

Т. В. ХОМ'ЯК, А. В. МАЛІЄНКО, Г. В. СИМОНЕЦЬ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЗГЛАДЖУВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГУ ВИРОБНИЦТВА

Об'єктом дослідження є підприємство ТОВ ТПК «Терра» – провідний вітчизняний виробник високоякісних захисних покриттів промислового призначення для антикорозійного захисту металоконструкцій і залізобетонних конструкцій. Наразі на підприємстві відкриті питання планування майбутніх замовлень, доцільного використання потужностей і розширення виробничих можливостей. В роботі проведено системний аналіз цього підприємства шляхом розробки функціональної моделі процесів та її декомпозиції з розкладанням до другого рівня деталізації. В результаті отримано задачу з прогнозування обсягу випуску антикорозійних покриттів, які запобігають руйнації металевих конструкцій та механізмів. Ця задача є актуальною як для самого підприємства, так і для задоволення попиту на ринку збуту. Найбільш ефективними математичними моделями, за допомогою яких можна прогнозувати розвиток процесів виробництва – це моделі на основі часових рядів. Одними з найпоширеніших методів прогнозування показників таких рядів є методи згладжування, які використовуються для зменшення впливу випадкових коливань. Поставлену задачу вирішено методами експоненціального та адаптивного згладжування. Для перевірки адекватності отриманих моделей застосовано критерій серій (визначення випадковості відхилень від тренду), критерій піків (перевірка рівності нулю математичного сподівання), R/S-критерій (визначення відповідності розподілу залишкової компоненти нормальному закону), критерій Дарбіна-Уотсона (визначення незалежності значень залишкової компоненти). Проведено аналіз кожної отриманої моделі прогнозування, а також оцінено якість прогнозів. Зроблено висновки щодо подальшого виготовлення продукції на основі прогнозованих значень. Запропонована модель має практичну спрямованість і може використовуватися у задачах, пов'язаних з прогнозуванням в умовах виробничих підприємств.

Ключові слова: системний аналіз, задача прогнозування, експоненціальне згладжування, адаптивне згладжування, точність прогнозування, адекватність моделі.

Т. В. ХОМ'ЯК, А. В. МАЛІЄНКО, Г. В. СИМОНЕЦЬ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМА ПРОИЗВОДСТВА

Объектом исследования является предприятие ООО ТПК «Терра» – ведущий отечественный производитель высококачественных защитных покрытий промышленного назначения для антикоррозионной защиты металлоконструкций и железобетонных конструкций. Сейчас на предприятии открыты вопросы планирования будущих заказов, целесообразного использования мощностей и расширения производственных возможностей. В работе проведен системный анализ этого предприятия путем разработки функциональной модели процессов и ее декомпозиции с разложением до второго уровня детализации. В результате получено задачу прогнозирования объема выпуска антикоррозионных покрытий, предотвращающих разрушение металлических конструкции и механизмов. Эта задача является актуальной как для самого предприятия, так и для удовлетворения спроса на рынке сбыта. Наиболее эффективными математическими моделями, с помощью которых можно прогнозировать развитие процессов производства – это модели на основе временных рядов. Одними из самых распространенных методов прогнозирования показателей таких рядов являются методы сглаживания, которые используются для уменьшения влияния случайных колебаний. Поставленную задачу решено методами экспоненциального и адаптивного сглаживания. Для проверки адекватности полученных моделей применен критерий серий (определение случайности отклонений от тренда), критерий пиков (проверка равенства нулю математического ожидания), R/S-критерий (определение соответствия распределения остаточной компоненты нормальному закону), критерий Дарбина-Уотсона (определение независимости значений остаточной компоненты). Проведен анализ каждой полученной модели прогнозирования, а также оценено качество прогнозов. Сделаны выводы относительно дальнейшего изготовления продукции на основе прогнозируемых значений. Предложенная модель имеет практическую направленность и может использоваться в задачах, связанных с прогнозированием в условиях производственных предприятий.

