



Кучер Е. А.,
Пасечник М. В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ КУР КРОССОВ «ХАЙСЕКс БРАУН» И «ЛОМАНН БРАУН»

Изучена целесообразность использования математических моделей для прогнозирования динамики роста и продуктивности кур. Для описания и анализа процессов роста можно рекомендовать модели Т. Бриджеса и модель А. Пюттера, а модель Мак-Милана довольно четко описывает кривую несучести кур. Средний процент отклонения не превышает 5 % порог безобидного суждения о достоверности полученных данных.

Ключевые слова: кроссы птицы, классы распределения, динамика роста, кривая несучести, математические модели.

1. Введение

Статистические математические модели, используемые для описания кривых роста и продуктивности птицы яичных кроссов, нужны для многих управленческих решений – необходимо принять, чтобы увеличить производство яиц [1].

Раннее прогнозирование роста и продуктивности кур облегчает работу селекционера, тем самым помогает в снижении стоимости яичного производства [2].

Одним из факторов, стимулирующих развитие различных областей естественных наук, является внедрение методов математической статистики, которое распространилось почти на все области знаний.

Математическое моделирование и математическая модель представляют собой систему математических соотношений – формул, функций, уравнений, систем уравнений. Правильно построенная модель и выводы, полученные на ее основании, позволяют снизить энергетические и экономические затраты на производство продукции [3].

Важную роль математические и генетико-статистические методы играют при осуществлении мониторинга по селекционному процессу в птицеводстве, и в животноводстве вообще [4]. При этом решаются вопросы об изменчивости, наследственности, повторяемости признаков и т. д. [5].

Для большинства хозяйственно-полезных признаков кур присущий неаддитивный тип наследования, но прогноз их не всегда бывает точным, так как преобладающую роль в их становлении имеет комбинационная изменчивость. Желательно для каждого признака выявить зависимость проявления от генетических и паратипических факторов под действием роста и развития в онтогенезе. Данный подход характерен для признака яйценоскости, который одновременно определяет продуктивные и репродуктивные качества кур [6].

На основании проведенного анализа следует сделать вывод, что в Украине имеется высокопродуктивный генофонд птицы яичного направления, который может быть эффективно использован для производства племенных и пищевых яиц.

На сегодня, в связи с увеличением поголовья птицы и продукции от нее, необходимо дальнейшее усовершенствование методов оценки племенных и продуктивных качеств с использованием современных достижений популяционной генетики. Поэтому актуальность данной работы заключается в изучении целесообразности использования математических моделей для прогнозирования динамики роста и продуктивности птицы импортной селекции.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом данного исследования были куры кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун», которые содержались в условиях ЗАО «Чернобаевское» Херсонской области.

Кроссы кур «Хайсекс браун» и «Ломанн браун», на сегодня, являются одними из высокопродуктивных кроссов, выращиваемых на птицепредприятиях Украины.

Большинство коричневых кроссов поставляются в Украину через совместные предприятия или непосредственно с селекционных фирм.

Основным преимуществом кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун» является: низкое, по сравнению с другими современными кроссами яичной птицы, потребление корма, а также отличные качества скорлупы, что имеет большое значение для промышленной технологии производства пищевых яиц.

Так же, достоинством есть и то, что птица в 5,5 месяцев вступает в продуктивный возраст, который длится 80 недель.

В настоящее время птица кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун» имеет оптимальные показатели соотношения продуктивности к затратам на нее. Единственным недостатком данных кроссов, является то, что по окончании 80 недель продуктивности, она стремительно падает и содержание ее становится убыточным.

Для получения максимальной продуктивности, необходимо соблюдать технологию выращивания птицы, поэтому применение математического моделирования для прогнозирования динамики роста и продуктивности

птицы кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун», а так же позволит рассчитать расходы на эксплуатацию данных кроссов.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы было определение оптимальной математической модели для описания и прогнозирования динамики живой массы курей кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун», а также закономерности кривых несучести при помощи модели Мак-Милана для данных кроссов курей.

Для достижения поставленной цели были выдвинуты следующие задачи:

- определить, какая из трёх моделей наиболее адекватно подходит для прогнозирования, описания и анализа возрастной динамики живой массы птицы, в зависимости от кросса и класса распределения по живой массе;
- определить закономерности кривых несучести при помощи модели Мак-Милана.

4. Анализ литературных данных

Математическое моделирование, в современной интерпретации, используется для изучения динамики роста, живой массы, линейных промеров и индексов телосложения в возрастном аспекте, с целью описания теоретически рассчитанных экспериментальных данных и прогнозирования будущей продуктивности, исходя из данных, полученных в раннем онтогенезе.

