УДК 681.3.063

В.В. ДАДИЖА, Е.В. НЕСТЕРОВА, С.В. ИГРУНОВА
V.V. DADIZHA, E.V. NESTEROVA, S.V. IGRUNOVA

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОРОТА СТАДА ЖИВОТНЫХ В ЗВЕРОВОДСТВЕ

THE DYNAMIC MODEL OF HERD TURNOVER OF ANIMALS IN FUR FARMING

В данной статье анализируется структура поголовья пушных зверей в животноводстве. Составлена система рекуррентных уравнений, на основе решения которой базируется модель учета изменения поголовья. Сформированы разностные уравнения, отражающие движение основных категорий поголовья и их связь между собой. Решение поставленной задачи сводится к нахождению решения этих уравнений. Определение точных решений уравнений произведено с учетом специфичных для данной области параметров разведения, которые принято считать постоянными с течением времени. Полученные решения позволяют производить прогнозирование численности каждого класса поголовья, сформированных по возрасту или полу на любом этапе производства, в любой отрезок времени. Разработанная модель предоставляет возможность определения численности этих групп при изменении значений её параметров. С учётом этих параметров результаты работы позволят прогнозировать возможности развития пушного производства, оптимизировать и количественно корректировать структуру поголовья.

Ключевые слова: пушные животные, оборот стада, динамическая модель, разностные уравнения, прогнозирование поголовья.

This article analyzes the structure of the livestock of fur animals in animal husbandry. A system of recurrent equations has been compiled, on the basis of the solution of which the model for accounting for changes in livestock is based. Difference equations have been formed that reflect the movement of the main categories of livestock and their relationship with each other. The solution to the problem is reduced to finding a solution to these equations. The determination of the exact solutions of the equations was made taking into account the specific for a given area, dilution parameters, which are considered to be constant over time. The solutions obtained make it possible to predict the number of each class of livestock, formed by age or sex at any stage of production, in any period of time. The developed model makes it possible to determine the number of these groups when changing the values of its parameters. Taking these parameters into account, the results of the work will make it possible to predict the development of fur production, optimize and quantitatively adjust the structure of the livestock in fur production.

Keywords: fur animals, herd turnover, dynamic model, difference equations, livestock forecasting.

В Минсельхозе России в июне 2020 года состоялось совещание, посвященное развитию подотрасли пушного клеточного звероводства. В период пандемии коронавирусной инфекции звероводство оказалось наиболее пострадавшим из-за резкого сокращения спроса на пушно-меховую продукцию. «Для эффективной работы звероводческих предприятий ведомством рассмотрены и сформированы дополнительные меры поддержки», - говорится на сайте Минсельхоза. В частности, по итогам совещания региональным органам управления АПК поставлена задача совместно с профильными департаментами ведомства и отраслевыми союзами разработать дорожные карты с указанием мер поддержки пушного звероводства и сроков их реализации [1].

Поэтому на данный момент крайне актуально повышение уровня сырья. Существенное повышение продуктивности животных и свойств шкурок возможно на основе повышения качественного состава поголовья, улучшения селекционно-племенной работы [2]. При этом возникают проблемы формирования и корректировки численности поголовья пушной фермы. При усовершенствовании процесса производства шкурок большое значение имеет выбор наиболее оптимального темпа движения поголовья фермы [3]. Также большое значение имеет структура поголовья, ведь от неё напрямую зависит скорость воспроизводства в отрасли, объёмы получаемого сырья и его качество. Задача оптимизации структуры стада

пушных животных состоит в следующем: рассчитать количественное значение для каждого класса поголовья на конец полугодия, исходя из состава поголовья на начало полугодия, сформировать план получения молодняка, определить значение отбраковки.

Рассмотрим уже существующие расчетные модели оборота стада животных. Большая часть из них основывается на анализе операций и имитационном моделировании процесса [4, 5]. Модели подразделяются на статические, не содержащие в себе такой переменной, как время, и состоящие в многократном повторении расчетов в различных условиях проведения эксперимента, и динамические, которые представляют собой имитацию поведения системы в течение определенного периода времени. Однако основой этих моделей является решение задач оптимизации (чаще всего максимизации) выхода итоговой продукции при наличии целого ряда ограничений на переменные в виде системы неравенств [6, 7]. Такие модели показывают только направление оптимального развития производства [8]. Также существуют модели движения стада других животных, например, рогатого скота [9]. Эта модель может быть частично изменена и адаптирована под нужды пушного производства.

