

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 338.43:637.4:519.868

Степаненко Н.В.,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри прикладної математики
та економічної кібернетики,
Херсонський державний аграрний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЯЄЦЬ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Степаненко Н.В. Підвищення економічної ефективності виробництва яєць під час використання математичних моделей. Статтю присвячено використанню математичних моделей інтенсивності росту несучості птиці для прогнозу продуктивності кросів яєчного типу для підвищення економічної ефективності виробництва яєць. Порівняльною оцінкою моделей несучості яєчних курей виявлено, що придатнішими для їх опису й прогнозування є модифіковані моделі Т.К. Бріджеса та Мак-Неллі. Також встановлено, що модель Т.К. Бріджеса найбільш ефективно описує емпіричні дані несучості (помилки не перевищують 5% порогу безпомилкового судження про вірогідність отриманих відмінностей), дає змогу прогнозувати рівень продуктивності за весь період випробувань виходячи з даних, отриманих за початковий період (три-чотири місяці несучості). Розроблено критерії комплексної оцінки родинних форм кросів. Доведено доцільність використання параметрів моделі (кінетична і експоненційна швидкість росту) як додаткових критеріїв за спрямованого відбору за продуктивністю.

Ключові слова: модель, несучість, прогноз продуктивності, експоненційна швидкість росту, інтенсивність росту.

Степаненко Н.В. Повышение экономической эффективности производства яиц при использовании математических моделей. Статья посвящена использованию математических моделей интенсивности роста яйценоскости для прогнозирования продуктивности кроссов яичного типа для повышения экономической эффективности производства яиц. Сравнивая модели яйценоскость птицы, установлено, что самыми приемлемыми для описания и прогнозирования являются модифицированные нами модели Т.К. Бриджеса и Мак-Нелли. Установлено, что изученная модель Т.К. Бриджеса в основном достаточно точно описывает эмпирические значения яйценоскости (отклонения теоретических значений не превышают 5% порога точности безошибочного суждения о достоверности полученных отличий), позволяет прогнозировать уровень продуктивности за весь период яйценоскости исходя из данных, полученных за начальный период (три-четыре месяца яйценоскости). Разработаны критерии комплексной оценки форм родительских кроссов. Доказана целесообразность использования параметров модели (кинетическая и экспоненциальная скорость роста) как дополнительных критериев при направленном отборе по производительности.

Ключевые слова: модель, яйценоскость, прогноз производительности, экспоненциальная скорость роста, интенсивность роста.

Stepanenko N.V. Improving the economic efficiency of egg production using mathematical models. The article is devoted to the use of mathematical models of the intensity of growth of egg production for forecasting the productivity of egg-type crosses in order to increase the economic efficiency of egg production. The comparative estimation of egg-laying chicken breeding models has revealed that modified models of T.C. Bridges and D.H. McNally are more suitable for their description and forecasting. It is also established that the model by T.C. Bridges best describes the empirical data of egg production (errors do not exceed 5% of the threshold for unerring judgement about the probability of the differences), allows you to predict the level of productivity for the entire trial period based on the data obtained during the initial period (3-4 months of egg production). Criteria for the complex assessment of forms of parental crosses are developed. The expediency of using model parameters (kinetic and exponential growth rate) as additional criteria for the directed selection of productivity is proved.

Key words: model, egg production, productivity forecast, exponent speed of growth, growth intensity.

Постановка проблеми. Птахівництво – галузь сільськогосподарського виробництва, що за якістю наукового забезпечення в Україні наближається до

світового рівня, а продукція птахівництва найбільшою мірою відповідає біологічно повноцінному харчуванню людини. Характерною особливістю аграрних

досліджень є активне використання математичних моделей для прогнозування продуктивності тварин. Бурхливий розвиток обчислювальної техніки дає змогу обробляти все більшу кількість статистичних даних, на основі яких можна не тільки дати пояснення об'єкту за описом, а й спробувати побудувати прогноз.

