

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 631.3:658.5

<https://doi.org/10.31713/vt3202446>

Сорока В. С., к.с.-г.н., доцент, Дорощук В. О., ст. викладач, Голотюк М. В., к.т.н., доцент, Пилипака Т. С., к.т.н., доцент, Валецька О. В., к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ АГРОПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті представлені результати дослідження моделювання логістичних систем агропромислових комплексів, що є ключовим елементом для забезпечення ефективності процесів постачання, транспортування та зберігання сільськогосподарської продукції. Зважаючи на різноманіття факторів, які впливають на аграрне виробництво, зокрема сезонні коливання попиту і пропозиції, необхідно застосовувати різні математичні моделі для оптимізації логістичних процесів та забезпечення сталості ланцюгів поставок. У статті акцентується увага на застосуванні таких підходів, як лінійне програмування, системна динаміка та агентно-орієнтовані моделі, що дозволяють досягти значних результатів у плануванні ресурсів, визначенні оптимальних стратегій транспортування та управлінні запасами. Описано роль математичних моделей у зниженні витрат на транспортування продукції та покращенні взаємодії між учасниками логістичних ланцюгів. Завдяки застосуванню моделей сезонних коливань попиту і пропозиції, агропідприємства здатні прогнозувати зміни в потребах ринку, адаптуючи свої логістичні стратегії до цих коливань. Агентно-орієнтовані моделі дозволяють моделювати взаємодію між різними агентами, зокрема постачальниками, фермерами та транспортними компаніями, що сприяє оптимізації ресурсів і покращенню ефективності співпраці між учасниками логістичних процесів. Стаття також розглядає перспективи розвитку агропромислової логістики, де інтеграція сучасних технологій, зокрема автоматизованих систем управління та обміну даними, стає важливим елементом для забезпечення гнучкості та адаптивності логістичних систем. Для підвищення ефективності та зменшення витрат рекомендується впроваджувати передові методи математичного моделювання та інноваційні

технології управління ланцюгами постачання, що дозволить агропідприємствам адаптуватися до змін зовнішнього середовища та забезпечити стабільність у процесах виробництва. У результаті дослідження доведено, що оптимізація логістичних процесів через застосування математичних моделей може значно покращити ефективність агропромислових комплексів, зменшити витрати та покращити якість продукції, що має важливе значення для підвищення конкурентоспроможності аграрної галузі.

Ключові слова: логістичні системи; агропромисловий комплекс; транспортування; управління запасами; логістика; сільськогосподарська продукція.

Вступ. Логістика є однією з ключових складових успішного функціонування агропромислових комплексів (АПК). Вона охоплює широкий спектр процесів, таких як транспортування, зберігання, переробка та розподіл сільськогосподарської продукції. В умовах сучасного ринку ефективне управління цими процесами стає вирішальним фактором для забезпечення конкурентоспроможності підприємств АПК.

Особливість логістики в агропромислових комплексах полягає у високій залежності від природних умов, сезонності виробництва та значних територіальних масштабів операцій. Водночас розвиток сучасних технологій відкриває можливості для підвищення ефективності управління логістичними системами за рахунок використання методів моделювання [1; 2].

У більшості агропромислових підприємств спостерігається значний потенціал для оптимізації логістичних процесів. Неефективне використання транспортних засобів, низький рівень координації між різними етапами постачання та недостатнє використання аналітичних інструментів призводять до зростання витрат і втрат продукції. Враховуючи постійне зростання потреб у продовольстві, вдосконалення логістичних систем АПК набуває першочергового значення [3; 4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми оптимізації логістичних систем агропромислових комплексів активно досліджуються як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Основна увага приділяється підвищенню ефективності транспортування, зберігання та постачання продукції, а також мінімізації витрат, пов'язаних із цими процесами.

Одним із найбільш поширених підходів є застосування

математичних моделей та методів оптимізації. Дослідження в цій галузі охоплюють:

- Розробку моделей транспортної задачі для мінімізації витрат на перевезення [Zhang et al., 2022].
- Використання методів лінійного та нелінійного програмування для оптимального розподілу ресурсів між пунктами виробництва та споживання [Лисенко та ін., 2020].

