

Экструзия как способ повышения качества продукта

Голубева О.А.

Мурманский государственный технический университет

Статья посвящена вопросам измельчения замороженного сырья без дефростации, в ней представлены результаты научных исследований в области пищевой промышленности.

Ключевые слова: измельчение, замороженное сырьё, пищевая промышленность.

На сегодняшний день при производстве фарша из замороженного рыбного сырья неотъемлемой операцией, предшествующей измельчению, является дефростация.

В большинстве случаев при промышленной переработке сырья до дефростации и производимый полуфабрикат находятся в замороженном состоянии. Вся же прочая технологическая цепочка современного производства рыбного фарша разработана для сырья уже размороженного. В результате возникают значительные температурные перепады объекта переработки, что приводит к дополнительным энергозатратам. При проведении дефростации процент потерь сырья увеличивается, может быть испорчен его внешний вид и пищевая ценность.

Большое число операций в технологическом процессе требует наличия соответствующего оборудования, что приводит к увеличению потерь, а значит затрат энергии. В условиях постоянного подорожания энергоносителей решение задачи по сокращению их потерь представляется достаточно актуальным.

На основании результатов проведённых экспериментов предлагается заменить две технологические операции - дефростацию и последующее измельчение - экструзией.

Экструзия - технологический процесс выдавливания жгутов перерабатываемой массы через формирующие отверстия матрицы.

На сегодняшний день проведена первая часть экспериментального исследования экструзии мороженого сырья на примере мойвы из пяти серий. Мойва является широко распространенным, хорошо продаваемым и перерабатываемым сырьём. Использование именно мойвы в экспериментах связано с её морфометрическими характеристиками (длиной и толщиной). Малая толщина тушек рыбы удобна для формирования жгута. Поскольку при подготовке сырья тушки мойвы расположены параллельно оси, то в любом поперечном сечении замороженного образца прочностные свойства одинаковы. Это имеет большое значение при выводе математических зависимостей, характеризующих процесс экструзии.

Предварительная подготовка сырья для испытаний заключалась в замораживании образцов рыбы в морозильнике при температуре минус 20°С в трубке малого диаметра.

Для определения силовых и энергетических показателей процесса экструзии мороженой мойвы использована плунжерная пара диаметром гильзы 14 мм и ходом штока 110 мм, представленная на рисунке 1, где 1-плунжер, 2-гильза, 3-прокладка, 4-фильера, 5-съемный корпус.

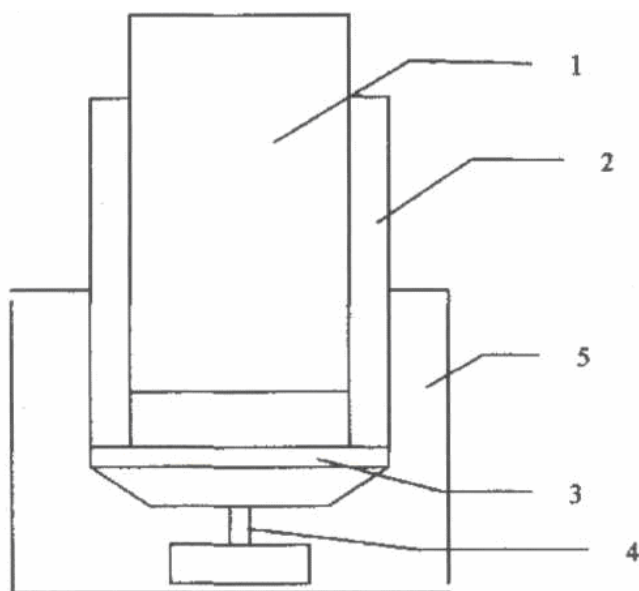


Рис. 1. Схема плунжерной пары для экструзии мойвы.

Продавливание проводилось на прессе гидравлическом с усилием до 50 тс. Экспериментальные образцы рыбы замораживались в трубке с внутренним диаметром 14 мм. Охлаждение плунжерной пары на данном этапе организовать не удалось. Так как длительность эксперимента составляла от 15 до 20 с, заметного отепления образцов не наблюдалось. Фильеры для экструзии имели диаметры - 1; 1,5; 2,5 мм. Ход плунжера составил 100 мм.