Точність і своєчасність передбачення ознак продуктивності сільськогосподарського виробництва є важливим завданням дослідника. Одним з основних методів, який дає змогу вивчати біосистеми та вирішувати прикладні задачі сільськогосподарського виробництва, є метод математичного моделювання. Вірно побудована модель і висновки, що отримуються на її основі, дають змогу знизити енергетичні та економічні витрати. Сьогодні у світі розроблено та впроваджено тисячі біологічних і аграрних моделей, створено низку міжнародних навчальних центрів системних досліджень у сільському господарстві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині птахівництво є одним із головних виробників у світі відносно дешевих і біологічно повноцінних продуктів харчування для населення. В Україні спостерігається стійка тенденція до збільшення обсягів виробництва харчових яєць. Птахівницькі господарства внаслідок наданих інвестицій отримали змогу модернізувати свою технічну базу, закуповувати курей найпродуктивніших кросів, поліпшувати організацію, якість годівлі та ветеринарне забезпечення галузі. Це надало можливість вести виробничий процес отримання продукції на рівні сучасних світових стандартів виробництва [1, с. 154; 2, с. 3].

Формулювання цілей статті. Завдання дослідження – обґрунтування і розроблення ефективних моделей для підвищення несучості птиці та її прогнозу.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- дати порівняльну оцінку моделям несучості курей (Т.К. Бріджеса, Мак-Мілана і Мак-Неллі);
- встановити можливість використання моделей росту для опису кривої яйцекладки і прогнозування несучості (модель Мак-Неллі та її модифікації).

Виклад основного матеріалу. Суть математичного моделювання та прогнозування полягає у вивченні об'єкта, явища, процесу шляхом створення математичних моделей та їх дослідження. В.М. Глушков та співробітники [3, с. 13] вказують, що математична модель являє собою систему математичних співвідношень: формул, функцій, рівнянь, систем рівнянь, які описують ті чи інші явища об'єкту, процесу, що вивчається.

М.Е. Браславець та Т.Ф. Гуревич [4, с. 25] під моделюванням розуміють дослідження фактичних об'єктів на їх моделях. Вони наводять класифікацію методів моделювання, виділяючи серед них предметні моделі (ті, що відтворюють основні геометричні, функціональні та динамічні характеристики явища, електричні, фізичні та математичні), які розподіляють на аналітичні та імітаційні. Для аналітичних моделей характерною рисою є те, що процеси функціонування системи мають вигляд деяких функціональних співвідношень або логічних умов. Імітаційне ж моделювання є ефективним методом дослідження складних стохастичних систем, а у деяких випадках єдиним практично доступним засобом здобуття інформації про те, як веде себе система.

Останнім часом значно змінилися погляди на показник яєчної продуктивності як інтегрований вираз елементів, що впливають на несучість. Для підвищення ефективності селекції, на думку В.П. Коваленка та С.Ю. Болілої [5], необхідно виділити комплекс ознак, що впливають на продуктивність і водночас не зменшують життєздатності птиці. Із цих позицій доцільно ознаку несучості селекціонувати за її компонентами. До таких параметрів яєчної продуктивності можна віднести емпіричну і теоретичну криву несучості конкретної особини, лінії, популяції.

Запропонована С.І. Боголюбським і Т.А. Заморською [6] модифікація теорії Гудейла – Санборнхейса передбачає поряд із такими компонентами, що визначають несучість, як статеві зрілість, довжина циклу несучості, вік курей і збереженість, додатково враховувати елементи кривої інтенсивності несучості (нарощування, спад, вирівнювання). Ці параметри придатні для відбору, оскільки контролюють як продуктивність несучок, так і життєздатність. Головні відмінності в яєчній продуктивності залежать передусім від максимальної інтенсивності несучості та норми її спаду. Дослідженнями С.Ю. Болілої [7] встановлено, що для батьківських ліній характерна як висока норма нарощування несучості, більший пік несучості, так і більша норма спаду. У материнських ліній, навпаки, нижче пік, але водночас і менша норма спаду.

Виявили також, що селекція за елементами несучості ефективніша порівняно з відбором за річною несучістю. Це дає змогу перейти від селекції за сумарною несучістю до оцінки і відбору за оптимальним характером її кривої, оскільки при цьому враховується ціла низка параметрів.

