

2. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 338.43:519.710.34

ОПТИМАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕЛЕВАТОРНОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ

Грицюк П.М., д.е.н., професор, Бабич Т.Ю., ст. викладач

Національний університет водного господарства та природокористування

Україна, 33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11

gritsukp@ukr.net, t.iu.babych@nuwm.edu.ua

Експорт зерна є одним із головних джерел валютних надходжень в економіці України. Однак подальше зростання експорту зерна з України стримується слабким розвитком необхідної інфраструктури. Статтю присвячено проблемі розширення мережі елеваторних комплексів в південно-східних регіонах України. У статті проаналізовано співвідношення між валовим виробництвом зерна в степових областях України та потужністю елеваторних комплексів у цих областях. На підставі проведеного аналізу визначено загальний дефіцит елеваторних потужностей у степовій зоні України. Поставлено і розв'язано задачу про локалізацію центрів, які є економічно оптимальними для розміщення нових елеваторних комплексів. Цю задачу віднесено до транспортної задачі з невстановленим розташуванням споживачів на транспортній мережі. Мета задачі – мінімізація витрат із встановленням місця розташування споживачів. Враховано залежність затрат на перевезення як від відстані до елеватора, так і від обсягу перевезеного зерна. Також взято до уваги вартість внутрішньо обласних перевезень зерна. Проведено розрахунки та надано рекомендацію для визначення місця побудови одного елеваторного комплексу. У випадку побудови двох або більше комплексів авторами запропоновано двокроковий алгоритм попередньої кластеризації зони. На першому кроці всі області степової зони розбито на два кластери. Критерій розбиття – вилучення найбільш затратних маршрутів. На другому кроці визначено центри цих кластерів, виходячи з мети мінімальних загальних затрат на перевезення. Виконано обрахунок зважених відстаней, які відображають оптимізовані затрати на перевезення між двома відповідними обласними центрами. Рекомендовано оптимальний варіант для кількості та місця розташування майбутніх елеваторних потужностей.

Ключові слова: експортні можливості, валове зерновиробництво, елеваторний комплекс, кластеризація.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭЛЕВАТОРНОЙ СЕТИ УКРАИНЫ

Грицюк П.М., д.э.н., профессор, Бабич Т.Ю., ст. преподаватель

Национальный университет водного хозяйства и природопользования

Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, 11

Экспорт зерна является одним из главных источников валютных поступлений в экономике Украины. Однако дальнейший рост экспорта зерна из Украины сдерживается слабым развитием необходимой инфраструктуры. Статья посвящена проблеме расширения сети элеваторных комплексов в юго-восточных областях Украины. В статье проанализировано соотношение между валовым производством зерна в степных областях Украины и мощностью элеваторных комплексов в этих областях. На основе проведенного анализа определен общий дефицит элеваторных мощностей в степной зоне Украины. Поставлена и решена задача о локализации центров, которые являются экономически оптимальными для размещения новых элеваторных комплексов. Данная задача отнесена к транспортной задаче с неустановленным местоположением потребителя на транспортной сети. Цель задачи – минимизация расходов с установлением местоположения потребителей. Учтена зависимость расходов на перевозку как от расстояния до элеватора, так и от количества перевезенного зерна. Также принята во внимание стоимость внутренних областных перевозок зерна. Проведены расчеты и дана рекомендация для определения места строительства одного элеваторного комплекса. В случае строительства двух или больше комплексов авторами предложен двухшаговый алгоритм предварительной кластеризации зоны. На первом шаге все области степной зоны разбиты на два кластера. Критерий разбития – изъятие наиболее затратных маршрутов. На втором шаге определены центры этих кластеров, исходя из цели минимальных общих затрат на перевозки между двумя соответствующими областными центрами. Рекомендован оптимальный вариант для количества и местоположения будущих элеваторных мощностей.

Ключевые слова: экспортные возможности, валовое производство зерна, элеваторный комплекс, кластеризация.

