

*Інна Коблянська¹, Лариса Калачевська¹, Станіслав Мінта²,
Наталія Строченко¹, Світлана Лукаш¹*

¹Сумський національний аграрний університет

²Вроцлавський природничий університет

¹Україна

²Польща

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН РЕАЛІЗАЦІЇ КАРТОПЛІ В УКРАЇНІ

Мета. На тлі змін клімату й інших криз, світова продовольча система стає все більш вразливою щодо цінових коливань. Це актуалізує необхідність урахування та кращого управління ризиками, пов'язаними із ціновою волатильністю, відповідно до принципів ринкової економіки та з метою одночасного захисту найбільш вразливих верств населення. Реагуючи на ці виклики, у цьому дослідженні ми поставили за мету визначити основні параметри, що характеризують динаміку цін реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами в Україні, побудувати відповідну модель і сформуувати короткостроковий (однорічний) прогноз.

Методологія / методика / підхід. У дослідженні використано дані Державної служби статистики України щодо середніх місячних цін реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами, починаючи з грудня 2012 р. до липня 2021 р. (104 спостереження), скориговані на індекс цін продукції рослинництва, реалізованої підприємствами за місяць (базовий період – ціни грудня 2012 р.). Для визначення характеристик часового ряду здійснено його декомпозицію; для визначення оптимальної моделі, що найкраще відповідає фактичним даним і має високу прогностичну якість, використано методи експоненційного згладжування (Хольта-Вінтерса та метод «простору станів» (State Space, ETS), а також методи авторегресії-ковзного середнього. Аналітичні розрахунки, оцінки параметрів моделей, визначення прогнозних значень здійснено з використанням пакету «прогнозування» (forecast) з Rstudio.

Результати. Динаміка цін реалізації картоплі в підприємствах характеризується сезонністю (головним чином, пов'язаною із сезонним виробництвом): найнижчими є ціни в листопаді, а найвищими – у червні. Разом із тим, упродовж року виявлено й інші періоди зростання цін: у січні та квітні. Установлено, що найкращою моделлю для прогнозування реалізаційних цін на картоплю виробниками-підприємствами є сезонна модель авторегресії-ковзного середнього ARMA (2, 2) (1,0)¹² з константою. Модель ARMA (2, 2) (1,0)¹², порівняно з моделлю експоненційного згладжування з адитивними похибками – ETS (A) – краще відповідає фактичним даним спостережень, так і є кращою з точки зору прогнозування (забезпечує менші похибки прогнозування). Результати розрахунків значень і довірчих інтервалів прогнозу на основі ARMA (2, 2) (1,0)¹² свідчать, що з вірогідністю 95% ціна реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами в листопаді 2021 р. (місяці з найнижчим рівнем ціни) коливатиметься від 2154,76 грн/т до 7414,57 грн/т, а у червні 2022 р. – місяці з найвищим рівнем ціни – від 3016,72 грн/т до 14051,63 грн/т у цінах липня 2021 р. Середня абсолютна відсоткова похибка прогнозу становить 14,87 %.

Оригінальність / наукова новизна. Отримані результати є внеском у розвиток аграрної економічної науки, оскільки розвивають і поглиблюють методологічний базис

модельовання та прогнозування цінової ситуації на ринках продовольства. Підтверджено результати попередніх досліджень щодо того, що авторегресійні моделі забезпечують кращу якість прогнозів цінових коливань на ринку продовольства (під час аналізу однопараметричних часових рядів), ніж методи експоненційного згладжування. Крім того, встановлено переваги використання моделі «простору станів» експоненційного згладжування – ETS – порівняно з методами Хольта-Вінтерса у випадку наявності сезонних компонентів часового ряду. Модель ETS хоча й гірше накладається на наявні дані, але є кращою за інформаційними критеріями й забезпечує кращу якість прогнозування.

Практична цінність / значущість. Отримані результати можуть виступати інформаційною основою для прийняття рішень щодо виробництва та збуту з боку виробників, стосовно більш ефективного використання ресурсів з боку населення, а також для планування більш ефективних заходів щодо підтримки промислового картоплярства, запровадження соціальних програм, розробки політики із забезпечення продовольчої безпеки з боку уряду.

Ключові слова: ринок картоплі, ціна реалізації, прогнозування, промислове картоплярство, аналіз часових рядів, Rstudio.

**Inna Koblianska¹, Larysa Kalachevska¹, Stanisław Minta²,
Nataliia Strochenko¹, Svitlana Lukash¹**

¹Sumy National Agrarian University

²Wrocław University of Environmental and Life Sciences

¹Ukraine

²Poland

MODELLING AND FORECASTING OF POTATO SALES PRICES IN UKRAINE

Purpose. Under the background of the climate change and other crises, the world food system is becoming increasingly vulnerable to price fluctuations. This highlights the need to consider and better manage the risks associated with price volatility in accordance with the principles of a market economy and simultaneously protecting the most vulnerable groups of population. Responding to these challenges, in this study we aim to determine the main parameters of time series of potato sales prices in agricultural enterprises in Ukraine, to build an appropriate model, and to form a short-term (one-year) forecast.

Methodology / approach. We used in the research the data from the State Statistics Service of Ukraine on average monthly sales prices of potatoes in agricultural enterprises from December 2012 to July 2021 (104 observations) adjusted for the price index of crop products sold by enterprises for the month (with December 2012 base period). Decomposition was used to determine the characteristics of the time series; exponential smoothing methods (Holt-Winters and State Space Framework – ETS) and autoregressive-moving average were used to find the model that fits the actual data the best and has high prognostic quality. We applied the Rstudio forecast package to model and to forecast the time series.

Results. The time series of potato sales prices in enterprises is characterized by seasonality (mainly related to seasonal production) with the lowest prices in November, and the highest – in June; although, other periods of price growth were identified during the year: in January and April. The ARMA (2, 2) (1,0)¹² with a non-zero mean was found to be the best model for forecasting potatoes sales prices. ARMA (2, 2) (1,0)¹², compared to the state-space exponential smoothing

model with additive errors – ETS (A), better fits the observed data and provides more accurate forecasting model (with lower errors). Forecast made with ARMA (2, 2) (1,0)¹² shows that potato sale prices in agricultural enterprises in November 2021 (months with the lowest price) will range from 2154.76 UAH/t to 7414.57 UAH/t, in June 2022 – from 3016.72 UAH/t to 14051.63 UAH/t (prices of July 2021) with a probability of 95%. The forecast's mean absolute percentage error is 14.87%.

Originality / scientific novelty. This research deepens the methodological basis for food prices modelling and forecasting, thus contributing to the agricultural economics science development. The obtained results confirm the previous research findings on the better quality of food prices forecasts made with autoregressive models (for univariate time series) compared with exponential smoothing. Additionally, the study reveals advantages of the state space framework for exponential smoothing (ETS) compared to Holt-Winters methods in case of time series with seasonality: although the ETS model overlaps with the observed (train) data, it is better in terms of information criteria and forecasting (for the test data).

Practical value / implications. The obtained results can serve as an information basis for decision-making on potato production and sales by producers, on more efficient use of resources by the population, on more effective measures to support industrial potato growing, to implement social programs and food security policy by the government.

Key words: potato market, sales price, forecasting, industrial potato growing, time series analysis, Rstudio.

Постановка проблеми. Картопля є одним із основних продуктів харчування. Зокрема, у світовому масштабі це третя за важливістю культура з погляду забезпечення населення продовольством після пшениці та рису [1], а в нашій країні – одна з тих культур, які формують основу щоденного раціону українців (обсяг споживання картоплі на одну особу перебуває в середньому на рівні 136,3 кг/рік) [2]. Починаючи з 2011 р., щорічне виробництво картоплі в Україні перевищує 20 млн т [3], а у 2019 р. наша країна посіла четверте місце після Китаю, Індії та РФ у рейтингу світових виробників картоплі з обсягом виробництва 20,27 млн т. Крім того, Україна входить до трійки світових лідерів за розміром площ під картоплею (після Китаю та Індії) [4], тобто має значний потенціал для розвитку картоплярства та інтеграції у світовий ринок картоплі та продуктів її переробки.