Найбільш досконалою з математичних моделей, придатних для характеристики інтенсивності несучості з урахуванням віку, є модель Мак-Мілана [8]. Вона характеризує норми нарощування і спаду несучості, теоретичний пік інтенсивності, потенційну і фактичну продуктивність курей. Перевірка моделі Мак-Мілана показала, що вона дає змогу описувати за допомогою розрахункової кривої фактичну несучість із точністю до 94–96%. Поряд із моделлю Мак-Мілана для цієї мети використали модель Т.К. Бріджеса, але нами модифіковано для опису несучості.

Спочатку нами були проаналізовані вихідні дані про яєчну продуктивність чотирьох кросів, які наведено в табл. 1.

Отже, кроси мали несучість у діапазоні 225,3–253,9 шт. яєць, що характеризує їх як кроси інтенсивного типу. Ми провели моделювання несучості цих кросів із використанням моделей Т.К. Бріджеса і Мак-Мілана і порівняли змодельовані дані з фактичними. Виявилось, що більш висока точність опису несучості досягається з використанням моделі Т.К. Бріджеса (табл. 2).

Так, для кросів 1 і 2 відхилення фактичних і теоретично розрахованих показників несучості під час використання моделі Мак-Мілана було в межах 2,121–2,123%, а за моделлю Т.К. Бріджеса – відповідно 1,691% і 1,657%.

Для 3-го кросу обидві моделі дали практично однаковий середній відсоток відхилення – 1,775%, 1,756%, а для 4-го кросу кращою також була модель Т.К. Бріджеса – 1,293%, а за моделлю Мак-Мілана – 2,632%.

Таблиця 1

Динаміка несучості курей різних кросів за 12 місяців

Кроси	МІСЯЦІ											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6,0	31,9	58,1	82,7	104,8	127,1	148,3	168,9	190,3	209,1	227,3	243,8
2	8,6	34,0	60,4	85,2	108,0	131,6	154,1	176,1	197,6	217,3	236,5	253,9
3	9,0	34,3	59,3	83,4	105,2	127,5	149,1	169,8	189,0	208,6	227,8	246,3
4	6,5	30,7	55,2	78,7	98,9	120,3	140,9	160,9	179,1	196,2	214,0	230,3

Таблиця 2

Несучість курей різних кросів за 12 місяців

Вік, місяці	Кроси									
	1					2				
	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %	Модель Мак-Мілана	Відхил, %	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %	Модель Мак-Мілана	Відхил, %
1	6,0	6,3	-3,86	6,0	0,00	8,6	8,9	-3,94	8,5	0,00
2	31,9	30,9	3,21	31,9	0,19	34,0	32,9	3,26	34,0	0,28
3	58,1	56,5	2,67	57,5	-2,50	60,4	58,6	2,96	60,0	-1,76
4	82,7	81,8	1,15	82,0	-0,72	85,2	84,4	0,95	85,1	0,96
5	104,8	106,1	-1,24	105,4	6,31	108,0	109,6	-1,44	109,2	5,75
6	127,1	129,2	-1,66	127,8	0,63	131,6	133,7	-1,61	132,4	-1,61
7	148,3	151,0	-1,82	149,3	1,25	154,1	156,6	-1,64	154,7	-0,82
8	168,9	171,5	-1,53	169,9	0,04	176,1	178,1	-1,12	176,1	-2,83
9	190,3	190,5	-0,12	189,6	-3,20	197,6	198,2	-0,29	196,7	-2,14
10	209,1	208,3	0,39	208,4	0,33	217,3	216,9	0,19	216,5	0,89
11	227,3	224,8	1,10	226,5	-0,61	236,5	234,1	1,00	235,6	-0,89
12	243,8	240,0	1,54	243,8	0,39	253,9	250,1	1,51	253,9	0,38
Середній % відхил.			1,691	-	2,121	-	-	1,657	-	2,123