Системна динаміка як метод моделювання в агропромисловій логістиці дозволяє враховувати довгострокові тенденції та циклічність виробничих процесів. Наприклад, у роботах Sterman (2021) досліджено вплив сезонності та нерівномірності попиту на ефективність логістичних систем.

Агентно-орієнтовані моделі знаходять застосування для оцінки взаємодії між різними учасниками логістичних процесів. Дослідження Wang et al. (2023) демонструють, що ці моделі забезпечують більш точну оцінку впливу змін на рівні фермерів, транспортних компаній та складів.

Вагомий внесок у вивчення логістичних систем АПК зроблено також вітчизняними науковцями. У роботах [Іваненко та ін., 2021] розглянуто питання оптимізації транспортних маршрутів у контексті великих територій України. Особливу увагу приділено впливу погодних умов на логістичні витрати.

Попри значний прогрес у дослідженнях, існує низка невирішених питань:

1. Недостатнє врахування специфіки агропромислових процесів, таких як сезонність, великий обсяг продукції та її швидкокопсувність.
2. Відсутність інтегрованих моделей, які об'єднують різні аспекти логістики – транспортування, зберігання та управління попитом.
3. Брак адаптивних моделей, що дозволяють швидко реагувати на зміни зовнішніх умов, зокрема економічних і кліматичних.

Таким чином, аналіз останніх досліджень свідчить про необхідність створення комплексних математичних моделей, які враховують специфічні особливості АПК та забезпечують їх ефективне функціонування в сучасних умовах [6; 7; 8; 9; 10].

Постановка мети і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка математичних моделей для оптимізації логістичних систем агропромислових комплексів. Це дозволить підвищити ефективність

транспортування, зменшити витрати на зберігання продукції та забезпечити своєчасне постачання продукції до споживачів.

У цій роботі запропоновано комплексний підхід до моделювання логістичних систем АПК, що враховує специфічні фактори, такі як сезонність виробництва, територіальна розгалуженість та вплив зовнішніх умов. Використання розроблених моделей дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів і планування логістичних операцій.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності логістичних процесів у агропромислових підприємствах. Це сприятиме зменшенню витрат, зниженню втрат продукції та підвищенню рентабельності виробництва.

Таким чином, ця робота є актуальною та спрямованою на вирішення практичних задач, що мають важливе значення для розвитку агропромислового сектору.

Виклад основного матеріалу. Логістичні системи агропромислових комплексів (АПК) включають в себе всі етапи руху сільськогосподарської продукції від початкового виробництва до кінцевого споживання, а також усі об'єкти та процеси, що забезпечують цей рух. До основних етапів логістики АПК можна віднести:

- **Транспортування:** переміщення сільськогосподарської продукції від місця виробництва до складів, переробних підприємств або споживачів.

- **Зберігання:** процес збереження продукції на складах, охоплюючи як звичайні, так і спеціалізовані умови для зберігання (наприклад, холодильні склади).

- **Обробка та переробка:** використання продукції для подальшого виробництва або переробки, що також потребує належної логістики.

- **Розподіл і реалізація:** доставка готової продукції до споживачів, що може включати дрібну та оптову торгівлю.

Усі ці етапи можна оптимізувати за допомогою математичних моделей, що враховують особливості кожного з етапів. Основними завданнями оптимізації є мінімізація витрат на транспортування, зберігання, зменшення втрат продукції під час перевезень і зберігання та забезпечення своєчасного постачання.

Одним із основних інструментів оптимізації логістичних систем є лінійне програмування (рис. 1). За допомогою лінійних моделей можна розв'язувати задачу оптимального розподілу ресурсів,

наприклад, для вибору найефективніших маршрутів транспортування сільськогосподарської продукції. Типова задача виглядає так:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

де c_{ij} – витрати на транспортування одиниці продукції від пункту i до пункту j ; x_{ij} – кількість продукції, що транспортується з пункту i до пункту j ; n і m – кількість пунктів виробництва та споживання відповідно.

