

ОЦІНКА ПЛЕМІННОЇ ЦІННОСТІ БУГАЇВ-ПЛІДНИКІВ І КОРІВ МОЛОЧНИХ ПОРІД

В. О. Данишин¹, С. Ю. Рубан², В. Ю. Афанасенко³
 itanimalnaan@gmail.com

¹Інститут тваринництва НААН,
 смт. Кулиничі, Харківський р-н., Харківська обл., 62404, Україна

²Інститут розведення і генетики тварин ім. М. В. Зубця НААН,
 вул. Погребняка, 1, с. Чубинське, Бориспільський р-н, Київська обл., 08321, Україна

³Національний Університет біоресурсів і природокористування України,
 вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

Стаття присвячена питанням оцінки племінної цінності бугаїв-плідників і корів в сучасному молочному скотарстві. Розроблено найбільш прийнятну для умов України модель оцінки бугаїв-плідників молочного і комбінованого напрямів продуктивності методом BLUP Animal Model. Проведено оцінку селекційно-генетичних параметрів, значення яких свідчать про можливість ведення успішної селекційної роботи як за показниками молочної продуктивності, так і за показниками відтворення і продуктивного довголіття. Значення генетичних кореляцій між економічно важливими ознаками вказують про необхідність включення показників відтворення та продуктивного довголіття в селекційний індекс, за яким проводять добір бугаїв-плідників.

Отримані генетичні тренди свідчать про те, що з 2007 р. спостерігається тенденція підвищення генетичного потенціалу за молочною продуктивністю української чорно-рябої молочної, червоної та деякою мірою голштинської порід, тоді як в українській червоно-рябій молочній породі простежується зворотня тенденція. Водночас в українській чорно-рябій молочній породі у цей період спостерігається стійке генетично обумовлене зниження рівня відтворення, тоді як в голштинській та українській червоно-рябій молочній породі спостерігається певне генетично обумовлене зниження рівня міжотельного періоду. Що стосується показника продуктивного довголіття, то, починаючи з 2004 р., по голштинській, а з 2007 р. — по українській червоно-рябій та червоній молочних породах простежується позитивна тенденція збільшення цього показника, тоді як для української чорно-рябої молочної породи після підвищення продуктивного довголіття до періоду 2006–2009 рр. відбулося зниження цієї ознаки.

Ключові слова: МОЛОЧНА ХУДОБА, ПЛЕМІННА ЦІННІСТЬ, BLUP, «МОДЕЛЬ ТВАРИНИ», ГЕНЕТИЧНИЙ ТРЕНД

EVALUATION OF BREEDING VALUES OF SIRES AND COWS IN DAIRY BREEDS

V. O. Danshin¹, S. Y. Ruban², V. Y. Afanasenko³
 itanimalnaan@gmail.com

¹Institute of animal science NAAS,
 v. Kulynychi, Kharkiv district, Kharkiv region, 62404, Ukraine

²M. V. Zubets Institute of animal breeding and genetics NAAS,
 1 Pogrebniaka str., Chubynske village, Boryspil district, Kyiv region, 08321, Ukraine

³National University of life and environmental sciences of Ukraine,
 15 Heroyiv Oborony str., Kyiv 03041, Ukraine

The article is devoted to questions of evaluation of breeding values of sires and cows in modern dairy cattle. The most appropriate for the conditions of the Ukraine model of evaluation of dairy and dual-purpose sires with BLUP Animal Model has been developed. Estimates of genetic parameters shows a possibility of successful breeding work for milk production traits as well as reproduction and productive longevity. Values of genetic correlations between economically important traits point out to necessity of including reproduction and productive longevity traits into selection index used to select sires.

The obtained genetics trends give evidence that since 2007 the tendency of increase of genetic potential of Ukrainian Black-and-White and, to some extent, Holstein breeds in dairy productivity is observed, while for

Ukrainian Red-and-White breed there is inverse tendency. Withal in Ukrainian Black-and-White dairy breed during this period the stable genetically grounded decrease of level of reproduction is observed, while in Holstein and Red-and-White breeds this trait stays at approximately the same level and in Ukrainian Red-and-White dairy breed there is some genetically grounded decrease of calving interval. As to productive longevity since 2004 in Holstein and since 2007 in Ukrainian Red-and-White and Red dairy breeds there is positive tendency of increase of this trait while in Black-and-White breed after increase of productive longevity prior to 2006–2009 period decrease of this trait occurred.

