

**ДИНАМІЧНІ ЕКОНОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ
ВРОЖАЙНОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ОСНОВІ ОЦІНЮВАННЯ
ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

О. І. СИМОНЕНКО, кандидат економічних наук,
доцент кафедри статистики та економічного аналізу
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
e-mail: osymon69@gmail.com

Анотація. Адаптація аграрного виробництва до змін клімату потребує комплексного дослідження характеру і тенденцій змін метеорологічних параметрів, їх впливу на вегетацію та врожайність сільськогосподарських культур. Поряд із іншими факторами, природно-кліматичні характеристики вирішальною мірою впливають на коливання врожайності між роками, а інші неістотно впливають на її коливання. У прогнозуванні врожайності озимої пшениці використовують моделі короткострокового, середньострокового та довгострокового прогнозування. Використання моделей саме середньострокового прогнозування дає можливість приймати ефективні управлінські рішення. Побудована економетрична модель описує закономірності між урожайністю озимої пшениці і середньомісячними температурами травня за період 1990–2014 років.

Аналіз побудованої динамічної економетричної моделі свідчить про те, що вона адекватно описує динаміку врожайності озимої пшениці по Україні з урахуванням природно-кліматичної характеристики. Як критерій якості прогнозу використовували середнє значення похибки прогнозу, значення відносного показника заміщення прогнозу. Їх розрахунки свідчать, що запропонована модель може використовуватись як модель адаптації виробництва озимої пшениці до змін клімату й дає можливість визначати прогноз урожайності з високою точністю.

Ключові слова: часові ряди врожайності озимої пшениці, економетрична модель, адекватність, якість прогнозу, природно-кліматичні характеристики

Основними показниками продукції рослинництва є урожайність і валовий збір. Під впливом багатьох факторів у природних умовах вирощується продукція сільськогосподарського виробництва, яку можна об'єднати у такі основні групи: а) виробничо-агротехнічні; б) ґрунтові; в) агрометеорологічні. Усі ці фактори визначають урожайність, валовий збір, якість продукції, її вартість, рівень рентабельності та істотно впливають на економічний розвиток суспільства, його продовольчу безпеку, а також безпеку життя людей. Серед цих факторів природно-

кліматичні характеристики відіграють важливу роль у формуванні врожайності сільськогосподарських культур, вони істотно впливають на її коливання [3, с.19–20; 6, с. 231–241].

Актуальність. Сучасна продовольча ситуація у світі і прогнозовані зміни клімату потребують об'єктивного аналізу та оцінки їх впливу на стан основних агроресурсів і виробництво сільськогосподарської продукції, зокрема зерна. Україна, з її високим природно-ресурсним потенціалом, має виконувати не тільки національну, але й важливу загальносвітову місію щодо продовольчої безпеки.

Мета досліджень – дослідити вплив кліматичної характеристики на урожайність озимої пшениці.

Рішення проблем управління процесами формування урожаю сільськогосподарських культур дозволило б отримати найкращі результати з урахуванням заданих рівнів витрат ресурсів і забезпечення ряду обмежень, пов'язаних зі збереженням ґрунтової родючості і захистом навколишнього середовища. В умовах глобального потепління, коли відбуваються незвичайні кліматичні зміни, важливого значення набувають оцінка цих змін і прогноз ймовірних відхилень від норми в найближчій перспективі для адаптації сільськогосподарського виробництва до можливих змін метеорологічних параметрів. Проблемі аналізу часових рядів метеорологічних факторів присвячено безліч робіт в нашій країні і за кордоном, в яких використані такі класичні методи, як статистичний, фрактальний і спектральний [1, с. 302–315].