OPTIMAL PLANNING OF NETWORK OF GRAIN ELEVATORS UKRAINE

Hrytsiuk P.M., Doctor of Economical Sciences, Babych T.Iu., Senior Lecturer

*National University of Water Management and Nature Resources Use
Ukraine, 33028, Rivne, Soborna str., 11*

Grain export is a major source of foreign exchange earnings in the economy of Ukraine. However, the subsequent growth of grain exports from Ukraine constrained by weak development of the necessary infrastructure. This article focuses on the problem of network expansion grain elevator complexes in the South-Eastern region of Ukraine. The article analyzes the ratio between gross grain production in the steppe regions of Ukraine and capacity of grain elevator complexes in these areas. The overall deficit of grain elevator capacities in the steppe zone of Ukraine is based on this analysis. The problem of localization centers that are economically optimal for location of new grain elevator systems was raised in this study. This task belongs to the transportation problem of finding with unidentified place of consumers on the transport network. The purpose of the task is minimizing the cost with establishing the location of customers. It was taken into consideration that the cost of transportation depends not only on the distance to the grain elevator, but also on the number of transported grain. Also the cost of grain internally regional transportation was taken into account. As a result of the calculations the place for building of one grain elevator complex is recommended. In the case of construction of two or more complexes authors previously proposed to conduct clustering of zone given by two stepper algorithm. In the first step all areas of the steppe zone divided into two clusters. The criterion of partitioning is removal of the most costly routes. In the second step determined the centres of these clusters, based on objective common minimum costs for transportation. Calculation of weighted distances that reflect the optimized cost of transportation between the two relevant regional centres has been carried out. The authors recommend the best option for the number and location of future grain elevator capacities.

Key words: opportunities of export, gross grain production, grain elevator complexes, transportation task, algorithm of clustering.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зернове господарство України – це стратегічна, одна з найбільш ефективних підгалузей сільського господарства. За останні десять років спостерігається чітка тенденція зростання обсягів виробництва зернових (з 38,0 млн. т в 2005 р. до 63,8 млн. т в 2014 р.) [1]. Оскільки внутрішнє споживання зерна в Україні становить приблизно 27 млн. т, збільшення врожайності зернових створює сприятливі можливості для збільшення експорту надлишків зерна. Експорт зерна є одним з головних джерел валютних надходжень. За останні десять років частка валютної експортної виручки України від аграрного сектора зросла вдвічі, з 13,3% до 25,9% [1]. Проте подальше розширення експортних можливостей стримує недостатня ємність зернопереробних підприємств – обсяг потужностей для зберігання та переробки зерна становить лише 31 млн. т [2-3].

Для збільшення обсягу експорту зерна необхідно розширити мережу елеваторних потужностей України, що дозволить зробити експортний трафік більш гнучким та економічно ефективним. Тому актуальною є задача локалізації центрів, які є економічно оптимальними для розміщення нових елеваторних комплексів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженням економічних аспектів виробництва та експорту зерна були присвячені праці таких науковців, як П. Т. Саблук [4], П. М. Грицюк [5], Б. Й. Пасхавер [6], В. Я. Месель-Веселяк [7], О. М. Шпичак [8] та інші. Автори вказаних досліджень зауважують невідповідність існуючої інфраструктури зернопереробної галузі зростаючим обсягам виробництва зерна в Україні. Для збільшення експорту зерна необхідно збудувати нові елеваторні та припортові комплекси, розширити та оновити парк вагонів-зерновозів, ширше використовувати спеціалізований автомобільний транспорт для місцевих перевезень.

Постановка та методи розв'язування задачі оптимального розміщення об'єктів на мережах розглянуті в роботах Б. Кумвала [9], Дж. Крарупа [10] та П. Мірчандані [11, с. 55]. У цій роботі розглянуто новий підхід до оптимального планування розміщення об'єктів (елеваторних комплексів) на графі, який моделює виробництво зерна в Україні в регіональному розрізі.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ

Метою даного дослідження є розробка моделі оптимізації розміщення нових елеваторних потужностей в степовій зоні України. Для досягнення основної мети поставлено такі завдання:

- проаналізувати стан зерновиробництва та забезпечення елеваторними потужностями областей України;
- побудувати математичні моделі задачі на оптимізацію розміщення одного та двох або більше елеваторних комплексів;
- розробити алгоритми розв'язування задач та розв'язати їх;
- на основі аналізу отриманих розв'язків зробити практичні висновки та рекомендації для народного господарства України.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Задача про планування мережі зернових елеваторів є прикладом транспортної задачі з невстановленим розташуванням споживачів на транспортній мережі. Це розташування повинен визначити дослідник, взявши за мету мінімізацію транспортних витрат. Найбільш перспективними місцями розташування нових елеваторів є південно-східні степові області України, які мають значні надлишки зерна і знаходяться найближче до основних морських портів. Проаналізуємо співвідношення між валовим виробництвом зерна в степових областях України [1] та потужністю елеваторних комплексів у цих областях [2] (табл. 1).