Скорость плунжера составила порядка 0,01 м/сек. Расчетная скорость истечения из фильеры доходила до 2 м/сек. Усилия продавливания по пяти замерам представлены в таблице 1. График зависимости усилий продавливания от диаметра фильеры для экспериментальной пары - на рисунке 2.

Таблица 1. Зависимость усилия* экструзии от диаметра фильеры.

Диаметр фильеры, мм	1,0	1,5	2,5
R, кгс	1000	400	150
P, МПа	81,5	36,22	13,04

Примечание - * среднее по пяти замерам

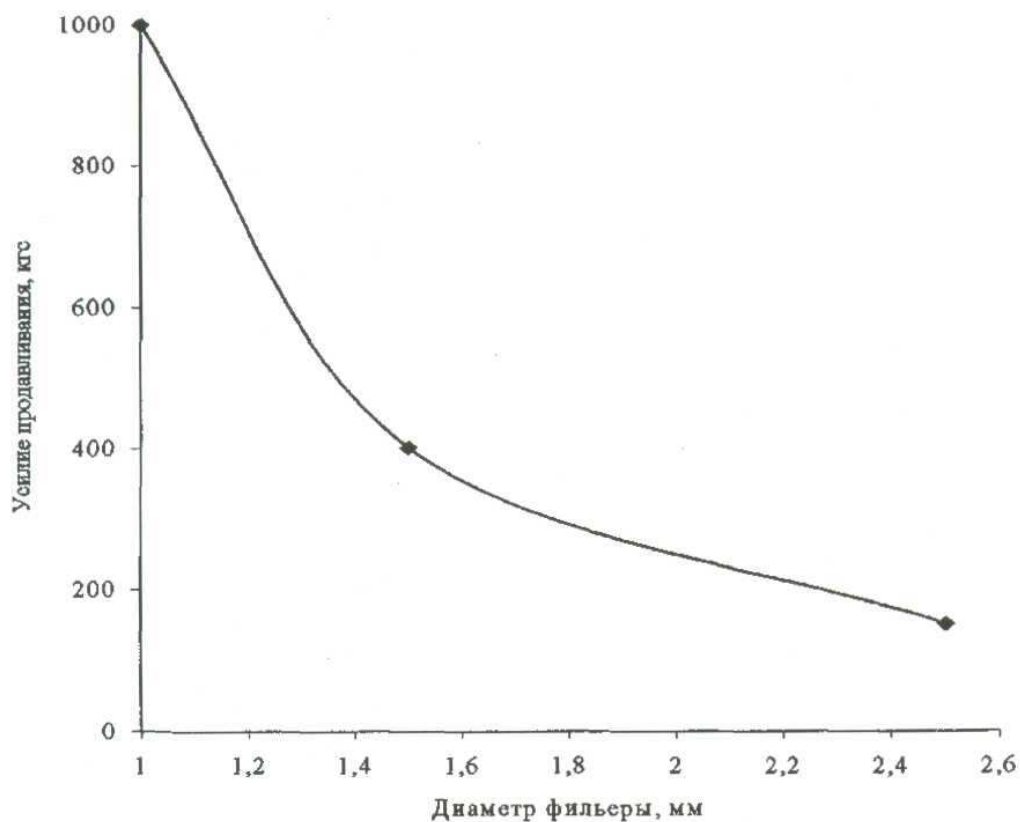


Рис. 2. Зависимость усилия продавливания от диаметра фильеры (среднее по 5-ти замерам).

По результатам экспериментов установлена формула связи давления экструзии и диаметра фильеры:

$$P = 81,5 / d^2 = 50 / s, \quad (1)$$

где d — диаметр фильеры, мм; s — площадь фильеры в свету, мм²; P — давление экструзии, МПа.

Эта формула дает завышенные от 5 до 8 процентов значения давления экструзии при малых площадях фильеры. Для корректировки формулы необходимы дополнительные исследования. Однако, для сравнительного анализа применимости экструзии в технологических процессах переработки сырья это завышение несущественно. Зависимость давления экструзии от диаметра фильеры представлена на рисунке 3.