В известных работах наибольшее распространение для описания и прогнозирования живой массы, а также продуктивности птицы, получили модели для оценки логистической кривой роста.

Так, в работе [7] представлена логистическая модель для прогнозирования яичной продуктивности кур с использованием аллометрических функций.

Применение шести математических моделей, из которых были определены две, как наиболее подходящие для прогнозирования продуктивности кур, представлено в работе [8].

В исследованиях авторов [9] применялись нелинейные и сегментированные полиномиальные модели для описания яйценоскости с течением времени. Данные модели дают возможность провести выборку птиц и увеличить пик яйцекладки.

В работе [10] показано, как при помощи математической модели возможно прогнозировать резистентность кур в раннем онтогенезе.

Известна работа [11], в которой для прогнозирования динамики роста и продуктивности кур использовали семь математических моделей. По мнению авторов, лучшими для прогнозирования были модели Ричардса, Гомперца и МакНелли. В работе установлены особенности кривых яйценоскости птицы разных групп, а также оптимальное сочетание параметров кривой несучести.

В работе [12] для математического моделирования продуктивности кур использовалась модели Мак-Милана, МакНелли, Нелдера и др. Авторами было установлено, что среди нелинейных моделей регрессии целесообразнее использовать модель Мак-Милана для описания яйценоскости.

Применение математических моделей для прогнозирования динамики роста и продуктивности кур обеспечивает высокую точность описания — процент отклонения теоретически рассчитанных и экспериментальных данных не превышает 5 % порога безошибочного суждения о достоверности полученных результатов.

В вышеуказанных работах недостаточно изучены параметры математических моделей, при помощи которых можно прогнозировать процессы роста птицы и ее продуктивность.

Также недостаточно изучены модели, которые возможно использовать для сравнения и оценки кроссов, выращиваемых в хозяйствах Украины.

На сегодня используются самые различные модели, которые не дают ответа, какая же из них наиболее подходит для прогнозирования динамики роста и продуктивности кур, а также способствует увеличению производства. Поэтому, для проведения исследований, были выделены основные модели: Т. Бриджеса, А. Пюттера и Л. фон Бергаланффи, а также модель Мак-Милана.

Использование данных математических моделей позволит спрогнозировать будущую продуктивность птицы и благодаря этому рассчитать расходы на эксплуатацию определенного кросса.

5. Материалы и методы исследования применения математических моделей для прогнозирования динамики роста и яичной продуктивности кур кроссов «Хайсекс браун» и «Ломан браунн»

Для проведения исследований были использованы данные о продуктивности кур за 504 дня несучести. Работу проводили на птице кроссов «Хайсекс браун» и «Ломан браунн».

С целью определения эффективности стабилизирующего отбора, птица была распределена на классы с использованием нормированного отклонения признаков. Для начала определяли среднее значение живой массы кур в группах (\bar{X}) и стандартное отклонение (σ). Исходя из этого, к модальному классу M^0 относили кур с живой массой в пределах $\bar{X} \pm 0,67\sigma$, кур с показателями живого веса выше этого значения относили к классу плюс-вариант M^+ ($\bar{X} \pm 0,67\sigma$), а кур, которые имели показатели ниже средней живой массы, относили к классу минус-вариант M^- ($\bar{X} - 0,67\sigma$). Контрольной группой были куры, не рассортированные на классы.

Описание закономерностей динамики роста птицы определяли при помощи параметров моделей Т. Бриджеса, А. Пюттера и Л. фон Бергаланффи, с последующим их сравнением для определения оптимальной.

Среди математических моделей, которые используются для анализа роста живой массы, наиболее распространенным является уравнение Л. фон Бергаланффи [10]:

$$W_t = W_\infty \cdot (1 - \exp(\alpha - \beta \cdot t))^3, \quad (1)$$

где W_t — живая масса в возрасте t ; W_∞ — асимптота живой массы; α , β — параметры уравнения.

Уравнение А. Пюттера [9] имеет вид:

$$W_t = \frac{W_{\max}}{\exp[\beta(t + \alpha)^p]}, \quad (2)$$

где α , β и p — специфические для вида (или популяции) константы.

Еще одной математической моделью для анализа роста живой массы является уравнение Т. Бриджеса [10]:

$$W_t = W_{\infty} \cdot (1 - \exp(-\mu \cdot t \alpha)), \quad (3)$$

где W_{∞} — средняя живая масса, которой достигает животное при половом созревании; α — константа кинетического роста; μ — константа экспоненциального роста.

Это так же двухпараметрическая модель, для которой необходимо сначала рассчитать оценку параметра W_{∞} :

$$W_{\infty} = \frac{W_{\max}}{0,95}, \quad (4)$$

где W_{\max} — максимально возможное значение, отмеченное для каждой группы животных.