Як видно з таблиці 1, загальний дефіцит елеваторних потужностей у степовій зоні України становить 3,6 млн. т. З точки зору математичного моделювання найпростіший підхід полягає в тому, що дефіцит елеваторних потужностей може бути ліквідований шляхом побудови одного великого елеваторного комплексу поблизу одного з обласних центрів.

Таблиця 1 – Валове виробництво зернових в степових областях України (млн. т)

Рік	Херсонська	Запорізька	Миколаївська	Одеська	Донецька	Луганська	Харківська	Кіровоградська	Дніпропетровська
2004	1,94	1,84	2,70	3,65	2,05	1,13	2,15	2,68	3,06
2005	1,54	1,81	1,76	2,67	1,91	1,31	2,41	2,48	2,91
2006	1,47	1,76	1,95	2,81	1,65	0,85	1,72	2,41	2,64
2007	0,81	1,24	0,64	1,26	1,19	0,80	2,16	1,28	1,67
2008	2,17	2,73	2,46	3,51	2,32	1,67	3,77	2,83	3,61
2009	1,77	2,13	2,47	2,84	1,72	1,06	2,53	2,53	2,82
2010	1,51	1,91	2,20	2,93	1,80	0,81	1,27	2,37	2,71
2011	2,48	2,19	2,63	3,19	2,29	1,27	3,47	3,46	3,46
2012	1,06	1,20	1,28	1,88	1,64	1,29	2,72	2,34	1,55
2013	1,68	2,11	2,80	3,67	2,21	1,29	4,20	3,78	3,71
Середній валовий збір									
	1,64	1,89	2,09	2,84	1,88	1,15	2,64	2,62	2,81
Елеваторні потужності									
	1,30	1,37	2,00	2,74	1,19	0,89	2,14	1,88	2,27
Дефіцит елеваторних потужностей									
	0,34	0,52	0,09	0,10	0,69	0,26	0,95	0,74	0,54

Для спрощення будемо вважати, що всі міжобласні перевезення зерна здійснюються від одного обласного центру до іншого автомобільним транспортом. Один автомобіль перевозить приблизно 10 т зерна. При виконанні розрахунків нами була використана

експертна оцінка тарифу на перевезення зерна $C=0.7$ грн/(т·км). Таким чином, вартість зерна, перевезеного одним автомобілем на 1 км, становить 7 грн. Це є одиничний квант оцінки перевезень. Загальна вартість перевезень складається з суми таких квантів із урахуванням кількості автомобілів та відстаней, пройдених ними. Отримуємо лінійну цільову функцію від кількості автомобілів та відстані.

В основу розв'язування задачі кладеться такий принцип: сума добутків відстані, пройденої автомобілем, на обсяг перевезеного зерна повинна бути мінімальною. Цільова функція такої задачі матиме вигляд

$$F = \min_j \sum_{i=1}^n d_{ij} x_i, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де d_{ij} – відстань між обласними центрами i та j , $x_i > 0$ надлишок зерна в i -му регіоні, j – індекс обласного центру, біля якого буде розміщено елеваторний комплекс, $n=9$ – кількість областей, які ми включили в аналізований регіон. Задачі такого типу називають мінісумними [12, с. 127]. При побудові цільової функції необхідно також врахувати обсяг внутрішньообласних перевезень для i -го регіону, для оцінки якого ми використали вираз

$$F_{0i} = R_i x_i / 2, \quad (2)$$

Тут R_i – умовний радіус області, визначений з виразу $S_i = 4\pi R_i^2$, де S_i – площа цієї області. Уточнене значення цільової функції буде мати такий вигляд

$$F = \min_j \left(\sum_{i=1}^n d_{ij} x_i + R_i x_i / 2 \right), \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Оптимальне місце розташування елеваторного комплексу визначається з рівності

$$j_0 = \arg \min_j F, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де j_0 – індекс обласного центру, вибраного для розміщення елеваторного комплексу на основі викладених вище міркувань. Матрицю відстаней між обласними центрами степової зони України подано в табл. 2.