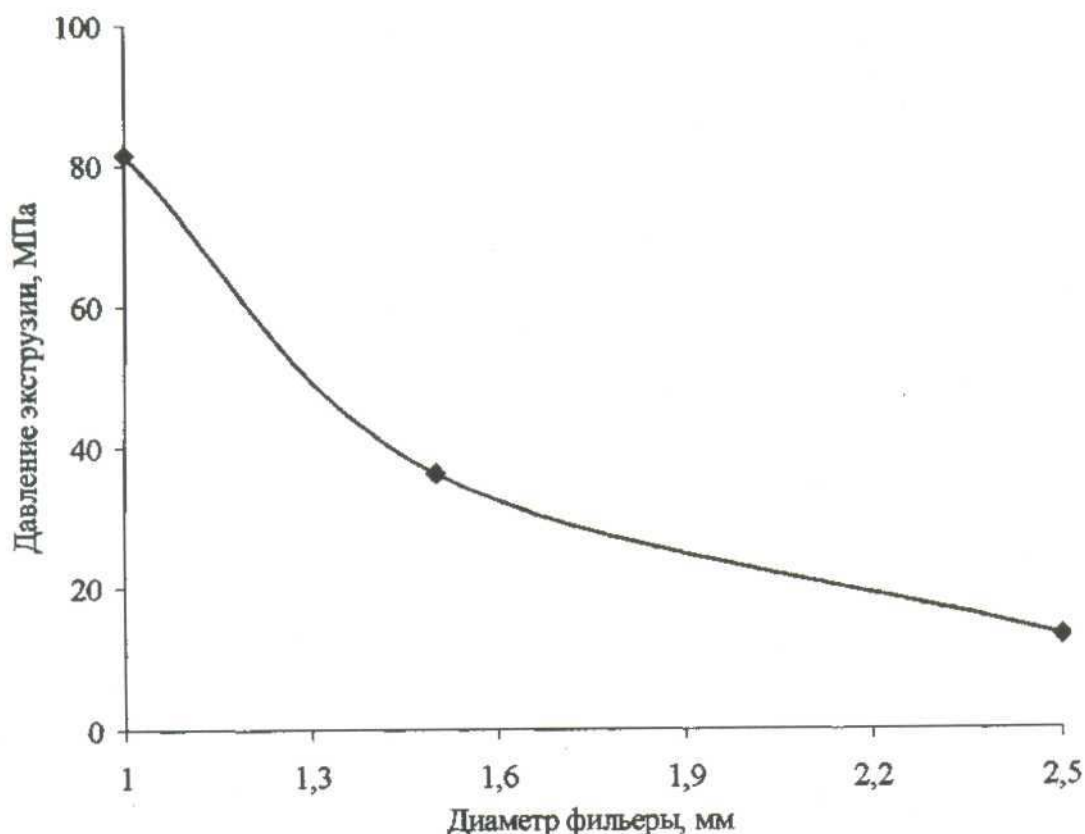


Рис. 3. Зависимость давления экструзии от диаметра фильеры.

Из формулы (1) следует что удельные затраты работы на экструзию кубометра мороженой мойвы \mathcal{E} , МДж/м³, определяются выражением:

$$\mathcal{E} = P. \quad (2)$$

Удельные затраты работы L , МДж/кг, на 1 кг мороженой мойвы будут:

$$L = \mathcal{E} / \rho, \quad (3)$$

где ρ — плотность рыбы, кг/м³;

или:

$$L = 81,5 / (\rho \cdot d^2). \quad (4)$$

Т. к. плотность рыбы порядка 1000 кг/м³, то:

$$L = 81,5 / (\rho \cdot d^2) = 50 / s = 0,0227 / d^2. \quad (5)$$

Мощность, требующаяся для экструзии мороженой рыбы, определяется в основном скоростью истечения рыбы из фильеры. Эта скорость определяет скорость движения плунжера, а следовательно и потребную мощность.

Из уравнения неразрывности следует, что скорость движения плунжера, при заданной скорости истечения, определяется отношением площадей плунжера и площади в сечении фильеры. Назовем это отношение — E .