Водночас виробництво картоплі в Україні зосереджено переважно в особистих господарствах [5], а розвиток промислового картоплярства перебуває у стані рецесії, що не дає змоги наростити відповідні експортні потужності. Експерти вказують на те, що стримувальними чинниками розвитку промислового картоплярства є: нерозвиненість інфраструктури для зберігання та переробки; потреби в значних інвестиціях для забезпечення зрошення з метою мінімізації ризиків, пов'язаних із впливом несприятливих погодних умов; згортання програм державної підтримки галузі; високий рівень невизначеності, нестабільність ринку та ціни [6–10]. Реагуючи на виклики сьогодення, уряд України схвалив «Концепцію Державної цільової програми розвитку промислового картоплярства на період до 2025 року» [11], мета якої – наростити промислове виробництво та забезпечити товарний ринок вітчизняною продукцією. Тому дослідження щодо стану ринку картоплі,

передусім, цінових аспектів його розвитку, набувають особливої актуальності, адже серед причин виникнення кризових ситуацій на ринку – недостатня обізнаність виробників із ринковими умовами, економічними основами функціонування ринку та управління господарством [6; 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ціни на продовольство зумовлені впливом різних факторів: попиту, пропозиції, сезонності, цінової ситуації на інших ринках, погодних умов, особливостей політичного регулювання; це пояснює значну кількість досліджень, присвячених їх вивченню [12–18]. Зокрема, серед факторів, які впливають на цінові коливання на ринку картоплі, учені виділяють неможливість довготривалого (понад один сезон) зберігання (а отже, і відсутність запасів) та відсутність державної підтримки галузі (що характерно для багатьох країн). Унаслідок цього ціни на картоплю є чутливими навіть до незначних коливань обсягів виробництва [12–15], що спричинені також і погодними умовами [16]. Крім того, рівень виробничих витрат і світових цін на нафту [17], рівень ВВП, обсяги імпорту [18] теж є значущими факторами під час установа цін на картоплю. Але оскільки свіжа (необроблена) картопля є продуктом для локального споживання (можливості для її транспортування та зберігання обмежені) та, на відміну від інших основних продуктів харчування і продуктів переробки картоплі, фактично не є об'єктом світової торгівлі, національні ринки картоплі менш залежні від цінових коливань на глобальному рівні [1].

З другого боку, цінова ситуація на ринку продовольства має й певний історичний контекст, тобто залежить від попереднього стану, а отже, результати аналізу характеру цінової динаміки в часі можуть слугувати основою для побудови релевантних прогнозів. Тут можна виділити два основних (найбільш поширених) підходи до аналізу часових рядів: перший – на основі методології експоненційного згладжування, другий – на основі вивчення структури (типу) авторегресії. Сучасні моделі і першого, і другого типу дозволяють урахувати трендові, циклічні та сезонні коливання, хоча для аналізу структури часового ряду та виявлення міжчасових взаємозалежностей застосовують переважно авторегресійні моделі, зокрема, інтегровані моделі авторегресії-ковзного середнього – ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) та їх розширення [19; 20]. Наприклад, завдяки застосуванню авторегресійної моделі для аналізу місячних цін на овочі на ринку Непалу в роботі [21] виявлено суттєву роль сезонності в цінових флуктуаціях. Автори роботи [22] також довели доцільність використання авторегресійних моделей (IMA та SARIMA) для прогнозування цін на різні продукти харчування в Мексиці. У дослідженні [23] з використанням ARIMA побудовано прогноз динаміки цін на овочі в Сербії (сім видів продуктів, у тому числі картопля) до 2022 р. З використанням ARMA моделі науковцями [17] побудовано прогноз цін на картоплю в Панджабі (Пакистан), а результати тестування отриманої моделі засвідчили, що прогнозні показники є досить близькими до реальних даних. Зрештою, порівнюючи методи експоненційного згладжування та

авторегресії (зокрема, ARIMA), автори роботи [24] встановили, що модель ARIMA забезпечує отримання прогностичних показників, які є ближчими до реальних даних.

Серед методів авторегресії широко застосовуються і моделі з гетероскедастичністю та їх комбінації. Ученими встановлено, що моделі з гетероскедастичністю демонструють кращі результати (порівняно з ARIMA) під час аналізу та прогнозування денних і тижневих цін, дозволяючи змодельовати характер цінової волатильності [25–27]. Водночас автори роботи [28], використовуючи моделі ARIMA та авторегресії з гетероскедастичністю, продемонстрували, що застосування першої забезпечує меншу похибку під час прогнозування тижневих цін на картоплю, помідори, цибулю та яловичину.

Зрештою, параметри кожної моделі залежать від умов досліджуваного ринку та є унікальними [22], а тому не може існувати універсальної моделі для прогнозування цін на різних географічних ринках. Тут слід підкреслити, що в Україні цінова ситуація на ринку картоплі залишається малодослідженою. В окремих публікаціях щодо стану ринку картоплі наведено результати аналізу змін обсягів виробництва та споживання, показників ефективності, отримані з використанням методів описової статистики [6] і спеціальних досліджень (опитування виробників) [29], аналітичні огляди щодо обсягів виробництва, споживання, експорту й імпорту, цінових коливань [7; 8], моделі використання виробничого та споживчого потенціалу регіональних ринків [30]. Хоча окремі організації (наприклад, український клуб аграрного бізнесу, УКАБ [31]) й наводять експертні оцінки прогностичних значень цін на картоплю на споживчому ринку, але, такі дані не дозволяють повністю зрозуміти характер зміни ціни в часі, що зменшує можливості їх використання для планування та прийняття рішень суб'єктами господарювання на перспективу.

Мета статті – визначити основні параметри, що характеризують динаміку цін реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами в Україні, побудувати відповідну модель та сформулювати короткостроковий (однорічний) прогноз.

Методологія. Для проведення дослідження було використано дані Державної служби статистики України щодо середніх місячних цін реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами, починаючи з грудня 2012 р. по липень 2021 р. (грн/т). Джерело даних – статистичний збірник «Реалізація сільськогосподарської продукції підприємствами та господарствами населення» [32], що оновлюється помісячно. Для усунення впливу інфляційних коливань на досліджувану змінну дані було скориговано на індекс цін продукції рослинництва, реалізованої підприємствами за місяць [33]. За базовий показник прийнято ціни грудня 2012 р.

Для забезпечення коректності аналізу та перевірки якості прогнозованої моделі загальний масив даних (104 спостереження) було поділено на тренувальну і тестову частини. До тренувальної підвибірки включено спостереження з грудня 2012 р. по жовтень 2019 р. (83 спостереження), до

тестової – з листопада 2019 р. по серпень 2021 р. (21 спостереження). Основні параметри тренувальної частини є такими: мінімальне значення масиву даних – 759,6; максимальне значення – 5009,4; середнє значення – 1685,3; медіана – 1367,4.