Продовження таблиці 2

Вік, місяці	Кроси									
	3					4				
	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %	Модель Мак-Мілана	Відхил, %	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %	Модель Мак-Мілана	Відхил, %
1	9,0	9,4	-4,19	9,0	0,00	6,5	6,6	-2,82	6,5	0,00
2	34,3	33,0	3,92	34,3	-0,04	30,7	30,0	2,34	30,8	0,15
3	59,3	57,8	2,41	58,8	-1,76	55,2	54,0	2,03	54,7	-1,95
4	83,4	82,5	1,07	82,5	-2,00	78,7	77,6	1,33	77,7	-2,18
5	105,2	106,5	-1,29	105,4	5,46	98,9	100,3	-1,45	99,7	9,00
6	127,5	129,5	-1,51	127,6	-0,94	120,3	121,9	-1,35	120,8	-1,54
7	149,1	151,2	-1,41	149,0	-0,70	140,9	142,4	-1,05	141,1	-1,85
8	169,8	171,7	-1,15	169,8	0,44	160,9	161,7	-0,49	160,5	-3,03
9	189,0	191,0	-1,06	189,8	4,72	179,1	179,8	-0,42	179,0	2,40
10	208,6	208,9	-0,13	209,3	-1,21	196,2	196,7	-0,29	196,8	3,92
11	227,8	225,5	1,01	228,1	-2,23	214,0	212,6	0,69	213,9	-4,49
12	246,3	241,0	2,14	246,2	-1,25	230,3	227,3	1,27	230,2	0,84
Середній % відхил.			1,775	-	1,756	-	-	1,293	-	2,632

Слід відзначити, що модель Т.К. Бріджеса забезпечила б ще вищу точність опису експериментальних даних за умови, що вона дала менший відсоток відхилення в першому і другому місяцях несучості. Модель Мак-Мілана також не зовсім точно описує несучість у період п'ятого і дев'ятого місяців несучості. За умови вдосконалення цих періодів для розглянутих моделей точність опису може бути значно підвищеною.

Для вивчених кросів також виявлено кращу відповідність даних, які отримані з використанням модифікованої нами для несучості моделі Т.К. Бріджеса, яка має вигляд:

$$N(t) = A(1 - e^{-\mu \cdot (t - T_0)^\alpha}) \quad (1)$$

У цілому на основі проведених досліджень можна заключити, що моделі, які вивчалися, виявилися досить ефективними для опису експериментальних

кривих несучості курей різних кросів. Наочність використання цих моделей на рис. 1 та 2.

Певну перевагу слід усе ж таки надати моделі Т.К. Бріджеса, яка забезпечує вищу точність опису емпіричних даних. Перевага цієї моделі полягає також у тому, що вона на відміну від моделі Мак-Мілана дає змогу прогнозувати несучість курей виходячи з початкової несучості – ділянки кривої несучості до піку (два-три місяці) і перші місяці після піку. При цьому на підставі несучості за перші 300 днів життя (чотири місяці несучості) є можливість прогнозувати несучість за 12 місяців експлуатації несучок. Підтвердженням цього є дані, що наведені в табл. 3.

Проведена перевірка показала (табл. 3), що для наведених кросів ця модель забезпечує високу точність прогнозу, яка знаходиться на рівні відхилень, отриманих за описом показників несучості. Для всіх вивчених кросів відхилення не перевищують 5%-й поріг безпомилкового судження про вірогідність отриманих результатів.

Окрім того, слід очікувати на подальший прогрес селекції за рівнем ячної продуктивності, застосовуючи відбір особин за вищими значеннями констант експоненційної швидкості росту (α).

На заключному етапі досліджень була виконана перевірка ефективності моделі Мак-Неллі та її модифікації (розробленої нами):

Модель Мак-Неллі має вигляд:

$$N(t) = M \cdot t^\varepsilon \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (2)$$

Модифікація моделі Мак-Неллі має такий вираз:

$$N(t) = M \cdot (t - T_0)^\varepsilon \cdot e^{-\alpha \cdot t}, \quad (3)$$

де $N(t)$ – кількість яєць за деякий час t ;

M – потенційний максимум продуктивності (асимптота);

T_0 – теоретичний початок несучості;

α – норма спаду несучості;

ε – норма нарощування несучості.

