



regarded as rare breeds. At the same time, 58 breeds (25 regional and 33 international) are registered as common, i.e. occurring in more than one country. Five international breeds are now widely distributed: Large White (117 countries), Duroc (93 countries), Landrace (91 countries), Hampshire (54 countries) and Pietrain (35 countries).

**Keywords:** population, breed, polymorphism, domestication, phylogeny.

УДК 636.2.082

DOI 10.32900/2312-8402-2022-127-196-203

## МОДЕЛІ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ВІКУ ПЕРШОГО ОТЕЛЕННЯ ЗА ЕКСТЕР'ЄРНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

**Шабля В. П.**, д. с.-г. н., професор, <https://orcid.org/0000-0001-6510-5397>  
Державний біотехнологічний університет

Наведено результати прогнозування віку першого отелення за допомогою множинного регресійного аналізу, виходячи з екстер'єрних промірів та індексів будови тіла телиць, визначених двократно – у віці близько 100 днів та близько року. Моделі розроблено з використанням як лінійних, так і нелінійних компонент. Розроблені моделі розглядаються з погляду їхньої адекватності та достовірності. З метою покращення якості моделей випробувано метод «складаного ножа». Перевірку моделей здійснено методами ковзного контролю, розподілу вибірки на навчальну й екзаменаційну вибірки та моделювання відбору. Виділено та проаналізовано найважливіші залежності. На основі екстер'єрних показників телиць близько 100-денного віку отримали модель прогнозування віку першого отелення, яка була недостовірною ( $P=0,91$ ) та характеризувалася невисоким приведеним коефіцієнтом детермінації ( $R^2_{adj}=0,21$ ) і великою стандартною помилкою передбачення ( $SE=104,75$  дня). Підсумкові параметри моделі прогнозування віку першого отелення на основі екстер'єрних показників, визначених у приблизно річному віці, характеризуються високою достовірністю ( $P>0,999$ ), досить гарною детермінацією ( $R^2_{adj}=0,58$ ) і цілком прийнятними відмінностями між передбаченими та фактичними значеннями віку першого отелення ( $SE=77,01$  дня). Найбільш адекватною є модель, що базується на дворазовому екстер'єрному дослідженні. Доцільним є використання цієї моделі у варіанті «складаного ножа» для більш точної та повної оцінки тварин у ранньому віці. Дана модель забезпечує збіг прогнозованих та фактичних негативних оцінок віку першого отелення у 65,7 % випадків. Найціннішими для прогнозування та інтерпретації залежностей віку першого отелення від екстер'єру телиць є такі ознаки як індекс розтягнутості й коса довжина тулуба в 365-денному віці. Ступінь їхнього впливу на передбачений вік першого отелення максимальний серед усіх предикторів і становить 16,46 % і 9,10 % відповідно.

**Ключові слова:** прогнозування, вік першого отелення, ознаки екстер'єру, модель, регресія.

Однією з основних умов прибуткового ведення молочного скотарства є інтенсивне вирощування молодняка для того, щоб у найкоротші терміни та з найменшими витратами отримати з телиць високопродуктивних і прибуткових корів [1, 2].



Однак таке прагнення не завжди призводить до позитивних результатів, оскільки в низці випадків у тварин спостерігається порушення відтворювальної функції і, як наслідок, телиць тривалий час, або навіть зовсім не можуть запліднитися, вони не доживають до отелення, або ж мають інші ускладнення, пов'язані з розмноженням [3, 4].

За нашими даними, близько 10-15 % телиць вибувають зі стада з цих причин. Причому часто їх вибраковують після багатомісячних безуспішних спроб запліднення. Водночас на їх годівлю, утримання, запліднення, лікування тощо витрачається велика кількість праці та коштів [5, 6].

У зв'язку з цим дуже бажаним було б виявлення телиць із незадовільними продуктивними, відтворювальними та технологічними якостями на ранніх стадіях розвитку. Такі спроби, зокрема, засновані на вивченні екстер'єру, робилися деякими вченими [7-9].

