

АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ РЫБОЛОВСТВА

УДК:639.2.081.117.4

К ВОПРОСУ ВЫБОРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕЧНОГО ЗАКИДНОГО НЕВОДНОГОЛОВА

© 2017 г. В.Н. Чурунов, А.М. Лихтер*, Д.А. Кострыкин**

Техническое предприятие «Эллинг», Астрахань, 416130

*Астраханский государственный университет, 414056

**Астраханский государственный технический университет, 414056

E-mail:kda797@mail.ru

Поступила в редакцию 01.04.2016 г.

В статье дается краткий анализ существующих математических моделей речного закидного неводного лова рыб, указаны их недостатки. Показана необходимость оптимизации наиболее важных параметров лова. Предложена новая математическая модель, учитывающая недостатки предыдущих и позволяющая оперативно управлять неводным ловом.

Ключевые слова: река, рыба, концентрация рыб, речной закидной невод, время лова, форма невода на замете, математическая модель речного неводного лова.

ВВЕДЕНИЕ

Речной закидной неводной лов (РЗНЛ) широко развит в реках, притоках, рукавах и протоках. Лов рыбы в реке закидными неводами является сложным кибернетическим процессом (Мельников В., Мельников А., 1998). Поскольку объекты лова используют любую возможность для ухода, в неводе остается лишь 20–30% рыбы (Баранов, 1923; Веренин, 1968).

Для математического описания РЗНЛ учеными разработано несколько математических моделей, но с их помощью трудно управлять ловом.

Цель работы — анализ существующих математических моделей РЗНЛ и разработка с учетом их недостатков новой, пригодной для оперативного управления ловом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Экспериментальные исследования, наблюдения на неводных участках и их анализ показали, что улов невода зависит от многих факторов и параметров, основными из которых являются следующие: размеры

участка лова (тони); размеры и оснастка невода и его урезов; параметры и характеристики окружающей среды (температура, прозрачность, скорость течения и т.п.); поведение гидробионтов (скорость и направление движения, предпочтаемые глубины и берега, концентрация и интенсивность хода и др.); технология работы с неводом во время замета, сплыивания и его выборки (скорости и направления перемещения деталей невода и т.п.); наличие помех; эффективность управления и др. (Чурунов, 2012).

Основными этапами наиболее распространенного способа РЗНЛ являются: замет невода, его сплыивание по течению вдоль тони, замет и выборка бежного уреза, выборка бежного крыла, подтягивание приводов и мотни к берегу и, наконец, выливка улова. При этом сначала преграждают путь для прохода рыбы против течения, затем скопления рыб прощеживают, продвигая невод по течению к началу тони (притонку). За это время часть рыбы заходит на акваторию тони, а часть уходит оттуда. После выборки бежного уреза рыба оказывается полностью окруженней неводом, и при его выборке (вы-

тягивании) количество рыб в неводе может только уменьшаться, так как концентрация рыб на единицу сокращаемой площади облова растет, а вместе с ней растет и стремление рыб выйти из обметанного пространства. Таким образом, простейшая модель речного закидного неводного лова может быть выражена следующим образом:

$$Q_{\text{Ц}} = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4, \quad (1)$$

где $Q_{\text{Ц}}$ — улов невода за цикл; Q_1 — количество рыбы, находящейся на акватории тони перед обловом; Q_2 — количество рыбы, зашедшей на акваторию тони за время лова (сплыивание невода, замет и выборка бежного уреза); Q_3 — количество рыбы, ушедшей из невода за время облова; Q_4 — количество рыбы, ушедшей из замкнутого неводом пространства при его выборке.

Каждое из слагаемых формулы (1) можно выразить через параметры, существенно влияющие на эффективность лова.

В период установившегося лова на него результат влияют следующие параметры: время лова; форма невода на замете; скорость движения рыб, замета и сплыивания невода, хода пятного крыла, бежного уреза и рабочей подборы; площадь пространства, через которое рыба может выйти из невода; концентрация рыб в реке; уловистость невода (вероятность ухода рыб из невода разными путями) и др.

Как видим, параметров, влияющих на улов, довольно много, некоторые из них взаимосвязаны и учесть все их невозможно, да и не нужно.

Анализ показал, что для моделирования РЭНЛ можно воспользоваться различными подходами и, соответственно, разными математическими моделями.

Первую математическую модель РЭНЛ предложил Баранов (1923, 1960):

$$N = a (\int y dx_1 + v \int y dt), \quad (2)$$

где N — улов за время лова, экз.; a — плотность потока рыбы, экз./м²; $\int y dx_1$ —

площадь дна реки, обойденная клячом невода, м²; v — скорость движения рыбы вверх по реке, принимаемая постоянной, м/с; $\int y dt$ — площадь диаграммы времени, м × с; y — расстояние от берега до конца невода в момент времени t , м.