Keywords: DAIRY CATTLE, BREEDING VALUE, BLUP, ANIMAL MODEL, GENETIC TREND

ОЦЕНКА ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И КОРОВ МОЛОЧНЫХ ПОРОД

В. А. Данишин¹, С. Ю. Рубан², В. Ю. Афанасенко³
itanimalnaan@gmail.com

¹Институт животноводства НААН,

пгт. Кулинич, Харьковский р-н., Харьковская обл., 62404, Украина

²Институт разведения и генетики животных им. М. В. Зубца НААН,

ул. Погребняка, 1, с. Чубинское, Бориспольский р-н, Киевская обл., 08321, Украина

³Национальный Университет биоресурсов и природопользования Украины,
ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина

Статья посвящена вопросам оценки племенной ценности быков-производителей и коров в современном молочном скотоводстве. Разработана наиболее приемлемая для условий Украины модель оценки быков-производителей молочного и комбинированного направлений продуктивности методом BLUP Animal Model. Проведена оценка селекционно-генетических параметров, значения которых свидетельствуют о возможности ведения успешной селекционной работы как по показателям молочной продуктивности, так и по показателям воспроизводства и продуктивного долголетия. Значения генетических корреляций между экономически важными признаками указывают на необходимость включения показателей воспроизводства и продуктивного долголетия в селекционный индекс, по которому проводится отбор быков-производителей.

Полученные генетические тренды свидетельствуют о том, что с 2007 г. наблюдается тенденция повышения генетического потенциала по молочной продуктивности украинской черно-пестрой молочной, красной и, в некоторой степени, голштинской пород, в то время как в украинской красно-пестрой молочной породе имеет место обратная тенденция. В то же время в украинской черно-пестрой молочной породе в этот период наблюдается стойкое генетически обусловленное снижение уровня воспроизводства, тогда как в голштинской и украинской красной породах этот показатель остается на приблизительно одном и том же уровне, а в украинской красно-пестрой молочной породе имеет место некоторое генетически обусловленное снижение уровня межотельного периода. Что касается показателя продуктивного долголетия, то, начиная с 2004 г. в голштинской, а с 2007 г. — в украинской красно-пестрой и красной молочных породах имеет место позитивная тенденция увеличения этого показателя, в то время как относительно черно-пестрой породы после повышения продуктивного долголетия до периода 2006–2009 гг. произошло снижение этого признака.

Ключевые слова: МОЛОЧНЫЙ СКОТ, ПЛЕМЕННОСТЬ, BLUP, «МОДЕЛЬ ЖИВОТНОГО», ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТРЕНД

Селекційно-племінна робота відіграє значну роль у покращенні молочної худоби. Так, за даними В. Т. McDaniel [1], у розвинутих країнах світу біля 75 % підвищення молочної продуктивності корів, що відбувалось протягом останніх кількох десятиріч, обумовлене генетичним покращенням, тобто є наслідком ціле-

спрямованої селекційної роботи. На сьогодні в Україні на основі використання генофонду найкращих за рівнем продуктивності світових порід, передусім голштинської, створено низку нових вітчизняних порід молочної худоби. Подальше генетичне покращення новостворених порід потребує модернізації всіх елементів

селекційно-племінної роботи, зокрема системи оцінки генетичної цінності.

Історично першим методом оцінки бугаїв-плідників був метод порівняння дочок з матерями (*Daughter-Dam Comparison*), який використовувався з 1920-х рр. На початку 1960-х рр. його замінив метод порівняння з одностадницями (*Herdmate Comparison*), а на початку 1970-х рр. — модифікований метод порівняння з ровесницями (*Modified Contemporary Comparison*, MCC). Метод розрахункової племінної цінності (РПЦ), який у наш час використовується в Україні для оцінки бугаїв-плідників молочних і комбінованих порід, є однією з модифікацій методу порівняння з ровесницями і, вочевидь, морально застарів. Разом з тим, ще у 1966 р. відомий американський вчений Ч. Р. Хендерсон запропонував процедуру змішаної лінійної моделі, яка дозволяла оцінювати бугаїв-плідників з одночасним корегуванням показників продуктивності на фіксовані середовищні фактори [2]. Процедура мала властивості найкращого лінійного незміщеного прогнозу (*Best Linear Unbiased Prediction*, BLUP) і отримала назву «прямого порівняння плідників». Її почали використовувати у північно-східному регіоні США. Перші результати (*Northeast AI Sire Comparison*, NEAISC) були опубліковані у 1970 р. [3].

У першій половині 1970-х рр. завдяки роботам Ч. Р. Хендерсона [4–7] метод найкращого лінійного незміщеного прогнозу продовжував вдосконалюватись, і згодом його почали використовувати для оцінки племінної цінності всіх основних видів сільськогосподарських тварин, спочатку у вигляді «моделі плідника» (*Sire Model*), а пізніше — більш потужної «моделі тварини» (*Animal Model*).