Ключевые слова: системный анализ, задача прогнозирования, экспоненциальное сглаживание, адаптивное сглаживание, точность прогнозирования, адекватность модели.

Т. В. ХОМ'ЯК, А. В. МАЛІЄНКО, Г. В. СИМОНЕЦЬ

APPLICATION OF SMOOTHING METHODS FOR FORECASTING PRODUCTION VOLUME

The object of the research is the enterprise LLC ТПК «Терра» – the leading domestic manufacturer of high-quality protective coatings for industrial use for corrosion protection of metal structures and reinforced concrete structures. Now the company is open to planning future orders, the appropriate use of capacity and the expansion of production capacity. The paper conducted a system analysis of this enterprise by developing a functional model of processes and its decomposition with decomposition to the second level of detail. As a result, the task of forecasting the volume of release of anti-corrosion coatings, preventing the destruction of metal structures and mechanisms. This task is relevant both for the enterprise itself and for meeting the demand in the sales market. The most effective mathematical models that can be used to predict the development of production processes are models based on time series. One of the most common methods for predicting the performance of such series are smoothing methods that are used to reduce the effect of random fluctuations. The problem is solved by the methods of exponential and adaptive smoothing. To check the adequacy of the models obtained, the test of the series (determination of randomness of deviations from the trend), the criterion of the peaks (checking the equality of the mathematical expectation), the R/S criterion (determining the correspondence of the distribution of the residual component to the normal law), the Durbin–Watson criterion (determining the independence of the residual components). The analysis of each prediction model obtained was carried out, and the quality of forecasts was also assessed. Conclusions are made regarding the further manufacture of products based on predicted values. The proposed model has a practical orientation and can be used in tasks related to forecasting in the conditions of industrial enterprises.

Keywords: system analysis, forecasting problem, exponential smoothing, adaptive smoothing, forecasting accuracy, model adequacy.

Вступ. У наш час рухливість економічних явищ та процесів, особливо на рівні галузей та підприємств, зростає, і накопичуються дані статистичних спостережень. На базі цих даних задача прогнозування

розвитку процесу у системі в майбутньому є провідною.

Актуальність теми дослідження впливає з потреби підприємств до розвитку. Для того, щоб бути

конкурентоспроможним підприємством потрібно удосконалювати процеси у відповідності до часу. Наразі існує велика кількість інструментів для оптимізації процесів – одними з них є системний аналіз. Керівництвом підприємства поставлено задачу аналізу роботи підприємства, в результаті якого було отримано задачу з прогнозування виготовлення антикорозійних покриттів – основної продукції підприємства, задля подальшого планування і оптимізації процесів.

На сьогоднішній день найбільш ефективними математичними моделями, за допомогою яких можна прогнозувати розвиток процесів, є ті, під час побудови яких використовуються часові ряди. Широке коло соціально-економічних, технічних і природних процесів часто зображають набором послідовних значень, що зафіксовані в рівновіддалені моменти часу. Такий набір значень називають часовим рядом.

Одними з найпоширенішими методами прогнозування показників часових рядів є методи згладжування. Суть різних прийомів згладжування часових рядів зводиться до заміни фактичних рівнів часового ряду розрахунковими, які в меншій мірі схильні до коливань. Методи згладжування використовуються для зменшення впливу випадкового компонента (випадкових коливань) у часових рядах. Вони дають можливість отримувати більш «чисті» значення, які складаються лише з детермінованих компонентів.

Метою роботи є прогнозування обсягу виготовлення продукції на подальший період.

Об'єктом дослідження в роботі є підприємство ТОВ ТПК «Терра», що займається виготовленням антикорозійних покриттів.

Предметом дослідження є методи системного аналізу, прогнозування рівнів часових рядів і системи з критеріїв для оцінки результатів в процесі прогнозування обсягів виробництва.