Указанные интегралы берутся в пределах от начала замета до подхода к берегу бежного кляча.

Эта модель была несовершенна, так как не учитывала рыб, уже зашедших на акваторию тони и ушедших из невода в период облова и выборки невода.

Войниканис-Мирский (1983) предложил следующую формулу для определения разового улова:

$$Q = \beta \delta \alpha (F + VFg), \quad (3)$$

где β — зональный коэффициент уловистости (удерживающая способность невода); δ — практический коэффициент уловистости; α — концентрация рыбы, кг/м²; F — площадь замета, м²; V — скорость движения рыбы, м/с; Fg — площадь диаграммы времени, м².

По сути, это усовершенствованная формула Баранова (2), в которой вместо интегралов используются обозначения площадей и добавлены два коэффициента уловистости. При этом под зональным коэффициентом уловистости Войниканис-Мирский понимал отношение количества рыбы, вошедшей в зону действия невода, к попавшей в зону его влияния, и что произведение этих двух коэффициентов дает общеизвестный коэффициент уловистости k_y . Замечания к формуле (2) относятся и к формуле (3). Кроме того, концентрация рыб измеряется в кг/м³, а не в кг/м².

По мнению Никонорова (1973), улов речного закидного невода за время лова равен алгебраической сумме количества рыбы, находящейся в объеме воды, который охвачен неводом (Q_1), количества рыбы, движущейся против течения реки и зашедшей в зону действия невода за то же время (Q_2) и количества рыбы, ушедшей из площади об-

лова невода, когда он находился в открытом состоянии (Q_3):

$$Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 = CS_n V_n t + CS_x V_p t - Q_3, \quad (4)$$

где C — концентрация рыбы, кг/м³; S_n — площадь сетной части невода, м²; V_n — средняя скорость сплыивания невода, м/с; t — время от начала замета до притонения бежного кляча, с; S_x — площадь (величина переменная), м²; V_p — скорость движения рыбы, м/с.

Следует отметить, что Никоноров (в отличие от других) учитывал рыбу, находящуюся на тоне до облова (но обычно время ее накопления не равно времени лова t , которое должно быть оптимальным), и не учитывал рыб, уходящих из невода после подхода к берегу бежного кляча.

Как можно выразить Q_3 , автор вообще не указывал.

Верейн (1968) предложил представить разовый улов невода как разность между теоретическим уловом и уходом рыбы из зоны действия невода:

$$Q = \rho [a_3 (V_p + V_H) - a_b (V_p' - V_H)] \int_0^a y dt \exp(-2\pi a S V_p' / T_B / H L), \quad (5)$$

где ρ — плотность популяции рыбы на акватории тони, шт/м²; a_3 — вероятность захода рыбы в зону влияния невода в единицу времени; y — фактическое раскрытие невода, м; V_p — скорость перемещения популяции рыбы вверх по реке, м/с; V_H — составляющая скорости движения бежного конца, параллельная направлению русла реки, м/с; a_b — вероятность выхода рыбы из зоны влияния невода в единицу времени; V_p' — скорость перемещения вниз по течению рыбы, ищущей выхода из невода, м/с; T_a — длительность промежутка времени от замета до замыкания невода, с; a — вероятность выхода рыбы из зоны действия в единицу времени; V_p'' — скорость рыбы при выходе из зоны действия, м/с; T_B — время выборки крыльев

невода, с; H — средняя глубина тони у притонка, м; S — фактическая площадь зоны действия невода, м²; L — длина невода, м; l — длина участка невода, на котором окончательно концентрируется рыба перед сгоном ее в мотню или слив, м.

В предложенной модели неводного лова улов зависит от 16 разных параметров. Однако автор не раскрывает способ определения вероятностных коэффициентов a_3 , a_b , a и поскольку они берутся в единицу времени, то у них будет размерность 1/с. При столь большом количестве коэффициентов и параметров оптимизировать процесс лова будет очень сложно. Кроме того, не ясен физический смысл показателя степени экспоненты и всего интеграла. Результат формулы (5) имеет размерность шт/м² вместо шт.

Вторая часть формулы (5) представляет собой интеграл в пределах от начала замета невода до подхода к берегу бежного крыла, т. е. до образования зоны действия. Он берется от произведения площади диаграммы времени ($y dt$) и экспоненты, в степень которой включены параметры, характеризующие уход рыб из зоны действия невода, т. е. интеграл должен быть от нуля до T_B — до конца облова зоны действия, когда сомкнутся приводы невода, а не до T_a .