Оцінки племінної цінності, отримані на основі використання «моделі тварини», мають такі основні властивості [8]:

- оцінки племінної цінності скориговані на всі фіксовані фактори, які входять у модель;
- при проведенні оцінки враховуються всі родинні зв'язки між тваринами;
- внесок потомства в оцінку племінної цінності кожного з батьків скорегований на племінну цінність другого батька, що особливо важливо при наявності систематичного підбору;

— оцінка племінної цінності майбутнього потомства дорівнює середній оцінці племінної цінності батьків;

— оцінки племінної цінності кожного покоління охоплюють генетичний прогрес, досягнутий у попередніх поколіннях, починаючи з базової популяції (популяцій), тобто тварин, походження яких невідоме, тому генетичні тренди можуть бути отримані на основі середніх оцінок племінної цінності за роками народження;

— «модель тварини» дозволяє враховувати вплив інбридингу на адитивну генетичну мінливість і нівелювати вплив інбредної депресії на величину ознаки, а також враховувати інші генетичні фактори — такі, як ефект гетерозису (при міжпородному схрещуванні), материнський ефект, неадитивні генетичні ефекти тощо.

Слід зазначити, що на сьогодні у молочному скотарстві низки країн світу практично відбувся перехід від традиційної системи оцінки бугаїв-плідників за потомством до системи геномної селекції, при якій молодих бугаївців відбирають для відтворення у ранньому віці на основі так званої геномної оцінки племінної цінності (*Genomic Breeding Value*, GBV) [9, 10]. Тим не менше, метод BLUP продовжує використовуватись на практиці і при цій системі, але у модифікованій формі як геномний BLUP [11, 12, 13].

На рис. 1 наведено типову схему «моделі тварини» для оцінки племінної цінності бугаїв-плідників і корів у молочному скотарстві.

Практичні результати від використання «моделі тварини» в селекції молочної худоби можна продемонструвати на прикладі голштинської породи США. У США «модель тварини» була впроваджена в системі генетичної оцінки бугаїв-плідників і корів молочних порід у 1989 р. і використовується донині [14, 15]. У поєднанні з ефективними селекційними програмами, її використання дозволило досягти досить значного рівня генетичного прогресу, перш за все за показниками молочної продуктивності (якщо у період з 1957 по 1989 р. середньорічний генетичний прогрес за надоем молока був на рівні 125 кг, то у період з 1989 по 2013 р. він становив 167 кг, тобто на 33,6 % більше), а згодом, з 1994 р., після включення до індексу загальної економічної цінності (*Net*

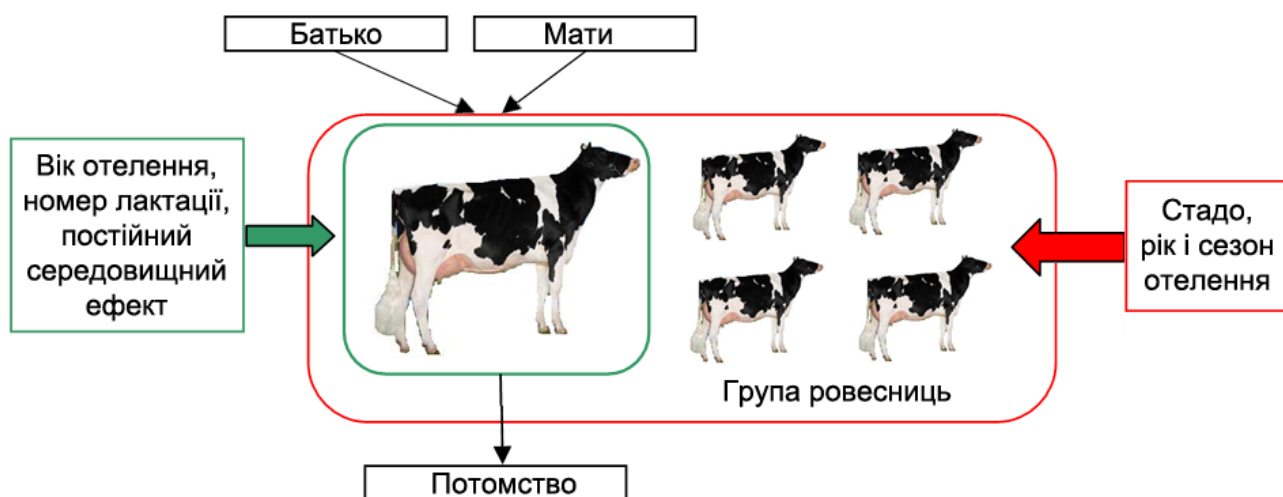


Рис. 1. Генетичні і середовищні фактори, вплив яких враховується при оцінюванні племінної цінності бугаїв-плідників і корів молочних порід при використанні «моделі тварини»