Закономерности кривых несучести птицы определяли с помощью параметров моделей Мак-Милана [11]:

$$Y(t) = M \cdot (1 - \exp(-c \cdot t)) \cdot \exp(-b \cdot t), \quad (5)$$

где M — параметр шкалы; b — показатель, определяющий интенсивность подъема яичной продуктивности до момента пика; c — показатель, определяющий скорость снижения уровня яичной продуктивности после пика.

6. Результаты исследований применения математических моделей для прогнозирования динамики роста и яичной продуктивности кур кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун»

В процессе исследований для прогнозирования и анализа динамики роста и живой массы кур двух кроссов было использовано три математические модели — это модели Т. Бриджеса, А. Пюттера и Л. фон Бергаланффи.

Важный биологический смысл использованных уравнений для описания живой массы заключается в том, что после определенного момента времени значение зависимого параметра (т. е. живой массы) достигает максимально возможного (для данной популяции или данного вида), но никогда его не превышает [6].

На первом этапе определяется параметр асимптоты для этих моделей (W_{∞}), а на втором — уже непосредственно коэффициенты соответствующей модели.

Степень адекватности моделей определяли на основании значения коэффициента детерминации (R^2).

Главные вопросы, ответы на которые должны были предоставить эти математические модели роста живой массы кур, следующие:

1. Какая из этих трех моделей наиболее адекватно подходит для описания и анализа возрастной динамики живой массы кур.

2. Коэффициенты какой модели наиболее однозначно можно использовать для дифференциации двух кроссов кур.

3. Коэффициенты какой модели наиболее однозначно можно использовать для дифференциации трех классов распределения по живой массе.

В табл. 1 приведены коэффициенты модели Т. Бриджеса.

Таблица 1

Значения коэффициентов модели Т. Бриджеса роста кур разных кроссов

Кросс	Класс распределения	Коэффициенты модели Т. Бриджеса			R^2 , %
		W_{∞}	μ	α	
«Хайсекс браун»	не рассортированные	2140,8	0,4077	0,7275	85,5
	M ⁻	2155,5	0,3471	0,7319	90,4
	M ⁰	2141,3	0,4121	0,7054	90,1
	M ⁺	2194,3	0,4462	0,7001	90,5
«Ломанн браун»	не рассортированные	2051,6	0,4098	0,7217	93,8
	M ⁻	2016,2	0,3618	0,7602	91,9
	M ⁰	2065,3	0,3866	0,7581	92,3
	M ⁺	2106,7	0,4502	0,7047	92,7

Примечание: M⁻ — класс ниже средней живой массы; M⁰ — на уровне среднего значения; M⁺ — выше средней живой массы

Анализируя результаты, представленные в табл. 1, отметим, что адекватность данной модели колеблется в пределах 85,5–93,8 %. Оценка коэффициентов как кинетической, так и экспоненциальной скорости роста почти не отличается у кур разных кроссов, тогда как отмечаются значительные колебания их у птиц из разных классов распределения. Птица, не рассортированная на классы, чаще всего имеет значение коэффициентов, приближаются к значениям птицы модального класса распределения (рис. 1).

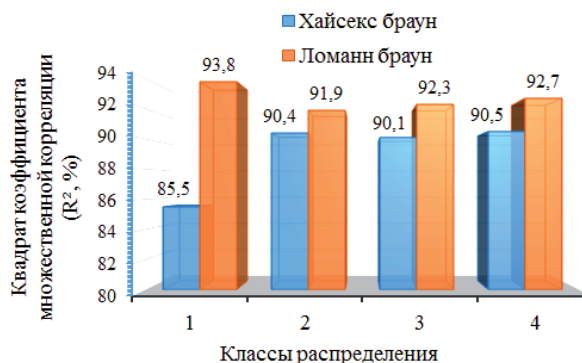


Рис. 1. Значение коэффициентов множественной корреляции модели Т. Бриджеса в динамике: 1 — не рассортированный класс; 2 — M⁻; 3 — M⁰; 4 — M⁺

Некоторые различия при этом отмечаются между курами различных кроссов относительно значения асимптоты (W_{∞}): для кур кросса «Хайсекс браун» асимптотические значения выше, чем у кур кросса «Ломанн браун».

