

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ САДКОВОГО КАРПОВОГО ХОЗЯЙСТВА

MATHEMATICAL MODEL OF CAGE FARM

О. Н. Федосеев, С. В. Новичков
O. N. Fedoseev, S. V. Novichkov

Российская федерация. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Russian Federation. Penza State University of Architecture and Construction
OlegF1962@mail.ru

Развитие рынка продукции аквакультуры может оказывать значимое влияние на наши национальные приоритеты, в первую очередь, формируя тренд здорового питания и долголетия населения России. Ожидаемый рост спроса на рыбу может быть удовлетворен за счет аквакультурного производства с учетом большого количества внутренних водоемов России. Представлена математическая модель регрессионного типа, описывающая зависимость набора массы садкового карпа от кормления, температуры и продолжительности выращивания, позволяющая прогнозировать эффективность садкового хозяйства.

The development of the aquaculture products market can have a significant impact on our national priorities, first of all, forming a trend of healthy nutrition and longevity of the Russian population. The expected growth in demand for fish can be met by aquaculture production, taking into account the large number of inland reservoirs in Russia. A regression-type mathematical model is presented that describes the dependence of the weight gain of the cage carp on the feeding, the temperature and the duration of cultivation, which allows predicting the efficiency of the cage farm.

Ключевые слова: аквакультура, садковое хозяйство, карп, математическая модель.

Keywords: aquaculture, cage farming, carp, mathematical model.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-6-9>

Рыба, как производимая в процессе рыбоводства, так и вылавливаемая из морских и пресноводных водоемов, представляет собой источник животного белка и необходимых питательных веществ. Высокие питательные качества рыбы и безусловная польза для здоровья получают все большее признание во всем мире. Кроме того, рыба является одним из наиболее эффективных преобразователей корма в высококачественную и экологически безопасную еду. Сегодняшний и будущий вклад рыболовства и аквакультуры в продовольственную безопасность и питание зависит от взаимодействия всех сторон, связанных с производством, реализацией, переработкой, транспортировкой рыбы, производством кормов и др., что связано с развитием регионов, экологической ситуацией, политикой государства.

В плане импортозамещения аквакультура в России в последнее десятилетие стабильно составляет не более 5–6 % от всего объема добываемой и производимой рыбы. Единственный сегмент, где России за пять лет удалось реально подвинуть зарубежных конкурентов, главным образом норвежцев, – это выращивание семги и форели. Что касается выращивания теплолюбивых рыб, в России это традиционно карп, то здесь ситуация совсем не оптимистичная.

Несмотря на то, что значимость регулярного потребления рыбы признают 80 % опрошенных потребителей, еженедельно едят рыбу только 37% [1]. Неудовлетворенный спрос, связанный в основном с дороговизной рыбы, что создает как вызовы, так и возможности для развития рыбной отрасли. Слабый спрос на рыбу связан и с установившейся в сознании со времен СССР установкой – «мясо в питании лучше рыбы», хотя по критерию состава белка и потребительским качествам эта установка абсолютно не верна. Образ высокой стоимости рыбы на рынке в сознании людей и ее быстрой перевариваемости человеком приводит к тому, что продукция рыбоводства не востребована на рынке, теряет привлекательность. Особенно это сказывается на живой рыбе – самом ценном и нежном товаре. Ситуация изменится, когда в обществе будет сформирован тренд на здоровое и безопасное питание.

За три последних десятилетия объемы производства рыбоводства выросли в 12 раз, показав среднегодовой рост свыше 8 %, что делает его самым быстрорастущим сектором производства продуктов питания. Количество внутренних водоемов в России огромно, но при этом отмечается высокая стоимость аквакультурной рыбы, что сдерживает рост рыбоводства. [2].

Материалы и методы. Математическая модель была разработана на основе садкового нагульного карпового хозяйства средней мощности. Использовали садки производителя «Иван-осетр» в виде садковой линии на 15 садков. Делевый короб с размерами 5×5×2,5 м [3].