Важливе значення для ідентифікації трансформації кліматичних характеристик і їх прогнозування має використання ефективних методів аналізу і прогнозу часових рядів [2, с. 303]. Здійснюються дослідження й щодо розробки методів прогнозування врожайності сільськогосподарських культур. Для вирішення перелічених завдань можна використовувати різноманітні методи, один із яких пропонує досліджувати систему клімат – урожай. Для вирішення завдання прогнозування її поведінки використовується підхід, заснований на принципах аналогічності, який зводиться до вирішення таких завдань: вибір території-аналога або груп аналогів за середніми багаторічними значеннями прогнозних параметрів клімату; ідентифікація метеорологічних ситуацій вегетаційних періодів території-аналога або обраних груп аналогів; розрахунок імовірнісних характеристик несприятливих метеорологічних ситуацій на території, взятої як аналог; визначення середніх втрат і математичного очікування втрат врожаю кожної культури в аномальні роки; розрахунок очікуваної врожайності на основі прогнозованих кліматичних характеристик, які інтерпретуються як майбутні агрокліматичні ресурси для обробітку конкретної культури.

Отже, вирішення проблеми адаптації сільського господарства до змін клімату передбачає моделювання та оцінку сформованих агрокліматичних умов на територіях-аналогах і екстраполяцію параметрів поведінки системи «клімат- урожай» на досліджувану територію. Третє зі сформульованих завдань адаптації сільського господарства до змін

A – вектор оцінок параметрів моделі;

u – вектор залишків.

Оператор оцінювання параметрів моделі на основі МНК:

$$A = (X' X)^{-1} X' Y.$$

Побудуємо просту лінійну економетричну модель, що описує зв'язок між урожайністю озимої пшениці та середньою травневою температурою. Введемо наступні позначення: y_t – урожайність озимої пшениці, x_t – середньомісячна температура за травень. Економетрична модель має вигляд: $y_t = a_0 + a_1 x_t + u_t$.

Результати досліджень та їх обговорення. Проведемо розрахунок використовуючи пакет програм статистичного аналізу EVIEWS (Econometric Views) (табл.1). Оцінки параметрів моделі для відрізка 2000–2014 років мають такі значення: $a_0 = 13,0028$; $a_1 = 1,5346$.

Для отримання оцінки якості математичної моделі слід оцінити значущість параметрів моделі, визначити похибку моделі стосовно вихідного часового ряду, перевірити залишки на наявність автокореляції, що є необхідною умовою застосування методу найменших квадратів, а також визначити адекватність моделі в цілому.

Побудова та аналіз економетричної моделі на основі пакету статистичного аналізу EVIEWS

Method: Least Squares				
Sample: 1 15				
Included observations: 15				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	13.00280	12.24651	1.061755	0.3077
X	1.534580	1.187401	1.292386	0.2187
R-squared	0.113854	Mean dependent var	28.70667	
Adjusted R-squared	0.045688	S.D. dependent var	6.049848	
S.E. of regression	5.910029	Akaike info criterion	6.514744	
Sum squared resid	454.0697	Schwarz criterion	6.609151	
Log likelihood	-46.86058	Hannan-Quinn criter.	6.513739	
F-statistic	1.670261	Durbin-Watson stat	1.720222	
Prob(F-statistic)	0.218724			

Якщо залишки моделі нормально розподілені, далі перевіряються параметри економетричної моделі на значущість за критерієм Стьюдента, тобто для кожного параметра моделі будуються t -статистики за формулою:

$$t_a = \frac{\hat{a}_0 - a_0}{\sigma_a}.$$

Тут \hat{a}_0 – оцінка параметра побудованої моделі, отримана з

використанням пакета EVIEWS; a_0 – нульова гіпотеза, щодо значення цього параметра ($a_0 = 0$); σ_a – стандартна похибка оцінки параметра. Чим меншим є значення стандартної похибки, тим кращою є оцінка параметра моделі.

Середні помилки для цих параметрів становлять $ma_0 = 12,2465$; $ma_1 = 1,1874$. Значення t статистик параметрів дорівнюють $ta_0 = 1,0618$; $ta_1 = 1,2924$. Перший параметр буде суттєвим при рівні значущості 0,3, а другий при рівні значущості 0,2.

На основі побудованої економетричної моделі $\hat{Y}_t = 13,0028 + 1,5346x_t$,

отримуємо прогнозне значення врожайності для 2014 року $\hat{Y}_t = 28,8$ (ц/га). Фактичне значення врожайності $Y_t = 37,6$ (ц/га). Похибка прогнозу становить 8,8 ц/га або ж 23,4%. Це достатньо висока точність. Для порівняння зазначимо, що найкраща точність, отримана в авторегресійному прогнозуванні з горизонтом 1 рік, становить 27%. Але низьке значення коефіцієнта детермінації свідчить про низьку якість моделі. Хоча, при цьому, F-критерій підтверджує значущість побудованої моделі для рівня значущості 0,2.