Тогда для скорости плунжера Π , м/сек, получим:

$$\Pi = \phi / E, \quad (6)$$

где ϕ — скорость истечения из фильеры, м/сек; $E = S/s$ — усилитель; S — площадь плунжера, мм².

Потребная мощность N , МВт, будет определяться по формуле:

$$N = \Pi \cdot P = \phi \cdot P / E = 81,5 \cdot \phi / (d^2 \cdot E). \quad (7)$$

Производительность экструдера G , кг/сек, определится при этом:

$$G = s \cdot \phi / \rho, \quad (8)$$

где G — производительность экструдера, кг/сек.

Удельная работа экструзии мороженой мойвы представлена в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2. Зависимость удельной работы экструзии от диаметра фильеры.

Диаметр фильеры, мм	1,0	1,5	2,5	3,0	5,0
Удельная работа, кВтч/кг	0,0226	0,010044	0,003616	0,002511	0,000904

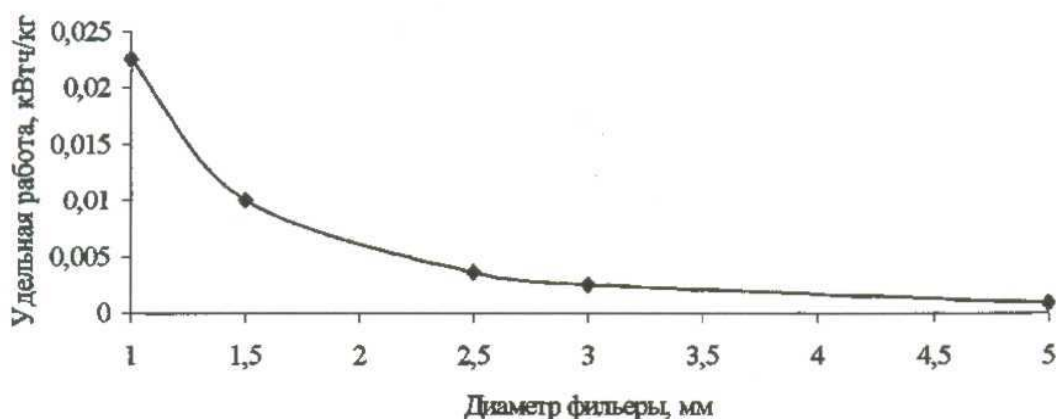


Рис 4. Зависимость удельной работы экструзии от диаметра фильеры, кВтч/кг.

Усилие экструзии D , МН, при продавливании стандартного блока размером 60x250x800 мм вдоль длинной стороны будет равно:

$$D = 1,5 \cdot 81,5 / d^2, \quad (9)$$

где D — усилие экструзии, МН.

Экспериментальные результаты получены для значений E от 36 до 200 и для расширения области их применимости необходимы дополнительные эксперименты.

Мощность N , кВт, необходимая для экструзии 1 кг рыбы в секунду, определяется выражением:

$$N = G \cdot 50 / s. \quad (10)$$

Часть энергии затраченной на экструзию превратится в тепло и пойдет на нагревание экструдера. Предположим, что основное тепловыделение происходит в веерной решетке при максимальной скорости движения рыбы. Пусть подвод тепла к экструдеру определяется некоторым коэффициентом K . Тогда для поддержания температуры экструдера необходимо отводить количество тепла Q , определяемое выражением:

$$Q = K \cdot L \cdot G. \quad (11)$$

При этом затрачивается на холодильную установку дополнительная работа $L_{хол}$:

$$L_{хол} = K \cdot L \cdot G / \varepsilon, \quad (12)$$

где ε — холодильный коэффициент.

С учетом охлаждения удельная работа экструдирования будет больше на множитель:

$$(1 + K / \varepsilon). \quad (13)$$

При $K = 0,2$ и $\varepsilon = 1,8 \sim 2$ работа экструдирования L , кДж / кг, увеличится примерно на 10 %, поэтому для расчетов примем выражение:

$$L = 1,1 \cdot 81,5 / d^2 = 89,65 / d^2. \quad (14)$$

Зависимость 14 подтверждается экспериментальными данными, представленными в таблице 3 и на рисунке 5.