Коэффициенты модели роста живой массы Л. фон Бергаланффи приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов модели Бергаланффи роста кур разных кроссов

Кросс	Класс распределения	Коэффициенты модели Бергаланффи			R^2 , %
		W_{∞}	μ	α	
«Хайсекс браун»	не рассортированные	2140,8	-1,2463	0,2063	80,7
	M^-	2155,5	-1,2351	0,1667	86,9
	M^0	2141,3	-1,3221	0,1838	85,9
	M^+	2194,3	-1,3475	0,1995	86,1
«Ломанн Браун»	не рассортированные	2051,6	-1,2928	0,1956	90,2
	M^-	2016,2	-1,1843	0,1997	88,3
	M^0	2065,3	-1,2041	0,2138	89,1
	M^+	2106,7	-1,3367	0,2067	88,8

Примечание: M^- — класс ниже средней живой массы; M^0 — на уровне среднего значения; M^+ — выше средней живой массы

Математико-биологический смысл уравнения Л. фон Бергаланффи следующий: с увеличением возраста (t) степень экспоненты растёт, но имеет отрицательный знак, поэтому выражение в скобках стремится к единице. Таким образом, живая масса приближается к своему максимально возможному показателю (асимптоты).

Модель Л. фон Бергаланффи имеет наименьшую адекватность по описанию динамики живой массы кур опытных групп. Она колеблется в пределах 80,7–90,2 % (рис. 2).

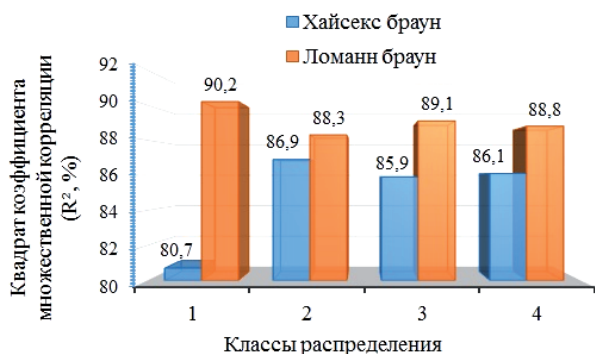


Рис. 2. Значение коэффициентов множественной корреляции модели Л. фон Бергаланффи в динамике: 1 — не рассортированный класс; 2 — M^- ; 3 — M^0 ; 4 — M^+

Наиболее высокий уровень коэффициентов детерминации по описанию динамики живой массы присут модели роста А. Пюттера — значение этой модели для птицы разных классов распределения колеблется в пределах 96,0–98,8 % (табл. 3).

Анализируя данные табл. 3, установлено, что коэффициенты модели А. Пюттера наилучшим образом дифференцируют два кросса кур, которые были использованы при анализе динамики роста (однофакторный дисперсионный анализ: во всех случаях $P < 0,05$). Особенно высокую роль в дифференцировке имеет коэффициент « ρ »: у кур кросса «Хайсекс браун» этого коэффициент ко-

леблется в пределах: $(-0,6156) - (-0,6463)$, тогда как у кур кросса «Ломанн браун» он значительно ниже: $(-0,7476) - (-0,8627)$ (рис. 3).

Таблица 3

Значения коэффициентов модели А. Пюттера роста кур разных кроссов

Кросс	Класс распределения	Коэффициенты модели Пюттера				R^2 , %
		W_{∞}	β	α	ρ	
«Хайсекс Браун»	не рассортированные	2140,8	0,3418	-2,9486	-0,5517	97,6
	M^-	2155,5	0,5969	-2,4936	-0,6707	96,0
	M^0	2141,3	0,4232	-2,7215	-0,6156	98,2
	M^+	2194,3	0,3952	-2,6697	-0,6463	98,8
Ломанн браун	не рассортированные	2051,6	0,6454	-2,0839	-0,8240	98,9
	M^-	2016,2	0,5777	-2,4021	-0,7476	98,8
	M^0	2065,3	0,6691	-2,0741	-0,8627	97,9
	M^+	2106,7	0,5901	-2,0694	-0,8344	98,3

Примечание: M^- — класс ниже средней живой массы; M^0 — на уровне среднего значения; M^+ — выше средней живой массы

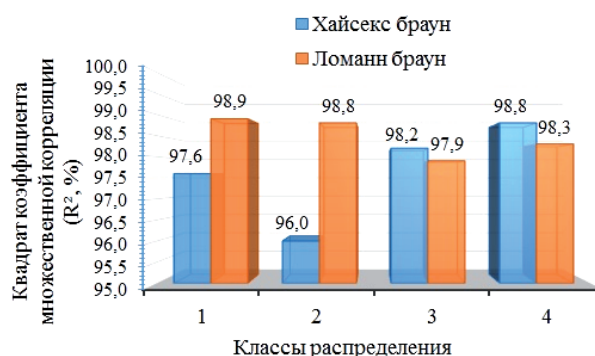


Рис. 3. Значение коэффициентов множественной корреляции модели А. Пюттера в динамике: 1 — не рассортированный класс; 2 — M^- ; 3 — M^0 ; 4 — M^+

Почти аналогичные различия между двумя кроссами отмечено относительно коэффициента « α » модели роста живой массы А. Пюттера.