Цель данной статьи состоит в формировании динамической модели оборота стада пушных животных, основанной на решении системы разностных уравнений, отражающих движение основных групп поголовья на разных отрезках времени. За основу взята модель для крупного рогатого скота, однако были выделены специфичные для пушного производства параметры размножения и в связи с этим сформулированы иные уравнения.

Также проанализируем численность только основных классов поголовья, без учета особенностей их питания. Полугодовой оборот стада показывает структуру поголовья на начало и конец полугодия и его движение в течение полугодия по основным категориям. В качестве отрезка времени выбрано полугодие, так как пушные звери (шиншиллы) приносят потомство каждые полгода.

Рассмотрим часть стада пушных животных, включающую в себя следующие категории:

t - самки основного стада на начало t-го полугодия.

^1, t - поголовье молодых самок на начало t-го полугодия (возраст от 2-х мес. до 8-ми мес.)

p2,t - поголовье самок прошлого полугодия в возрасте до 8 мес. на начало t-го полугодия (t<1).

FZ_t - количество самок (возраст более 8-ми мес.), вводимых в основное стадо в течение t-го полугодия.

MZ_t - количество самцов (возраст более 8-ми мес.), вводимых после в основное стадо в течение t-го полугодия. Согласно полигамной системе разведения количество самцов составляет одно животное на четыре самки, следовательно.

$$MZ_t =$$

$M_{q,t}$ - самцы основного стада на начало t-го полугодия (согласно полигамной системе разведения количество самцов составляет одно животное на четыре самки, следовательно);

$$^{m}q\ ,\ t = \wedge;$$

$M_{2,\ t}$ - поголовье самцов прошлого полугодия в возрасте до 8-ми мес. на начало t-го полугодия (t<1).

В расчетах будем учитывать следующие основные коэффициенты:

- коэффициент рождаемости зверей (среднее количество щенков в помете);
- процент самок в помете;

тк - процент самцов в помете (1 - *f к*);

- процент смертности щенков;

а - коэффициент сокращения основного поголовья (отбраковка или другие причины);

otbг - коэффициент отбраковки молодняка;

г a ti o - коэффициент размножения (в каком соотношении использовать молодняк, продажа или разведение).

При проведении расчетов будем считать эти коэффициенты постоянными. Упростим расчеты, приняв следующие коэффициенты:

к = S h X (1 — d) x / *к* - итоговый коэффициент рожденных самок;

- итоговый коэффициент рожденных самцов;

- коэффициент молодых самок, пригодных для разведения.

Будем учитывать, что рождение у пушных животных происходит в возрасте 12-ти месяцев; следующее - через 6 месяцев; срок беременности - 3,5-4 месяца. Примем, что количество животных в любой группе поголовья фермы на конец полугодия равно поголовью на начало следующего полугодия.

Положим, что на начальном этапе (в начале 0-го полугодия) ферма закупила *Nq* племенных самок и разместила их с самцами. В первый эструс самки наступает беременность. Получаем $F_{q\,q} = N_q$, $_{q} = 0$, $F2_{0} = 0$, $M_{q\,q} = —$, $M_{2\,0} = 0$;

В течение 0-го полугода эти самки родили щенков. На начало 1-го полугодия поголовье самок и самцов до 8-ми месяцев соответственно составило: $F^{\wedge}{}_{1}$ = к X N_0 и $^{M}2$, *t*= ^{к} *1*^{x} ^{N}q .

Поголовье самок и самцов после выбраковки за полгода уменьшилось $F_{0\,,\,1}$ = а X N_0 и $M_{0\,1}$= а X —.

Эти самки также родили щенков в течение 1-го полугодия, количество которых на начало 2-го полугодия составило к X а X N_0 = к * $F_{0\,1}$ и к $_{1}$ *x* а x —= к«о* M_0 j_.

Динамику движения самок основного стада в течение нескольких полугодий сформулируем в виде следующего уравнения:

$$F_{o}\,,\,t_{+1} = (\,^{1}— oc)\,X\,F_{o}\,,\,t + {}^{F}Z_{t} \qquad (1)$$

Количество самок FZ_t (возраст более 8-ми мес.), включаемых в основное стадо в течение t-го полугодия, может быть выражено только через поголовье самок t-1 полугодия, поскольку самки, родившиеся даже в самом начале t-1-го полугодия, будут иметь возраст 6 мес., а готовность к рождению наступает в 8 мес.

$$(t > 1) \qquad (2)$$

Таким образом уравнение (1) с учетом (2) можно переписать в следующем виде:

$$F_{o}\,,\,t_{+1} = (\,^{1}— oc)\,X\,F_{o}\,,\,t + {}^{к}X\,n\,X\,F_{o}\,,\,t - {}_{1} \qquad (3)$$

Получаем разностное уравнение 2-го порядка. Его решение будем искать в стандартном виде [10]: $F_{o}\,,\,{}_{t}$= cXA ^{t}, где с - постоянная, *X* - новая переменная. После подстановки данного выражения в (3) получим квадратное уравнение, для которого и будем искать корни:

$$A^2 — b\,X\,A — c = O\,, \qquad (4)$$

где a=1, b = , c= .

