

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

Научная статья

УДК 639.2

**Моделирование распределения сырца по видам обработки на добывающем судне  
с законченным производственным циклом**

**Нина Сергеевна Иванко**

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия, ivns@mail.ru

**Аннотация.** Представлена модель промыслово-технологического режима обработки суточного вылова рыбодобывающего судна с законченным производственным циклом. Сформулированы задачи оптимизации производственно-технологического режима обработки суточного вылова. Решение задачи может быть получено классическими методами линейного программирования. Приведено решение упрощенного варианта задачи на примере добычи промыслового объекта кальмара командорского в Северо-Курильской промысловой зоне. На примерах решения частной (упрощенной) задачи можно видеть влияние качества добываемого сырца на доход от выпуска продукции.

**Ключевые слова:** рыбодобывающая деятельность, суточный вылов, кальмар командорский, модель, оптимизация

**Для цитирования:** Иванко Н.С. Моделирование распределения сырца по видам обработки на добывающем судне с законченным производственным циклом // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58. № 4. С. 16–24.

INDUSTRIAL FISHING. ACOUSTICS

Original article

**Modeling of raw material distribution by types of processing on a mining vessel  
with a completed production cycle**

**Nina S. Ivanko**

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia, ivns@mail.ru

**Abstract.** A model of the commercial and technological mode of processing the daily catch of a fishing vessel with a completed production cycle is presented. The tasks of optimizing the production and technological mode of processing the daily catch are formulated. The solution of the problem can be obtained by classical methods of linear programming. The solution of a simplified version of the problem is given on the example of the extraction of the commander squid fishing facility in the North Kuril fishing zone. Using examples of solving a private (simplified) problem, one can see the impact of the quality of the extracted raw material on the income from output.

**Keywords:** fishing activity, daily catch, komandorsky squid, model, optimization

**For citation:** Ivanko N.S. Modeling of raw material distribution by types of processing on a mining vessel with a completed production cycle. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*. 2021; 58(4):16–24. (In Russ.).

## Введение

Основное направление развития рыбного хозяйства Российской Федерации – это рациональная эксплуатация водных биологических ресурсов. В связи с этим особое внимание направлено на исследование подсистемы «добыча» и моделирование процессов, протекающих в данной подсистеме, в контексте создания условий ведения эффективного промыслово-технологического режима добывающего судна с законченным производственным циклом, направленного на сохранение и рациональное комплексное использование водных биологических ресурсов и на учет и переход от интенсивного изъятия морских ресурсов к рациональной устойчивой их эксплуатации [1–3]. Процесс добычи носит вероятностный характер, так как осуществляется в условиях неопределенности. Величина суточного улова варьируется и зависит от неуправляемых факторов, таких, как поведение объекта промысла, гидрометеоусловия и пр. Но используя статистические данные по уловам, можно оценить среднесуточный вылов, и, зная это значение, спланировать работу добывающего судна так, чтобы минимизировать влияние неблагоприятных факторов. Одним из возможных вариантов такого снижения может стать оптимизация процессов в подсистеме «добыча», которые включают в себя задачу оптимизации распределения сырца по видам обработки. С такой задачей на добывающем судне с законченным производственным циклом сталкиваются ежедневно.

## Объекты и методы исследований

Объектом исследования является суточный промыслово-технологический режим добывающего судна с законченным производственным циклом. Такое судно занимается добычей и выпуском определенного ассортимента рыбопродукции. Полученный за рейс доход напрямую зависит от выпущенной продукции.

План распределения сырца по видам обработки рассчитывается на основе плановых показателей рейсового задания, прогноза промысловой обстановки и производственных возможностей судна по выпуску различных видов продукции (рис. 1).

На основании плана определяется спрос обрабатывающей подсистемы на сырье в единицу времени, например, в сутки. Полученное значение суточного спроса обрабатывающей подсистемы, прогноз промысловой обстановки, качественный и количественный состав сырья служит для определения оптимального режима добывающей подсистемы. Оптимизация выполняется по заданному критерию, например, максимизации дохода.