Важливим критерієм оцінювання якості моделі є MAPE – середня абсолютна похибка прогнозування часового ряду за N років

$$e_b = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t},$$

де \hat{y}_t – розрахунковий ряд даних;

y_t – фактичне значення рівня ряду;

N – довжина часового ряду.

Оцінити адекватність моделі можна за допомогою аналізу залишків моделі. Модель точно описує досліджуваний процес, якщо: математичне сподівання значень ряду залишків є близьким до нуля; значення ряду залишків є випадковими, незалежними і мають нормальний закон розподілу.

За даними табл. 2 проведемо розрахунок зазначених критеріїв для парної регресійної моделі врожайності озимої пшениці по Україні від середньої температури травня (1990–2014 роки).

Перевірка на адекватність лінійної економетричної моделі

Рік	X	Y	\hat{Y}	u_i	u_i^2	Точки пиків	$(u_i - u_{i-1})^2$	$\frac{ u_i }{y_i}$
2000	12,7	19,8	32,492	-12,69	161,086	-	-	-0,641
2001	11,2	31	30,1901	0,8099	0,655947	-	182,3005	0,0261
2002	9,9	30,5	28,1951	2,3049	5,31238	1	2,234888	0,0756
2003	6,9	14,7	23,5914	-8,891	79,05698	1	125,3562	-0,605
2004	9,1	31,7	26,9675	4,7325	22,39679	1	185,6113	0,1493
2005	10,3	28,5	28,809	-0,309	0,095464	-	25,41668	-0,012
2006	9,7	25,3	27,8882	-2,588	6,698903	-	5,194989	-0,102

2007	9	23,4	26,814	-3,414	11,65552	1	0,681936	-0,146
2008	10,7	36,7	29,4228	7,2772	52,95758	1	114,302	0,1983
2009	11,1	30,9	30,0366	0,8634	0,745397	-	41,13724	0,0279
2010	10,3	27,3	28,809	-1,509	2,276997	1	5,627977	-0,055
2011	10,2	30,4	28,6555	1,7445	3,043231	1	10,58499	0,0574
2012	11,8	28,9	31,1108	-2,211	4,887824	1	15,64462	-0,076
2013	10,3	33,9	28,809	5,091	25,91857	-	53,31731	0,1502
2014	10,3	37,6	28,809	8,791	77,28217	-	13,69	0,2338
Сума				9,9476E -14	454,0697	8	781,1007	2,5553

За даними таблиці середнє значення ряду залишків $\bar{u} = 0,00$.

Кількість поворотних точок для випадкового ряду завдовжки $n = 15$ за критерієм Кендала (5) визначається співвідношенням

$$P = 2 \cdot (n - 2) / 3 = 9.$$

Стандартне відхилення для цього критерію визначається співвідношенням

$$mP = 2 \times \sqrt{(16n - 29) / 90} = 2 \times \sqrt{(16 \times 15 - 29) / 90} = 3,062.$$

Фактична кількість поворотних точок становить 8 і це число входить в інтервал $\left[|P - mP|; |P + mP|\right]$. Отже, властивість випадковості залишків виконується з імовірністю 0,95.

Для перевірки незалежності рівнів ряду залишків скористаємось критерієм Дарбіна-Уотсона (DW) і розрахуємо його фактичне значення за формулою

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^N (u_t - u_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^N u_t^2} = \frac{7811007}{454069} = 1,72.$$

Отримана величина порівнюється з двома табличними рівнями: нижнім $DW_1 = 1,08$ і верхнім $DW_2 = 1,36$. Оскільки $DW_2 < DW < 2$, згідно з критерієм Дарбіна-Уотсона ряд залишків є незалежним, тобто автокореляція відсутня.