Кроме того, значительно отличаются куры двух кроссов и относительно асимптоты роста (то есть, максимально возможного значения живой массы).

Различия в динамике роста кур кроссов «Хайсекс браун» и «Ломанн браун» представлены на рис. 4.

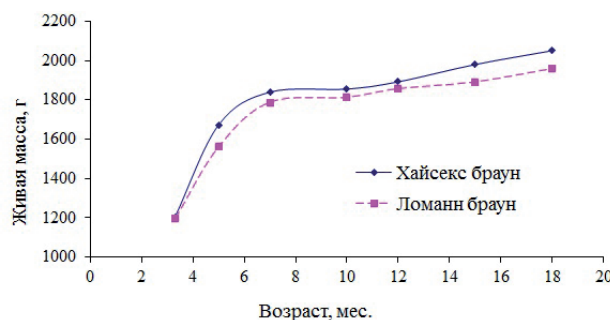


Рис. 4. Кривые возрастной динамики живой массы кур двух кроссов

Анализируя кривую динамики роста птицы, наблюдаем, что птица кросса «Хайсекс браун» по живой массе значительно превышала птицу кросса «Ломанн браун» во все возрастные периоды. Так, разница в возрасте 5 месяцев составила 110,8 г, в возрасте 7 месяцев — 52,2 г, а в 12 месяцев 36,5 г.

Что касается различий между отдельными классами распределения, то лучше эти группы птицы (независимо от принадлежности их к соответствующему кроссу) дифференцируют значения коэффициентов кинетического роста модели Т. Бриджеса (табл. 1).

Проведя исследования, можно прийти к выводу, что для описания роста и живой массы кур, можно рекомендовать модели — Т. Бриджеса и А. Пюттера. Применение данных математических моделей обуславливает высокую прогнозируемость процессов роста и живой массы птицы, а также способствует увеличению яичного производства.

Яйценоскость является одним из основных показателей продуктивности яичных кур. Разработка моделей для их описания и прогнозирования на индивидуальном и групповом уровнях приобретает особое значение. Успех селекции по яйценоскости зависит от точности оценки несушек [6].

В процессе исследований было установлено влияние кросса и класса распределения на динамику яичной продуктивности. Для анализа динамики яичной продуктивности была использована модель Мак-Милана [11].

В табл. 4 приведены значения коэффициентов модели Мак-Милана динамики яичной продуктивности.

Нормы наращивания кривой яйценоскости у птиц кросса «Хайсекс браун» находились практически на одном уровне по всем классам распределения.

Максимальное значение нормы спада у птицы кросса «Хайсекс браун» наблюдали у кур класса M^+ (0,786), а минимальное у кур класса M^- (0,778). Несушки класса распределения M^0 и не рассортированные на классы имели среднее значение (0,781).

Таблица 4

Коэффициенты модели Мак-Милана динамики яичной продуктивности кур двух кроссов

Кросс	Класс распределения	Коэффициенты модели Мак-Милана			$R^2, \%$
		M	c	b	
«Хайсекс браун»	не рассортированные	326,0	0,781	0,01421	81,2
	M^-	339,1	0,778	0,01424	81,2
	M^0	344,3	0,781	0,01419	81,3
	M^+	352,0	0,786	0,01423	81,6
«Ломанн браун»	не рассортированные	298,0	0,808	0,01656	81,4
	M^-	310,0	0,808	0,01660	81,4
	M^0	319,2	0,808	0,01661	81,5
	M^+	320,3	0,808	0,01662	81,5

Примечание: M^- — класс ниже средней живой массы; M^0 — на уровне среднего значения; M^+ — выше средней живой массы

Для птицы кросса «Ломанн браун» норма наращивания и спада яйценоскости находилась на одном уровне для всех классов распределения.

Как видим, существенных различий асимптоты яичной продуктивности и коэффициентов модели для классов распределения не установлено. Но эти различия имеют место для птицы разных кроссов. Адекватность данной модели колеблется в пределах 81,2–81,6 % (рис. 5).