Проведений первинний графічний аналіз даних показав наявність сезонних коливань. Це зумовило вибір методів аналізу часового ряду. Серед методів експоненційного згладжування було вибрано методи Хольта-Вінтерса (Holt-Winters), які дозволяють провести одночасно згладжування змінної, сезонного і тренд-компонента (Forecasting) [34], та модель «простору станів» (State-Space) – ETS (Error, Trend, Seasonal) [35]. Різниця між цими методами полягає в застосуванні різних алгоритмів та критеріїв для вибору оптимальної моделі: у методах Хольта-Вінтерса використовуються евристичні значення для вибору початкових параметрів, а оцінка параметрів згладжування здійснюється на основі оптимізації середньоквадратичної похибки; у моделі ETS оцінка початкових параметрів і параметрів згладжування здійснюється на основі оптимізації функції правдоподібності, забезпечуючи кращу придатність моделі для прогнозування [34; 35]. Крім того, було використано і методи авторегресії. Для аналітичних розрахунків, побудови, оцінки та візуалізації експоненційних та авторегресійних моделей застосовано програмне забезпечення Rstudio [36], пакет «прогнозування» (forecast) [37], функції hw, ets, auto.arima, що дозволяють здійснити автоматичний підбір параметрів моделей та їх оцінку [37]. Водночас через оцінку мультиплікативного характеру моделі (візуально) для створення адитивної форми було використано трансформацію Бокса-Кокса (Box-Cox) під час специфікації кожної моделі, що дало змогу спростити інтерпретацію прогнозних даних, порівняно з логарифмуванням [34; 38].

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою з'ясування складових і структури часового ряду було здійснено його декомпозицію (рис. 1). Результати обчислень параметрів сезонних коливань і тренду свідчать про те, що ціни на картоплю в підприємствах були найнижчими в листопаді (0,85) далі почали зростати у грудні–січні (зимовий пік – 1,14), спадали у лютому–березні, підвищуючись у квітні (1,05), спадали в травні та досягли максимуму в червні (1,21), далі протягом липня–жовтня знову спадали. Отже, коливання ціни на картоплю протягом року залежать не лише від урожаю (найнижчі ціни в листопаді, а найвищі – на продукцію нового врожаю – у червні), а й від інших факторів, серед яких, зокрема, можна вказати й на свята (зимові свята, Великдень). Сезонні компоненти ілюструють ефект впливу сезонності на середній рівень цін. Зокрема, у червні ціни є вищими на 21 %, а у листопаді – нижчими на 15 %. Слід підкреслити, що зимовий пік також є досить відчутним – ціни зростають на 14 %.

Заслуговує на увагу і коливання ціни в часі. Так, до січня 2014 р. спостерігали тенденцію до зростання ціни, яка змінювалася спадом тривалістю рік (лютий 2014 р. – лютий 2015 р.), далі була помітна тенденція до повільного зростання ціни, що набула піку в січні 2016 р., а потім – більш короткий період

спаду (лютий–серпень 2016 р.), а далі – знову зростання (вересень 2016 р. – листопад 2017 р.); у грудні 2017 р. – квітні 2018 р. спостерігали спад ціни, а після нього – прискорене зростання.

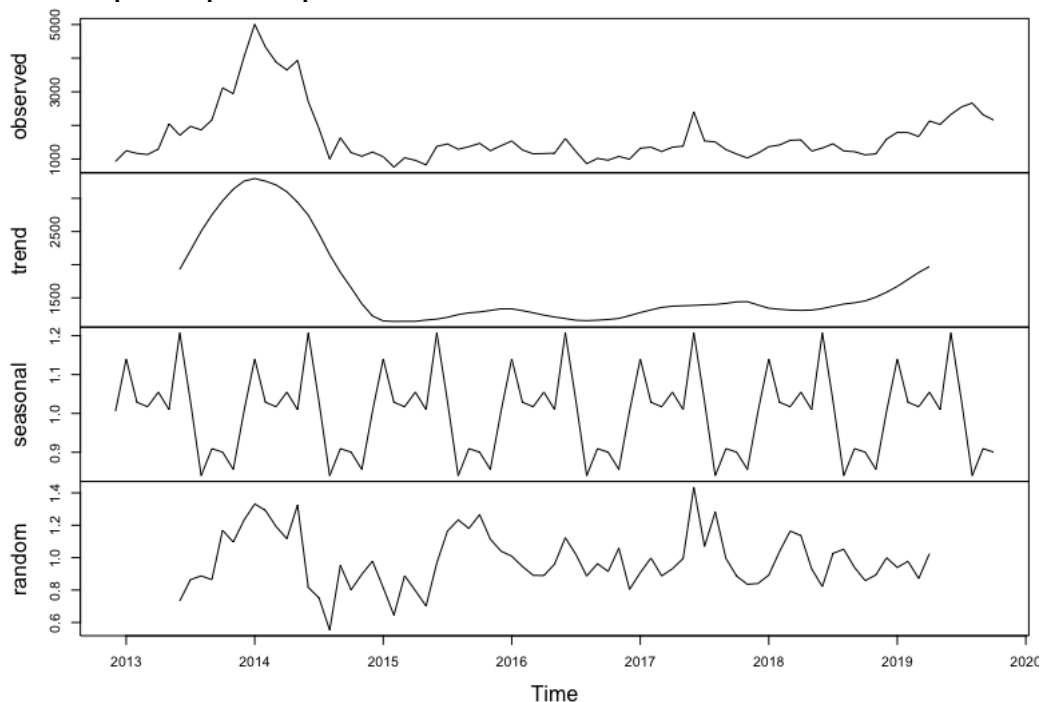


Рис. 1. Декомпозиція часового ряду динаміки місячних цін реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами, грудень 2012 р. – жовтень 2019 р., у цінах грудня 2012 р.

Примітка. Observed – фактичні дані спостережень; trend – виділена тренд-складова часового ряду; seasonal – виділена сезонна складова часового ряду; random – виділена випадкова складова часового ряду; time – часовий період.

Джерело: результати розрахунків авторів з Rstudio на основі [32; 33].

Отримані оцінки параметрів різних моделей експоненційного згладжування (Хольта-Вінтерса та ETS) представлено в табл. 1 (у тому числі результати оцінок за даними тестової підвибірki). Для кожної моделі визначено параметри, які характеризують якість моделі (інформаційні штрафні критерії Акаїке (AIC), модифікований Акаїке (AICc) та Байєса (BIC)) і прогностичну якість моделі: корінь із середньої квадратичної похибки (RMSE, Root Mean Squared Error); середня абсолютна похибка (MAE, Mean Absolute Error); середня абсолютна похибка у відсотках (MAPE, Mean Absolute Percentage Error); середня абсолютна масштабована похибка (MASE, Mean Absolute Scaled Error). Графічне зображення відповідності розрахункових значень за моделями Хольта-Вінтерса та ETS (A) фактичним даним тренувальної підвибірki представлено на рис. 2.

Отримані оцінки (див. табл. 1) свідчать про те, що хоча моделі Хольта-Вінтерса краще накладаються на існуючі дані, порівняно з моделлю ETS (A) (за показниками всіх наведених похибок прогнозування щодо тренувальної частини), модель ETS забезпечує кращі результати на тестовій вибірці (менші похибки) та є кращою за всіма інформаційними критеріями (отримано

найменші значення величин).

Таблиця 1

Показники якості моделей Хольта-Вінтерса та ETS (A) для тренувальної та тестової підвбірок

Модель	Показники прогнозової якості моделі				Інформаційні критерії		
	RMSE	MAE	MAPE	MASE	AIC	AICc	BIC
Адитивний метод Хольта-Вінтерса з приглушеним трендом (Damped Holt-Winters' additive method)							
Тренувальна	388,28	257,78	15,28	0,29	128,45	139,14	171,99
Тестова	1114,62	944,40	72,40	3,40			
Адитивний метод Хольта-Вінтерса (Holt-Winters' additive method)							
Тренувальна	375,93	252,35	14,88	0,28	123,13	132,55	164,25
Тестова	1407,04	1197,48	91,43	4,31			
Метод «простору станів» ETS (A)							
Тренувальна	395,16	272,13	16,03	0,31	114,70	115,00	121,95
Тестова	709,20	596,39	46,17	2,15			

Джерело: результати розрахунків авторів з Rstudio на основі [32; 33].