Так, наприклад, J. Gabris рекомендує при оцінці племінних телиць для ремонту молочного стада відбирати особин із подовженим тулубом, з глибокими й широкими грудьми, широким тазом, із міцним, але в той же час ніжним кістяком. За даними дослідника, кореляція між надоем і довжиною тулуба дорівнює 0,233, між надоем і обхватом п'ястка 0,129, надоем і висотою в холці 0,193 [10].

Вказаними дослідженнями було виявлено певні тенденції, проте чітких та однозначних статистичних залежностей, придатних для добору, встановити не вдалося. Здебільшого було зроблено висновки про найбільш значущі тенденції зв'язків між окремими ознаками.

**Матеріали та методи досліджень.** Нами було проведено роботу з розробки, порівняльної характеристики і перевірки моделей прогнозування віку першого отелення на базі екстер'єрних промірів та індексів телиць.

Матеріалом для досліджень послужили 105 телиць, яких годували, утримували та вирощували за однаковою технологією. За період вирощування до 18-місячного віку їх середньодобові прирости становили 640 грамів, а жива маса у вказаному віці – 374 кг.

У віці 1-7 та 8-18 місяців (з інтервалом між вимірами не менше 7 місяців) у телиць визначали екстер'єрні проміри: висоту в холці (ВХ), висоту в крижах (ВК), глибину грудей (ГГ), ширину грудей (ШГ), ширину в маклоках (ШМ), косу довжину тулуба (КДТ), обхват грудей (ОГ), обхват п'ястка (ОП). Проміри були приведені до віку телиць 100 та 365 днів відповідно. Потім обчислювали індекси будови тіла: довгоногості (ДН), розтягнутості (РТ), грудний (ГР), перерослості (ПР), збитості (ЗБ), костистості (КТ), тазо-грудний (ТГ) та масивності (МС).

Вказані показники використовували як предиктори для прогнозування віку першого отелення при проведенні покрокового множинного регресійного аналізу [11-13].

Механізм широко застосовуваної для прогнозування множинної регресії передбачає підгонку рівняння регресії під реальні дані шляхом обліку як істотних, так і випадкових зв'язків між предикторами і предиктантом [11-15].

Для з'ясування істинної, вільної від ефекту підгонки, якості моделей Івахненко А. Г. [16] пропонує перевіряти їх за допомогою розподілу сукупності об'єктів на навчальну й екзаменаційну вибірки. При цьому перший етап передбачає вказане випадкове розбиття сукупності. На другому етапі на навчальній вибірці за допомогою певного алгоритму будується модель. На третьому етапі розроблена модель перевіряється на екзаменаційній вибірці будь-яким доступним способом.



Такий підхід був застосований нами, подібно до [17], у даних дослідженнях для перевірки ефективності моделей прогнозування віку першого отелення за екстер'єром. Для перевірки адекватності моделей було використано методи ковзного контролю та моделювання добору [13, 15].

Крім того, для обліку нелінійних зв'язків до регресійного аналізу включали квадрати промірів та індексів [11, 13, 18]. А з метою покращення адекватності та ефективності моделей було випробувано метод «складаного ножа» [12-15].

**Результати досліджень.** При використанні екстер'єрних показників телиць 1-7-місячного віку отримали модель прогнозування даної господарсько-корисної ознаки, яка, незважаючи на велику кількість змінних моделі (24), була недостовірною ( $P=0,91$ ), що робить недоцільним її застосування. Цей висновок підтверджується і під час аналізу інших параметрів даної моделі. Так, мали місце невисокий приведений коефіцієнт детермінації ( $R^2_{adj}=0,21$ ) та велика стандартна помилка передбачення ( $SE=104,75$  дня).