Фактический улов за сутки промысла может совпадать с плановым, тогда его обработка идет согласно построенному оптимальному режиму работы добывающей подсистемы. Если же фактический улов за сутки не соответствует плановому, например, вследствие неблагоприятной промысловой обстановки, необходимо определить оптимальный режим обработки фактического улова и скорректировать режим добычи [2, 3–5].

## Результаты и их обсуждение

Рассмотрим задачу оптимальной организации промыслового режима добывающей подсистемы судна с законченным производственным циклом. Для получения оптимального режима работы используется математический аппарат. Рассмотрим производственно-технологический процесс обработки сырца с точки зрения распределения по технологическим линиям добывающего судна.



Рис. 1. Схема оптимального промыслово-технологического режима обработки улова на добывающем судне с законченным производственным циклом [2]  
 Fig. 1. Scheme of optimal fishing and technological mode of catch processing on a mining vessel with a completed production cycle [2]

Структурная модель производственно-технологического процесса представлена на рис. 2.

На вход системы поступает суточный вылов, на схеме он обозначен как сырец. Он может быть отправлен на разделку, т.е. изготовление некоторого вида продукции, например, филе, консервов, мороженой рыбы без головы и т.д., может быть заморожен без разделки или пущен на рыбную муку. Все отходы, образующиеся в процессе переработки сырца в продукцию, отправляются на переработку в муку. Разделанная рыба после обработки отправляется на заморозку. Вся выпущенная продукция направляется на хранение в трюм. Обратная связь на схеме служит для регулирования работы системы. Распределение улова по различным технологическим линиям зависит от количественного, качественного и видового состава добытого сырца, а также от наполненности трюмов.

При планировании режима технологической обработки улова необходимо учитывать технологические характеристики и производственные возможности каждого судна. Рассмотрим задачу в общем виде, без привязки к типу судна.

Технологическая линия может производить несколько видов продукции, в общем случае считаем, что это мороженая неразделанная рыба, рыбная мука и разные виды продукции после обработки, например, филе.