У результаті перевірки цих моделей на чотирьох яєчних кросах встановлено, що сама модель Мак-Неллі не так точно описує несучість порівняно з розробленими нами модифікаціями Мак – Неллі і Т.К. Бріджеса. Так, для всіх кросів середній відсоток відхилення, за моделлю Мак-Неллі перевищує 5%-й поріг безпомилкового судження про вірогідність отриманих результатів, а в окремі місяці (переважно з другого по дев'ятий) відхилення були на рівні 9–25%. Це не дає змоги використовувати цю модель для точ-

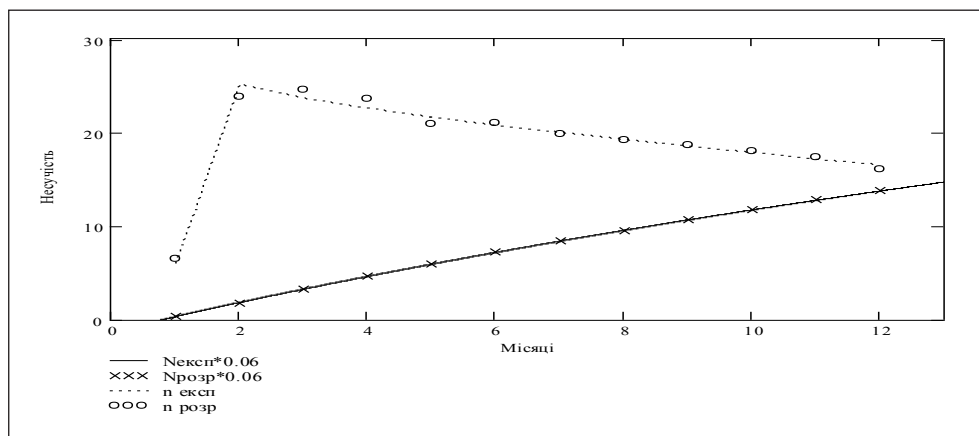


Рис. 1. Опис несучості птиці кросу 4 за формулою Т.К. Бріджеса

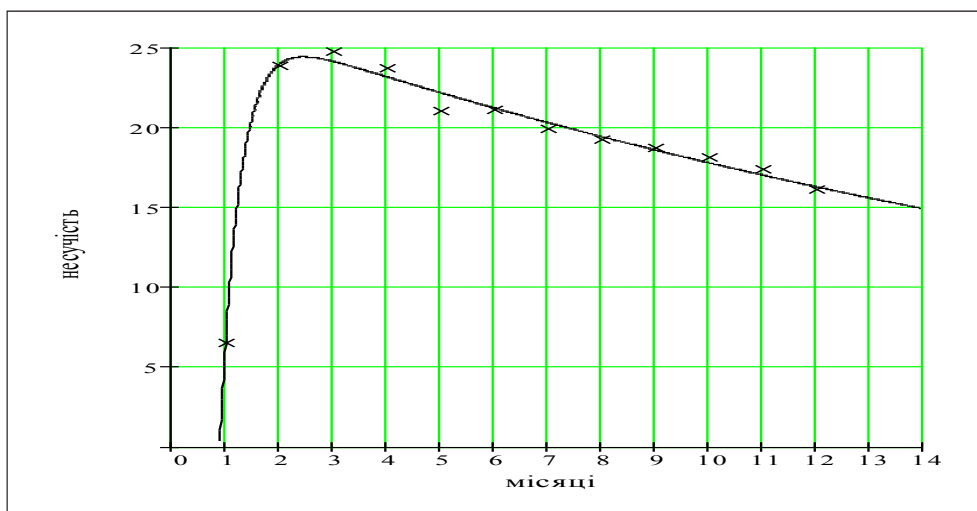


Рис. 2. Опис несучості птиці кросу 4 за формулою Мак-Мілана

ного опису яєчної продуктивності. Водночас модифікація моделі Мак-Неллі виявилася досить корисною, оскільки сприяє значному підвищенню точності опису експериментальних даних. Середній відсоток відхилення теоретично розрахованих і фактично отриманих даних продуктивності менше 5%-го відхилення. Результати порівняння цих моделей наглядно показані на рис. 3 та 4.