Таблица 3. Зависимость удельной работы экструзии от диаметра фильеры.

Диаметр фильеры, мм	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5
Удельная работа, кДж/кг	81,5	36,22222	13,04	6,653061	4,024691	3,26

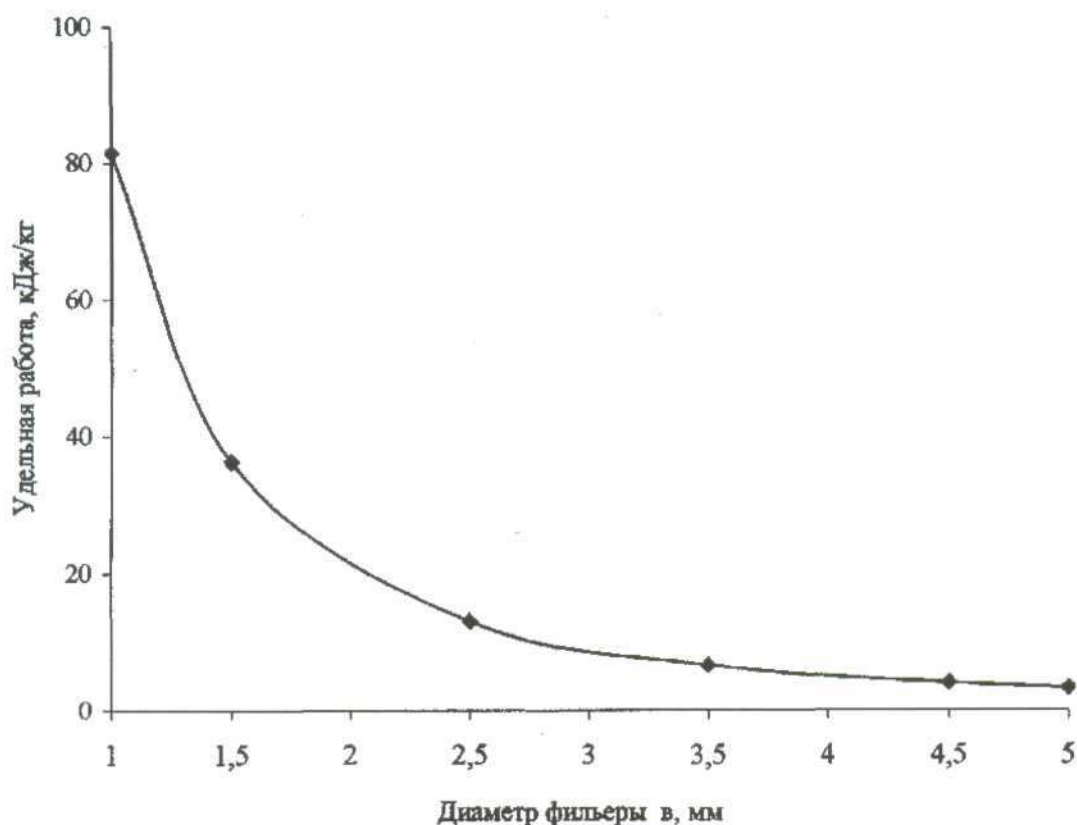


Рис. 5. Зависимость удельной работы экструзии кДж/кг от диаметра фильеры.

Фракционный состав измельченной рыбы определялся визуальным методом, подсчетом частиц в навеске 0,5 мл. Было исследовано по 3 образца, экструдированных через фильеры диаметром 1; 1,5; 2,5 мм. Навески предварительно были высушены в СВЧ поле до влажности, позволяющей отчетливо различать частицы всех размеров, примерно от 20 до 30 %. Ситовый анализ не был использован в связи с малым количеством экструдированной рыбы. Сводные результаты представлены в таблицах 4 и 5 и рисунке 6.

Таблица 4. Фракционный состав экструдированной мойвы.

Размеры частиц, мм	Диаметр фильеры 1,0мм	Диаметр фильеры 1,5 мм	Диаметр фильеры 2,5 мм
	Количество частиц		
0,5	103	105	108
1	25	20	18
2	17	18	9
4	7	12	7
6	5	8	4

Видно, что измельчение рыбы достаточно тонкое, сравнимое с измельчением в гомогенизаторах. Средний размер частиц порядка 1 мм.