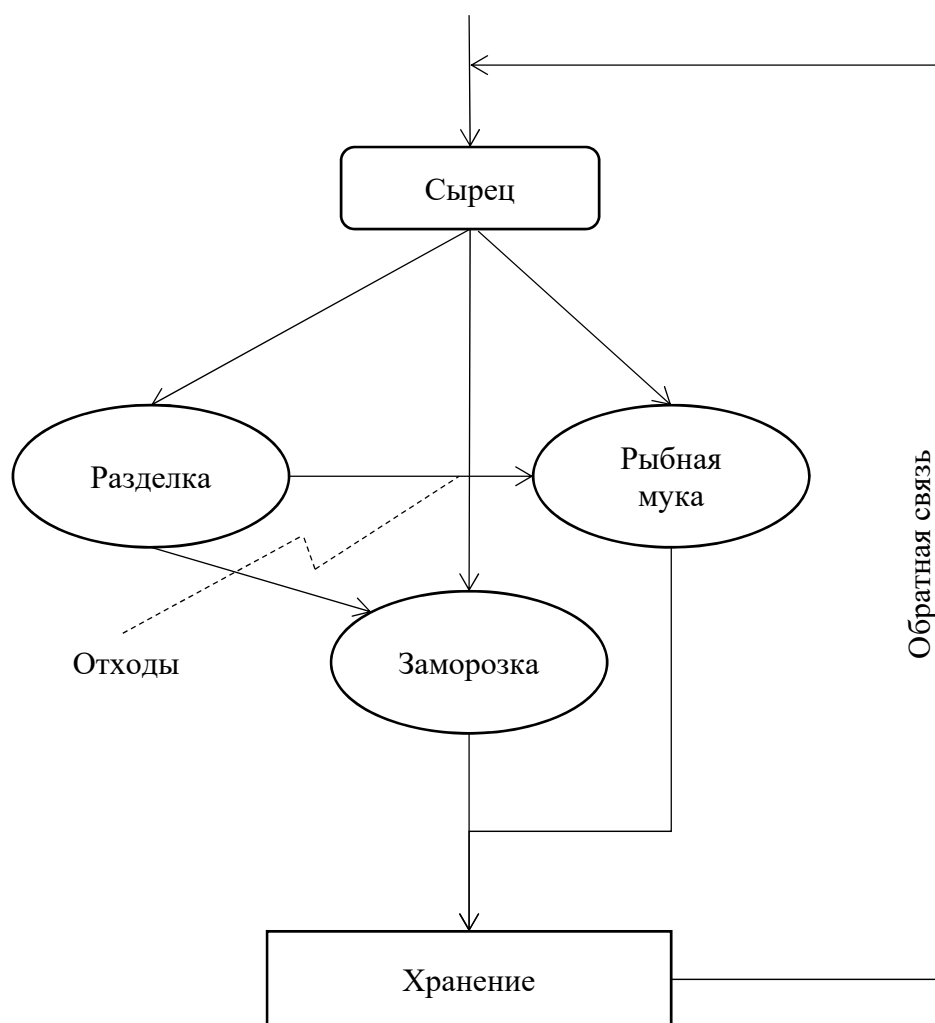


Рис. 2. Структурная модель производственно-технологического процесса [2]  
 Fig. 2. Structural model of the production and technological process [2]

Обозначим  $\tilde{a}$  суточный вылов.

Обозначим  $H$  – количество тонн сырца, идущее в заморозку без разделки,  $C$  – количество тонн сырца, пущенное на муку,  $H_i$  – количество тонн сырца, идущее на изготовление  $i$ -го вида продукции с разделкой,  $h_i$  – норма выхода продукции  $i$ -го вида из сырца.

Считаем, что объем суточного вылова не превосходит мощности технологических линий по всем видам обработки. Таким образом, весь улов может быть обработан в течение суток. Тогда

$$H + \sum_i H_i + C = \tilde{a}.$$

Цель оптимизации – это получение максимального дохода от переработки вылова. Пусть  $q_0$ ,  $q_i$ ,  $q_m$  – стоимость сдачи неразделанной мороженой рыбы, продукции  $i$ -го вида и рыбной муки соответственно, тогда суммарный доход за сутки промысла составит

$$q_0 H + \sum_i q_i h_i H_i + q_m \left( C + \sum_i (1 - h_i) H_i \right).$$

Мощность технологических линий  $M$  – это сумма мощности морозильной установки  $M_0$  и мощности линии производства рыбной муки  $M_1$ . Ограничение по мощности морозильной установки имеет вид

$$H + \sum_i q_i h_i H_i \leq M_0.$$

Ограничение по мощности установки для выпуска рыбной муки имеет вид

$$\sum_i (1 - h_i) H_i + C \leq M_1,$$

при этом выход муки составит

$$N_m \left( \sum_i (1 - h_i) H_i + C \right),$$

где  $N_m$  – коэффициент выхода рыбной муки из сырца.

Кроме того, имеются ограничения на распределение суточного вылова по видам продукции: часть улова идет на производство продукции, остальное – на выпуск муки. Ограничение по выпуску продукции имеет вид

$$\sum_i H_i \leq k_0 \tilde{a}.$$

Ограничение по мощности морозильной установки имеет вид

$$H + \sum_i H_i \leq k_1 \tilde{a},$$

ограничение на выпуск муки

$$C \leq k_2 \tilde{a},$$

при условии  $k_1 + k_2 = 1$ , т.е. перерабатывается весь суточный вылов, и  $k_0 \leq k_1$ , т.е. часть сырья идет в заморозку без обработки.

Значения коэффициентов  $k_0, k_1, k_2$  зависят от промысловых объектов, а также производственных возможностей каждого судна и вместимости трюмов. Фактически данные коэффициенты определяются в процессе планирования промыслового рейса. При планировании возможно учесть разные варианты данных коэффициентов и для каждого «набора» значений составить оптимальный план.

Таким образом, имеет место задача определения оптимального суточного промыслово-технологического режима:

$$q_0 H + \sum_i q_i h_i H_i + q_m \left( C + \sum_i (1 - h_i) H_i \right) \rightarrow \max$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H + \sum_i q_i h_i H_i \leq M_0 \\ \sum_i (1 - h_i) H_i + C \leq M_1 \\ \sum_i H_i \leq k_0 \tilde{a} \\ H + \sum_i H_i \leq k_1 \tilde{a} \\ C \leq k_2 \tilde{a} \\ H, H_i, C \geq 0 \end{array} \right.$$

Полученная задача является задачей линейного программирования и имеет несложное решение, которое можно получить, используя известный симплекс-метод или в случае выпуска двух видов продукции – графическое решение задачи.