Таблиця 2 – Відстані між обласними центрами степової зони України (км)

	Херсон	Запоріжжя	Миколаїв	Одеса	Донецьк	Луганськ	Харків	Кіровоград	Дніпропетровськ
Херсон	0	297	51	171	560	806	576	225	376
Запоріжжя	297	0	337	497	217	365	287	303	81
Миколаїв	51	337	0	120	611	857	556	174	343
Одеса	171	497	120	0	713	977	831	294	376
Донецьк	560	217	611	713	0	148	335	520	252
Луганськ	806	365	857	977	148	0	333	668	394
Харків	576	287	556	831	335	333	0	387	213
Кіровоград	225	303	174	294	520	668	387	0	294
Дніпропетровськ	376	81	343	376	252	394	213	294	0
Дефіцит елеваторних потужностей (млн. т)	0,3	0,5	0,1	0,1	0,7	0,25	0,45	0,7	0,5
Затрати на перевезення (млн. грн)	1368,9	797,4	1381,25	1822,9	1086,65	1525,75	1150,15	1117,95	801,75
Умовний радіус області (км)	47,6	46,5	44,2	51,5	45,9	46,1	50	44,2	50,4
Обсяг внутрішньообласних перевезень (млн. т)	14,28	23,25	4,42	5,15	32,13	11,525	22,5	30,94	25,2
Уточнені затрати на перевезення (млн. грн)	1383,18	820,65	1385,67	1828,05	1118,8	1537,28	1172,7	1148,89	826,95

У нижньому рядку таблиці наведено значення виразів (3) для всіх областей розглянутого регіону. Умові мінімальних витрат задовільняє Запорізька область. Отже, якщо розміщувати елеваторний комплекс в одному місті, то оптимальним місцем розташування буде місто Запоріжжя. Обсяг затрат визначається із співвідношення cF_{j0} і становить 820,65 млн. грн (j_0 – індекс Запорізької області, $c = 0,7$ грн/(т·км) – експертна оцінка тарифу на перевезення зерна).

Варіант, розглянутий вище, не є економічно оптимальним, оскільки при локалізації елеваторного комплексу в одному місті доведеться виконувати перевезення зерна на великі відстані. Для мінімізації транспортних витрат доцільно побудувати декілька елеваторних комплексів меншої потужності. Очевидно, що недоцільно будувати елеваторні комплекси в Миколаївській та Одеській областях, оскільки в цих областях дефіцит елеваторів незначний (табл. 1). Поставимо задачу про вибір оптимального місця розташування двох елеваторних комплексів сумарною потужністю 3,6 млн. т.

Розв'язування задачі складається з двох етапів. На першому етапі відбувається розбиття всіх областей степової зони на два кластери. Критерієм розбиття є вилучення найбільш затратних маршрутів [13]. На другому етапі визначаються центри отриманих кластерів, виходячи з мети мінімальних загальних затрат на перевезення. Побудуємо допоміжну матрицю зважених відстаней V , кожен елемент якої визначається за співвідношенням

$$v_{ij} = d_{ij} \cdot \min(x_i, x_j). \quad (5)$$

Тут d_{ij} – відстань між обласними центрами з індексами i та j , v_{ij} – зважена відстань між обласними центрами з індексами i та j , x_i – дефіцит елеваторних потужностей у i -му обласному центрі, x_j – дефіцит елеваторних потужностей у j -му обласному центрі. Ідея виразу (5) полягає в тому, що вибираючи місце локалізації елеваторного комплексу з двох обласних центрів слід віддати перевагу області з більшим дефіцитом елеваторних потужностей. Значення елементів матриці (5) наведено в табл. 3. Зважені відстані відображають оптимізовані затрати на перевезення між двома відповідними обласними центрами.