Задача обмежена такими умовами, як максимальні обсяги продукції, що можуть бути транспортовані або зберігатися, а також обмеження на наявні транспортні ресурси.

Аналіз залежності витрат від кількості продукції показує, як зростають загальні витрати на транспортування в залежності від кількості продукції.

Системна динаміка використовується для аналізу довгострокових і циклічних процесів, таких як сезонність у сільському господарстві. Ці моделі дозволяють враховувати коливання попиту, пропозиції та зберігання продукції, які є типовими для аграрного сектору.

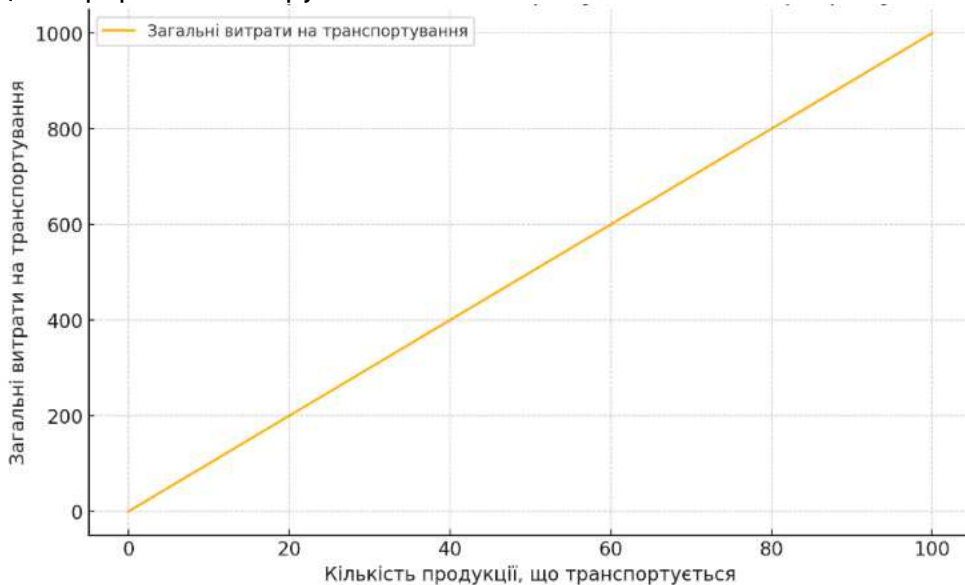


Рис. 1. Залежність витрат від кількості продукції

Моделювання сезонних коливань попиту та пропозиції дозволяє точно прогнозувати потреби в ресурсах на різних етапах виробничого циклу (рис. 2). Одним із таких підходів є використання

диференціальних рівнянь, що описують зміну обсягів виробництва та запасів продукції в залежності від часу:

$$\frac{dS(t)}{dt} = P(t) - D(t), \quad (2)$$

де $S(t)$ – запаси продукції в часі t ; $P(t)$ – обсяг виробництва в часі t ; $D(t)$ – попит на продукцію в часі t .

Модель дозволяють прогнозувати можливі дефіцити або надлишки продукції, що допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо зберігання або транспортування.

Аналіз залежності зміни запасів продукції з часом ілюструє сезонні коливання запасів продукції, що виникають через змінні обсяги виробництва і попиту протягом року.