Методи дослідження. Для вирішення задачі спочатку проведено системний аналіз та складено функціональну модель з розкладанням до другого рівня деталізації. При проведенні системного аналізу отримано задачу з прогнозування обсягу випуску продукції, яку вирішено за допомогою методів згладжування: експоненціального та адаптивного. Проведено аналіз результатів з оцінкою методів і прийнято рішення про використання одного з них на практиці.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у використанні системного підходу для аналізу задачі в цілому та розбиття її на підзадачі. Зазначені методи прогнозування перевірено на надійність.

Результатом роботи є розроблений комплекс системи для планування на підприємстві обсягів виробництва, рекомендовано до впровадження у задачах, пов'язаних з прогнозуванням в умовах виробничих підприємств.

Опис об'єкту. Компанія «Терра» заснована в 1998 році і наразі є провідним вітчизняним виробником високоякісних захисних покриттів промислового при-

значення для антикорозійного захисту металлоконструкцій і залізобетонних конструкцій NANO Industrial use™. Компанія налічує більш ніж 1000 найменувань продукції. Данні про замовлення, виготовлення, продаж кожного з них зберігаються протягом декілька років. Їх доцільно представляти у вигляді часових рядів, тобто наборів послідовних значень, зафіксованих в рівновіддалені моменти часу.

Наразі на підприємстві відкрито питання планування задля готовності до майбутніх замовлень, доцільного використання потужностей і розширення виробничих можливостей, як результат виконання цілей і місії компанії.

Функціональна модель системи. Для розуміння процесів на підприємстві побудовано модель в форматі IDEF0 за допомогою AllFusion Process Modeler [1, 2]. Спочатку функціональність підприємства описується в цілому, без подробиць. Такий опис називається контекстною діаграмою [3]. Для даного процесу контекстна діаграма представлена моделлю (див. рис. 1), де I_1 – сировина, I_2 – заявка на виготовлення, C_1 – закони України, C_2 – документація з техніки безпеки, C_3 – нормативна документація, M_1 – персонал, M_2 – технічне оснащення, O_1 – фарба, O_2 – покриття поверхні.

На контекстній діаграмі початкового рівня (див. рис. 1) показано, які фактори необхідні на вході (сировина та замовлення).

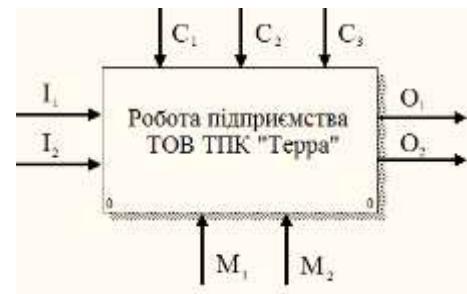


Рис. 1. Модель процесу роботи підприємства

Процес «робота підприємства» виконується під керівництвом нормативних документів, законів України та документації з техніки безпеки. Замовлення опрацьовуються, закуповується сировина для подальшого виготовлення та покриття поверхонь за участю будівельних бригад. Якщо всі умови виконуються, то на виході отримують результат у вигляді готової продукції або покритих на замовлення конструкцій.

Наступним рівнем функціональної моделі є декомпозиція контекстної діаграми (див. рис. 2) на такі підфункції:

- виробництво покриттів;
- будівельні роботи з покриття.

Функція «виробництво покриттів» (див. рис. 3) декомпована на підфункції:

- формування замовлення;
- закупка сировини;
- виготовлення;
- відвантаження.

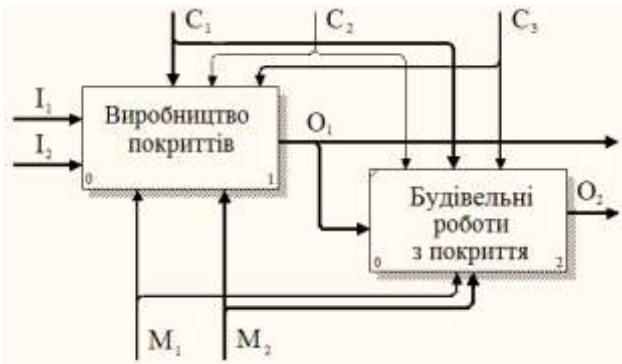


Рис. 2. Декомпозиція моделі

Після проведеної декомпозиції процесу «виробництво покриттів», бачимо, що даний процес є доволі трудомісткий особливо виходячи з того, що в процесі виготовлення задіяна велика кількість різного виду сировини та працівників.