Підсумкові параметри моделі прогнозування віку першого отелення на основі екстер'єрних показників, визначених у 8-18-місячному віці, досить сильно відрізнялися від розглянутих вище. Так, модель для старшого віку характеризувалася більшою компактністю (14 змінних), високою достовірністю ( $P>0,999$ ), досить гарною детермінацією ( $R^2_{adj}=0,58$ ) і цілком прийнятними відмінностями між передбаченими та фактичними значеннями віку першого отелення ( $SE=77,01$  дня).

Таким чином, від даної моделі цілком можна очікувати непоганих результатів при відборі.

При порівнянні моделей для різного віку встановлено, що серед предикторів моделі для однорічного віку лише 3 екстер'єрні показники відсутні в моделі для раннього. З 11 аналогічних предикторів у 7 випадках знаки при часткових коефіцієнтах регресії збігаються, тобто більшість залежностей з віком принципово не змінюються.

Модель прогнозування віку першого отелення, заснована на дворазовому дослідженні екстер'єрних показників – у 1-7-місячному та 8-18-місячному віці – була вірогідною ( $P>0,999$ ) і адекватною ( $R^2_{adj}=0,99$ ,  $SE=10,97$  дня).

Найбільш значущі предиктори, ступінь спільного лінійного та нелінійного впливу яких перевищував 5 % (табл. 1), ретельно вивчалися з метою з'ясування основних тенденцій. Разом ці 7 екстер'єрних показників зумовлювали 58,4 % варіації передбаченого віку першого отелення.

Ознайомлення із складом групи сильно впливаючих показників дозволяє виявити суттєву особливість: дана група складається виключно з екстер'єрних показників, визначених у 8-18-місячному віці. Ще одна характерна риса – переважання у більшості випадків лінійної складової впливу над нелінійною.

Аналіз розміщення екстремумів залежностей у порівнянні з середніми значеннями промірів та індексів будови тіла приводить до інтерпретації індексу костистості в 365-денному віці як такого, що перебуває в середньому по стаду в стані, близькому до найменшого можливого віку першого отелення (середнє арифметичне індексу костистості  $KT365_{сер}=14,6$  %; середнє квадратичне відхилення індексу костистості  $\sigma=0,6$  %). На користь такого висновку говорить близькість середнього та екстремального значень (різниця менше  $1\sigma$ ), а також позитивне значення другої похідної у точці середнього. Таким чином, однозначне тлумачення залежності віку першого отелення від індексу костистості утруднене.

З дещо меншою імовірністю ризику пов'язана оцінка обхвату п'ястка у річному віці ( $OP365_{сер}=16,2$  см;  $\sigma=0,7$  см) з подібної причини. Однак цей показник



у середньому по стаду близький до відповідного найбільшого віку першого отелення.

Через нестабільність коефіцієнтів регресії простих і «складаного ножа» доводиться визнати ризикованість однозначного трактування залежностей віку першого отелення від ширини грудей, індексу збитості та тазо-грудного індексу в річному віці.

Як з'ясовується, два екстер'єрні показники, що залишилися – коса довжина тулуба й індекс розтягнутості в 365-денному віці, які не мають обмежень за розглянутими вище пунктами, є найбільш цінними для прогнозування та інтерпретації залежностей віку першого отелення від екстер'єру телиць. Так, ступінь їхнього впливу на передбачений вік першого отелення максимальний серед усіх предикторів, що свідчить про неабияке значення даних показників для прогнозування.