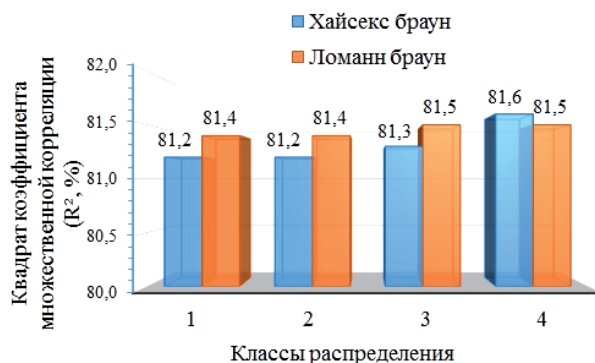


Рис. 5. Значение коэффициентов множественной корреляции модели Мак-Милана в динамике: 1 — не рассортированный класс; 2 — M^- ; 3 — M^0 ; 4 — M^+

Установлено высокое сходство прогнозируемой и фактических данных яйценоскости птицы исследуемых кроссов. Это свидетельствует о высокой точности предположения будущей продуктивности птицы.

В целом можно отметить, что для кур кросса «Хайсекс браун» максимально возможный уровень яичной продуктивности выше, чем у птицы кросса «Ломанн браун» (рис. 6).

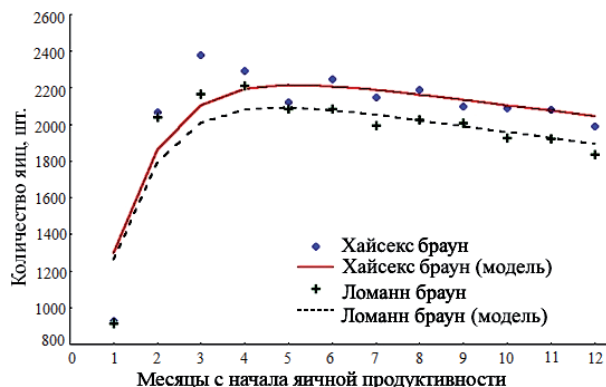


Рис. 6. Динамика яичной продуктивности кур двух кроссов и ее аппроксимация моделью Мак-Милана

Кроме того, из рис. 6 установлено, что куры кросса «Хайсекс браун» имеют более замедленную скорость спада яичной продуктивности после наступления ее пика в сравнении с птицей кросса «Ломанн браун». Математическая модель Мак-Милана достаточно четко описывает кривую яйценоскости кур. Отклонение теоретических значений от фактически полученных данных не превышает 5 % порога безошибочного суждения о достоверности полученных результатов.

7. SWOT-анализ результатов исследований

В процессе исследований для анализа особенностей возрастной динамики живой массы кур было использовано три математические модели — это модели Т. Бриджеса, А. Пюттера и Л. фон Бергаланффи.

Преимуществом математических моделей Т. Бриджеса, А. Пюттера и Л. фон Бергаланффи в том, что именно они в сравнении с данными других источников [7–9], независимо от принадлежности их к соответствующему кроссу кур, дифференцируют значения коэффициентов кинетического роста.

Оценка коэффициентов как кинетического, так и экспоненциального роста, почти не отличаются у кур разных кроссов, тогда как отмечаются значительные колебания их у кур из разных классов распределения. Птица рассортированного класса чаще всего имеет значение коэффициентов, приближаются к значениям птицы модального класса распределения. Адекватность модели Т. Бриджеса колеблется в пределах 85,5–93,8 %, адекватность модели А. Пюттера колеблется в пределах 96,0–98,8 %. Поэтому можно рекомендовать для описания и анализа процессов роста живой массы кур, прежде всего, две модели — модель Т. Бриджеса и модель А. Пюттера.

В отличие от работ [6, 10, 11], было установлено влияние кросса и класса распределения на динамику яичной продуктивности. Для анализа динамики яичной продуктивности была использована модель Мак-Милана. Моделированием кривых яйценоскости с помощью модели Мак-Милана выявлены различия в нормах ее спада и наращивания с возрастом несушек. Установлено, что существенные различия касаются как асимптоты яичной продуктивности, так и коэффициентов модели.

Влияние класса распределения не установлено. Адекватность данной модели колеблется в пределах 81,2–81,6 %. Куры кросса «Хайсекс браун» имеют более замедленную скорость спада яичной продуктивности после наступления пика, чем куры кросса «Ломанн браун».

Данные математические модели можно применять для других отраслей сельского хозяйства при их дальнейшем моделировании с использованием дополнительных параметров.

8. Выводы

В ходе проведенных исследований установлено, что использование математических моделей позволяет с высокой достоверностью оценить закономерности роста и продуктивности птицы при применении стабилизирующего отбора для формирования и эксплуатации промышленных стад несушек яичных кроссов.

В результате проведенных исследований было установлено, что:

1. Для прогнозирования, описания и анализа возрастной динамики живой массы птицы наиболее подходят модели Т. Бриджеса и А. Пюттера. Точность модели Т. Бриджеса находится в пределах 85,5–93,8 %, а адекватность модели А. Пюттера находится в пределах 96,0–93,8 %.