Для посадки использовали годовика карпа массой 30 г с плотностью посадки 150 шт./м³. Выживаемость двухлеток карпа принималась 93 %.

Средняя температура воды взята по материалам гидрологических наблюдений на р. Суре в 2018-2022 гг. Расчет темпов роста карпа производился по методу Дьюела.

Характеристика продукционного корма представлена в таблице 1.

Суточный рацион кормления рыбы, с учетом массы рыбы, представлен в таблице 2.

Таблица 1

Продукционный корм для карпа (Aller)

	2 мм			3 мм			4,5 мм			6 мм		
Кормовой коэффициент	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7	1,6	1,7	1,8

Таблица 2

Суточный рацион кормления, % от массы рыбы

Рыба (гр)	мм	Температура воды в (°C)								
		12	14	16	18	20	22	24	26	28
10–50	2	1,13	1,88	3,02	4,52	5,65	6,79	7,54	6,79	6,03
50–100	3	0,94	1,57	2,51	3,77	4,71	5,65	6,28	5,65	5,03
100–300	4,5	0,75	1,26	2,01	3,02	3,77	4,52	5,03	4,52	4,02
300–750	6	0,6	1,01	1,61	2,41	3,02	3,62	4,02	3,62	3,22

Результаты и обсуждение. Для разработки математической модели зависимости темпа роста карпа от периода выращивания, использовали следующие расчетные данные.

1. Расчет массы выращенного карпа

Для этого рассчитываем объем 1 садка с учетом ширины (5 м × 5 м) и глубины (2 м): $5 \times 5 \times 2 = 50 \text{ м}^3$

Общий объем воды в садковой линии (15 садков в линии) составит $50 \times 15 = 750 \text{ м}^3$

Используем количество посадочного материала (150 шт. годовика карпа на 1 линию): $750 \times 150 = 112500$ шт.

Масса посадочного материала $= 112500 \times 30 / 1000 = 3375 \text{ кг}$.

Мощность хозяйства с учетом выживаемости $= 112500 \times 0,93 = 104625$ шт.

Масса выращенной рыбы за сезон выращивания, снимаемая с 1 линии, составила $104625 \times 0,6 = 62775 \text{ кг} = 63 \text{ т}$.

2. Разработка математической модели зависимости массы карпа от периода выращивания карпа

Вегетационный период с температурами воды выше 13 °C.

2.1 Время набора массы от 30 до 50 г на кормах 2 мм

$$T = \frac{100 \cdot (B - b)}{M_{\text{ср}} \cdot N_{\text{сут}} / \text{КК}}, \quad (1)$$

где: T – время в сутках; B и b – начальная и конечная масса в гр. 30 и 50; $M_{\text{ср}}$ – средняя масса за период, 40 гр.; $N_{\text{сут}}$ – суточная норма кормления при температуре в мае 13 гр. $C = (1,13 + 1,88) / 2 = 1,505 \%$; КК – кормовой коэффициент 1,3.

$T_1 = 100 \cdot (50 - 30) / (40 \cdot 1,505 / 1,3) = 43,2$ сут. (6 нед.)

2.2 Время набора массы от 50 до 100 г на кормах 3 мм

$M_{\text{ср}}$ – средняя масса за период, 75 гр.

$N_{\text{сут}}$ – суточная норма кормления при температуре в июне 18,5 гр. $C = (4,52 + 5,65) / 2 = 5,085 \%$;

КК – кормовой коэффициент 1,5.

$T_2 = 100 \cdot (100 - 50) / (75 \cdot 5,085 / 1,5) = 19,7$ сут. (3 нед.)

2.3 Время набора массы от 100 до 300 г на кормах 4,5 мм

$M_{\text{ср}}$ – средняя масса за период, 200 гр.

$N_{\text{сут}}$ – суточная норма кормления при температуре в июле 22 гр. $C = 4,52 \%$;

КК – кормовой коэффициент 1,6.

$T_3 = 100 \cdot (300 - 100) / (200 \cdot 4,52 / 1,6) = 35,4$ сут. (5 нед.)