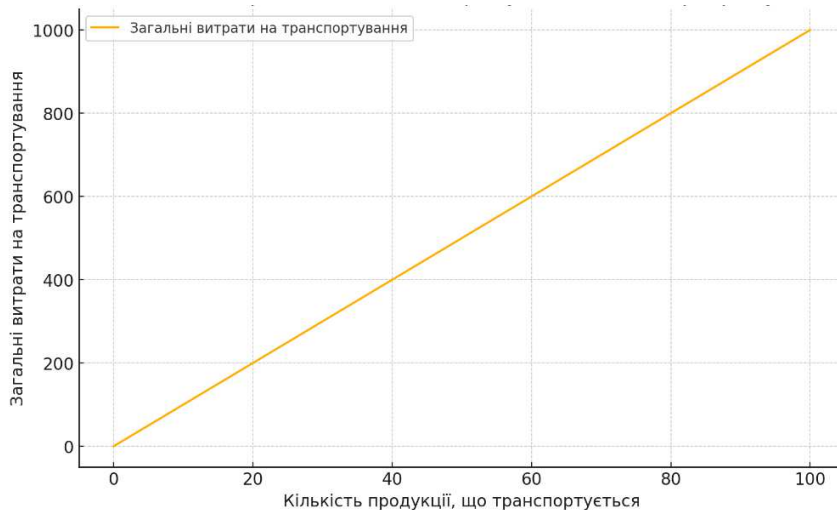


Рис. 2. Зміна запасів продукції з часом

Агентно-орієнтовані моделі широко застосовуються для моделювання взаємодії між різними учасниками логістичних процесів в АПК, як-от фермери, транспортні компанії, склади та споживачі. Кожен учасник (агент) має свої власні цілі та обмеження, і їх взаємодія визначає ефективність усієї логістичної системи. Моделювання такої системи дозволяє визначити оптимальні стратегії для кожного з учасників, сприяючи загальній оптимізації логістики. Наприклад, фермери можуть планувати виробництво відповідно до попиту, а транспортні компанії – вибирати найбільш ефективні маршрути для доставки продукції. Агентно-орієнтоване моделювання дає змогу врахувати такі чинники, як зміни попиту, погодні умови, а також специфіку кожного етапу логістичного ланцюга (рис. 3).

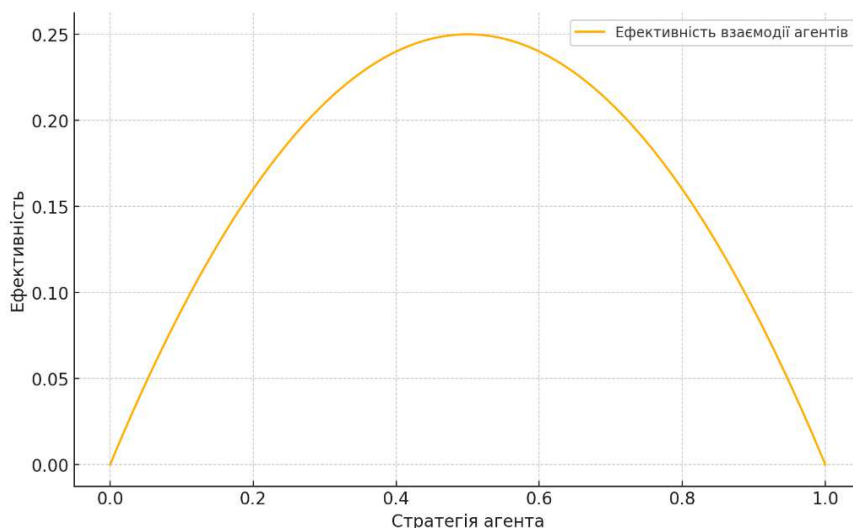


Рис. 3. Залежність ефективності від стратегії агентів

Аналіз результатів ефективності від стратегії агентів показує, як змінюється ефективність взаємодії агентів залежно від їх стратегій, де ефективність максимальна при стратегії, близькій до середини.

Для комплексної оптимізації логістичних систем АПК важливо поєднувати результати різних моделей, використовуючи інтегровані підходи. Це дозволяє оптимізувати не лише транспортування, а й усі етапи постачання продукції – від виробництва до споживання.

Інтеграція математичних моделей дозволяє врахувати сезонність, географічні особливості та вимоги до зберігання продукції, а також оптимізувати витрати на кожному етапі логістичного процесу.

Висновки. Логістичні системи є невід'ємною частиною агропромислових комплексів, оскільки забезпечують ефективне переміщення, зберігання та постачання сільськогосподарської продукції. Правильне моделювання логістичних систем дозволяє оптимізувати процеси, знижувати витрати та покращувати якість продукції на всіх етапах аграрного виробництва.