Выражение «плотность популяции рыбы» с размерностью шт/м² не соответствует современным системам единиц и логике, так как рыба находится не на дне, а в толще воды, т.е. в объеме.

Формула (1) отражает теоретический подход создания детерминированной модели РЭНЛ, в основе которой использован метод материального баланса. Подобный метод был использован Мельниковым и Пальгумом (1981). Их модель вначале имела следующий вид:

$$Q_{\text{II}} = (1 - \Phi_1 - \Phi_3 - \Phi_4 - \Phi_5 - \Phi_6)(1 - \Phi_2)(Q_1 + Q_2), \quad (6)$$

где $\Phi_1 - \Phi_6$ — коэффициенты, учитывающие вероятности ухода рыб под нижнюю подбору, над верхней подборой, в обход клячей и путем скатывания по течению; Φ_2 —

коэффициент, учитывающий уход рыбы из замкнутого пространства; Q_1 — количество рыбы в облавливаемом неводом объеме (при условии, что рыбы в реке не перемещаются и не уходят из невода), кг; Q_2 — количество рыбы, поступающей в облавливаемый неводом объем за цикл лова, кг.

В развернутом виде модель содержит 41 параметр (Мельников В., Мельников А., 1998).

Последней была модель (7) Бычкова (2002), в ней дополнительно к предыдущей учитывается уход рыб и через сетное полотно невода (т.е. механическая селективность):

$$\begin{aligned}
 Q_U = & P \{ \exp(-k_{\Pi}^1 F_1 H_P / H) + \\
 & + \exp[-k_{\Pi}^2 H_B (H - H_P) / H_P] + \\
 & + \exp[-k_B k_{\Pi}^1 (\alpha_{\Pi} - \alpha_0)] - \\
 & - \exp[-k_j (2L_H / B_3 - 1)(1 + V_H / V_P) - \\
 & - \exp(-k_{\Pi}^1 k_M^1 (1 - L_1 / L_T)(1 + \\
 & + V_H / V_{PH})] + \int_0^{\infty} g_1(l) S_1(l) dl - 3 \} \times \\
 & \times \{ \exp(-k_{\Pi}^2 F_2 H_P / H) + \int_0^{\infty} g_2(l) S_2(l) dl - \\
 & - 1 \} \times \{ (B_3 - B_1)[L_1 + (L_T - L_1)(B_3 - \\
 & - B_1) / 2B_3] + (B_3 - B_1)[(L_1 / V_1) + ((L_T - \\
 & - L_1)(B_3 - B_1) / 2V_2 B_3] / (l_{\max} - \\
 & - l_{\min}) \} \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} V_P(l) g(l) dl \}, \quad (7)
 \end{aligned}$$

где k_{Π}^1 , k_{Π}^2 , k_B — эмпирические коэффициенты, характеризующие степень стремления рыбы уйти из зоны облова; H_P — глубина водоема преимущественного расположения рыбы в зоне облова, м; B_3 — облавливаемая ширина реки, м; B_1 — мелководная прибрежная зона с малой концентрацией рыб, м; L_T — длина тони, м; L_1 — длина участка сплыивания, м; V_P — скорость миграции рыбы вверх по реке, м/с; V_1 — скорость сплыивания невода на участке, м/с; V_2 — скорость тяги бежного уреза, м/с; ρ — плотность концентрации рыбы, кг/м³; F_1 , F_2 — площади зазора между нижней подбо-

рой невода и дном реки, когда невод сплывает и когда он замкнут, м²; k_B — коэффициент, зависящий от особенностей распределения ходовой рыбы по ширине реки; H_B — глубина хода верхней подборы, м; α_{Π} — угол атаки пятного крыла при сплывании невода, градус; α_0 — отрицательный угол α_{Π} , при котором уход рыбы в обход пятного кляча равен нулю, градус; k_j — коэффициент, зависящий от активности рыбы; L_H — длина невода, м; k_j — коэффициент, отражающий степень миграционной активности рыб; V_H — скорость сплывания невода (за участком L_1), м/с; V_{PH} — скорость перемещения рыбы в обход бежного кляча, м/с; $g_1(l)$ — функция плотности распределения облавливаемых скоплений; $S(l)$ — функция кривой селективности сетного полотна; $V_P(l)$ — функция, характеризующая зависимость скорости миграции рыбы вверх по реке от длины рыбы; l_{\max} , l_{\min} — соответственно максимальный и минимальный размер рыб в облавливаемых скоплениях.