Отже, серед методів експоненційного згладжування доцільно застосувати ETS (A), тобто модель простого експоненційного згладжування з адитивними похибками.

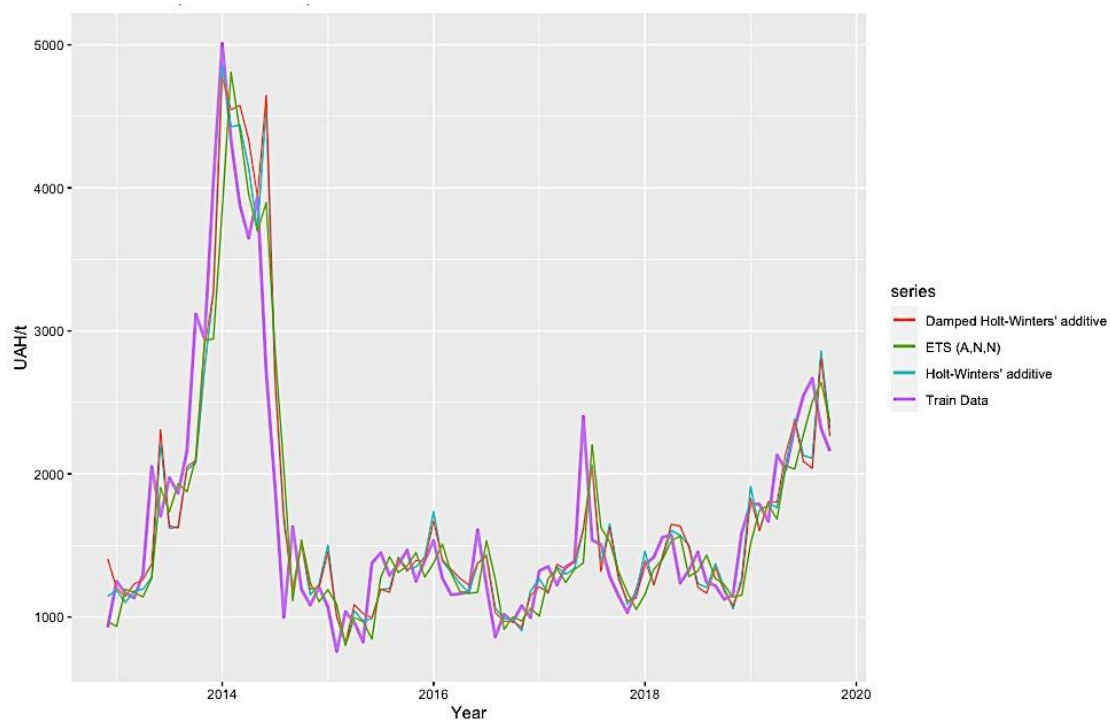


Рис. 2. Місячні ціни реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами, грудень 2012 р. – жовтень 2019 р., грн/т, у цінах грудня 2012 р.

Примітка. Моделювання на тренувальній підвбірці (Train data) методами експоненційного згладжування.

Джерело: результати розрахунків авторів з Rstudio на основі [32; 33].

Визначення адекватності моделі ETS (A) здійснено через перевірку нормальності та відсутності автокореляції в залишках. Результати аналізу

графіка автокореляційної функції показали наявність автокореляції на 10-му лагу (вихід кривої за межі довірчого інтервалу). Результати тесту Льюїнга-Бокса на автокореляцію (до 17-го лага) засвідчили, що нульова гіпотеза про випадковість (непов'язаність) даних підтверджується на 20 % ($p\text{-value} = 0,2$). У такому випадку застосування авторегресійних моделей може бути більш доцільним.

Визначення оптимальної специфікації авторегресійної моделі здійснено за допомогою функції `auto.arima` [37; 38]. Отримано сезонну модель авторегресії-ковзного середнього з параметрами $ARMA(2, 2)(1, 0)^{12}$ з константою (рис. 3). Оцінки параметрів моделі наведено в табл. 2.

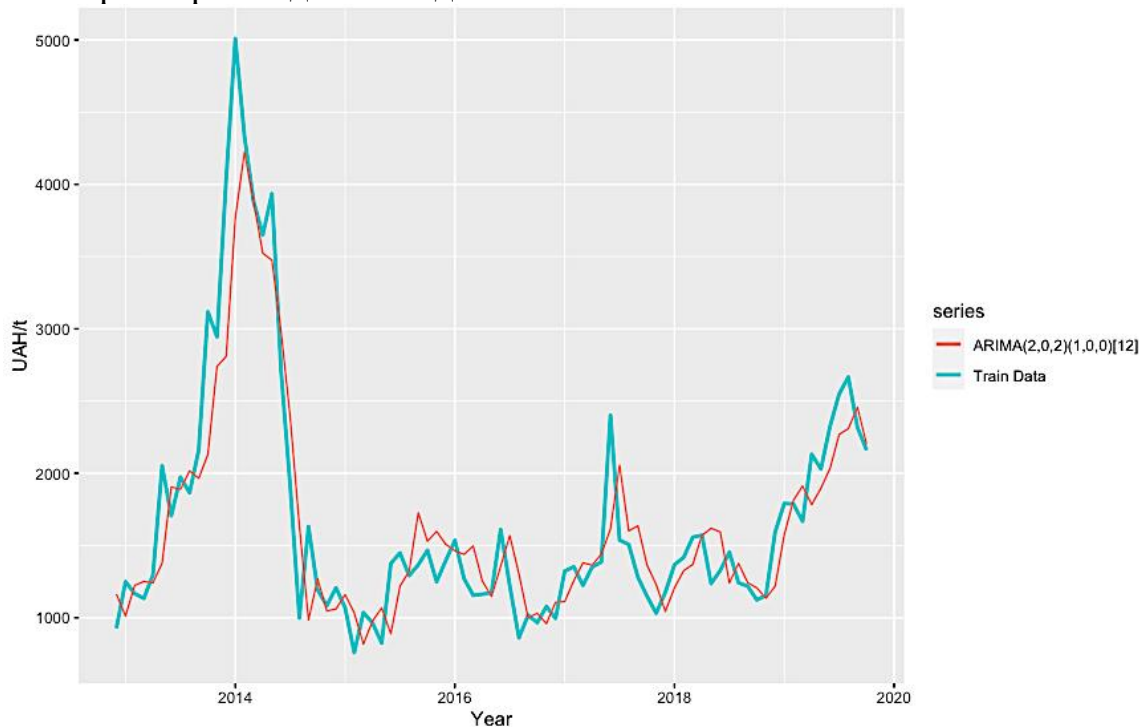


Рис. 3. Місячні ціни реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами, грудень 2012 р. – жовтень 2019 р., грн/т (модельовання на тренувальній підвибірці – Train data – методами авторегресії-ковзного середнього), у цінах грудня 2012 р.

Джерело: результати розрахунків авторів з Rstudio на основі [32; 33].

Таблиця 2

Оцінки параметрів моделі $ARMA(2, 2)(1, 0)^{12}$

Показники прогновної якості моделі	Значення підвибірки	
	тренувальної	тестової
RMSE	342,53	449,81
MAE	241,37	331,45
MAPE	14,82	19,91
MASE	0,87	1,19
Інформаційні критерії		
AIC	-22,51	
AICc	-21,02	
BIC	-5,58	

Продовження табл. 2

Коефіцієнти моделі	Значення	Ст. похибка
Коефіцієнт авторегресії 1-го порядку	1,88	0,06
Коефіцієнт авторегресії 2-го порядку	-0,93	0,05
Коефіцієнт ковзного середнього 1-го порядку	-1,18	0,13
Коефіцієнт ковзного середнього 2-го порядку	0,35	0,13
Коефіцієнт сезонної авторегресії 1-го порядку	0,28	0,11
Середнє	7,33	0,10

Джерело: результати розрахунків авторів з Rstudio на основі [32; 33].

