)$$

Интегрируя уравнение (11) от $\tau = 0$ до $\tau = t/0 \leq \tau \leq t/$, где t — момент окончания процесса стекания, когда $\delta = \delta_k$, получим зависимость всего количества вытекшей жидкости из слоя рыбн за время t в сечении $x_{\delta(0,\tau)} = 0$

$$V_0 = V(t) = L(0) r \int_0^t d\tau \int_0^{\delta(0,\tau)} w(y,\tau) dy. \quad (12)$$

Подставляя в выражение (12) значение скорости из уравнения (7), получим:

$$V_0 = \frac{r^2}{\mu} 10^2 \sin \alpha L(0) \int_0^t d\tau \int_0^{\delta(0,\tau)} \left[\delta(0,\tau) \cdot y - \frac{y^2}{2} \right] dy, \quad (13)$$

или

$$V_0 = \frac{r^2}{3\mu} 10^2 \sin \alpha L(0) \int_0^t \delta^3(0,\tau) \cdot d\tau. \quad (14)$$

Используя полученную ранее зависимость толщины пленки от времени (5) и учитывая равенство (3), интеграл (14) можно записать в виде

$$V_0 = \frac{r^2}{3\mu} 10^2 \sin \alpha S \cdot b \int_0^t (Bt)^3 d\tau, \quad (15)$$

или

$$V_0 = \frac{r^2}{12\mu} 10^2 \sin \alpha S \cdot b \cdot B^3 \cdot t^4. \quad (16)$$

Чтобы найти период пленочного стекания жидкости, решаем предыдущее уравнение относительно t :

$$t = A \sqrt[4]{\frac{V_0}{S \cdot B^3}} \quad [\text{сек}], \quad (17)$$

где

$$A = \sqrt[4]{\frac{0,12 \mu}{r^2 \cdot \sin \alpha \cdot b}} \left[\left(\frac{\text{см} \cdot \text{сек}}{r} \right)^{\frac{1}{4}} \right]. \quad (18)$$

Для практического использования зависимости (17) вводим относительную единицу объема - удельный объем:

$$V = \frac{V_0}{S} \text{ [г/см}^2\text{]} \quad (19)$$

и приведем экспериментальный график зависимости удельного объема V от высоты слоя сельди H (рис.5).

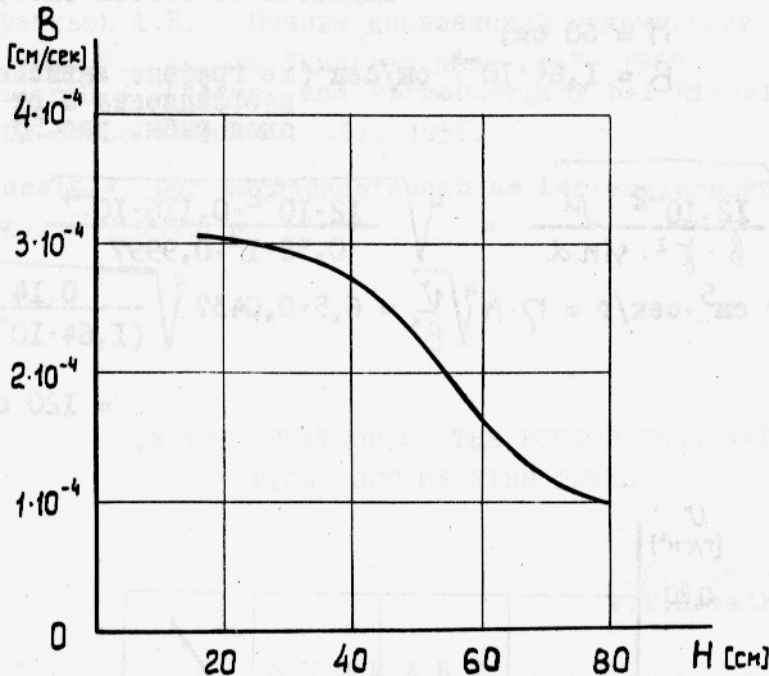


Рис.5. Графическая зависимость коэффициента B от высоты слоя сельди в бункере

С учетом последнего зависимость (17) принимает вид:

$$t = \eta A^4 \sqrt{\frac{V}{B^3}}, \quad (20)$$

где η - поправочный коэффициент, учитывающий физические свойства стекающей жидкости и особенности рыбного сырья и определялся опытным путем - $\eta = 6,5$.