Всего в этой модели 61 параметр.

Необходимо отметить, что некоторые параметры формулы (7) в процессе лова значительно изменяются: скорость тяги бежного уреза (V_2); площади зазоров под нижней подборой и над верхней подборой, угол атаки пятного крыла; коэффициенты, зависящие от активности рыб k_B и от миграционной активности k_j ; скорость перемещения рыбы в обход бежного кляча V_{PH} и др. «Плотность концентрации» — неудачный термин.

В первых моделях РЭНЛ Баранов (1923) и Войниканис-Мирский (1983) учитывали небольшое количество параметров: плотность потока рыбы, площадь облова, скорость рыбы, время или скорость движения невода по реке. Второй автор добавил в формулу коэффициент уловистости (у первого он, видимо, был равен 1).

Те же параметры использованы в модели Никонорова (1973). Но этот автор, в отличие от всех других, учитывал плотность концентрации рыб не на площади тони, а в прощеженном объеме, что логически более верно.

Начиная с Вереина (1968), авторы моделей стали вводить в формулы коэффициенты, выражающие вероятности захода или выхода рыб из невода, определить которые невозможно, так как они в процессе лова изменяются в больших пределах.

Последние две модели (Мельников, Пальгуй, 1998; Бычков, 2002) очень громоздки и сложны, в них не выделены основные параметры лова (например, время лова), поэтому они не могут быть эффективно использованы для целей оперативного управления РЗНЛ.

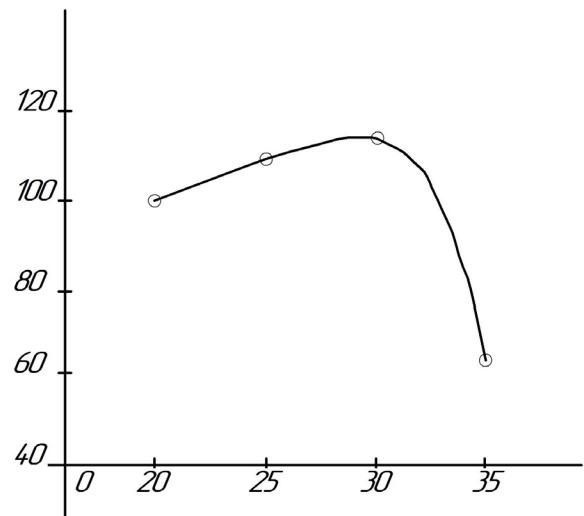
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам анализа моделей можно констатировать следующее: все модели имеют недостатки, а некоторые и ошибки (2–4).

Итак, рассмотрев указанные модели неводного лова, можно сделать вывод о том, что они по разным (указанным ранее) причинам не подходят для постоянного использования на лову, в связи с чем необходимо разработать другую модель.

Чтобы выделить основные параметры неводного лова, проводили многочисленные эксперименты. Например, Лек-суткин (1957) на тоне «Контрольная» поочередными заметами контрольного (промыслового) и экспериментального неводов доказал, что улов не прямо пропорционален времени (продолжительности) лова, длине невода и коэффициенту формы невода на замете, а находится с ними в экспоненциальный зависимости. То есть улов за замет будет максимальен при определенном времени лова и коэффициенте формы невода на замете. Анализ уловов показал, что если улов контрольного невода (с постоянным временем лова и коэффициентом формы) принимать за 100%, то улов экспериментального невода с изменением указанных параметров будет отличаться от него в ту или иную сторону (рисунок).

В первом приближении этот график представляет собой кривую с одним макси-



Зависимость относительного улова Q — отношение улова экспериментального невода к контрольному (по оси ординат, %) — от времени лова t (по оси абсцисс, мин).

мумом. Надо полагать, что на других тонях оптимальное время лова может отличаться.

Следует учитывать (Кузин 1973; Мельников В., Мельников А., 1998; Лихтер и др., 2005), что в модели не должно быть много параметров, иначе она будет сложна в применении и давать большую ошибку.

Анализ показал, что нужные нам кривые могут быть получены с использованием различных математических функций (Бронштейн, Семенджев, 1956; Ершов, Райхминст, 1984), но наиболее подходящей, по нашему мнению, является следующая:

$$y = ax^b \exp(cx), \quad (8)$$

где x — параметр; a , b , c — коэффициенты.

Графики этой функции имеют нужный нам вид параболы при: 1) $c < 0$; $b > 1$; 2) $c < 0$; $b = 1$; 3) $c < 0$; $0 < b < 1$ (Бронштейн, Семенджев, 1956).