Fig. 1. Genetic and environmental factors, influence of which is accounted for in evaluation of breeding values of sires and cows in dairy breeds using Animal Model

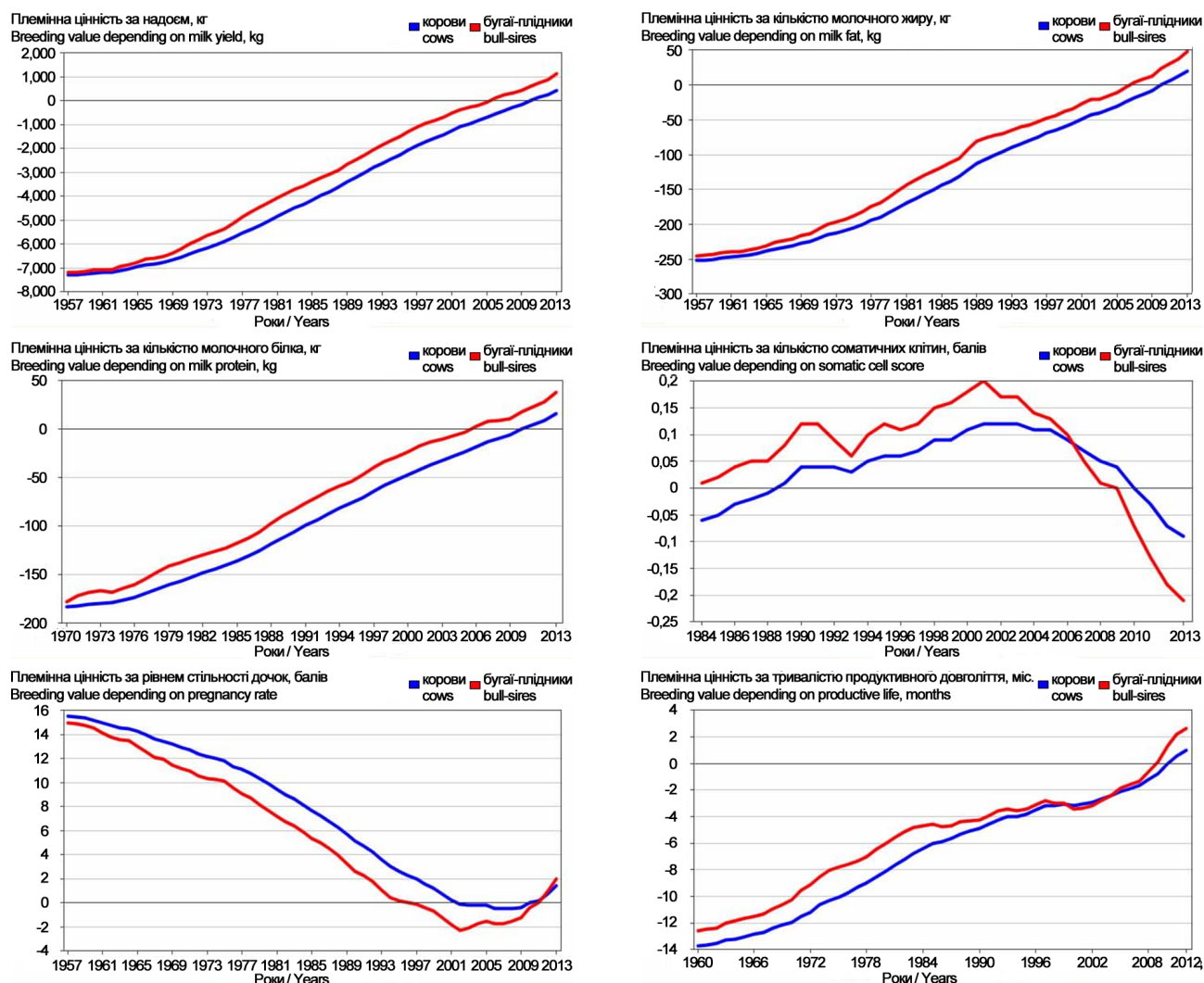


Рис. 2. Генетичні тренди за надоем, кількістю молочного жиру і білка, рівнем соматичних клітин в молоці, рівнем тільності і продуктивним доволіттям в голштинській породі США [16]

Fig. 2. Genetic trends for milk yield, milk fat and protein, somatic cell score in milk, pregnancy rate, and productive life in Holstein breed of USA [16]

Merit) — і за іншими ознаками, такими, як якість молока (концентрація соматичних клітин у молоці), продуктивне довголіття, рівень відтворення тощо (рис. 2).