Таблиця 1

**Найбільш значущі предиктори моделі прогнозування віку першого отелення на основі екстер'єрних показників**

Предиктор	Лінійного члена:			Квадратичного члена:			Екстремум, см	Стандартизована похідна
	коефіцієнт регресії		вплив, %	коефіцієнт регресії		вплив, %		
	простий	«складаного ножа»		простий	«складаного ножа»			
ШГ365	-8192	1311	6,70	62,1	-11,3	0,01	66,0	-81,7
КДТ365	8031	2698	8,99	-17,6	-6,8	0,11	228,0	159,1
ОП365	4140	12908	5,36	-137,4	-372,8	0,14	15,1	-1,9
РТ365	-6185	-4343	13,59	15,7	10,4	2,87	196,8	-109,3
ЗБ365	2364	-2085	6,05	-4,4	5,2	0,73	267,3	58,9
КТ365	-6673	-11468	1,61	237,1	357,6	3,64	14,1	1,3
ТГ365	2945	-747	8,59	-8,1	2,9	0,05	181,4	71,4

Разом з тим вони характеризуються і найбільшими стандартизованими похідними (за модулем) і, отже, за їх допомогою можливо ефективно впливати на господарсько-корисну ознаку.

Перевірка методом ковзного контролю моделі показала задовільні результати прогнозування віку першого отелення за екстер'єрними показниками. Так, коефіцієнт кореляції між ковзним прогнозом і фактичними значеннями віку першого отелення дорівнював  $r=0,78$  ( $P>0,99$ ), коефіцієнт кореляції рангів Спірмена  $r_s=0,83$  ( $P=0,999$ ). Отримані при проведенні ковзного контролю стандартну помилку передбачення  $SE=98,35$  дня і середню помилку передбачення  $MAE=59,43$  дня можна вважати досить великими, проте такі значення зумовлені переважно більшим розкидом спрогнозованих значень віку першого отелення при збереженні в більшості випадків тенденцій. У цілому застосування розробленої моделі на здо-



рових тваринах, в умовах, близьких до умов експерименту, можна вважати доцільним і виправданим, а саму модель – досить адекватною.

У той же час її перевірка на екзаменаційній вибірці тих тварин, які не дожили до першої лактації, або хворих під час неї, дала набагато гірші результати (табл. 2). Дуже ризикованим виявився показник негативних прогнозів, що виправдалися (54,6-62,9 %), що свідчить про велику ймовірність неточної оцінки віку першого отелення в ранньому віці у тварин, які в подальшому мали відхилення у здоров'ї.

Використання моделі «складаного ножа» дозволило суттєво (на 8,41 %) підвищити частку негативних прогнозів, що виправдалися.

Таблиця 2

**Результати перевірки моделі прогнозування віку першого отелення на основі екстер'єрних показників телиць екзаменаційної вибірки**

Характеристики	Критерії відбору	Тип моделі	
		проста	«складаного ножа»
Кількість негативних прогнозів, гол.	$u_{пр} > u_{сер} + \sigma$ або $u_{пр} < u_{сер} - 3\sigma$	22	27
у тому числі тих, що фактично виправдалися, гол.	$u_{пр} > u_{сер} + \sigma$ або $u_{пр} < u_{сер} - 3\sigma$ ; $u_{ф} > u_{сер} + \sigma$ або $u_{ф} < u_{сер} - 3\sigma$	12	17
те ж у %	$u_{пр} > u_{сер} + \sigma$ або $u_{пр} < u_{сер} - 3\sigma$ ; $u_{ф} > u_{сер} + \sigma$ або $u_{ф} < u_{сер} - 3\sigma$	54,55	62,96

*Примітка.*  $u_{пр}$  – прогнозоване за моделлю значення віку першого отелення тварини;

$u_{сер}$  – середнє арифметичне по вибірці значення віку першого отелення;

$u_{ф}$  – фактичне значення віку першого отелення тварини;

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення віку першого отелення по тваринах вибірки.