Перевірити відповідність випадкової складової ряду нормальному закону розподілу можна за допомогою RS-критерію:

$$RS = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{S_u},$$

де t_{\max} – максимальне значення ряду залишків;

t_{\min} – мінімальне значення ряду залишків;

S_u – середньоквадратичне відхилення значень ряду залишків. Якщо розраховане значення потрапляє між табульованими межами із заданим рівнем імовірності, то гіпотеза про нормальний розподіл не відхиляється. Для нашого прикладу $t_{\max} = 8,791$; $t_{\min} = -12,692$; $S = 5,695$; $RS = 3,772$. Розраховане значення RS потрапляє в інтервал між нижньою табличною межею (НМ=3,18) і верхньою табличною межею (ВМ=4,49), тобто $3,18 < 3,772 < 4,49$. Доходимо висновку, що властивість нормального розподілу залишків

виконується.

Для характеристики точності побудованої моделі розрахуємо показник середньої відносної помилки апроксимації

$$e_b = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t} = 0,17.$$

Ця похибка дорівнює 17 %, що свідчить про достатньо якісний прогноз.

Якість побудованої моделі характеризує значення відносного показника заміщення прогнозу:

$$e = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t} = -0,05.$$

Оскільки він прямує до 0, тоді можна стверджувати про високі прогнозні якості моделі.

Висновки і перспективи. Аналіз розрахованих критеріїв свідчить про те, що парна економетрична модель адекватно описує динаміку врожайності озимої пшениці по Україні. Запропонована модель може використовуватись як модель адаптації виробництва озимої пшениці до змін клімату й дає можливість визначати прогноз урожайності. Але низьке значення коефіцієнта детермінації свідчить, що під час побудови моделі не було враховано фактори, що істотно впливають на врожайність. Для підвищення якості моделі до неї слід включити інші або лагові змінні, які формують урожайність озимої пшениці.

Список літератури

1. Грицюк П. М. Диманічні і стохастичні методи моделювання та прогнозування системи зерновиробництва України : дис. на здобуття наук. ступеня д-ра екон. наук : спец. 8.00.11 «Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці» / П. М. Грицюк. – К., 2011. – 467 с.
2. Грицюк П. М. Прогнозирование зернопроизводства как инструмент обеспечения продовольственной безопасности государства / П. М. Грицюк // Modelling and analysis of Safety and Risk in Complex Systems : Proceedings of the Tenth International Scientific School MA SR – 2010, (Saint-Petersburg, Russia, July 6–10, 2010). – P. 301–305.
3. Дмитренко В. П. Об агрометеорологических факторах урожая / В. П. Дмитренко // Труды УкрНИИ Госкомгидромета. – 1983. – Вып. 191. – С. 3–22.
4. Игнатъев В. М. Модели урожайности сельскохозяйственных культур при определенных метеоусловиях / В. М. Игнатъев, И. Н. Ильинская / Материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. [«Моделирование. Теория, методы и средства»], (Новочеркасск, 5 апр. 2002 г.). – В 3-х ч. – Новочеркасск, 2002. – С. 21–24. – (Ч. 3).
5. Кендэл М. Временные ряды / М. Кендэл. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 199 с.
6. Колосков П. И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование / П. И. Колосков. – Ленинград : Гидрометиздат, 1971. – 328 с.
7. Наконечний С. І. Економетрія : підруч. / С. І. Наконечний, Т. О. Терещенко, Т. П. Романюк. – К. : КНЕУ, 2004. – 354 с.

8. Черняк О. І. Динамічна економетрика / О. І. Черняк, А. В. Ставицький. – К. : КВІЦ, 2000. – 120 с.