Загальний економічний ефект (збільшення величини економічного індексу *Net Merit*) від впровадження «моделі тварини» в системі генетичної оцінки молочної худоби США становив 4 % [17].

Матеріали і методи

Дослідження проводили з використанням масиву даних, сформованого на основі бази даних «Орсек» Інституту розведення і генетики тварин НААН, який містить інформацію про 92594 корів (264316 лактацій) основних молочних порід України з 51 господарства. Нами проведено оцінювання племінної цінності бугаїв-плідників та корів за ознаками молочної продуктивності: надій (кг), вміст жиру (%), вміст білка (%), кількість молочного жиру (кг), кількість молочного білка (кг), а також відтворення (міжотельний період) та продуктивного довголіття.

Оцінювання проводилося з використанням багатомірної BLUP «моделі тварини»:

$$y = Xb + Z_1a + Z_2p + e,$$

де y — вектор спостережень (значення ознак, за якими проводять оцінку);

X — матриця, що пов'язує спостереження з градаціями фіксованих середовищних ефектів;

b — вектор фіксованих середовищних ефектів: група ровесниць (сполучення стадо \times рік \times сезон отелення), вік отелення, номер лактації;

Z_1 — матриця, що пов'язує спостереження за тваринами;

a — вектор племінних цінностей бугаїв-плідників і корів;

Z_2 — матриця, що пов'язує спостереження з постійними середовищними ефектами;

p — вектор постійних середовищних ефектів корів;

e — вектор випадкових відхилень (залишків).

Для розрахунку оцінок племінної цінності бугаїв-плідників і корів розв'язували систему рівнянь змішаної лінійної моделі:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z_1 & X'Z_2 \\ Z_1'X & Z_1'Z_1 + G^{-1} \otimes A^{-1} & Z_1'Z_2 \\ Z_2'X & Z_2'Z_1 & Z_2'Z_2 + P^{-1} \otimes I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z_1'y \\ Z_2'y \end{bmatrix}$$

де G^{-1} — зворотна матриця адитивних генетичних дисперсій і коваріанс між ознаками;

A^{-1} — зворотна матриця спорідненості між тваринами;

P^{-1} — зворотна матриця дисперсій і коваріанс постійних середовищних ефектів між ознаками;

\otimes — оператор прямого матричного множення.

Компоненти дисперсій і коваріанс розраховували з використанням методу обмеженої максимально правдоподібності (REML). При проведенні розрахунків застосовували пакет програм BLUPF90 [18]. В цілому проведено оцінку племінної цінності 4014 бугаїв-плідників і 439485 корів.

Результати й обговорення

У таблиці 1 наведено значення ознак молочної продуктивності (надій за 305 днів лактації, кількість молочного жиру та білка за 305 днів лактації), показники відтворення (міжотельний період) та продуктивне довголіття корів чотирьох порід.

Найбільшим рівнем молочної продуктивності характеризуються корови голштинської породи. Водночас тварини цієї породи, порівняно з іншими породами, мають найнижчий рівень відтворення та продуктивного довголіття.

Серед порід вітчизняної селекції найбільші надої мають українська чорно-ряба та червоно-ряба молочна породи. Вони мають також більшу кількість молочного білка. Лише за рівнем молочного жиру українська червона порода дещо перевищує відповідний показник української червоно-рябої молочної породи.

Середні значення економічно важливих ознак в розрізі порід
Means of economically important traits across the breeds

Ознака Trait	Порода / Breed			
	Голштинська Holstein	Українська чорно-ряба молочна Ukrainian Black-and-White dairy	Українська червоно-ряба молочна Ukrainian Red-and-White dairy	Українська червона молочна Ukrainian Red dairy
Число корів / Number of cows	18710	39762	16367	13147
Надій, кг Milk yield, kg	5490	4544	4520	4344
Молочний жир, кг Milk fat, kg	209,5	169,7	165,3	167,8
Молочний білок, кг Milk protein, kg	214,2	158,3	143,5	141,1
Міжотельний період, днів Calving interval, days	434,6	408,1	401,4	386,6
Продуктивне довголіття, днів Productive longevity, days	1084,5	1264,3	1234,0	1340,5

Слід також зазначити, що українська червона молочна порода характеризується кращим рівнем відтворення і продуктивного довголіття, ніж українські чорно-ряба та червоно-ряба молочні породи.

Оцінки компонент дисперсій і коваріанс та селекційно-генетичні параметри (успадкованість, повторюваність, генетичні кореляції) наведено в таблицях 2 і 3.