Для удобства и простоты расчетов приняли второй вариант, при котором $c < 0$ и $b = 1$ (например, при $b = 2$, получим t^2 , а это не соответствует ни теории, ни практике лова).

В нашем случае, если принять, что $a = Bh\rho k_y V_p$; $x = t_\lambda$, то в целом функция (модель) улова за цикл примет следующий вид:

$$Q_{\text{Ц}} = Bh\rho k_y V_p t_\lambda^b \exp(ctk_\lambda), \quad (9)$$

где c — настроочный коэффициент, 1/мин; B — облавливаемая ширина реки, м; t_λ — время лова, мин; k_y — коэффициент уловистости невода; h — средняя глубина реки, м; ρ — концентрация рыб в зоне облова, кг/м³; V_p — средняя скорость рыб, идущих мимо тони, м/мин.

С целью проверки возьмем тоню «Богатая», расположенную в дельте р. Волга. Для примера примем $B = 200$ м, $h = 8$ м, $k_y = 0,3$, $V_p = 15$ м/мин, $\rho = 0,02$ кг/м³, отсюда $a = 158$ кг/мин. Примем также $c = -0,05$ 1/мин, $b = 1$.

Далее при времени лова $t_\lambda = 10$ мин получим улов $Q_{\text{Ц}} = 964$ кг; при $t_\lambda = 20$ мин $Q_{\text{Ц}} = 1169$ кг; при $t_\lambda = 30$ мин $Q_{\text{Ц}} = 1042$ кг, а при $t_\lambda = 40$ мин $Q_{\text{Ц}} = 821$ кг.

Как видим, эта функция (модель) имеет максимум при оптимальном времени лова 20 мин. Все эти параметры соответствуют реальности. Поскольку в течение суток и путины некоторые параметры будут изменяться, то и t_λ будет изменяться.

Оптимальную форму невода на замете следует подбирать методом приближений.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод о том, что модель (9) более приемлема для практического применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баранов Ф.И. Об уловистости неводов // Тр. Астрахан. ихтиол. лаборатории. 1923. Т. 5. Вып. 1. С. 18—27.

Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. М.: Пищепромиздат, 1960. 696 с.

Бронштейн Н.Н., Семендейев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Госизд-во тех.-теор. лит-ры, 1956. 608 с.

Бычков А.А. Повышение качества орудий лова для водоемов Астраханской области: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. М.: ВНИРО, 2002. 28 с.

Верейн Е.Л. О коэффициентах уловистости речного закидного невода // Рыб. хоз-во. 1968. №4. С. 48—51.

Войниканис-Мирский В.Н. Техника промышленного рыболовства. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1983. 486 с.

Ериков Л.В., Райхмист Р.Б. Построение графиков функций. М.: Просвещение, 1984. 80 с.

Кузин Л.Т. Основы кибернетики. Т. 1. Математические основы кибернетики. М.: Энергия, 1973. 504 с.

Лексуткин А.Ф. О некоторых факторах, влияющих на лов рыбы речным закидным неводом // Тр. КаспНИРО. 1957. Вып. 2. С. 3—23.

Лихтер А.М., Коняев В.Г., Чам Л. Оценка качества математических моделей для управления процессами лова рыбы // Матер. Междунар. конф. Астрахань: АГТУ, 2005. С. 26—28.

Мельников В.Н., Пальгуй В.А. Математическая модель речного закидного неводного лова // Тез. докл. науч.-практ. конф. «Национальные основы ведения осетрового хозяйства». Волгоград, 1981. С. 160—161.

Мельников В.Н., Мельников А.В. Рыбнохозяйственная кибернетика. Астрахань: Б. и., 1998. 309 с.

Никоноров И.В. Взаимодействие орудий лова со скоплениями рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1973. 235 с.

Чурунов В.Н. Комплексный анализ и совершенствование речного закидного неводного лова рыб. Астрахань: АГУ, 2012. 263 с.

**TO THE CHOICE OF MATHEMATICAL MODEL
OF RIVER BEACH SEINEFISHING**

© 2017 г. V.N. Churunov, A.M. Likhter*, D.A. Kostrykin**

Technical Enterprise «Elling», Astrakhan, 416130

**Astrakhan State University, 414056*

*** Astrakhan State Technical University, 414056*

This article provides a brief analysis of the existing mathematical models of river beach seine catch of fish, given their limitations. The necessity of optimization of the most important parameters of fishing: fishing time and noticed the shape of the seine. A new mathematical model avoids the disadvantages of previous and allows to efficiently manageriver beach seine fishing.

Keywords: river, fish density concentrations of fish, river beach seine, time fishing, nets in the form noticed, mathematical model of river beach seine fishing.