References

1. Hrytsiuk, P. M. (2011). Dymanichni i stokhastychni metody modeliuвання ta prohnozuvannya systemy zernovyrobnytstva Ukrainy: dys. na zdobuttia nauk. stupenia dokt. ekon. nauk : spets. 8.00.11 «Matematychni metody, modeli ta informatsiini tekhnolohii v ekonomitsi» / P. M. Hrytsiuk. K., 467.
2. Hrytsyuk, P. M. (2010). Prohnozyrovanye zernoproyzvodstva kak ynstrument obespechenyya prodovol'stvennoy bezopasnosti hosudarstva / P. M. Hrytsyuk // Modelling and analysis of Safety and Risk in Complex Systems : Proceedings of the Tenth International Scientific School MA SR – 2010, (Saint-Petersburg, Russia, July, 6–10), 301–305.
3. Dmytrenko, V. P. (1983). Ob ahrometeorolohycheskykh faktorakh urozhaia / V. P. Dmytrenko // Trudy UkrNYY Hoskomhydrometa, 191, 3–22.
4. Yhnat'ev, V. M. (2002). Modely urozhaynosti sel'skohozyaystvennykh kul'tur pry opredelennykh meteousloviyah / V. M. Yhnat'ev, Y. N. Yl'ynskaya / Materyaly 2 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [«Modelyrovaniye. Teoriya, metody i sredstva»], (Novocherkassk, 5 apr.). – V 3-h chastyah. – Novocherkassk, 21–24. – (Ch. 3).
5. Kendel, M. (1981). Vremenniye ryady / M. Kendel. – M. : Fynansy i statystyka, 199.
6. Koloskov, P. Y. (1971). Klymatycheskiy faktor sel'skoho hozyaystva y ahroklymaticheskoye rayonirovaniye / P. Y. Koloskov. – Lenynhrad: Hydrometizdat, 328.
7. Nakonechnyi, S. I., Tereshchenko, T. O., Romaniuk, T. P. (2004). Ekonometriya: Pidruchnyk. – K.: KNEU, 354.
8. Cherniak, O. I., Stavytskyi, A. V. (2000). Dynamichna ekonometryka. – K. : KVITs, 120.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ ОЦЕНИВАНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Е. И. Симоненко

***Аннотация.** Адаптация аграрного производства к изменениям климата требует комплексного исследования характера и тенденций изменения метеорологических параметров, их влияния на вегетацию и урожайность сельскохозяйственных культур. Наряду с другими факторами, природно-климатические характеристики оказывают решающее влияние на колебания урожайности между годами, а другие не оказывают существенного влияния на ее колебания. В прогнозировании урожайности озимой пшеницы используются модели краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования. Использование моделей именно среднесрочного прогнозирования дает возможность принимать эффективные управленческие решения. Построенная эконометрическая модель описывает закономерности между урожайностью озимой пшеницы и среднемесячными температурами мая в период 1990–2014 годов.*

Анализ построенной динамической эконометрической модели свидетельствует о том, что она адекватно описывает динамику урожайности озимой пшеницы по Украине с учетом природно-климатической характеристики. В качестве критериев качества прогноза использовалось среднее значение погрешности прогноза, значение относительного показателя замещения прогноза. Их расчеты свидетельствуют о том, что предложенная модель может использоваться как модель адаптации производства озимой пшеницы к изменениям климата и дает возможность определять прогноз урожайности с высокой точностью..

Ключевые слова: часовые ряды урожайности озимой пшеницы, эконометрическая модель, адекватность, качество прогноза, природно-климатические характеристики

DYNAMIC ECONOMETRIC MODELS FOR FORECASTING WHEAT YIELD ESTIMATION BASED ON NATURAL AND CLIMATIC CHARACTERISTICS

O. I. Symonenko

Abstract. *The adaptation of agriculture to climate change requires a comprehensive study of the nature of the changes and trends of meteorological parameters and their impact on the growing season and yield of crops. Along with other factors, climatic characteristics exert a decisive influence on yield fluctuations between years, while others have a significant impact on its fluctuations. In predicting the yield of winter wheat used models of short, medium and long term forecasting. Using models is forecasting medium makes it possible to make effective management decisions. Built econometric model describes the relationships between winter wheat yield and average temperatures for the period May 1990–2014 years.*

Analysis built dynamic econometric model indicates that it adequately describes the dynamics of the yield of winter wheat in Ukraine, taking into account climatic characteristics. For quality prediction criterion used by the average of forecast error, the relative rate of substitution forecast. Their calculations show that the proposed model can be used as a model for the production of winter wheat adaptation to climate change, makes it possible to determine the forecast yield with high accuracy.

Keywords: *time series yield of winter wheat, econometric model, adequacy, quality prediction, climatic characteristics*