Отримані дані свідчать про те, що найбільшим рівнем успадкованості та повторюваності надою за 305 днів лактації та кількості молочного жиру характеризуються українська червоно-ряба та червона молочні породи, а найменшим — українська чорно-ряба молочна порода, тоді як голштинська займає проміжне положення. За міжотельним періодом найбільшу успадкованість та повторюваність мають тварини української чорно-рябої молочної породи. Щодо продуктивного довголіття, то суттєвих відмінностей між породами за рівнем успадкованості цього показника не спостерігаємо.

Оцінки генетичних кореляцій між ознаками при деяких різницях між породами в цілому свідчать про суттєвий несприятливий зв'язок між молочною продуктивністю та відтворенням корів, тоді як продуктивне довголіття слабо корелює як з молочною продуктивністю, так і з міжотельним періодом.

На основі отриманих оцінок племінної цінності побудовано генетичні тренди надою

молока, кількості молочного жиру, молочного білка, міжотельного періоду та продуктивного довголіття чотирьох досліджуваних порід за період з 2000 по 2015 р. (рис. 3–7).

Отримані генетичні тренди свідчать про те, що з 2007 р. спостерігається тенденція підвищення генетичного потенціалу за надоєм української чорно-рябої, червоної та деякою мірою голштинської породи, тоді як в українській червоно-рябій молочній породі простежується зворотня тенденція.

Аналогічні тенденції стосуються кількості молочного жиру та білка.

Водночас в українській чорно-рябій молочній породі у цей період спостерігається стійке генетично обумовлене зниження рівня відтворення, тоді як в голштинській та українській червоній породах цей показник залишається на приблизно одному й тому самому рівні, а в українській червоно-рябій молочній породі спостерігається певне генетично обумовлене зниження рівня міжотельного періоду.

Що стосується показника продуктивного довголіття, то, починаючи з 2004 р. по голштинській, а з 2007 р. — по українській червоно-рябій та червоній молочних породах простежується позитивна тенденція збільшення цього показника, тоді як відносно української чорно-рябої молочної породи після підвищення продуктивного довголіття до періоду 2006–2009 рр. відбулося зниження цієї ознаки.

Таблиця 2

Оцінки успадкованості та повторюваності
Estimates of heritability and repeatability

Ознака Trait	Оцінки компонент дисперсії Estimate of variance component			h ²	r _w
	s ² _a	s ² _p	s ² _e		
Голштинська порода Holstein breed					
Надій Milk yield	309700	59960	987200	0,23	0,27
Молочний жир Milk fat	413	78	1424	0,22	0,26
Молочний білок Milk protein	288	129	980	0,21	0,30
Міжотельний період Calving interval	451	273	5604	0,07	0,11
Продуктивне довголіття Productive longevity	95782	—	838600	0,10	—
Українська чорно-ряба молочна порода Ukrainian Black-and-White dairy breed					
Надій Milk yield	248200	58350	965400	0,20	0,24
Молочний жир Milk fat	404	89	1567	0,20	0,24
Молочний білок Milk protein	275	134	903	0,21	0,31
Міжотельний період Calving interval	477	265	5450	0,08	0,12
Продуктивне довголіття Productive longevity	93988	—	798400	0,11	—
Українська червоно-ряба молочна порода Ukrainian Red-and-White dairy breed					
Надій Milk yield	375830	60385	972300	0,27	0,31
Молочний жир Milk fat	420	87	920	0,29	0,36
Молочний білок Milk protein	282	120	961	0,21	0,29
Міжотельний період Calving interval	405	235	5660	0,06	0,10
Продуктивне довголіття Productive longevity	94678	—	804850	0,11	—
Українська червона молочна порода Ukrainian Red dairy breed					
Надій Milk yield	364958	50375	949300	0,27	0,30
Молочний жир Milk fat	401	72	1288	0,23	0,27
Молочний білок Milk protein	272	136	967	0,20	0,30
Міжотельний період Calving interval	340	262	5712	0,05	0,10
Продуктивне довголіття Productive longevity	92947	—	839880	0,10	—

Генетичні кореляції між ознаками в розрізі порід
Genetic correlations across breeds