Таблиця 3 – Зважені відстані між обласними центрами степової зони України (км)

Обласні центри	Херсон	Запоріжжя	Миколаїв	Одеса	Донецьк	Луганськ	Харків	Кіровоград	Дніпро-петровськ
Херсон	0	89	5	17	168	202	173	68	113
Запоріжжя	89	0	34	50	109	91	129	152	41
Миколаїв	5	34	0	12	61	86	56	17	34
Одеса	17	50	12	0	71	98	83	29	38
Донецьк	168	109	61	71	0	37	151	364	126
Луганськ	202	91	86	98	37	0	83	167	99
Харків	173	129	56	83	151	83	0	174	96
Кіровоград	68	152	17	29	364	167	174	0	147
Дніпропетровськ	113	41	34	38	126	99	96	147	0
Дефіцит елеваторних потужностей (млн. т)	0,3	0,5	0,1	0,1	0,7	0,25	0,45	0,7	0,5

Перший етап. Алгоритм кластеризації має такий вигляд [13].

Визначаємо найбільший елемент матриці $\max_i V_{ij}$. Умовно позначаємо рядок i , до якого належить цей елемент матриці, як «червоний» рядок, стовпець j , до якого належить найбільший елемент, – як «синій» стовпець. Області A_i та A_j відносимо до різних кластерів, які позначаємо як «червоний» та «синій».

Визначаємо наступний у порядку спадання елемент матриці $\max_2 = V_{pq}$. Якщо $p=i$, то q -а область буде віднесена до «синього» регіону; якщо $q=j$, то p -а область буде віднесена до «червоного» регіону.

Якщо для вибраного елемента $\max_2 = V_{pq}$ виконується умова $(p \neq i) \wedge (q \neq j)$, то за умови $d_{pi} < d_{pj}$ p -а область буде віднесена до «червоного» регіону; якщо ж $d_{pi} \geq d_{pj}$, то p -а область буде віднесена до «синього» регіону; якщо $d_{iq} < d_{jq}$, то q -а область буде віднесена до «червоного» регіону; якщо $d_{iq} \geq d_{jq}$, то q -а область буде віднесена до «синього» регіону.

Пункти 2-3 виконуємо доти, поки всю множину об'єктів не буде класифіковано.

Другий етап: визначення центрів кластерів – вузлів, у яких доцільно розмістити елеватори. Цей етап виконується за мінісумним принципом (3)-(4). Результати розрахунків, виконаних за описаним вище алгоритмом, наведено в табл. 4-5. З таблиць видно, що сумарні витрати на перевезення зерна у випадку побудови елеваторних комплексів у Кіровограді і Запоріжжі становитимуть $145,24 + 436,05 = 581,29$ млн. грн. Це в 1,41 разу менше від вартості перевезень у випадку побудови одного елеваторного комплексу.

Таблиця 4 – Відстані між обласними центрами (км)

№ з/п	Обласні центри	Херсон	Миколаїв	Одеса	Кіровоград
1	Херсон	0	51	171	225
2	Миколаїв	51	0	120	174
3	Одеса	171	120	0	294
4	Кіровоград	225	174	294	0
Дефіцит елеваторних потужностей (млн. т)		0,3	0,1	0,1	0,7
Затрати на перевезення (млн. грн)		179,7	149,1	269,1	114,3
Радіус області (км)		47,6	44,2	51,5	44,2
Обсяг внутрішньообласних перевезень (млн. т)		14,28	4,42	5,15	30,94
Уточнені затрати на перевезення (млн. грн)		193,98	153,52	274,25	145,24

Таблиця 5 – Відстані між обласними центрами (км)

№ з/п	Обласні центри	Запоріжжя	Донецьк	Луганськ	Харків	Дніпропетровськ
1	Запоріжжя	0	217	365	287	81
2	Донецьк	217	0	148	335	252
3	Луганськ	365	148	0	333	394
4	Харків	287	335	333	0	213
5	Дніпропетровськ	81	252	394	213	0
Дефіцит елеваторних потужностей (млн. т)		0,5	0,7	0,25	0,45	0,5
Затрати на перевезення (млн. грн)		412,8	422,25	632,95	567,75	411,25
Радіус області (км)		46,5	45,9	46,1	50	50,4
Обсяг внутрішньообласних перевезень (млн. т)		23,25	32,13	11,525	22,5	25,2
Уточнені затрати на перевезення (млн. грн)		436,05	454,38	644,475	590,25	436,45

Для розбиття регіону на 3 кластери вибираємо той з отриманих вище двох кластерів, для якого функція вартості перевезень є більшою (табл. 5), і розбиваємо його на два підкластери за описаним вище алгоритмом. У результаті визначаються такі міста побудови трьох елеваторних комплексів: Кіровоград, Дніпропетровськ і Донецьк. Сумарні затрати на перевезення зерна в цьому випадку становитимуть $145,24+121,05+177,63=443,92$ млн. грн (табл. 6-7). Аналогічно здійснюється розбиття на 4, 5 і більше кластерів. Розбиття

припиняється тоді, коли для всіх кластерів буде виконана деяка, наперед задана умова, наприклад $\sum_{i=1}^n d_{ij} x_i < f_0$.