Подальші дослідження в області моделювання логістичних систем агропромислових комплексів мають великий потенціал для розвитку ефективних та сталих логістичних стратегій. Впровадження передових інформаційних технологій та автоматизованих систем управління ланцюгами постачання дозволить значно знизити витрати та підвищити конкурентоспроможність агропідприємств. Для підвищення ефективності логістичних систем агропромислових

комплексів слід активно впроваджувати сучасні методи математичного моделювання та інформаційні технології. Це дозволить не лише оптимізувати процеси постачання та транспортування, але й забезпечити гнучкість і адаптивність логістичних ланцюгів до змін у попиті, сезонних коливаннях та інших факторів, що впливають на виробництво.

1. Аулін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. Підвищення надійності машин і обладнання. *Increase of Machine and Equipment Reliability* : матеріали Міжнародної науково-практичної конф., 15–17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. 207 с. 2. Modeling of assessment of reliability transport systems / Holotiuk M., Tkhoruk Y., Kucher O., Krystopchuk M., Tson O. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport*. Ternopil : TNTU, Published by TNTU Publ. and Scientific Publishing House "SciView", 2019. P. 151–159. 3. Налобіна О. О., Голотюк М. В., Бундза О. З., Шимко А. В. Концептуальна модель оперативного управління транспортною системою в умовах воєнного стану. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті* : науковий журнал. Луцьк : Луцький НТУ, 2023. № 20. Том 1. С. 177–186. 4. Рудзінський В. В., Шумляківський В. П., Рудзінська О. В., Савченко Г. В. Особливості експлуатації транспорту загального призначення в технологіях інтелектуальних транспортних систем. *Вісник ЖДТУ*. 2016. № 2 (77). С. 238–246. 5. Голотюк М. В., Дорошук В. О., Пахаренко В. Л., Кучерук М. О. Моделювання управління транспортними потоками з використанням інтелектуальних транспортних систем. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2018. Вип. 3(83). С. 110–118. 6. Zhang Y., Li X., Chen W. Optimization of Transportation Costs in Agricultural Supply Chains Using Linear Programming Models. *Journal of Agricultural Systems and Logistics*. 2022. Vol. 45, No 2. P. 112–125. 7. Лисенко О. В., Коваленко І. П., Сидоренко М. Ю. Оптимізація розподілу ресурсів в агропромислових логістичних системах. *Вісник аграрної науки України*. 2020. № 2. Т. 3. С. 67–74. 8. Sterman J. D. System Dynamics in Agriculture: Managing Seasonal Production and Supply Chains. *Agricultural Systems*. 2021. Vol. 190. P. 103–120. 9. Wang H., Zhao L., Liu J. Agent-Based Models for Analyzing Agricultural Supply Chains: Applications and Future Directions. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 205. P. 107–115. 10. Іваненко В. М., Петренко О. Г., Шевченко А. Л. Вплив погодних умов на оптимізацію транспортних маршрутів в агропромислових комплексах. *Науковий вісник Національного аграрного університету України*. 2021. № 7. Т. 4. С. 42–49.

REFERENCES:

1. Aulin V. V., Hrynkiv A. V., Holovatyi A. O. Intelktualni transportni systemy yak rezultat vprovadzhennia innovatsiinykh efektyvnykh tekhnolohii. Pidvyshchennia nadiinosti mashyn i obladnannia. *Increase of Machine and Equipment Reliability* : materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konf., 15–17 kvitnia 2020 r. Kropyvnytskyi : TsNTU, 2020. 207 s.
 2. Modeling of assessment of reliability transport systems / Holotiuk M., Tkhoruk Y., Kucher O., Krystopchuk M., Tson O. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport*. Ternopil : TNTU, Published by TNTU Publ. and Scientific Publishing House “SciView”, 2019. P. 151–159.
 3. Nalobina O. O., Holotiuk M. V., Bundza O. Z., Shymko A. V. Kontseptualna model operatyvnoho upravlinnia transportnoiu systemoiu v umovakh voiennoho stanu. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti* : naukovyi zhurnal. Lutsk : Lutskiy NTU, 2023. № 20. Tom 1. S. 177–186.
 4. Rudzynskiy V. V., Shumliakivskiy V. P., Rudzinska O. V., Savchenko H. V. Osoblyvosti ekspluatatsii transportu zahalnoho pryznachennia v tekhnolohiiakh intelektualnykh transportnykh system. *Visnyk ZhDTU*. 2016. № 2 (77). S. 238–246.
 5. Holotiuk M. V., Doroshchuk V. O., Pakhareno V. L., Kucheruk M. O. Modeliuvannia upravlinnia transportnymy potokamy z vykorystanniam intelektualnykh transportnykh system. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2018. Vyp. 3(83). S. 110–118.
 6. Zhang Y., Li X., Chen W. Optimization of Transportation Costs in Agricultural Supply Chains Using Linear Programming Models. *Journal of Agricultural Systems and Logistics*. 2022. Vol. 45, No 2. P. 112–125.
 7. Lysenko O. V., Kovalenko I. P., Sydorenko M. Yu. Optyimizatsiia rozpodilu resursiv v ahropromyslovykh lohistychnykh systemakh. *Visnyk ahrarynoi nauky Ukrainy*. 2020. № 2. T. 3. S. 67–74.
 8. Sterman J. D. System Dynamics in Agriculture: Managing Seasonal Production and Supply Chains. *Agricultural Systems*. 2021. Vol. 190. P. 103–120.
 9. Wang H., Zhao L., Liu J. Agent-Based Models for Analyzing Agricultural Supply Chains: Applications and Future Directions. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 205. P. 107–115.
 10. Ivanenko V. M., Petrenko O. H., Shevchenko A. L. Vplyv pohodnykh umov na optyimizatsiiu transportnykh marshrutiv v ahropromyslovykh kompleksakh. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarynoho universytetu Ukrainy*. 2021. № 7. T. 4. S. 42–49.
-

Soroka V. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Doroshchuk V. O., Senior Lecturer, Holotiuk M. V., Candidate of Engineering (Ph.D), Associate Professor, Pylypaka T. S., Candidate of Engineering (Ph.D), Associate Professor, Valetska O. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

SIMULATION OF LOGISTICS SYSTEMS OF AGRICULTURAL COMPLEXES

The article presents the results of a study of the modeling of logistics systems of agro-industrial complexes, which is a key element for ensuring the efficiency of the processes of supply, transportation and storage of agricultural products. Considering the variety of factors that affect agricultural production, in particular seasonal fluctuations in supply and demand, it is necessary to apply various mathematical models to optimize logistics processes and ensure the sustainability of supply chains. The article focuses on the application of such approaches as linear programming, system dynamics, and agent-oriented models, which allow achieving significant results in resource planning, determining optimal transportation strategies, and inventory management. The role of mathematical models in reducing product transportation costs and improving interaction between participants in logistics chains is described. Thanks to the application of models of seasonal fluctuations in demand and supply, agricultural enterprises are able to predict changes in market needs, adapting their logistics strategies to these fluctuations. Agent-oriented models allow modeling the interaction between various agents, in particular suppliers, farmers and transport companies, which helps to optimize resources and improve the efficiency of cooperation between participants in logistics processes. The article also considers the prospects for the development of agro-industrial logistics, where the integration of modern technologies, in particular automated management systems and data exchange, becomes an important element for ensuring the flexibility and adaptability of logistics systems. To increase efficiency and reduce costs, it is recommended to implement advanced methods of mathematical modeling and innovative supply chain management technologies, which will allow agricultural enterprises to adapt to changes in the external environment and ensure stability in production processes. As a result of the study, it was proven that the optimization of logistics processes through the use of mathematical models can significantly improve the

efficiency of agro-industrial complexes, reduce costs and improve the quality of products, which is important for increasing the competitiveness of the agricultural industry.

***Keywords:* logistics systems; agro-industrial complex; transportation; inventory management; logistics; agricultural products.**