Було також оцінено дієвість варіанту прогнозування, який використовував об'єднання результатів передбачення віку першого отелення, отриманих у процесі застосування методу ковзного контролю на навчальній вибірці та накладання простої моделі на екстер'єрні показники телиць екзаменаційної вибірки. При цьому визначали дозвільну здатність випробуваної моделі на всій дослідній групі шляхом моделювання відбору. Встановлено, що в такому варіанті відсоток збігу негативних оцінок, отриманих за прогнозом, з фактичними даними становив 50,0 %. Так, із 36 телиць, які мали прогнозований вік першого отелення  $u_{пр} > u_{сер} + \sigma$  або  $u_{пр} < u_{сер} - 3\sigma$ , фактично виправдали його лише 18 тварин. Така ефективність не може задовольнити селекціонера.

Але водночас модель «складаного ножа» забезпечила 65,7 % збігу. Тому доцільно в оцінці телиць використовувати саме її.

**Висновки:**

1. Розроблено вірогідні моделі прогнозування віку першого отелення на базі екстер'єрних показників телиць. Найбільш адекватною є модель, що базується на дворазовому екстер'єрному дослідженні.

2. Доцільним є використання цієї моделі у варіанті «складаного ножа» для більш точної та повної оцінки тварин у ранньому віці. Дана модель забезпечує



збіг прогнозованих та фактичних негативних оцінок віку першого отелення у 65,7 % випадків.

3. Найціннішими для прогнозування та інтерпретації залежностей віку першого отелення від екстер'єру телиць є такі ознаки як індекс розтягнутості й коса довжина тулуба в 365-денному віці. Ступінь їхнього впливу на передбачений вік першого отелення максимальний серед усіх предикторів і становить  $\eta^2=16,46\%$  і  $\eta^2=9,10\%$  відповідно.

### Бібліографічний список

1. Mohd Nor N., Steeneveld W., Mourits M., Hogeveen H. The optimal number of heifer calves to be reared as dairy replacements. *J. Dairy Sci.* 2015. Vol. 98. № 2. P. 861–871.

2. Шабля В.П., Задорожна І.Ю., Шабля П.В. Порівняльна оцінка впливу вирощування телиць і годівлі корів на надої. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво»*. Суми, Вип. 1-2 (36-37). С. 107-113.

3. van der Heide E. M. M., Veerkamp R. F., van Pelt M. L., Kamphuis C., Ducro B. J. Predicting survival in dairy cattle by combining genomic breeding values and phenotypic information *J. Dairy Sci.* 2020. Vol. 103. № 1. P. 556–571. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16626>.

4. van Pelt, M., G. De Jong, R. Veerkamp. Changes in the genetic level and the effects of age at first calving and milk production on survival during the first lactation over the last 25 years. *Animal.* 2016. V. 10. P. 2043–2050. URL: <https://doi.org/10.1017/S1751731116001282> (дата звернення 15.06.2022).

5. Boulton A., Rushton J., Wathes D. An empirical analysis of the cost of rearing dairy heifers from birth to first calving and the time taken to repay these costs. *Animal.* 2017. V. 11(8). P. 1-9. URL: <https://doi.org/10.1017/S1751731117000064> (дата звернення 15.06.2022)

6. Данець Л. М., Ткачова І. В., Шабля В. П. Вплив живої маси під час вирощування на тривалість продуктивного використання корів української чорнорябої молочної породи різної кровності за голштинською породою. *Тваринництво та технології харчових продуктів*. 2020. Т. 11. № 2. С. 16-27.

7. Кулешов П. Н. Выбор лошадей, скота, овец и свиней по экстерьеру (и при содействии индексов сложения, оценки по шкалам и стандартов: производительности, живого и убойного веса). Москва-Ленинград, 1926. 195 с.

8. Fenlon C., O'Grady L., Mee J. F., Butler S. T., Doherty M. L., Dunnington J. A comparison of 4 predictive models of calving assistance and difficulty in dairy heifers and cows. *J. Dairy Sci.* 2017. Vol. 100. № 12. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12931> (дата звернення 15.06.2022).

9. Лискун Є. Екстер'єр сільськогосподарських тварин. Харків : Радянський селянин, 1930. 298 с.