Пример. Вычислим по формуле (20) время стекания воды с поверхности сельди в бункере слоем 60 см при температуре окружающей среды $T = 15^\circ\text{C}$.

Дано $\mu = 0,116 \cdot 10^{-4}$ г·сек/см²,
 $\gamma = 1$ г/см³,
 $b = 0,38$ л/см,
 $\sin \alpha = \sin 88^{\circ}30' = 0,9997$,
 $\eta = 6,5$,
 $\nu = 0,14$ г/см² (из графика на рис.6 зависимости
 удельного объема стекающей
 жидкости от высоты слоя),
 $H = 60$ см,
 $B = 1,64 \cdot 10^{-4}$ см/сек (из графика зависимости
 коэффициента B от высоты
 слоя рыбы, рис.5).

$$\begin{aligned}
 A &= \sqrt[4]{\frac{12 \cdot 10^{-2} \cdot \mu}{b \cdot \gamma^2 \cdot \sin \alpha}} = \sqrt[4]{\frac{12 \cdot 10^{-2} \cdot 0,116 \cdot 10^{-4}}{0,38 \cdot 1^2 \cdot 0,9997}} = \\
 &= 0,0437 \text{ см}^5 \cdot \text{сек}/\text{г} = \eta \cdot A \sqrt[4]{\frac{\nu}{B^3}} = 6,5 \cdot 0,0437 \sqrt[4]{\frac{0,14}{(1,64 \cdot 10^{-4})^3}} = \\
 &= 120 \text{ сек.}
 \end{aligned}$$

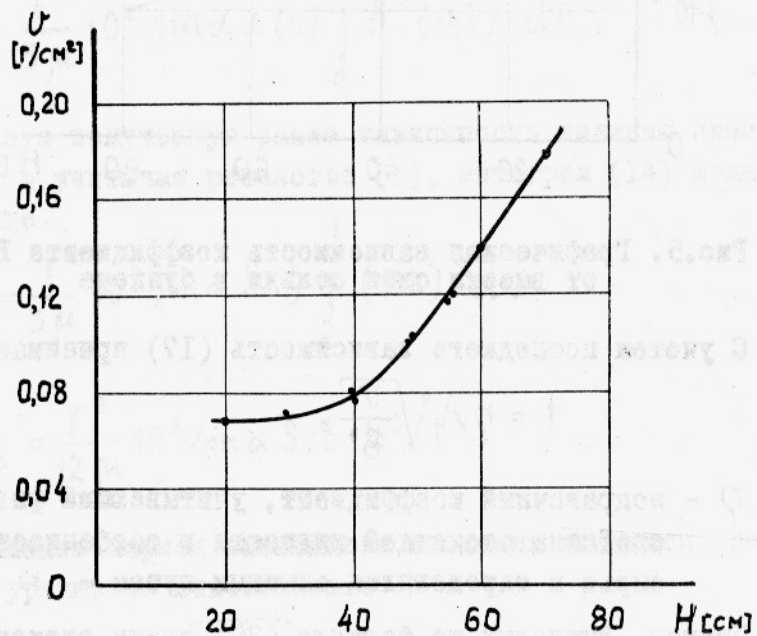


Рис.6. Зависимость удельного объема стекающей жидкости от высоты слоя сельди

Л и т е р а т у р а

1. Ганчев Б.Г., Козлов В.М., Лозовецкий В.А. Расчет локальных значений средней толщины пленки орошающей жидкости. Изв. Вузов. "Машиностроение", 1969, № 12.
2. Михеев М.А. Основы теплопередачи. ГЭИ, М.-Л., 1949.
3. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М., Изд-во литературы по строительству, 1955.
4. Терентьев А.В. Основы комплексной механизации обработки рыбы. М., изд-во "Пищевая пром-сть", 1969.
5. Brauer, H., Strömung und Wärmeübergang bei Rieselfilmen. VDI-Forschungsheft. 451, 1956.
6. Nusselt, W. Der Wärmeaustausch am Berieselungskühler, WDJ. 67, 1923.

ON THE DURATION OF THE PERIOD WHEN WATER FLOWS OUT OF FISH TANKS

I. I. Saenko
V. P. Kovalkov

S U M M A R Y

Applying the theory of laminar flow a formula for determining the duration of the period when water flows out in a film-like manner from the surface of fish in the fish tank is suggested. The time needed for the water to flow down from the layer of herring 60 cm deep is taken in the estimation as an example.