Для дифференциации двух кроссов кур наиболее подходит модель Т. Бриджеса, значение асимптоты (W_{∞}) колеблется в пределах 2016,2–2155,5.

Для дифференциации трех классов распределения по живой массе наиболее однозначно можно использовать модель А. Пюттера: у кур кросса «Хайсекс браун» коэффициент « ρ » колеблется в пределах: $(-0,6156)$ – $(-0,6463)$, а у кур кросса «Ломанн браун» он значительно ниже: $(-0,7476)$ – $(-0,8627)$.

2. Моделированием кривых несучести с помощью модели Мак-Милана выявлены отличия в нормах ее

спада и наращивания с возрастом несушек. Адекватность данной модели колеблется в пределах 81,2–81,6 %. Куры кросса «Хайсекс браун» имеют более замедленную скорость спада яичной продуктивности после наступления пика, чем куры кросса «Ломанн браун».

Математические модели с высокой точностью описывают динамику роста курей разных кроссов и классов распределения, а также их несучесть (средний процент отклонения не превышает 5 % порога суждения о достоверности полученных данных).

Литература

- Ganesan, R. Comparative study of non-linear models for describing poultry egg production in Puducherry [Text] / R. Ganesan, P. Dhanavanthan, P. V. Sreenivasaiiah, P. Ponnuvel // *Current Biotica*. — 2011. — Vol. 5, № 3. — P. 289–298.
- Коваленко, В. П. Селекційно-генетичні функції у птахівництві [Текст] / В. П. Коваленко, В. П. Бородай, Н. П. Пономаренко // *Вісник аграрної науки*. — 2007. — № 9. — С. 41–43.
- Панькова, С. М. Оцінка племінної цінності птиці з використанням різних методів [Текст] / С. М. Панькова, І. А. Степаненко, Г. Т. Коваленко // *Птахівництво*. — 2009. — № 63. — С. 81–86.
- Руда, С. В. Використання критеріїв росту при оцінці гібридних поєднань курей, що отримані від батьківських форм носіїв гена (DM) [Текст] / С. В. Руда, О. О. Катеринич // *Птахівництво*. — 2008. — № 61. — С. 135–140.
- Карпенко, О. В. Удосконалення прийомів оцінки курей різних напрямів продуктивності за компонентами несучості [Текст] / О. В. Карпенко // *Таврійський науковий вісник*. — 2009. — Вип. 62. — С. 109–115.
- Хомічук, О. О. Моделювання несучості птиці різних кросів та класів розподілу [Текст] / О. О. Хомічук // *Збірник наукових праць ПДАТУ*. — 2011. — Вип. 19. — С. 188–189.
- Johnston, S. A. A mechanistic, stochastic, population model of egg production [Text] / S. A. Johnston, R. M. Gous // *British Poultry Science*. — 2007. — Vol. 48, № 2. — P. 224–232. doi:10.1080/00071660701227493
- Bindya, L. A. Mathematical Models for Egg Production in an Indian Colored Broiler Dam Line [Text] / L. A. Bindya, H. N. N. Murthy, M. R. Jayashanka, M. G. Govindaiah // *International Journal of Poultry Science*. — 2010. — Vol. 9, № 9. — P. 916–919. doi:10.3923/ijps.2010.916.919
- Savegnago, R. P. Egg production curve fitting using nonlinear models for selected and nonselected lines of White Leghorn hens [Text] / R. P. Savegnago, V. A. R. Cruz, S. B. Ramos, S. L. Caetano, G. S. Schmidt, M. C. Ledur, L. El Faro, D. P. Munari // *Poultry Science*. — 2012. — Vol. 91, № 11. — P. 2977–2987. doi:10.3382/ps.2012-02277
- Prasad, Shiv. Mathematical model for annual egg production curves of chicken [Text] / Shiv Prasad, D. P. Singh // *Indian Journal of Poultry Science*. — 2008. — Vol. 43, № 3. — P. 293–295.
- Глебова, Ю. А. Модель прогнозування природної резистентності яєчних курей у ранньому онтогенезі [Текст] / Ю. А. Глебова // *Ефективне птахівництво*. — 2010. — № 1. — С. 35–38.
- Prasad, Shiv. Some alternative forms of logistic-curvilinear model for poultry egg production curves [Text] / Shiv Prasad, D. P. Singh // *Indian Journal of Animal Research*. — 2007. — Vol. 41, № 3. — P. 184–187.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОСТУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ КУРЕЙ КРОСІВ «ХАЙСЕКС БРАУН» ТА «ЛОМАНН БРАУН»

Вивчена доцільність використання математичних моделей для прогнозування динаміки росту та продуктивності курей. Для опису процесів росту можна рекомендувати моделі Т. Бриджеса

та модель А. Пюттера, а модель Мак-Мілана досить чітко описує криву несучості курей. Середній відсоток відхилень не перевищує 5 % поріг безпомилкового судження про вірогідність отриманих даних.