10. Gabris S. Rozmery a forma tela pinzgauskych krav vatahu k dojevasti. *Zivocisna vyroda.* 1965. V. 10. № 1. P. 11-18.

11. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ : Подход с использованием ЭВМ / пер. с англ. Москва: Наука, 1982. 488 с.

12. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ (кн. 1). Москва : Финансы и статистика, 1986. 366 с.

13. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ (кн. 2). Москва : Финансы и статистика, 1987. 351 с.

14. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. Вып. 1. Москва : Финансы и статистика, 1982. 317 с.



15. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. Вып. 2. Москва : Финансы и статистика, 1982. 239 с.
16. Ивахненко А. Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев : Техника, 1975. 312 с.
17. Спосіб передбачення молочної продуктивності телиць за екстер'єром : декл. пат. 29989 А Україна, А01К 67/02. / В. П. Шабля. № 97125740; заявл. 01.12.1997; опубл. 15.11.2000; Бюл. № 6-II.
18. Шабля В. П., Шабля П. В. Комп'ютерна економетрична модель технології скотарства. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН України*. Харків, 2016. № 115. С. 242-252.

### References

1. Mohd Nor, N., Steeneveld, W., Mourits, M., & Hogeveen, H. (2015). The optimal number of heifer calves to be reared as dairy replacements. *J. Dairy Sci.*, 98(2), 861–871.
2. Shablia, V. P., Zadorozhna, I. Yu., & Shablia, P. V. (2019). Porivnialna otsinka vplyvu vyroshchuvannia telyts i hodivli koriv na nadoi. [Comparative assessment of the impact of growing heifers and feeding of cows on milk yield]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Tvarynnytstvo»*. Sumy, 1-2 (36-37), 107-113 [in Ukrainian].
3. van der Heide, E. M. M., Veerkamp, R. F., van Pelt, M. L., Kamphuis, C., & Ducro, B. J. (2020). Predicting survival in dairy cattle by combining genomic breeding values and phenotypic information *J. Dairy Sci.*, 103(1), 556–571. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16626>
4. van Pelt, M., G. De Jong, & R. Veerkamp.(2016). Changes in the genetic level and the effects of age at first calving and milk production on survival during the first lactation over the last 25 years. *Animal*, 10, 2043–2050. URL: <https://doi.org/10.1017/S1751731116001282>
5. Boulton, A., Rushton, J., & Wathes, D. (2017). An empirical analysis of the cost of rearing dairy heifers from birth to first calving and the time taken to repay these costs. *Animal*, 11(8), 1-9. URL: <https://doi.org/10.1017/S1751731117000064>
6. Danets, L. M., Tkachova, I. V., & Shablia, V. P. (2020). Vplyv zhyvoi masy pid chas vyroshchuvannia na tryvalist produktyvnoho vykorystannia koriv ukrainskoi chorno-riaboi molochnoi porody riznoi krovnosti za holshtynskoiu porodoiu. [Influence of live weight during raising on the duration of productive use of cows of Ukrainian black-and-white dairy breed of different blood by Holstein breed]. *Tvarynnytstvo ta tekhnologii kharchovykh produktiv*, 11(2), 16-27 [in Ukrainian].
7. Kuleshov, P. N. (1926). *Vybor loshadej, skota, ovec i svinej po jekster'jeru (i pri sodejstvii indeksiv slozhenija, ocenki po shkalam i standartov: proizvoditel'nosti, zhivogo i ubojnogo vesa)*. [Selection of horses, cattle, sheep and pigs by exterior (and assisted by addition indexes, scores and standards: performance, live and slaughter weight)]. Moskva-Leningrad [in Russian].
8. Fenlon, C., O'Grady, L., Mee, J. F., Butler, S. T., Doherty, M. L., & Dunne, J. (2017). A comparison of 4 predictive models of calving assistance and difficulty in dairy heifers and cows. *J. Dairy Sci.*, 100(12), 1–13. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12931>
9. Lyskun, Ye. (1930). *Ekster'ier silskohospodarskykh tvaryn*. [Exterior of farm animals]. Kharkiv : Radianskyi selianyn [in Ukrainian].
10. Gabris, S. (1965). Rozmery a forma tela pinzgauskych krav vatahu k dojevasti. *Zivocisna vyroda*. 10(1), 11-18.