Главным достоинством построенной модели обработки суточного улова является то, что она позволяет выявить все возможные проблемы и пути их решения. Например, при изменении коэффициентов  $k_0$ ,  $k_1$  можно получить как увеличение прибыли, так и уменьшение, а также учесть качество добываемого сырца.

На практике встречается частный случай задачи, когда идет производство двух видов продукции, например, мороженой неразделанной рыбы и рыбной муки, или, например, при добыче кальмара командорского в Северо-Курильской зоне судами типа БМРТ производится выпуск двух видов продукции: тушки кальмара очищенные и щупальца кальмара.

Рассмотрим задачу оптимизации промыслово-технологического режима на примере обработки кальмара командорского (далее – кальмар).

Район промысла – Северо-Курильская зона.

Тип добывающего судна – БМРТ.

Объект промысла – кальмар.

Вылов в сутки – 40 т, полученный за 3 траления.

Виды продукции: кальмар неразделанный мороженный, кальмар разделанный стандарт (тушка, щупальца).

Оценка суточного вылова выполнена на основе анализа производственной деятельности судов типа БМРТ на период с 2010 г. по 2019 г.

Фактически получается выпуск трех видов продукции, так как при разделке одной единицы сырца производится два вида готовой продукции (тушки и щупальца), но для производства этих двух видов продукции используется общая единица сырца, а в задаче рассматривается вопрос распределения исходного сырца по видам обработки.

Как правило, на судах типа БМРТ при обработке кальмара отходы, полученные в процессе разделки сырца, не используются для производства рыбной муки. Согласно статистическим данным, при обработке кальмара для оценки средней величины готовой продукции автором получены значения, представленные в табл. 1.

Оценка стоимости сданной продукции выполнена автором на основе статистических данных и представлена в табл. 2.

Таблица 1

Выход продукции, %

Table 1

Output of products, %

Сырца / продукция	Неразделанный кальмар	Разделанный кальмар	
		Тушка	Щупальца
Кальмар командорский	96	52	15,5

Таблица 2

Стоимость сдачи продукции, тыс. руб.

Table 2

The cost of selling products, thousand rubles

Продукция	Стоимость 1 т
Неразделанный кальмар	144
Тушки кальмара командорского	234
Щупальца кальмара командорского	134

На основании имеющихся данных получаем следующую задачу.

$H$  – количество тонн сырца, идущее в заморозку без разделки,  $H_1$  – количество тонн сырца, идущее на изготовление продукции с разделкой,  $h_0$  – норма выхода неразделанного кальмара,  $h_1, h_2$  – норма выхода продукции (тушка и щупальца) из сырца при разделке.

Мощность технологических линий значительно превышает суточный вылов, поэтому ограничение по мощности морозильной установки не влияет на решение, и его можно опустить.

Рыбная мука не производится, поэтому распределение суточного вылова будет выполнено между двумя видами продукции. Доля сырца, идущего на заморозку без разделки, составляет порядка 10–15 %, таким образом, примем значение  $k_0 = 0,9$ .

Стоимость реализации неразделанного кальмара из  $H$  тонн сырца составит  $144 \cdot 0,96 = 138,22$  тыс. руб. Стоимость реализации разделанного кальмара из  $H_1$  тонн сырца состоит из стоимости реализации тушек  $234 \cdot 0,52 = 121,68$  тыс. руб. и стоимости реализации щупалец  $173 \cdot 0,155 = 26,82$  тыс. руб.

Ограничение по выпуску продукции имеет вид  $H_1 \leq 0,9 \cdot 40 = 36$ . Ограничение по мощности морозильной установки имеет вид  $H + H_1 \leq 40$ .

Получаем задачу

$$138,22H + (121,68 + 26,82)H_1 \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} H_1 \leq 36 \\ H + H_1 \leq 40 \\ H, H_1 \geq 0 \end{cases}$$

Решение задачи может быть получено любым известным способом, например, с помощью надстройки Поиск решения электронных таблиц MS Excel.