Коментуючи наведені в табл. 2 значення показників прогнозної якості моделі ARMA (2, 2) (1,0)¹² порівняно з результатами оцінок параметрів моделі ETS (A) (табл. 1), відзначимо, що модель ARMA (2, 2) (1,0)¹² краще накладається на фактичні дані (значення величин RMSE, MAE, MAPE для тренувальної підвибірki є меншими) та є точнішою з погляду прогнозування (забезпечує менші похибки прогнозної моделі за всіма наведеними). Модель також характеризується значно меншими значеннями інформаційних критеріїв порівняно з ETS (A). Узявши до уваги значення коефіцієнтів авторегресії 1-го та 2-го порядку, сезонної авторегресії, коефіцієнтів ковзного середнього 1-го та 2-го порядку та середньої, можемо записати рівняння моделі:

$$\hat{y}_t = 0,25 + 1,88y_{t-1} - 0,93y_{t-2} + 0,28y_{t-12} - 0,53y_{t-13} + 0,26y_{t-14} + e_t - 1,18e_{t-1} + 0,35e_{t-2} \quad (1)$$

де \hat{y}_t – змодельовані значення змінної (місячна ціна реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами, грн/т);

e_t – випадкова величина, похибка;

t – період (у місяцях).

Під час перевірки адекватності моделі ARMA (2, 2) (1,0)¹² шляхом аналізу відповідності розподілу залишків моделі нормальному закону (за гістограмою) та графіку автокореляційної функції відхилень не виявлено. Тест Льюїнг-Бокса щодо автокореляції в залишках (до 17-го лага) засвідчив, що нульова гіпотеза про випадковість (непов'язаність) даних підтверджується на 80 % (p -value = 0,8).

Модель ARMA (2, 2) (1,0)¹² було використано для побудови прогнозу (рис. 4). Отримані прогнозні значення й довірчі інтервали в цінах грудня 2012 р. та перераховані в ціни липня 2021 р. наведено в табл. 3.

Згідно з даними табл. 3, з вірогідністю 95 % ціна картоплі у серпні 2021 р. мала коливатися в межах 2544,31–5533,64 грн/т у цінах липня 2021 р., а в листопаді 2021 р. (місяці з найнижчим рівнем ціни) – від 2154,76 до 7414,57 грн/т. У січні 2022 р. вона коливатиметься в межах 2438,06–10157,16 грн/т, у квітні 2022 р. – у межах 2999,39–13898,02 грн/т та в червні 2022 р. – місяці з найвищим рівнем ціни – від 3016,72 до 14051,63 грн/т у цінах липня 2021 р. Середня абсолютна відсоткова похибка прогнозу (MAPE)

становить 14,87 %.

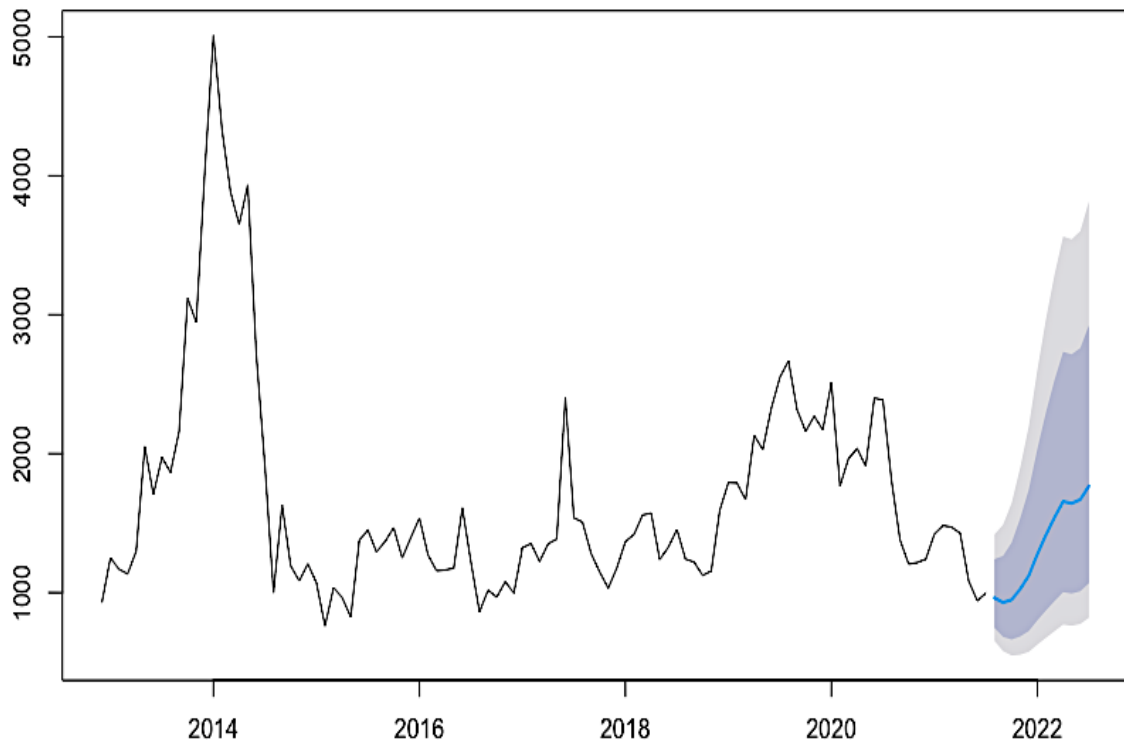


Рис. 4. Прогноз середньої місячної ціни реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами до липня 2022 р., на основі моделі авторегресії-ковзного середнього ARMA (2, 2) (1,0)¹² з константою, у цінах грудня 2012 р., грн/т

Джерело: результати розрахунків авторів з Rstudio на основі [32; 33].

Таблиця 3

Прогноз середньої місячної ціни реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами до липня 2022 р., на основі моделі авторегресії-ковзного середнього ARMA (2, 2) (1,0)¹² з константою, грн/т

Прогнозний період	У цінах					
	грудня 2012 р.			липня 2021 р.		
	значення	80 % довірчий інтервал	95 % довірчий інтервал	значення	80 % довірчий інтервал	95 % довірчий інтервал
		від	від		від	від
		до	до		до	до
1	2	3	4	5	6	7
Серпень 2021	961,93	746,14	652,26	3752,24	2910,52	2544,31
		1240,12	1418,61		4837,39	5533,64
Вересень 2021	928,02	681,23	578,39	3619,97	2657,31	2256,15
		1264,22	1489,00		4931,39	5808,23
Жовтень 2021	948,43	661,69	546,87	3699,60	2581,07	2133,19
		1359,45	1644,87		5302,86	6416,23
Листопад 2021	1024,69	684,12	552,40	3997,08	2668,59	2154,76
		1534,81	1900,81		5986,91	7414,57

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Грудень 2021	1122,14	722,93	572,82	4377,18	2819,99	2234,42
		1741,78	2198,25		6794,26	8574,80
Січень 2022	1275,73	800,11	625,02	4976,32	3121,04	2438,06
		2034,09	2603,90		7934,46	10157,16
Лютий 2022	1414,66	871,07	673,85	5518,25	3397,81	2628,53
		2297,50	2969,89		8961,96	11584,81
Березень 2022	1540,98	938,42	721,73	6010,96	3660,56	2815,29
		2530,42	3290,16		9870,53	12834,08
Квітень 2022	1655,18	1002,61	768,93	6456,43	3910,95	2999,39
		2732,47	3562,91		10658,69	13898,02
Травень 2022	1641,93	992,97	760,87	6404,77	3873,31	2967,95
		2715,05	3543,25		10590,71	13821,35
Червень 2022	1669,10	1009,32	773,37	6510,75	3937,11	3016,72
		2760,17	3602,29		10766,75	14051,63
Липень 2022	1766,40	1067,67	817,88	6890,28	4164,72	3190,36
		2922,40	3814,92		11399,54	14881,06

Джерело: результати розрахунків авторів з Rstudio на основі [32; 33].