Оскільки процес виробництва покриттів є доволі складним і є ядром підприємства – його основним джерелом прибутку, було прийнято рішення про доцільність проведення прогнозування обсягів виробництва для подальшого виготовлення. Прогнозування з подальшим плануванням на базі прогнозованих значень є важливою складовою в роботі підприємства адже допомагає зекономити ресурси і разом з тим збільшити прибуток.

Отже, для даної задачі проведено системний аналіз підприємства для конкретизації кожного етапу [4], на основі якого обрано методи прогнозування значень.

Експоненціальне згладжування. Це метод математичного перетворення, який застосовується при прогнозуванні часових рядів. Свою назву він отримав через те, що при кожній наступній ітерації враховуються всі попередні значення ряду, але ступінь врахування зменшується за експоненціальним законом [5, 6].

За цим методом нова послідовність будується за правилом:

$$S_t = \lambda y_t + (1 - \lambda)S_{t-1}, \quad S_1 = y_1, \quad t = \overline{2, T}, \quad (1)$$

де T – кількість наведених спостережень;
 λ – єдина вага, яка може обиратися кількома шляхами.

По-перше, значення λ обирається апріорним методом з проміжку (0;1). В такому випадку, якщо обирається значення близьке до 1, то будуть більш важливими при прогнозуванні останні дані часового ряду, при виборі λ близьким до 0, більш впливовими будуть минулі значення.

По-друге, можна покласти $\lambda = 2/(1 + T)$.

По-третє, λ обирається так, щоб мінімізувати один з критеріїв точності прогнозів.

Прогноз значень часового ряду дорівнює останньому члену послідовності:

$$\hat{y}_{t+p} = S_t, \quad p = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

де p – рівень прогнозування.

Адаптивне згладжування. Цей метод базується на попередньому і дозволяє автоматично змінювати константу згладжування в процесі обчислень [7, 8, 9]. Нова послідовність будується за правилом:

$$S_{t+1} = \lambda_t y_{t+1} + (1 - \lambda_t)S_t, \quad t = \overline{1, T}, \quad (3)$$

де λ змінюється з часом в залежності від похибки прогнозування:

$$\lambda_t = \left| \frac{E_t}{M_t} \right|,$$

$$E_t = \beta(y_t - \hat{y}_t) + (1 - \beta)E_{t-1},$$

$$M_t = \beta|y_t - \hat{y}_t| + (1 - \beta)M_{t-1},$$

де $\beta \in (0; 1)$ – обирається апріорі.

Прогноз значень часового ряду дорівнює останньому члену послідовності (2).

Вирішення задачі прогнозування. В ході дослідження діяльності підприємства проаналізовано показники продажу одного з видів покриття за останні 2,5 роки.

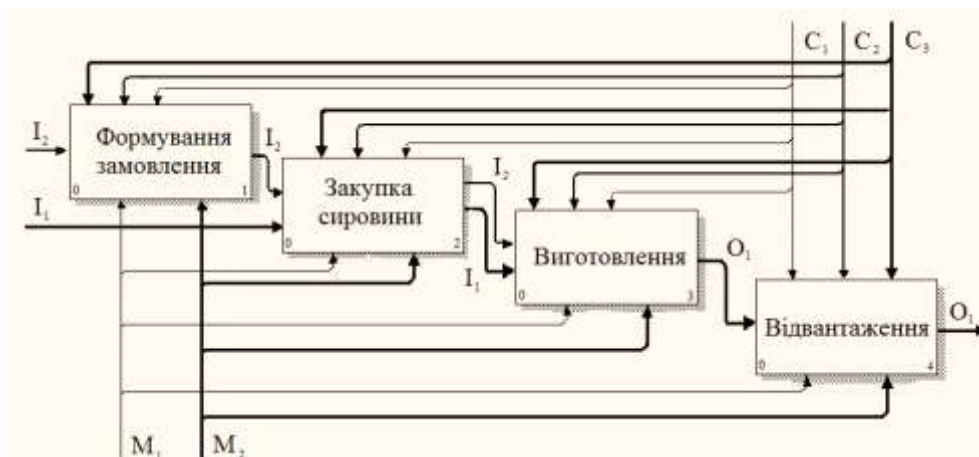


Рис. 3. Декомпозиція процесу «Виробництво покриттів»