2.4 Время набора массы от 300 до 600 г на кормах 6 мм

$M_{\text{ср}}$ – средняя масса за период, 450 гр.

$N_{\text{сут}}$ – суточная норма кормления при температуре в августе 18 гр. $C = 2,4 \%$;

КК – кормовой коэффициент 1,7.

$T_4 = 100 \cdot (600 - 300) / (450 \cdot 2,41 / 1,7) = 47$ сут. (7 недель)

Всего $= 43,2 + 19,7 + 35,4 + 47 = 145$ сут. = 21 недели

Период выращивания карпа составил с середины мая до начало октября, рыба за этот инкубационный период должна достигнуть средней массы 600 г. Темпы роста карпа представлены на рисунке 1.

Зависимость прироста массы карпа от периода выращивания представлена уравнением регрессии, имеющим следующий вид

$$Y = 1,4334x^2 - 2,1779x + 21,771. \quad (2)$$

График зависимости, представленный на рис. 1, позволяет отметить период адаптации годовиков карпа, к факторам окружающей среды, составляющий до 6 недель (40-45 дней). Что должно быть учтено при определении реальных сроков выращивания и температурного режима воды.

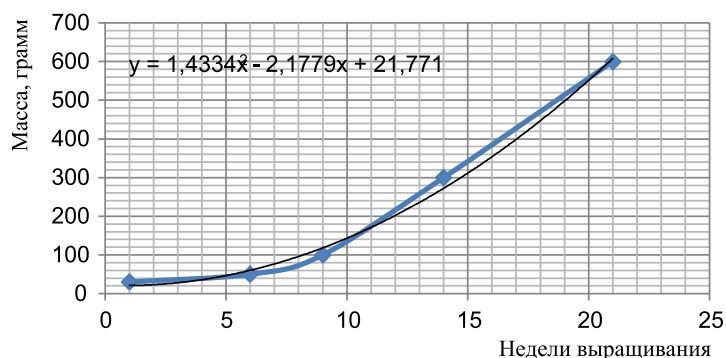


Рисунок 1 – Темпы роста карпа

3. Проверка плотности посадки карпа по потреблению кислорода рыбой при расположении садков перпендикулярно берегу в 2 ряда.

Уравнение баланса масс кислорода [4]

$$0,9 \cdot (O_2'' - O_2') \cdot n \cdot V = O_{2\text{сп}} \cdot P, \quad (3)$$

где: O_2'' и O_2' – содержание растворенного кислорода на в токе [3] и вы токе (5 мг/л); V – рабочий объем спаренного садка 100000 л; n – смена воды в садках (минимальная кратность водообмена) при скорости течения 0,01 м/с и площади сечения перпендикулярно току воды расход воды $Q = 0,01 \cdot (5 \cdot 2) = 0,1 \text{ м}^3/\text{с} = 0,1 \cdot 60 \cdot 60 = 360 \text{ м}^3/\text{час}$.

Кратность водообмена в 2 садках $n = 360/100 = 3,6$ раз в час; $O_{2\text{сп}}$ – специфическое потребление кислорода карпом [5]; P – возможная общая масса рыбы в двух садках, кг

Следовательно, масса рыбы в 2 садках может быть рассчитана по формуле

$$P = \frac{0,9 \cdot (O_2'' - O_2') \cdot n \cdot V}{O_{2\text{сп}}}. \quad (4)$$

Результаты расчетов (табл. 3) показывают, что в критические недели плотность посадки не превышает возможности снабжения кислородом рыбы.

Таблица 3

Расчет кислородной обеспеченности для критических недель

Недели	t воды, гр. С	O_2''	Инд. масса, г	$O_{2\text{сп}}$	Возможная масса рыбы в 2 садках, кг	Возможная масса рыбы в 1 садке, кг	Расчетная масса в 1 садке, кг	Доля от возможной посадки
14.	19	9,35	272	94	14994	7497	1945	0,26
15.	18	9,54	312	93	15817	7908	2223	0,28
16.	17	9,74	354	86	17858	8929	2513	0,28
17.	16	9,95	399	70	22911	11456	2823	0,25

4. Расчет рациона и количества корма проводился с учетом равномерной смертности, численности посадочного материала 112500 шт., конечной численности 104625 шт. (табл. 4).