Ключові слова: кроси курей, класи розподілу, динаміка росту, крива несучості, математичні моделі.

Кучер Елена Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра лабораторной диагностики, Николаевский национальный университет им. В. А. Сухомлинского, Украина, e-mail: hrizantema84.84@mail.ru.

Пасечник Мария Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химии и биохимии, Николаевский национальный университет им. В. А. Сухомлинского, Украина.

Кучер Елена Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра лабораторной диагностики, Николаевский национальный университет им. В. О. Сухомлинского, Украина.

Пасечник Мария Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химии та біохімії, Николаївський національний університет ім. В. О. Сухомлинського, Україна.

Kucher Elena, Mykolaiv National University named after V. O. Sukhomlynsky, Ukraine, e-mail: hrizantema84.84@mail.ru.

Pasichnyk Maria, Mykolaiv National University named after V. O. Sukhomlynsky, Ukraine

УДК 621.039.58

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.74475

Триш Р. М.,
Гиря Н. П.,
Пахалович М. Е.,
Кучер С. О.

ВЕРИФІКАЦІЯ РОЗРАХУНКОВОГО КОМПЛЕКСУ CIRCLE_3D ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ МІЦНОСТІ ВІДПОВІДАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ АТОМНОЇ СТАНЦІЇ

Наведена коротка характеристика призначення і режимних умов роботи відповідального обладнання атомної станції, а також алгоритм виконання комплексу робіт з оцінки технічного стану за допомогою розрахункових кодів для подальшого продовження терміну його експлуатації. Приведено опис розробленого розрахункового комплексу CIRCLE-3D для оцінки та обґрунтування міцності елементів і конструкцій обладнання, його верифікація результатів розрахунків кодом CIRCLE_3D з даними стандарту та результатами тестових завдань програмного коду ANSYS.

Ключові слова: технічний стан, код, тепломеханічне обладнання, залишковий ресурс, міцність, верифікація, деградація.

1. Вступ

В атомній енергетиці України діє цільова «Комплексна зведена програма підвищення безпеки енергоблоків атомних електростанцій (АЕС)», яка спрямована на виконання робіт з підвищення безпеки до рівня, що відповідає міжнародним і національним вимогам безпеки в рамках реалізації енергетичної стратегії України на період до 2030 року. До цілей даної Програми відноситься заміна відповідального обладнання, важливого для безпеки, що відпрацювало свій ресурс, на нове [1] або продовження його експлуатації на підставі обстежень і оцінки технічного стану. До цього відповідального обладнання відноситься тепломеханічне обладнання (ТМО) першого контуру енергоблоку АЕС: головний циркуляційний трубопровід (ГЦТ), головні циркуляційні насоси (ГЦН), компенсатор тиску (КТ), парогенератори (ПГ). Для підтримки безпечного рівня технічної та ядерної безпеки та розроблення заходів, що забезпечують продовження терміну безпечної експлуатації та недопущення аварій обладнання енергоблоків АЕС, відповідно до вимог НД [2], необхідні оцінка технічного стану та обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації ТМО. Оцінка техніч-

ного стану передбачає перевірку відповідності значень технічних параметрів обладнання вимогам технічної документації, розрахунки, а також аналіз динаміки зміни даних параметрів в часі, враховуючи незворотні деградаційні зміни, без яких неможливо достовірно визначити ступінь старіння обладнання, що відпрацювало проектний термін експлуатації. Часто, в умовах обмежень на отримання необхідного обсягу дослідного матеріалу єдиним можливим засобом аналізу і прогнозу зміни параметрів у часі для ТМО першого контуру енергоблоку є розрахункові дослідження, наприклад, за допомогою сучасних кодів. Для обґрунтування безпеки ТМО застосовуються різні системні та розрахункові комплекси та коди: для моделювання змін фізичних процесів в обладнанні, проведення розрахунків на міцність, оцінки опору крихкому руйнуванню (ОКР) та ін. Коди характеризують наступні особливості:

- можливість детальних 3-мірних розрахунків;
- використання сучасних фізичних моделей, заснованих на новітніх теоретичних та експериментальних даних;
- сучасну архітектуру, що дозволяє організувати обмін даними між різнорідними програмними модулями і об'єднувати їх для рішення різних завдань;