Висновки. Практика створення моделей показує, що комплексний підхід до планування виробництва продукції птахівництва із застосуванням різних моде-

лей має вирішальне значення для досягнення економічного зростання продукції птахівництва.

Також встановлено доцільність використання генетико-математичних методів і моделей селекційних ознак для оцінки компонентів складних полігенних ознак та прогнозування продуктивності. Порівняльною оцінкою моделей несучості яєчних курей виявлено, що придатнішою для їх опису й прогнозування є модифіковані моделі Т.К. Бріджеса та Мак-Неллі. Середній відсоток відхилення для кросів не перевищує 5%-го порогу безпомилкового судження про вірогідність отриманих даних.

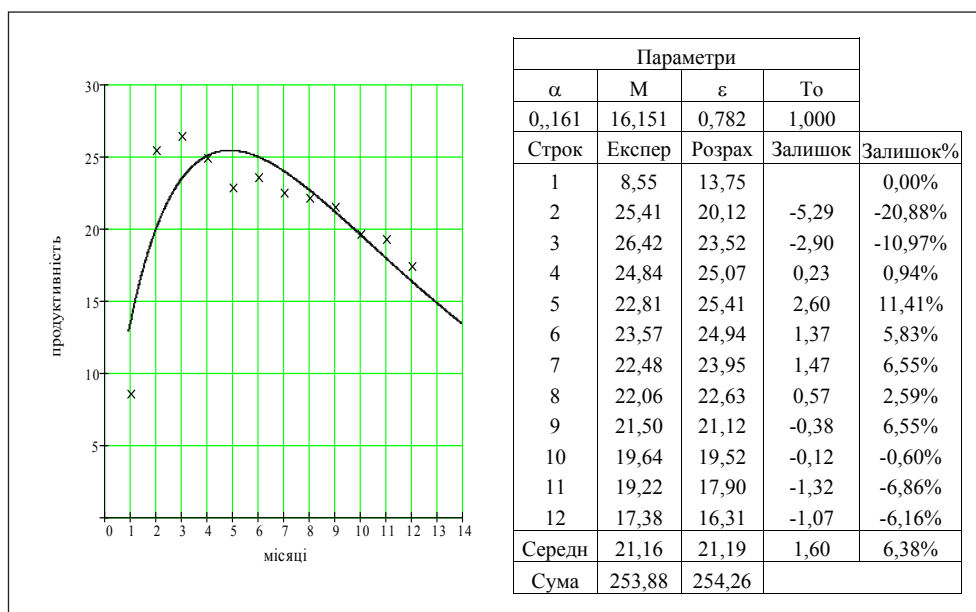


Рис. 3. Експериментальні та розрахункові значення за моделлю Мак-Неллі для кросу 2

Таблиця 3

Прогнозування річної несучості яєчних кросів за моделлю Т.К. Бріджеса на основі даних за перші чотири місяці яйцекладки

Вік, місяці	1			2			3			4		
	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %	Факт. значення	Модель Бріджеса	Відхил, %
Задані												
1	6,0	6,1	-1,59	8,6	8,7	-1,43	9,0	9,2	-1,47	6,5	6,5	-0,87
2	31,9	30,8	3,51	34,0	33,0	2,77	34,3	33,3	3,10	30,7	30,1	1,97
3	58,1	57,8	0,47	60,4	59,9	0,81	59,3	59,1	0,19	55,2	55,1	0,19
4	82,7	84,7	-2,31	85,2	87,0	-2,11	83,4	84,9	-1,79	78,7	79,6	-1,26
Прогнозовані												
5	104,8	110,3	-5,21	108,0	113,4	-4,93	105,2	109,8	-4,41	98,9	103,3	-4,44
6	127,1	134,1	-5,51	131,6	138,3	-5,12	127,5	133,3	-4,56	120,3	125,6	-4,39
7	148,3	155,9	-5,15	154,1	161,7	-4,93	149,1	155,4	-4,19	140,9	146,5	-3,95
8	168,9	175,7	-4,07	176,1	183,2	-4,02	169,8	175,8	-3,52	160,9	165,9	-3,10
9	190,3	193,5	-1,67	197,6	202,9	-2,66	189,0	194,5	-2,94	179,1	183,8	-2,67
10	209,1	209,3	-0,09	217,3	220,7	-1,59	208,6	211,6	-1,45	196,2	200,3	-2,10
11	227,3	223,3	1,76	236,5	236,8	-0,13	227,8	227,2	0,28	214,0	215,4	-0,63
12	243,8	235,6	3,36	253,9	251,2	1,06	246,3	241,3	2,03	230,3	229,2	0,47
Середній % відхил.			2,893	-	-	2,629	-	-	2,495	-	-	2,170