Дискриминант данного уравнения D = и отличен от нуля. Выразим корни уравнения [10]

$$Ai = \frac{Ы\text{-}л/Ь2+4с}{2^{\wedge}2}\ и \qquad b\text{-}Vb^{\wedge}+4c \qquad (5)$$

Таким образом, уравнение (4) имеет два корня. Общее решение уравнения (4) можно представить в следующем виде [12]:

$$F_{o}\,,\,t = {}^{\wedge}1\,^{X} + C_{2}\,^{X}\,Я2, \qquad (6)$$

где C_{1} и c_2 - некоторые постоянные, Aj_ и A_2 - корни уравнения. Значения постоянных найдем из начальных условий на горизонте 2-х полугодий: = , = . Здесь N_o - начальное поголовье самок. Из этих условий получим

^Vq XA2—A/дXЦ Wq XA^—A/дXЦ
1 — ▮ ; <^2 = ▮

На полученных с помощью программной реализации графиках представлена динамика движения поголовья пушных животных за 8 полугодий (4 года). Представленная модель была реализована с помощью программной среды Visual Studio и рассчитана по формуле (6) с учетом постоянных значений (7). Значения коэффициентов в расчетах были следующими: iVo = 80 самок, коэффициент рождаемости зверей s *h* = 2.5, процент смертности щенков *d* = 0.02, процент самок в помете *f к* = 0.46. Для коэффициента сокращения основного поголовья было принято значение a = 0.05, для коэффициента отбраковки молодняка *otbr* = 0.7 и 0.9, для коэффициента размножения г *a ti o* = 0.7 и 0.3. Отмечается, что в первое полугодие основное поголовье сокращалось за счет естественных причин или выбраковки. Со 2-го полугодия в основное поголовье включаются новые, молодые самки, таким образом останавливая сокращение.

Рисунки 1-4 показывают, что важными факторами, определяющими структуру поголовья, являются коэффициенты отбраковки молодняка и коэффициент разведения. Коэффициент разведения (ratio) - наиболее варьируем, так как выбирается производством и определяет, какой процент из рожденных щенков следует вводить в основное стадо, а какой - сбывать.

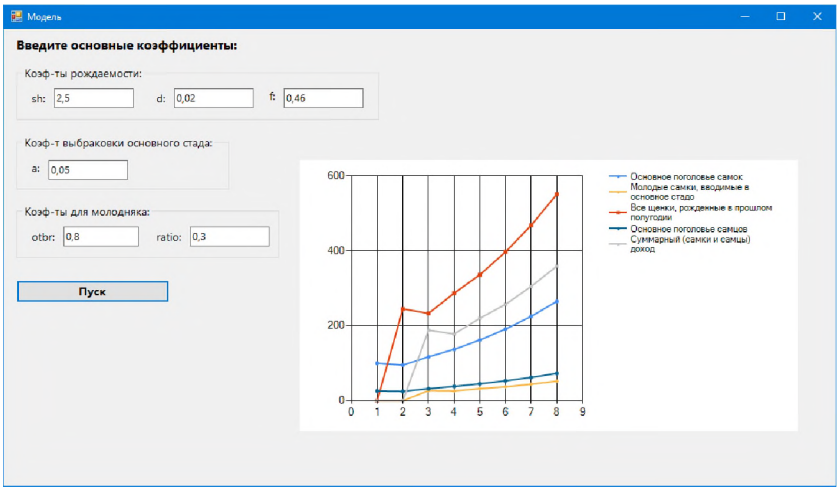

Рисунок 1 - Структура поголовья при коэффициенте разведения 0.3

Из графиков видно, что чем он больше, тем интенсивнее растет хозяйство и тем больше рождается потомства. Однако содержание большего хозяйства требует и большего количества затрат, доход при этом возрастает не настолько резко.