Отже, кожен ринок та цінова ситуація на ньому є унікальними та визначаються локальними факторами [22], проте в нашому дослідженні підтверджено результати попередніх досліджень [24], зокрема стосовно того, що авторегресійні моделі забезпечують кращу якість прогнозів цінових коливань на ринку продовольства (під час аналізу однопараметричних часових рядів), ніж методи експоненційного згладжування. Причиною цього може бути залежність ціни на продовольство не лише від показників обсягів виробництва, експорту й імпорту, урожайності тощо, а й від попередньо встановленого рівня. Для картоплі це є особливо значимим, адже ціна нового врожаю суттєво залежить від ціни попереднього (використаного як насіннєвий матеріал) [39]. Крім того, результати дослідження підтверджують попередні дані [35] щодо переваг використання моделі «простору станів» експоненційного згладжування ETS порівняно з методами Хольта-Вінтерса у разі наявності трендових та сезонних компонентів часового ряду. Модель ETS хоча й гірше накладається на наявні дані, але є кращою за інформаційними критеріями і забезпечує вищу якість прогнозування.

Висновки. Результати проведених обчислень свідчать про те, що найкращою моделлю для прогнозування цін на ринку картоплі виробниками-підприємствами є сезонна модель авторегресії-ковзного середнього ARMA (2, 2) (1,0)¹² з константою. Перевагою використання з метою прогнозування цін на продовольство авторегресійних моделей, зокрема сезонної моделі авторегресії-ковзного середнього, є те, що вони дозволяють моделювати структуру часового ряду. Отримана модель для опису динаміки цін реалізації картоплі сільськогосподарськими підприємствами в Україні ARMA (2, 2) (1,0)¹² свідчить, зокрема, про те, що ціна поточного періоду є лінійно залежною від тієї ціни, яка була актуальною місяць тому, два місяці, рік тому.

Декомпозиція часового ряду та обчислення значень величин сезонних компонентів дозволили також установити, що найгіршим (з погляду виробника) рішенням є продаж картоплі у листопаді – саме цей місяць характеризується найнижчою ціною. Підвищення ціни на картоплю можна далі очікувати в січні (зростання на 14 % до середнього). Зрештою, найвищою є ціна на новий урожай у червні (зростання на 21 %), коли формуються партії нового урожаю.

Вважаємо за необхідне вказати на перспективність досліджень щодо контролю умов вегетаційного періоду за зміни клімату з метою його подовження для надраних сортів картоплі [40; 41], а також на доцільність розвитку інфраструктури для належного зберігання та переробки картоплі (що передбачено концепцією розвитку картоплярства). Це дозволить знизити волатильність цін на картоплю протягом року.

Але обмеженість статистичних даних дослідження (лише за останні вісім років) не дає змоги усунути їх неоднорідність (суттєво вищий рівень цін у 2013–2014 рр., різке зростання восени 2019 р.), що, логічно, призводить до зниження якості отриманої моделі. Зокрема, середня абсолютна відсоткова похибка прогнозу (MAPE) для найкращої моделі ARMA (2, 2) (1,0)¹² становить 14,87 %.

У цілому отримані результати можуть виступати інформаційною основою для прийняття більш виважених рішень щодо виробництва та збуту з боку виробників, ефективнішого використання ресурсів з боку населення, а також для планування більш дієвих заходів для підтримки промислового картоплярства, запровадження соціальних програм, розробки політики із забезпечення продовольчої безпеки з боку уряду. Подальші дослідження в цьому напрямі можуть бути зосереджені на вивченні впливу різних факторів (обсяги виробництва, обсяги імпорту, погодні умови) на рівень цін на ринку картоплі, а також моделюванні динаміки цін реалізації картоплі в господарствах, що допоможе повніше охарактеризувати розвиток ринку картоплі в Україні.

Подяка. Дослідження проведено в рамках виконання науково-дослідної теми «Скринінг сортів і гібридів картоплі за адаптивністю до екологічних умов та здатністю відновлення їх генетичного потенціалу» (державний реєстраційний номер 0120U102033).

Список використаних джерел

1. Devaux A., Goffart J.-P., Petsakos A. et al. Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems. *The Potato Crop*. Eds H. Campos, O. Ortiz. Cham: Springer, 2020. Pp. 3–35. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_1.
2. Соціально-демографічні характеристики домогосподарств України у 2020 році: стат. зб. Київ: Держслужба статистики України, 2021. 88 с.
3. Сільське господарство України за 2020 рік: стат. щорічник. Київ: Держслужба статистики України, 2021. 232 с.
4. Statistical database of food and agriculture organization of the United

Nations. FAOSTAT, 2020. URL: <http://faostat.fao.org/faostat>.

5. Koblianska I., Pasko O., Hordiyenko M., Yarova I. Are peasant households feasible in terms of policy? The debate on the future of semi-subsistence households in Ukraine. *Eastern European Countryside*. 2020. Vol. 26. Pp. 127–179. <https://doi.org/10.12775/eec.2020.006>.

6. Крупа О. М., Крупа В. Р. Кон'юнктура ринку картоплі в Україні та перспективи її оптимізації. *Ефективна економіка*. 2019. № 12. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.12.86>

7. Макулський К., Житков А. Картопля-2020: проблеми і перспективи промислового виробництва. *АгроПрофі*. 2020. 21 лютого. URL: <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1825-2020-3>.

8. Староселець І. Українське картоплярство: бізнес чи сізифів камінь. *УкрІнформ*. 2020. 4 вересня. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3092887-ukrainske-kartoplarstvo-biznes-ci-sizifiv-kamin.html>.

9. Українська асоціація виробників картоплі. Нестабільність курсу та імпортозаміщення низькосортною картоплею: що призводить до кризи картоплярства в Україні. URL: <http://potatoclub.com.ua/news/437-nestablntskursu-ta-mportozamschennya-nizkosortnoyu-kartopleyu-scho-prizvodit-do-krizi-kartoplyarstva-v-ukrayin.html>.

10. Українська асоціація виробників картоплі. Потужності зберігання картоплі в Україні вчора, сьогодні, завтра. URL: <http://potatoclub.com.ua/news/525-potuzhnost-zbergannya-kartopl-v-ukrayin-vchora-sogodn-zavtra.html>

11. Про схвалення Концепції Державної цільової програми розвитку промислового картоплярства на період до 2025 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1345-2020-р від 21.10.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1345-2020-p#Text>.

12. Thorne F. Potato prices as affected by supply and demand factors: an Irish case study. *123rd EAAE Seminar «Price volatility and farm income stabilisation. Modelling outcomes and assessing market and policy based responses»* (23–24 February 2012), Dublin: European Association of Agricultural Economists (EAAE). <https://doi.org/10.22004/ag.econ.122473>.

13. Bolotova Y. V. Recent price developments in the United States potato industry. *American Journal of Potato Research*. 2017. Vol. 94. Pp. 567–571. <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9590-4>.

14. Loy J.-P., Riekert S., Steinhagen C. Potato prices as affected by demand and yearly production: a German perspective. *American Journal of Potato Research*. 2011. Vol. 88. Pp. 195–198. <https://doi.org/10.1007/s12230-010-9176-x>.

15. Pavlista A. D., Feuz D. M. Potato prices as affected by demand and yearly production. *American Journal of Potato Research*. 2005. Vol. 82. Pp. 339–343. <https://doi.org/10.1007/BF02871964>.