Решение задачи:

$$\begin{cases} H = 4 \\ H_1 = 36 \end{cases}$$

То есть из суточного вылова 40 т сырца 4 т будут отправлены в заморозку без разделки, а 36 т будут направлены на разделку с выпуском двух видов продукции. При этом будет выпущена следующая продукция:

- кальмар неразделанный мороженный – 3,84 т;
- кальмар тушка разделанный стандарт – 18,82 т;
- кальмар щупальца разделанные стандарт – 5,58 т.

Полученный доход от сдачи продукции составит 5898,88 тыс. рублей. Любое отклонение от такого решения даст меньший результат.

В случае если качество сырца ниже, величина коэффициента может быть снижена, например, при  $k_0 = 0,75$  из суточного вылова 40 т сырца 10 т будут отправлены в заморозку без разделки, а 30 т будут направлены на разделку с выпуском двух видов продукции, при этом прибыль составит 5837,2 тыс. руб. Особенность решения частной задачи с двумя видами продукции заключается в том, что ее решение дает возможность регулировать процентное соотношение улова, направляемого на переработку и на выпуск муки или, как в данном примере, на заморозку без разделки и выпуск продукции с разделкой сырца. На примерах частной задачи можно видеть влияние качества добываемого сырца на доход от выпуска продукции.

### Заключение

Построенная математическая модель задачи оптимизации промыслово-технологического процесса работы добывающего судна решается с помощью методов линейного программирования и позволяет сформировать эффективный план суточного режима работы судна, направленный на минимизацию влияния неблагоприятных условий промысла на работу судна. Часть неблагоприятных условий можно учесть на стадии планирования, например, качество добываемого улова зависит от промыслового объекта и используемого орудия лова и может быть учтено при задании коэффициентов распределения сырца по видам обработки.

### Список источников

1. Лисиенко С.В. Совершенствование организации ведения добычи водных биологических ресурсов с целью успешной реализации стратегического развития отечественного рыболовства // Рыбное хозяйство. 2013, № 3. С. 17–21.
2. Сберегаев Н.А. Организация и управление промышленным рыболовством: учеб. пособие. Калининград: КТИРПХ, 1988. 126 с.
3. Андреев М.Н., Студенецкий С.А. Оптимальное управление на промысле. М.: Пищ. пром-сть, 1975. 288 с.
4. Лисиенко С.В. Проектирование организационных схем работы промысловых судов в многовидовой промысловой системе: промысловая зона на основе логистического подхода (на примере промысла дальневосточной сардины (иваси) в Южно-Курильской зоне Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. 2020, № 4. С. 102–112.
5. Мельников В.Н., Мельников А.В. Совершенствование общей теории промышленного рыболовства // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. № 1. С. 42–53.

### References

1. Lisienco S.V. Improving the organization of the extraction of aquatic biological resources in order to successfully implement the strategic development of domestic fisheries// Fisheries. 2013, No. 3. P. 17–21.



2. Sberegaev N.A. Organization and management of industrial fishing. Textbook. Kaliningrad: KTIRPH, 1988. 126 p.

3. Andreev M.N., Studenetsky S.A. Optimal management in the field. M.: Food industry, 1975. 288 p.

4. Lisienko S.V. Designing organizational schemes for the operation of fishing vessels in a multi-species fishing system: a fishing zone based on a logistic approach (on the example of the Far Eastern sardine fishery (ivasi) In the South Kuril zone of the Far Eastern Fishery Basin)//Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2020, №. 4. P. 102–112.

5. Melnikov V.N., Melnikov A.V. Improvement of the general theory of industrial fishing // Bulletin of AGTU. Ser.: Fish. Household. №. 1. P. 42–53.

### **Информация об авторе**

Н.С. Иванко – старший преподаватель, SPIN-код: 6882-7377, AuthorID: 814886.

### **Information about the author**

N.S. Ivanko – Senior Lecturer, SPIN-code: 6882-7377, AuthorID: 814886.

Статья поступила в редакцию 30.11.2021, одобрена после рецензирования 02.12.2021, принята к публикации 15.12.2021.

The article was submitted 30.11.2021 approved after reviewing 02.12.2021, accepted for publication 15.12.2021.