Ознака Trait	Генетична кореляція Genetic correlation				
Голштинська порода Holstein breed					
Надій Milk yield	1				
Молочний жир Milk fat	0,95	1			
Молочний білок Milk protein	0,75	0,74	1		
Міжотельний період Calving interval	0,30	0,29	0,19	1	
Продуктивне довголіття Productive longevity	0,01	0,05	0,06	−0,01	1
Українська чорно-ряба молочна порода Ukrainian Black-and-White dairy breed					
Надій Milk yield	1				
Молочний жир Milk fat	0,97	1			
Молочний білок Milk protein	0,81	0,80	1		
Міжотельний період Calving interval	0,28	0,25	0,21	1	
Продуктивне довголіття Productive longevity	0,05	0,03	0,06	0,02	1
Українська червоно-ряба молочна порода Ukrainian Red-and-White dairy breed					
Надій Milk yield	1				
Молочний жир Milk fat	0,92	1			
Молочний білок Milk protein	0,77	0,79	1		
Міжотельний період Calving interval	0,31	0,24	0,18	1	
Продуктивне довголіття Productive longevity	0,07	0,07	0,08	0,03	1
Українська червона молочна порода Ukrainian Red dairy breed					
Надій Milk yield	1				
Молочний жир Milk fat	0,93	1			
Молочний білок Milk protein	0,79	0,75	1		
Міжотельний період Calving interval	0,29	0,27	0,23	1	
Продуктивне довголіття Productive longevity	0,04	0,06	0,07	0,01	1

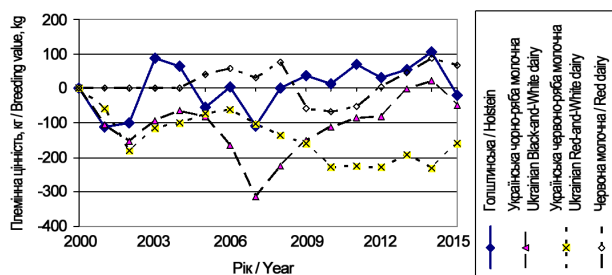


Рис. 3. Генетичні тренди надою за 305 днів лактації по чотирьох молочних породах України

Fig. 3. Genetic trends for milk yield during 305 days of lactation in four Ukrainian dairy breeds

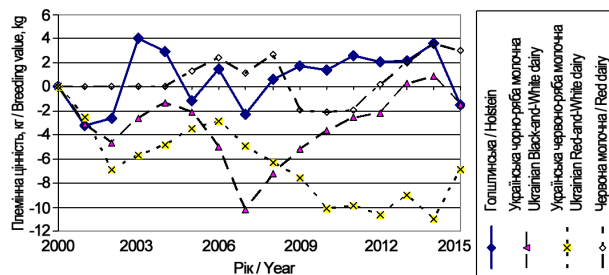


Рис. 4. Генетичні тренди кількості молочного жиру за 305 днів лактації по чотирьох молочних породах України

Fig. 4. Genetic trends for milk fat during 305 days of lactation in four dairy breeds of the Ukraine

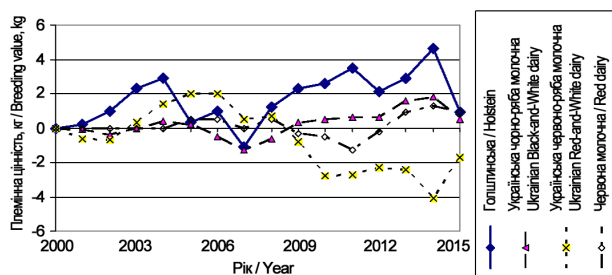


Рис. 5. Генетичні тренди кількості молочного білка за 305 днів лактації по чотирьох молочних породах України

Fig. 5. Genetic trends for milk protein during 305 days of lactation in four dairy breeds of the Ukraine

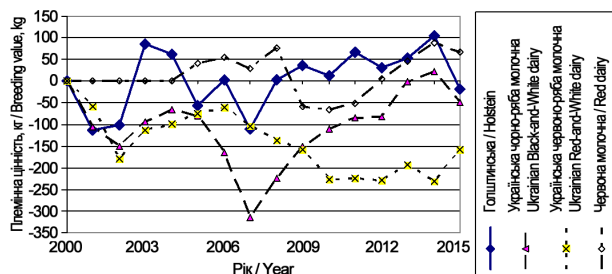


Рис. 6. Генетичні тренди міжотельного періоду по чотирьох молочних породах України

Fig. 6. Genetic trends for calving interval in four dairy breeds of the Ukraine

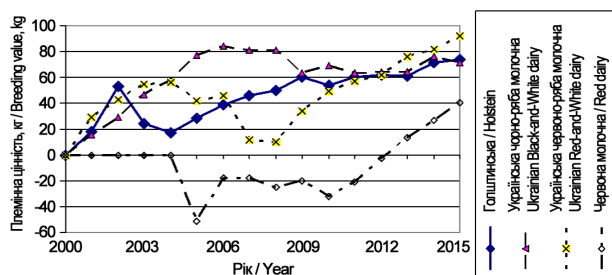


Рис. 7. Генетичні тренди продуктивного довголіття по чотирьох молочних породах України

Fig. 7. Genetic trends for productive longevity in four dairy breeds of the Ukraine

Висновки

1. Розроблено найбільш прийнятну для умов України модель оцінки бугаїв-плідників молочного і комбінованого напрямів продуктивності методом BLUP *Animal Model*.