Таблиця 6 – Відстані між обласними центрами (км)

№ з/п	Обласні центри	Запоріжжя	Донецьк	Луганськ
1	Запоріжжя	0	217	365
2	Донецьк	217	0	148
3	Луганськ	365	148	0
Дефіцит елеваторних потужностей (млн. т)		0,5	0,7	0,25
Затрати на перевезення (млн. грн)		243,15	145,5	286,1
Обсяг внутрішньообласних перевезень (млн. т)		23,25	32,13	11,525
Уточнені затрати на перевезення (млн. грн)		266,4	177,63	297,63

Таблиця 7 – Відстані між обласними центрами (км)

	Обласні центри	Харків	Дніпропетровськ
4	Харків	0	213
5	Дніпропетровськ	213	0
Дефіцит елеваторних потужностей (млн. т)		0,45	0,5
Затрати на перевезення (млн. грн)		106,5	95,85
Обсяг внутрішньообласних перевезень (млн. т)		22,5	25,2
Уточнені затрати на перевезення (млн. грн)		129	121,05

ВИСНОВКИ

Для підвищення зернового експортного потенціалу України необхідна добудова елеваторних комплексів загальною потужністю 3,6 млн. т зерна у південно-східному регіоні України. Використовуючи оптимізаційний алгоритм розміщення об'єктів на мережах та оптимізаційний алгоритм кластеризації регіону на основі критерію мінімізації вартості перевезень, нами було розв'язано задачу про визначення оптимальних місць розташування майбутніх елеваторних комплексів для випадків 1-го, 2-х та 3-елеваторних комплексів. У виконаних нами розрахунках та оцінках не враховано витрати, необхідні для побудови елеваторних потужностей. Функція цих витрат буде нелінійною зростаючою функцією від кількості елеваторних комплексів. Вигляд цієї функції буде деталізовано в подальших наших роботах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс] / Сайт Ukrstat.gov.ua. — Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/> 24.06.2015.
2. Товстопят А. Производство зерна в Украине, сопутствующая инфраструктура экспорта зерна: среднесрочная перспектива развития [Электронный ресурс] / А. Товстопят. — Май, 2013. — Режим доступа : <http://cfts.org.ua/analytics?page=2> 24.06.2015.
3. Програма «Зерно України – 2015». — К. : ДІА, 2011. — 48 с.
4. Саблук П. Сучасний стан та перспективи розвитку агропромислового комплексу України / П. Саблук // Економіка України. — 2008. — №12. — С. 4—18.
5. Грицюк П. М. Перспективи зерновиробництва та експорту зерна з України в контексті світової продовольчої кризи / П. М. Грицюк // Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції: зб. наук. праць. — Київ, СЕУ ; Рівне, НУВГП, 2013. — Вип. XIX, № 4. — С. 87—97.
6. Виклики і шляхи агропродовольчого розвитку / [Пасхавер Б. Й., Шубравська О. В., Молдаван Л. В. та ін. ; за ред. Б. Й. Пасхавера]. — К. : НАН України ; Ін-т екон. та прогноз., 2009. — 432 с.

7. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року / за ред. Ю. О. Лупенка, В. Я. Месель-Веселяка. — К. : Нац. наук. центр «Інститут аграрної економіки», 2012. — 182 с.
8. Система організаційно-економічних механізмів функціонування основних агропродовольчих підкомплексів рослинництва України / Шпичак О. М., Боднар О. В., Пашко С. О. ; за ред. академіка УААН О. М. Шпичака. — К. : ЗАТ «Нічлава», 2009. — 406 с.
9. Khumawala B. M. An Efficient Branch-Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem / B. M. Khumawala / *Management Science*. — 1972. — Vol. 18, iss. 12. — Pp. 718—731.
10. Krarup J. The simple plant location problem: Survey and synthesis / J. Krarup, P. M. Pruzan / *European Journal of Operational Research*. — 1983. — Vol. 12, iss. 1. — Pp. 36—81.
11. Mirchandani P. B. *Discrete Location Theory* / P. B. Mirchandani, R. L. Francis. — John Wiley & Sons, New York, 1990. — 555 p.
12. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес ; [перев. с англ. под ред. Г. Гаврилова]. — М. : Мир, 1978. — 432 с.
13. Грицюк П. М. Мінімізуючий алгоритм розміщення споживачів на транспортній мережі / П. М. Грицюк, Т. Ю. Бабич // Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів : матеріали міжнар. наук. конф., м. Рівне, 19-22 лют. 2015 р. — С. 61—62.

REFERENCES

1. Official website of the State Statistics Service of Ukraine, available at: www.ukrstat.gov.ua/ (access June 24, 2015).
2. Tovstopyat, A. (2013), “Grain production in Ukraine, associated infrastructure for grain export: medium-term prospects of development”, available at: <http://cfts.org.ua/analytics?page=2>, (access June 24, 2015).
3. Prohrama “Zerno Ukrainy – 2015”, (2011), [The program “Grain of Ukraine – 2015”], DIA, Kyiv, Ukraine.
4. Sabluk, P. (2008), “Modern State and prospects for development of agriculture of Ukraine”, *Economy of Ukraine*, vol. 12, pp. 4-18.
5. Hrytsiuk, P.M. (2013), “Prospects for grain production and grain exports from Ukraine in the context of the global food crisis”, *Problemy ratsionalnoho vykorystannia sotsialno-ekonomichnoho ta pryrodno-resursnoho potentsialu rehionu: finansova polityka ta investysii: Zbirnyk naukovykh prats*, Kyiv, SEU / Rivne, NUWM, vol. XIX, no. 4, pp. 87-97.
6. Paskhaver, B.I., Shubravska, O.V., Moldavan, L.V., Krysanov, D.F., Hannachenko, S.L., Didkivska, L.I. and Prokopenko, K.O. (2009), *Vyklyky i shliakhy ahroprodovolchoho rozvytku* [Challenges and ways of agri-food development], Natsionalna Akademiia Nauk Ukrainy; Institut ekonomiky ta prohnozuvannia, Kyiv, Ukraine.
7. Lupenko, Iu.O. and Mesel-Veseliak V.Ia. (2012), *Stratehichni napriamy rozvytku silskoho hospodarstva Ukrainy na period do 2020 roku* [Strategic directions agricultural development of Ukraine till 2020], Natsionalnyi naukovyi tsentr “Institut ahrarnoi ekonomiky”, Kyiv, Ukraine.
8. Shpychak, O.M., Bodnar, O.V. and Pashko, S.O. (2009), *Systema orhanizatsiino-ekonomichnykh mekhanizmiv funktsionuvannia osnovnykh ahroprodovolchych pidkompleksiv roslynnytstva Ukrainy* [The system of organizational and economic mechanisms of functioning of basic agro-food subcomplexes of plant growing of Ukraine], ZAT “Nichlava”, Kyiv, Ukraine.
9. Khumawala, B.M. (1972), “An Efficient Branch-Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem”, *Management Science*, vol. 18, iss. 12, pp. 718-731.
10. Krarup, J. and Pruzan, P.M. (1983), “The simple plant location problem: Survey and synthesis”, *European Journal of Operational Research*, vol. 12, iss. 1, pp. 36-81.
11. Mirchandani, P.B. and Francis, R.L. (1990), *Discrete Location Theory*, John Wiley & Sons, New York, USA.
12. Christofides, N. (1978), *Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podhod* [Graph theory], Translated by Gavrilov, G., Mir, Moscow, Russia.
13. Hrytsiuk, P.M. and Babych, T.Iu. (2015), “Minimizing algorithm of placing consumers in the transport network”, *Suchasni problemy matematychnoho modeliuvannia ta obchysliuvalnykh metodiv. Materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii* [Modern problems of mathematical modeling and computational methods. Conference proceedings of the International Scientific Conference], Rivne, EPD RSHU, February 19-22, 2015, pp. 61-62.