В роботі для експоненціального згладжування обрано λ таке, при якому мінімізується середньоквадратична помилка прогнозу, що складає 10%, а прогнозне значення – 50 одиниць товару.

Результати експоненціального згладжування зображено на рис.4.



Рис. 4. Діаграма залежності фактичних та розрахункових даних за експоненціальним методом

Результати адаптивного згладжування представлено на рис.5.



Рис. 5. Діаграма залежності фактичних та розрахункових даних за адаптивним методом

Середньоквадратична похибка прогнозу за даним методом складає 11%, а прогнозне значення – 52 одиниці товару.

Оцінка якості прогнозів. Для будь-якої моделі питання про можливість її застосування для аналізу та прогнозування може бути вирішено після встановлення адекватності, тобто відповідності досліджуваному процесу чи об'єкту [10, 11].

Для перевірки адекватності моделей застосовано наступні критерії:

- критерій серій – визначення випадковості відхилень від тренду;
- критерій піків – перевірка рівності нулю математичного сподівання;
- R/S-критерій – визначення відповідності розподілу залишкової компоненти нормальному закону;

- критерій Дарбіна – Уотсона – визначення незалежності значень залишкової компоненти [12].

У табл. 1 наведено результати перевірки моделей на адекватність для екстраполяції кількості виготовлення продукції.

Таблиця 1 – Результати перевірки на адекватність

Критерій	Умова адекватності	Значення постійних показників	Експоненціальна модель		Адаптивна модель	
			адекватна	неадекватна	адекватна	неадекватна
Критерій серій	$k_{max} < k, v > v_1$	$k = 8,19$ $v_1 = 10,22$	$k_{max} = 6$ $v = 12$	адекватна	$k_{max} = 5$ $v = 13$	адекватна
Критерій піків	$M - S \leq p \leq M + S$	$M = 18,67$ $S = 2,24$	$p = 14$	адекватна	$p = 13$	адекватна
Рівність математичного сподівання залишкової компоненти нулю	$t_{роз} < t_{крит}$	$t_{крит} = 2,042$	$t_{роз} = 1,3$	$\mu = 0$	$t_{роз} = 1,239$	$\mu = 0$
Критерій Дарбіна-Уотсона	$d^u < d < 4 - d^u$	$d^u = 1,26$ $4 - d^u = 2,74$	$d = 1,4$	адекватна	$d = 2,16$	адекватна
Висновки				адекватна		адекватна

Обидві моделі за отриманими результатами можна вважати адекватними і застосовувати для зазначених даних. Тому перейдемо до перерахунку надійності прогнозу задля вибору одного з методів прогнозування для застосування в ТОВ ТПК «Терра».

При визначенні точності прогнозу розглянуто основні характеристики моделей прогнозування для екстраполяції, які наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати визначення надійності прогнозів

Модель		Експоненціальна	Адаптивна
Точність прогнозу	r	78%	73%
Середньоквадратична похибка	S	10%	11%
Середня відносна похибка	$\delta_{сер}$	22%	27%
Коефіцієнт розбіжності	v	0,106	0,114
Коефіцієнт кореляції	R	0,989	0,987
Критерій Фішера	$F_{роз}$	1095,99	944,30
	$F_{крит}$	7,64	7,64
Критерій Стюдента	$t_{роз}$	36,06	32,97
	$t_{крит}$	2,76	2,76

Отже, при аналізі показників рівня виготовленої продукції доцільно використовувати експоненціальну модель. Це підтверджено критеріями адекватності моделі фактичним даним та розрахованими критеріями надійності моделі.