Таблица 4

Таблица расчета количества корма, суточной и разовой дачи

Недели	Масса общ., кг	Продукция, кг	Кормовой коэффициент	Корм, кг	Суточная дача, кг	Кол-во кормлений в сут.	Разовая дача, кг
0	3375						
1	3420	45	1,3	58	8	4	0,1
2	3464	44	1,3	58	8	4	0,1
3	3675	211	1,3	274	39	4	0,7
4	3996	321	1,3	417	60	4	1,0
5	5199	1203	1,3	1564	223	4	3,7

6	6615	1416	1,3	1840	263	4	4,4
7	8460	1845	1,5	2768	395	4	6,6
8	10512	2052	1,5	3077	440	4	7,3
9	12877	2365	1,5	3547	507	4	8,5
10	15551	2675	1,6	4279	611	4	10,2
11	18532	2981	1,6	4769	681	4	11,4
12	21816	3284	1,6	5254	751	4	12,5
13	25400	3584	1,6	5734	819	4	13,7
14	29172	3773	1,6	6036	862	4	14,4
15	33345	4173	1,7	7094	1013	4	16,9
16	37701	4356	1,7	7405	1058	4	17,6
17	42344	4643	1,7	7893	1128	4	18,8
18	47270	4926	1,7	8375	1196	4	19,9
19	52477	5207	1,7	8851	1264	4	21,1
20	57960	5483	1,7	9322	1332	4	22,2
21	62775	4815	1,7	8186	1169	4	19,5
Всего				96802			

Заключение. Ресурсов ихтиофауны Мирового океана не так много, как кажется, и увеличение вылова без грамотного воспроизводства скоро будет невозможно. На это накладываются климатические изменения, которые вероятно приведут к изменению пространственного распределения стадий жизненного цикла многих видов промысловых рыб и, безусловно, скажутся на эффективности воспроизводства рыб и объемах их вылова. Поэтому интенсивное рыбоводство будет актуальным для отрасли.

Программа импортозамещения в области аквакультуры, которую приняли в Совете Федерации, затрагивает в основном форелеводство, другим же направлениям уделяется мало внимания.

В Пензенской области по гранту Агростартапа 2022 г. предусмотрено субсидирование рыбоводства в области приобретения посадочного материала, но не распространяется на кормовую базу, которая является более приоритетной. Выращивание карпа в условиях садкового хозяйства, размещенного на внутренних водоемах Пензенской области (как природных, так и искусственных), позволит улучшить качество и безопасность питания жителей области.

Предлагаемая математическая модель позволяет быстро определить выход карпа по массе и просчитать рентабельность садкового хозяйства.

В отличие от других пород рыб карп может потреблять корма с относительно небольшим содержанием животного белка. Налаживание производства качественных кормов в Пензенской области и выделение грантов на корма может значительно повысить рентабельность садкового карпового хозяйства и привлекательность для малого бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устойчивое рыболовство и аквакультура для обеспечения продовольственной безопасности и питания. Доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания. [http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/salmon/Устойчивое рыболовство и аквакультура.pdf](http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/salmon/Устойчивое_рыболовство_и_аквакультура.pdf) (дата обращения 18.12.2022).
2. Садковое рыбоводство / С.Н. Александров. – М.: АСТ. – 2005. – 270 с.
3. Электронный ресурс: <https://sadok-ponton.ru/kontakty/about-company> (дата обращения 18.12.2022)
4. Losordo T. Westers H. Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management. Developments in Aquaculture and Fisheries Sciences. 1994. 27: 9–60.
5. Казаков В.В. Содержание растворенного кислорода в воде. <https://pandia.ru/text/80/154/36395.php> (дата обращения 15.03.2022).