16. Wang Y., Liu X., Ren G., Yang G., Feng Y. Analysis of the spatiotemporal variability of droughts and the effects of drought on potato production in northern

China. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. Vol. 264. Pp. 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.019>.

17. Anwar M., Shabbir G., Shahid M. H., Samreen W. Determinants of potato prices and its forecasting: a case study of Punjab, Pakistan. MPRA Paper No. 66678. Punjab: Punjab economic research institute, 2015. 38 p. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/66678>.

18. Firleja K., Kubala S. Determinants of variation of potato prices in the European Union. *Economia Agro-Alimentare*. 2020. Vol. 3. Pp. 697–707. <https://doi.org/10.3280/ECAG2019-003007>.

19. Shahzad M. A. Price forecasting model for perishable commodities: a case of tomatoes in Punjab, Pakistan. MPRA Paper No. 81531. Punjab: Punjab Economic research Institute, 2017. 27 p. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/81531>.

20. Hossain Md. M., Abdulla F. Forecasting potato production in Bangladesh by ARIMA model. *Journal of Advanced Statistics*. 2016. Vol. 1. No. 4. Pp. 191–198. <https://doi.org/10.22606/jas.2016.14002>.

21. Mishra R., Kuma D. Price behaviour of major vegetables in hill region of Nepal: an econometric analysis. *SAARC Journal of Agriculture*. 2014. Vol. 10. No. 2. Pp. 107–120. <https://doi.org/10.3329/sja.v10i2.18332>.

22. Paredes-Garcia W. J., Ocampo-Velázquez R. V., Torres-Pacheco I., Cedillo-Jiménez C. A. Price forecasting and span commercialization opportunities for Mexican agricultural products. *Agronomy*. 2019. Vol. 9(12). 826. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120826>.

23. Mihajlović Š., Vukelić N., Novković N., Mutavdžić B. Vegetable prices in Serbia: tendencies and forecasting. *Ekonomika Poljoprivrede*. 2019. Vol. 66. No. 2. Pp. 485–498. <https://doi.org/10.5937/ekoPolj1902485S>.

24. Celik S. Modeling and estimation of potato production in Turkey with time series analysis. *International Journal of Trend in Research and Development*. 2019. Vol. 6. Is. 5. Pp. 111–116.

25. Anjoy P., Paul R. K. Wavelet based hybrid approach for forecasting volatile potato price. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*. 2017. Vol. 71(1). Pp. 7–14.

26. Drachal K. Analysis of agricultural commodities prices with new Bayesian model combination schemes. *Sustainability*. 2019. Vol. 11(19). Pp. 5305–5328. <https://doi.org/10.3390/su11195305>.

27. Degiannakis S., Filis G., Klein T., Walther T. Forecasting realized volatility of agricultural commodities. *International Journal of Forecasting*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.08.011>

28. Sangsefidi S. J., Moghadasi R., Yazdani S., Nejad A. M. Forecasting the prices of agricultural products in Iran with ARIMA and ARCH models. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. 2015. Vol. 2. Is. 11. Pp. 54–57.

29. Крупа О. М. Економічна ефективність вирощування і реалізації картоплі у господарствах населення Львівської області. *Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького*. 2014. Т. 16. № 1(58). Ч. 1. С. 277–284.

30. Пілько А. Д., Вацеба М. Р. Моделі аналізу регіонального ринку картоплі. *БізнесІнформ*. 2019. № 9. С. 130–135. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-9-130-135>.
31. Комендантова Н. Эксперты дали прогноз цен на картофель на зиму-2021. Когда начнет дорожать овощ. *Українські новини*, 8 вересня 2021 р. URL: <https://ukranews.com/news/799666-eksperty-dali-prognoz-tsen-na-kartofel-na-zimu-2021-kogda-nachnet-dorozhat-ovoshh>.
32. Офіційний сайт Державної служби статистики України. Реалізація продукції сільського господарства підприємствами та господарствами населення за 2012–2021 pp. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/cg.htm.
33. Офіційний сайт Державної служби статистики України. Індекси цін продукції сільського господарства, реалізованої підприємствами за місяць (продукція рослинництва, 2012–2021 pp.). URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/sg/icsh/icsh2020_u.htm.
34. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: principles and practice*. 2nd ed. Melbourne: Monash University, 2018. URL: <https://otexts.org/fpp2>.
35. Hyndman R. J., Koehler A. B., Ord J. K., Snyder R. D. *Forecasting with exponential smoothing: the state space approach*. Berlin: Springer-Verlag, 2008. URL: <http://www.exponentialsMOOTHING.net>.
36. RStudio Team. *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com>.
37. *Forecasting functions for time series and linear models*. R package version 8.15. URL: <https://pkg.robjhyndman.com/forecast>.
38. Hyndman R. J., Khandakar Y. Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software*. 2008. Vol. 27. Is. 3. Pp. 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>.
39. Rosen S. Potato paradoxes. *Journal of Political Economy*. 1999. Vol. 107. No. S6. Pp. 294–313. <https://doi.org/10.1086/250112>.
40. Kovalenko I. M., Kovalenko V. M., Butenko Ye. Yu. et al. Adaptability of *Solanum tuberosum* to changes of ecological growing condition. *Modern Phytomorphology*. 2021. Vol. 15. Is. 2. Pp. 38–43.
41. Mishenin Ye., Yarova I., Koblianska I. Ecologically harmonized agricultural management for global food security. *Ecological Intensification of Natural Resources for Sustainable Agriculture*. Eds. M. K. Jhariya, R. S. Meena, A. Banerjee. Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2021. Pp. 29–77. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-4203-3>.

References

1. Devaux, A. Goffart, J.-P., Petsakos, A. et al. (2020), Global food security, contributions from sustainable potato agri-food systems in *The Potato Crop*, eds H. Campos and O. Ortiz. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_1.

2. State Statistics Service of Ukraine (2021), *Sotsialno-demohrafichni kharakterystyky domohospodarstv Ukrainy u 2020 rotsi. Statystychnyj zbirnyk* [Social and demographic characteristics of households of Ukraine 2020. Statistical yearbook]. State Statistics Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine, available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. State Statistics Service of Ukraine (2021), *Sil's'ke hospodarstvo Ukrainy 2020. Statystychnyj zbirnyk* [Agriculture of Ukraine in 2020. Statistical yearbook], State Statistics Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine, available at: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm.
4. FAOSTAT (2020), Statistical database of food and agriculture organization of the United Nations, available at: <http://faostat.fao.org/faostat>.
5. Koblianska, I., Pasko, O., Hordiyenko, M. and Yarova, I. (2020), Are peasant households feasible in terms of policy? The debate on the future of semi-subsistence households in Ukraine. *Eastern European Countryside*, vol. 26, pp. 127–179. <https://doi.org/10.12775/eec.2020.006>.
6. Krupa, O. M. and Krupa, V. R. (2019), Potato market conditions in Ukraine and prospects for its optimization. *Effective economy*, vol. 12, <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.12.86>.
7. Makulsky, K. and Zhitkov, A. (2020), Potatoes 2020: problems and prospects of industrial production. *AgroProfi*, February 21, available at: <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1825-2020-3>.
8. Staroselets, I. (2020), Ukrainian potato growing: business or Sisyphus stone. *UkrInform*, September 4, available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3092887-ukrainske-kartoplarstvo-biznes-ci-sizifiv-kamin.html>.
9. Ukrainian Association of Potato Producers (2020), Exchange rate instability and import substitution of low-grade potatoes: what leads to the potato crisis in Ukraine, available at: <http://potatoclub.com.ua/news/437-nestablnt-kursu-ta-mportozamschennya-nizkosortnoyu-kartopleyu-scho-prizvodit-do-krizi-kartoplyarstva-v-ukrayin.html>.
10. Ukrainian Association of Potato Producers (2021), Potato storage capacity in Ukraine: yesterday, today, tomorrow, available at: <http://potatoclub.com.ua/news/525-potuzhnost-zbergannya-kartopl-v-ukrayin-vchora-sogodn-zavtra.html>.
11. Cabinet of Ministers of Ukraine (2020), Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On Approval of the Concept of the State Target Program of Development of Industrial Potato Growing for the Period till», available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1345-2020-p#Text>.
12. Thorne, F. (2012), Potato prices as affected by supply and demand factors: an Irish case study. *123rd EAAE Seminar "Price volatility and farm income stabilisation. Modelling outcomes and assessing market and policy based responses"*, February 23–24, 2012, European Association of Agricultural Economists (EAAE), Dublin, Ireland. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.122473>.
13. Bolotova, Y. V. (2017), Recent price developments in the United States

potato industry. *American Journal of Potato Research*, vol. 94. Pp. 567–571. <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9590-4>.