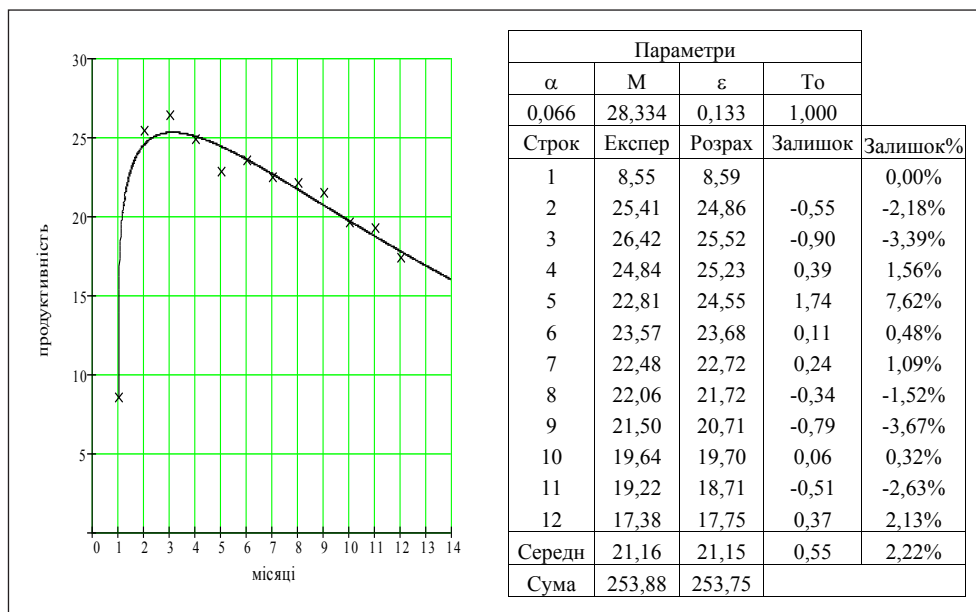


Рис. 4. Експериментальні та розрахункові значення за модифікацією моделі Мак-Неллі для кросу 2

Список використаних джерел:

1. Булик О.Б. Методичні основи оцінки ефективності виробництва продукції птахівництва. Інноваційна економіка. 2016. № 5–6. С. 151–156.
2. Інформаційне забезпечення і управління селекційно-племінною роботою у птахівництві / О. Жукорський, О. Костенко, О. Катеринич. Тваринництво України. 2014. № 5. С. 2–4.
3. Глушков В.М., Антонов Ю.П., Кабулов В.К. и др. Методы синтеза алгебраических и вероятностных биологических систем. К.: Высшая школа. 1981. 310 с.
4. Бреславец М.Е., Гуревич Т.Ф. Кібернетика. К.: Вища школа. 1977. 324 с.
5. Коваленко В.П., Болелая С.Ю. Селекционная модель прогнозирования мясной продуктивности птицы. Цитология и генетика. 1998. Т. 32. № 4. С. 55–59.
6. Боголюбский С.І., Заморская Т.А. Оценка птицы по компонентам яйценоскости. Птицеводство. 1981. № 3. С. 23–26.
7. Болелая С.Ю. Совершенствование методов оценки яичной и мясной продуктивности птицы специализированных кроссов: дис. ... канд. с.-х. наук. Херсон, 1996. 226 с.
8. McMillan I., Fitz – Earli M., Robson D.S. Quantitative genetics of fertility. Lifetime egg production of *Drosophila melanogaster* theoretical. Genetics. 1970. a. b. V. 65. № 2. P. 349–369.