11. Afifi, A., & Jejen, S. (1982). *Statisticheskij analiz: Podhod s ispol'zovaniem JeVM* [Statistical Analysis: A Computer Based Approach]. : Per. s angl. Moscow : Nauka [in Russian].
12. Drejper, N., & Smit, G. (1986). *Prikladnoj regressionnyj analiz (kniga 1)*. [Applied regression analysis (book 1)]. Moscow: Finansy i statistika [in Russian].
13. Drejper, N., & Smit, G. (1987). *Prikladnoj regressionnyj analiz (kniga 2)*. [Applied regression analysis (book 2)]. Moscow: Finansy i statistika [in Russian].
14. Mosteller, F., & T'juki, Dzh. (1982). *Analiz dannyh i regressija* [Data analysis and regression. Release 1]. Moscow: Finansy i statistika, 1 [in Russian].
15. Mosteller, F., & T'juki, Dzh. (1982). *Analiz dannyh i regressija* [Data analysis and regression. Release 2]. Moscow: Finansy i statistika, 2 [in Russian].
16. Ivahnenko, A. G. (1975). *Dolgosrochnoe prognozirovanie i upravlenie slozhnymi sistemami* [Long-term forecasting and management of complex systems]. Kiev: Tehnika [in Russian].
17. Shablia, V. P. (1997). Patent 29989 Ukraina.
18. Shablia, V. P., & Shablia, P. V. (2016). Komp'uterna ekonometrychna model tekhnolohii skotarstva. [Computer econometric model of livestock technology]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu tvarynnytstva NAAN* [Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Animal Science of the National Academy of Agrarian Science of Ukraine]. Kharkiv, 115, 242-252 [in Ukrainian].

#### EXTERNAL INDICATION AGE MODELS FOR FIRST CALVING

*Shablya V., State Biotechnological University.*

*The results of predicting the age of the first calving using multiple regression analysis, based on exterior measurements and body structure indices of heifers, determined twice - at the age of about 100 days and about a year are shown. The models are designed using both linear and nonlinear components. The developed models are considered in terms of their adequacy and reliability. To improve the quality of the models, the "folding knife" method was tested. Verification of models was carried out by methods of sliding control, division of the sample into educational and examination samples and selection simulation. The most important dependencies are highlighted and analyzed. Based on the exterior indicators of heifers around 100 days of age, we obtained a model for predicting the age of the first calving, which was unreliable ( $P = 0.91$ ) and characterized by a low reduced coefficient of determination ( $R^2_{adj} = 0.21$ ) and a large standard prediction error ( $SE = 104.75$  days). The final parameters of the model of predicting the age of the first calving based on exterior indicators determined at an age of about one year are characterized by high reliability ( $p > 0.999$ ), good determination ( $R^2_{adj} = 0.58$ ) and quite acceptable differences between predicted and actual values of the age at first calving ( $SE = 77.01$  days). The most adequate is the model based on a double exterior study. It is advisable to use this model in the version of the "folding knife" for a more accurate and complete assessment of animals at an early age. This model provides a coincidence of predicted and actual negative estimates of the age of the first calving in 65.7% of cases. The most valuable features for predicting and interpreting the dependence of the age of the first calving on the exterior of heifers are such as the stretch index and oblique body length at 365 days of age. The degree of their influence on the expected age of the first calving is the maximum among all predictors and is  $\eta^2 = 16.46\%$  and  $\eta^2 = 9.10\%$ , respectively.*

*Keywords: prediction, age at first calving, exterior traits, model, regression.*