Точність експоненціальної моделі приймає значення 78,3%. Цей показник є вищим, ніж у адаптивної моделі. Середньоквадратична похибка складає 10%. Значення коефіцієнта кореляції 0,989, що свідчить про високий лінійний зв'язок між ознаками. Коефіцієнт розбіжності (Тейла) наближений до 0, що свідчить про наближення прогнозу до ідеального. Стосовно критеріїв Фішера та Стюдента: розрахункові значення критеріїв перевищують критичні (табличні) значення, а це підтверджує статистичну значущість моделі [10].

Таким чином, для прогнозування розвитку підприємства необхідно використати метод експоненціального згладжування. Для більш наочного представлення реальних та розрахункових даних надано діаграми (див. рис. 4, 5).

Висновки. Для структуривання та виділення конкретних етапів роботи підприємства проведено системний аналіз. Це дозволило розділити подане питання на дві основні підзадачі та виділити одну з них для подальшого опрацювання. Виявленою задачею після декомпозиції моделі стало прогнозування обсягів виробництва. Цю задачу вирішено за допомогою методів згладжування часових рядів, а саме методами експоненціального та адаптивного згладжування. Проведено аналіз результатів прогнозування і обрано експоненціальну модель для подальшого прогнозування на виробництві. У результаті отримано рекомендації щодо обсягу виробництва у наступному місяці в розмірі 50 одиниць «ЕП Мастик».

Отже, завдяки виконаній роботі відтепер можна якісно прогнозувати обсяги виробництва на підприємстві ТОВ ТПК «Терра», асортимент якого перевищує дві сотні найменшуваних товарів. Розроблений комплекс оцінки якості результатів дозволить в подальшому виходити з характеру часового ряду обсягу виробництва різних товарів і використовувати найбільш якісну модель прогнозування.

Список літератури

- Маклаков С. В. *BPwin i ERwin. CASE-засоби розробки інформаційних систем*. Москва: Наука, 1999. 163 с.
- Марка Д. А., МакГоуен К. *Методологія структурного аналізу і проектування SADT*. Москва: Наука, 1993. 231 с.
- Хом'як Т. В., Суїма І. О. Розробка системи підтримки і прийняття рішень при відкритті закладу ресторанного господарства. *Вісник Нац. техн. ун-та «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 51 (1272). С. 65–71.
- Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. *Системный анализ: проблемы, методология, приложения*. Київ: Наукова думка, 2005. 742 с.
- Ставицький А. В. *Навчально-методичний комплекс з курсів «Прогнозування» та «Фінансове прогнозування»*. Київ, 2006. 107 с.
- Enders W. *Applied econometric time series*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 434 p.
- Оліскевич М. О. *Основи економетрії часових рядів. Навчальний посібник*. Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2008. 321 с.
- Давнис В. В. *Адаптивные модели: анализ и прогноз в экономических системах*. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2006. 380 с.
- Лукашин Ю. П. *Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учебное пособие*. Москва: Финансы и статистика, 2003. 416 с.
- Гмурман В. Е. *Теория вероятности и математическая статистика: навчальний посібник*. Москва: Вища освіта, 2008. 479 с.
- Черняк О. І., Ставицький А. В. *Динамічна економетрика: Навч. посібник*. Київ: Знання, 2000. 199 с.
- Бокс Дж., Дженкінс Г. *Анализ временных рядов. Прогноз и управление*. Москва: Мир, 1974. 406 с.