14. Loy, J.-P., Riekert, S. and Steinhagen, C. (2011), Potato prices as affected by demand and yearly production: a German perspective. *American Journal of Potato Research*, vol. 88, pp. 195–198. <https://doi.org/10.1007/s12230-010-9176-x>.

15. Pavlista, A. D. and Feuz, D. M. (2005), Potato prices as affected by demand and yearly production. *American Journal of Potato Research*, vol. 82, pp. 339–343. <https://doi.org/10.1007/BF02871964>.

16. Wang, Y., Liu, X., Ren, G., Yang, G. and Feng, Y. (2019), Analysis of the spatiotemporal variability of droughts and the effects of drought on potato production in northern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 264, pp. 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.019>.

17. Anwar, M., Shabbir, G., Shahid, M. H. and Samreen, W. (2019), Determinants of potato prices and its forecasting: a case study of Punjab, Pakistan. MPRA Paper No. 66678, Punjab economic research institute, Punjab, Pakistan, available at: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/66678>.

18. Firleja, K. and Kubala, S. (2020), Determinants of variation of potato prices in the European Union. *Economia Agro-Alimentare*, vol. 3, pp. 697–707. <https://doi.org/10.3280/ECAG2019-003007>.

19. Shahzad, M. A. (2017), Price forecasting model for perishable commodities: a case of tomatoes in Punjab, Pakistan. MPRA Paper No. 81531, Punjab economic research institute, Punjab, Pakistan, available at: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/81531>.

20. Hossain, Md. M. and Abdulla, F. (2016), Forecasting potato production in Bangladesh by ARIMA model. *Journal of Advanced Statistics*, vol. 1, no. 4, pp. 191–198. <https://doi.org/10.22606/jas.2016.14002>.

21. Mishra, R. and Kumar, D. (2014), Price behaviour of major vegetables in hill region of Nepal: an econometric analysis. *SAARC Journal of Agriculture*, vol. 10, no. 2, pp. 107–120. <https://doi.org/10.3329/sja.v10i2.18332>.

22. Paredes-Garcia, W. J., Ocampo-Velázquez, R. V., Torres-Pacheco, I. and Cedillo-Jiménez, C. A. (2019), Price forecasting and span commercialization opportunities for Mexican agricultural products. *Agronomy*, vol. 9(12), pp. 826–838. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120826>.

23. Mihajlović, Š., Vukelić, N., Novković, N. and Mutavdžić, B. (2019), Vegetable prices in Serbia: tendencies and forecasting. *Ekonomika Poljoprivrede*, vol. 66, no. 2, pp. 485–498. <https://doi.org/10.5937/ekoPolj1902485S>.

24. Celik, S. (2019), Modeling and estimation of potato production in Turkey with time series analysis. *International Journal of Trend in Research and Development*, vol. 6, is. 5, pp. 111–116.

25. Anjoy, P. and Paul, R. K. (2017), Wavelet based hybrid approach for forecasting volatile potato price. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, vol. 71(1), pp. 7–14.

26. Drachal, K. (2019), Analysis of agricultural commodities prices with new

Bayesian model combination schemes. *Sustainability*, vol. 11(19), pp. 5305–5328. <https://doi.org/10.3390/su11195305>.

27. Degiannakis, S., Filis, G., Klein, T. and Walther, T. (2020), Forecasting realized volatility of agricultural commodities. *International Journal of Forecasting*. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.08.011>.

28. Sangsefidi, S. J., Moghadasi, R., Yazdani, S. and Nejad, A. M. (2015), Forecasting the prices of agricultural products in Iran with ARIMA and ARCH models. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, vol. 2, is. 11, pp. 54–57.

29. Krupa, O. M. (2014), Economic efficiency of potato growing and sale in farms of Lviv region. *Scientific Bulletin of LNUVMBT named after S. Z. Gzhitsky*, vol. 16, no. 1(58), pp. 277–284.

30. Pilko, A. D. and Vatsiba, M. R. (2019), Models of analysis of the regional potato market. *BusinessInform*, vol. 9, pp. 130–135. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-9-130-135>.

31. Komendantova, N. (2021), Experts gave a forecast of potato prices for the winter of 2021. When will the vegetable start to rise in price. *Ukrainian News*, September 8, available at: <https://ukranews.com/news/799666-eksperty-dali-prognoztsen-na-kartofel-na-zimu-2021-kogda-nachnet-dorozhat-ovoshh>.

32. The official site of State Statistics Service of Ukraine (2021), Sales of agricultural products by enterprises and households for 2012–2021, available at: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/cg.htm.

33. The official site of State Statistics Service of Ukraine (2021), Price indices of agricultural products sold by enterprises for the month (crop production, 2012–2021), available at: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/sg/icsh/icsh2020_u.htm.

34. Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, G. (2018), *Forecasting: Principles and Practice*, 2nd ed, Monash University, Melbourne, Australia, available at: <https://otexts.org/fpp2>.

35. Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Ord, J. K. and Snyder, R. D. (2008), *Forecasting with exponential smoothing: the state space approach*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, available at: <http://www.exponentialsMOOTHING.net>.

36. RStudio Team (2021), *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA, available at: <http://www.rstudio.com>.

37. Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8.15, available at: <https://pkg.robjhyndman.com/forecast>.

38. Hyndman, R. J. and Khandakar, Y. (2008), Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, vol. 27, is. 3, pp. 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>.

39. Rosen, S. (1999), Potato paradoxes. *Journal of Political Economy*, vol. 107, no. S6, pp. 294–313. <https://doi.org/10.1086/250112>.

40. Kovalenko, I. M., Kovalenko, V. M., Butenko, Ye. Yu. et al. (2021), Adaptability of *Solanum tuberosum* to changes of ecological growing condition.

Modern Phytomorphology, vol. 15, is. 2, pp. 38–43.

41. Mishenin, Ye., Yarova, I. and Koblianska, I. (2021), Ecologically harmonized agricultural management for global food security in *Ecological Intensification of Natural Resources for Sustainable Agriculture*, eds M. K. Jhariya, R. S. Meena and A. Banerjee. Springer Nature Singapore Pte Ltd, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-4203-3>.

Citation:

Стиль – ДСТУ:

Коблянська І., Калачевська Л., Мінта С., Строченко Н., Лукаш С. Моделювання та прогнозування цін реалізації картоплі в Україні. *Agricultural and Resource Economics*. 2021. Vol. 7. No. 4. Pp. 160–179. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.04.09>.

Style – APA:

Koblianska, I., Kalachevska, L., Minta, S., Strochenko, N. and Lukash, S. (2021), Modelling and forecasting of potato sales prices in Ukraine. *Agricultural and Resource Economics*, vol. 7, no. 4, pp. 160–179. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.04.09>.