По результатам эксперимента определены математические ожидания характерных параметров, r , r^2 , r^3 .

Таблица 5. Математические ожидания параметров измельченных частиц.

Математическое ожидание	Диаметр фильеры, мм		
	1	1,5	2,5
$M(r)$	0,705	0,79	0,76
$M(r^2)$	2,648	4,22	3,8
$M(r^3)$	5,57	9,09	8,3

Средний размер частиц зависит от диаметра фильеры, но получение связи между $M(r)$ и диаметром фильеры пока затруднительно, в связи неоконченными экспериментальными исследованиями и недостатком экспериментального материала. Однако, в рассмотренном диапазоне диаметров фильер средние размеры частиц примерно одинаковы. Так как усилие экструзии существенно уменьшаются с ростом диаметра фильеры, то до накопления экспериментальных данных для практического применения целесообразно выбрать диаметр фильеры 2,5 мм.

Таблица 6. Распределение частиц экструдированной мойвы.

Размер частиц	Относительные накопленные частоты		
	0,5	1,0	2,0
0,5	0,66	0,64	0,7
1,0	0,82	0,76	0,82
2,0	0,93	0,84	0,88
4,0	0,97	0,94	0,93
6,0	1	1	1

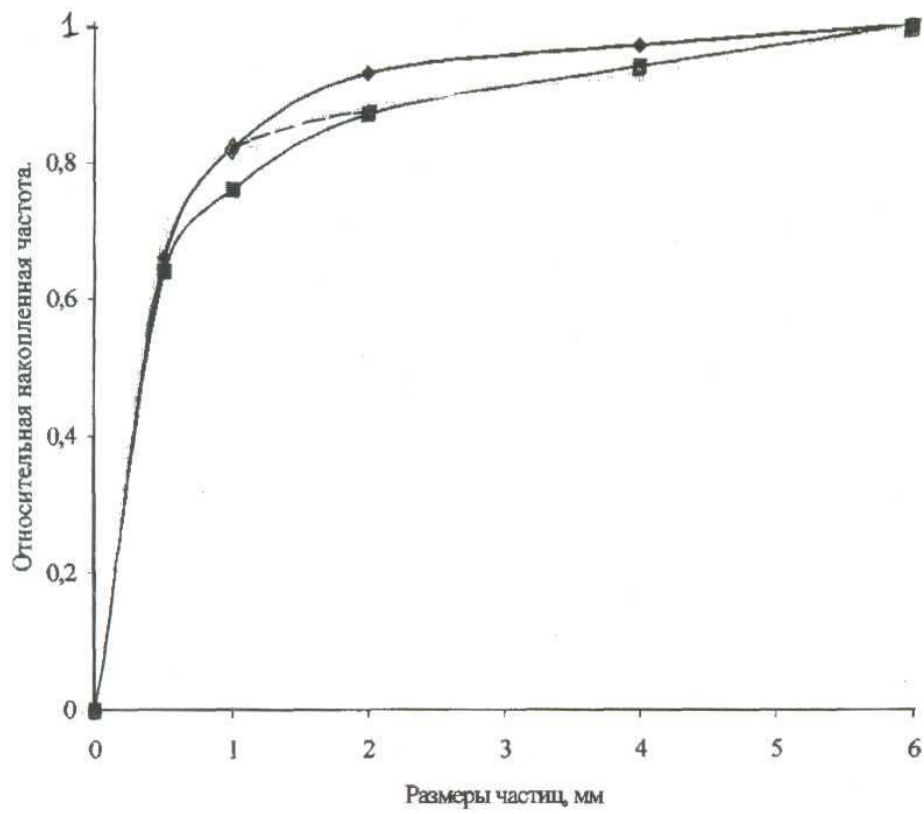


Рисунок 6 - Распределение частиц экструдированной мойвы.

- ◆— Диаметр фильеры 1 мм
- Диаметр фильеры 1,5 мм
- Диаметр фильеры 2,5 мм