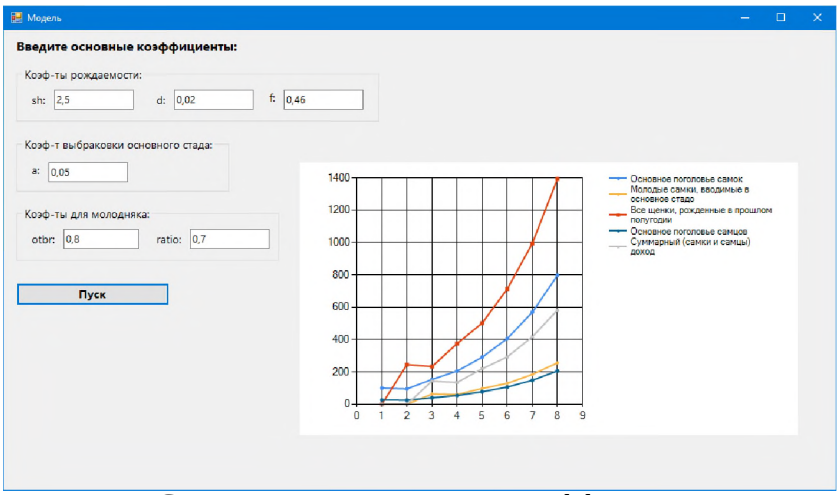

Рисунок 2 - Структура поголовья при коэффициенте разведения 0.7

Причины выбраковки основного стада подразделяются на две категории - ветеринарная (в случаях тяжелых болезней животного) и отбор в процессе ведения племенной работы. Для того чтобы повысить уровень экономической эффективности пушного производства, целесообразно понижать уровень выбраковки основного поголовья.

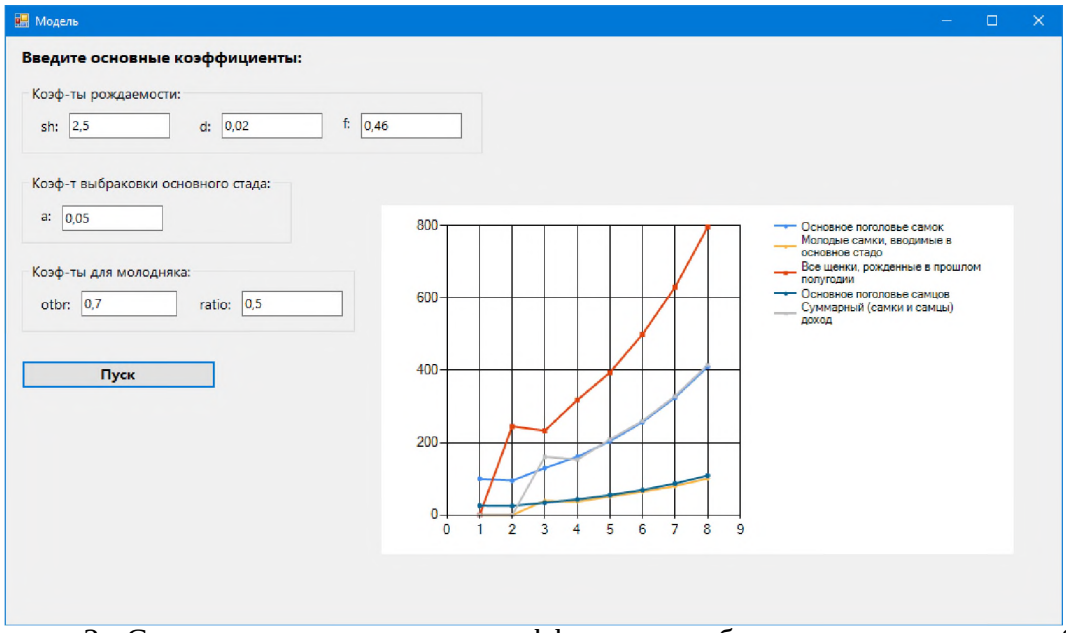

Рисунок 3 - Структура поголовья при коэффициенте отбраковки для молодняка 0.7

Значения таких коэффициентов, как смертность щенков и их количество в помете, являются средними значениями для звероводческих ферм, однако конкретное хозяйство способно их увеличивать путем совершенствования условий содержания и племенной работы.