References (transliterated)

- Maklakov S. V. *BPwin i Erwin. CASE-zasobi rozrobki informatsiynih system* [BPwin and Erwin. CASE-tools for developing information systems]. Moscow, Nauka Publ., 1999. 163 p.
- Marka D. A., McGowan K. *Metodologiya strukturnogo analizu i proektuvannya SADT* [Methodology of Structural Analysis and Designing of SADT]. Moscow, Nauka Publ., 1993. 231 p.
- Khomyak T. V., Suima I. O. *Rozrobka sistemi pidtrimki i priynyattya rishen pri vidkritti zakladu restorannogo gospodarstva* [Development of the system of support and decision-making at the opening of the restaurant establishment]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Sistemnyy analiz, upravlenie i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Thematic issue: System analysis, management and information technology]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 51 (1272). pp. 49–71.
- Zgurovskiy M. Z., Pankratova N. D. *Sistemnyy analiz: problemi, metodologiya, prilozheniya* [System analysis: problems, methodology, applications]. Kiev, Nauk. dumka Publ., 2005. 742 p.
- Stavitskiy A. V. *Navchalno-metodichnyi kompleks z kursiv «Prognozuvannya» ta «Finsovoe prognouvannya»* [Educational and methodological complex of courses «Forecasting» and «Financial forecasting»]. Kiev, 2006. 107 p.
- Enders W. *Applied econometric time series*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 434 p.
- Oliskevich M. O. *Osnovi ekonometriyi chasovih ryadiv. Navchalniy posibnik* [Fundamentals of econometrics of time series. Tutorial]. Publishing Center of LNU them. I. Franko, 2008. 321 p.
- Davnis V. V. *Adaptivnye modeli: analiz i prognos ekonomicheskikh sistemah* [Adaptive models: analysis and forecast in economic systems]. Voronezh: Voronezh. State univ Publ., 2006. 380 p.
- Lukashyn U. P. *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognouvaninya vremennih ryadov: uchebnoe posobie* [Adaptive methods for short-term time series forecasting: study guide]. Moscow: Finance and Statistics Publ., 2003. 416 p.
- Gmurman V. E. *Teoriya ymovirnosti i matematichna statistika: navchalniy posibnik* [Probability Theory and Mathematical Statistics: Tutorial]. 12th edition. Moscow: Higher education Publ., 2008. 479 p.
- Chernyak O. I., Stavitskiy A. V. *Dinamichna ekonometrika: navch. posibnyk* [Dynamic ekonometrika: study guide]. Kiev: Znannya Publ., 2000. 199 p.
- Boks J., Dgenkins G. *Analiz vremennih ryadov. Prognos i upravlenie* [Time series analysis. Forecast and management]. Moscow: Mir Publ., 1974. 406 p.

Надійшла (received) 16.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Хом'як Тетяна Валеріївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», доцент кафедри системного аналізу та управління, м. Дніпро, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6177-2827>; e-mail: khomyak.t.v@gmail.com

Малієнко Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», доцент кафедри системного аналізу та управління, м. Дніпро, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3165-9233>; e-mail: andrei.malienko@gmail.com

Симоненко Галина Василівна – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», студент, м. Дніпро, Україна; ORCID: <https://orcid.org/00000002-1322-7189>; e-mail: galya.golovko.2014@gmail.com

Хомяк Татьяна Валериевна – кандидат фізико-математических наук, доцент, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», доцент кафедри системного анализа и управления, г. Днепр, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6177-2827>; e-mail: khomyak.t.v@gmail.com

Малиенко Андрей Викторович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», доцент кафедри системного анализа и управления, г. Днепр, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3165-9233>; e-mail: andrei.malienko@gmail.com

Симоненко Галина Васильевна – Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», студент, г. Днепр, Украина; ORCID: <https://orcid.org/00000002-1322-7189>; e-mail: galya.golovko.2014@gmail.com

Khomyak Tatiana Valeriivna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences (PhD), Docent, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Department of System Analysis and Control, Dnipro, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6177-2827>; e-mail: khomyak.t.v@gmail.com

Malienko Andrey Viktorovich – Candidate of Technical Sciences (PhD), Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Department of System Analysis and Control, Dnipro, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3165-9233>; e-mail: andrei.malienko@gmail.com

Simonets Halyna Vasylivna – Dnipro University of Technology, Student, Dnipro, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/00000002-1322-7189>; e-mail: galya.golovko.2014@gmail.com