2. Оцінки селекційно-генетичних параметрів свідчать про можливість ведення успішної селекційної роботи як за показниками молочної продуктивності, так і за показниками відтворення і продуктивного довголіття.

3. Значення генетичних кореляцій між економічно важливими ознаками вказують на необхідність включення показників відтворення та продуктивного довголіття в селекційний індекс, за яким проводиться добір бугаїв-плідників.

4. Отримані генетичні тренди свідчать про те, що з 2007 р. спостерігається тенденція підвищення генетичного потенціалу за молочною продуктивністю української чорно-рябії, червоної та деякою мірою голштинської порід, тоді як в українській червоно-рябій молочній породі простежується зворотна тенденція.

Перспективи подальших досліджень.

Доцільно провести оцінку плеїнної цінності бугаїв-плідників і корів комбінованих напрямів продуктивності.

1. McDaniel B. T. Selection: concepts. In: *Encyclopedia of dairy sciences*. 2nd edition. Elsevier Ltd., 2011, pp. 646–678.

2. Henderson C. R. Sire evaluation method which accounts for unknown genetic and environmental trends, herd differences, seasons, age effects, and differential culling. Proc. National Tech. Symp. on Estimating Breeding Values of Dairy Sires and Cows, Washington, DC, 1966, 12 p.

3. Everett R. W. and Keown J. F. Mixed model sire evaluation with dairy cattle — experience and genetic gain. *J. Anim. Sci.*, 1984, vol. 59, pp. 529–541.
4. Henderson C. R. Sire evaluation and genetic trends. Proc. of the Anim. Breeding and Genetics Symp. in Honor of Dr. J. L. Lush, A.S.A.S. and A.D.S.A., Champaign, IL, 1973, pp. 10–41.
5. Henderson C. R. General flexibility of linear model techniques for sire evaluation. *J. Dairy Sci.*, 1974, vol. 57, pp. 963–972.
6. Henderson C. R. Rapid method for computing the inverse of a relationship matrix. *J. Dairy Sci.*, 1975, vol. 58, pp. 1727–1730.
7. Henderson C. R. A simple method for computing the inverse of a numerator relationship matrix used in prediction of breeding values. *Biometrics*, 1976, vol. 32, pp. 69–83.
8. Danshin V. A. *Evaluation of genetic value of animals*. Kyiv, Agrama Nauka, 2008, 179 p. (in Russian)
9. Ruban S., Danshin V., Fedota O. World experience and perspectives of genomic selection in dairy cattle. *The Animal Biology*, 2016, vol. 18, no. 1, pp. 117–125. (in Ukrainian)
10. Ducrocq V., Wiggans G. Genetic improvement in dairy cattle. In: *The genetics of cattle*. 2nd ed. Ed. by D. J. Garrick, A. Ruvinsky. CABI International, 2015, pp. 371–396.
11. VanRaden P. M. Efficient methods to compute genomic predictions. *J. Dairy Sci.*, 2008, vol. 91, pp. 4414–4423.
12. Legarra A., Christensen O. F., Aguilar I., Misztal I. Single Step, a general approach for genomic selection. *Livest. Sci.*, 2014, vol. 166, pp. 54–65.
13. Garrick D. J., Fernando R. Genomic prediction and genome-wide association studies in beef and dairy cattle. In: *The genetics of cattle*. 2nd ed. Ed. by D. J. Garrick, A. Ruvinsky. CABI International, 2015, pp. 474–501.
14. VanRaden P. M., Wiggans G. R. Derivation, calculation, and use of national Animal Model Information. *J. Dairy Sci.*, 1991, vol. 74, pp. 2737–2746.
15. Description of national genetic evaluation systems, United States of America. Production (milk, fat, protein). Interbull Code of Practice. Status as of., 2014-09-02, 5 p.
16. <https://www.cdcb.us/eval/summary/trend.cfm>
17. Wiggans G. R. *Overview of the Dairy Genetic Evaluation System*. Croatian Holstein Breeders Federation, 2009, 33 p.
18. Misztal I., Tsuruta Sh., Laurencio D., Aguilar I., Legarra A., Vitezica Z. *Manual for BLUPF90 family of programs*. University of Georgia, Athens, USA, 2015, 125 p.