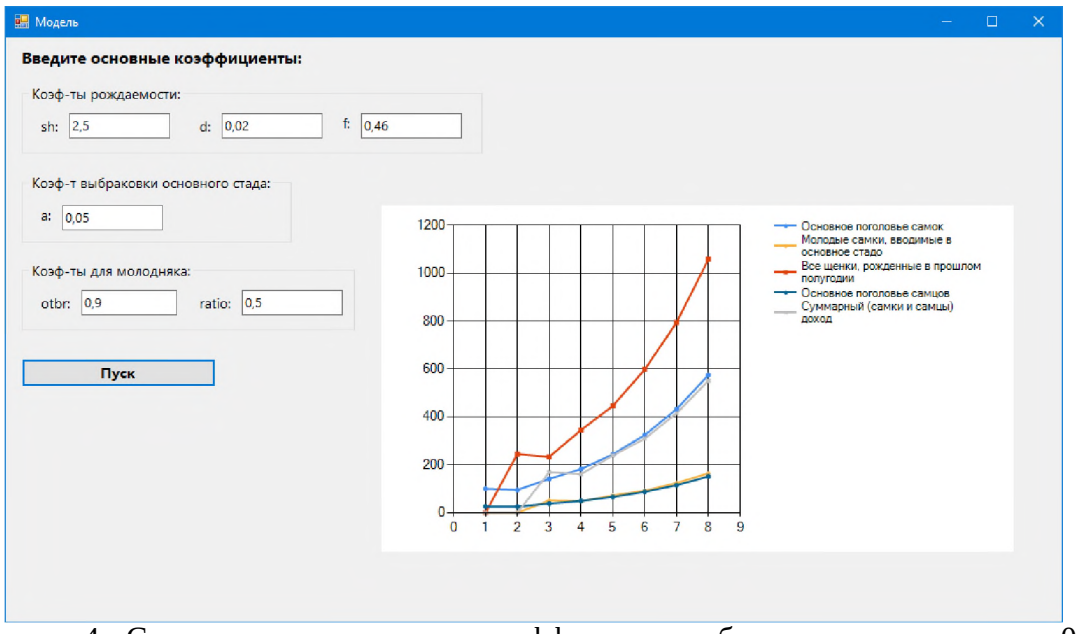

Рисунок 4 - Структура поголовья при коэффициенте отбраковки для молодняка 0.9

Снизить потери поможет организация надлежащих условий содержания и полнорационное, подходящее питание. Важную роль играет и постоянное пополнение

основного поголовья молодняком. Если щенков с рождения обеспечить оптимальными условиями для полноценного роста, то позже и выбраковка не будет такой высокой.

В данной работе была построена модель оборота поголовья пушных животных на звероводческих фермах, которая отражает структуру и движение основных классов поголовья с течением времени, а также представлена программная реализация этой модели. Данная модель предоставляет возможность точно рассчитывать количество животных в каждой группе, учитывая изменения основных параметров разведения, специфичных для звероводческой области. Результаты работы позволяют планировать возможности развития фермы, корректировать и оптимизировать структуру его поголовья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В Минсельхозе предлагают дополнительно поддержать пушное звероводство / Сайт ФГБУ «Центр агрополитики». - [Электронный ресурс]. - 2020. - Дата обновления 9.06.2020. - URL: https://www.specagro.ru/news/202006/v-minselkhoze-predlagayut-dopolnitelno-podderzhat-pushnoe -zverovodstvo.
2. Мануйлова О.С. Векторы развития пушного звероводства России (на примере производства шкурок норки в Калининградской обл.) / О.С. Мануйлова, Н.Р. Хусаинова, Т.М. Ворожейкина // Экономика сел. хоз-ва России. - 2019. - N3. - С. 71-75.
3. Балакирев Н.А. Возможности импортозамещения продукции клеточного пушного звероводства России. Ветеринария и Биотехнология. - 2015 - С. 29-34.
4. Гельфонд А.О. Исчисление конечных разностей. М. Наука. 1967. - 376 с.
5. Скрипка А.Г. Моделирование оборота стада на ЭВМ. Методы оптимизациии управления сельскохозяйственным производством, К.: Урожай, 1971. - С. 144-187.
6. Кравченко Р.Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1978.
7. Франс Дж. Торнли. Математическое моделирование в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1987, 400 с.
8. Гроссман С., Тернер Дж. Математика для биологов. М.: Высшая школа, 1983. - 383 с.
9. Барановский, Д.И. Динамическая модель оборота стада крупного рогатого скота молочного направления [Электронный ресурс] / Д.И. Барановский [и др.] // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. - 2017. - № 2(60). - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dinamicheskaya-model-oborota-stada-krupnogo-rogatogo-skota-molochnogo-napravleniya (дата обращения: 08.06.2020).
10. Комаров М.А. Линейные разностные уравнения и их приложения. Владимирский государственный университет. Владимир. 42 с.
11. Романко В.К. Разностные уравнения. Учебное пособие. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. - 112 с.

Дадижа Виктория Владимировна
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Магистрант кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +79045399661
E-mail: soul_reaver@bk.ru

Нестерова Елена Викторовна
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.э.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(919)223-57-13
E-mail: nesterova@bsu.edu.ru

Игрунова Светлана Васильевна
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.с.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(910)329-61-86
E-mail: igrunova@bsu.edu.ru