

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМ. ПРОФЕСОРА О.Д. СЕМКОВИЧА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітнього ступеня «Магістр»

на тему:

Оптимізація розподілу наявного парку автомобілів транспортного підприємства з врахуванням параметрів потоку вимог на перевезення вантажів

Виконав: студент групи Аін-51

Спеціальності 208 „Агроінженерія”
(шифр і назва)

Бойко Борис Борисович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор Оліскевич М.С.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Паславський Р.І.
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

АНОТАЦІЯ

Бойко Б. Б. Обґрунтування розподілу наявного парку автомобілів транспортного підприємства з врахуванням параметрів потоку вимог на перевезення вантажів // Магістерська кваліфікаційна робота. – ЛНУП, кафедра “Агроінженерії та технічного сервісу ім. проф Семковича О.Д.” – Дубляни, 2024. – 73 с.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розв’язування типових виробничих задач розподілу наявного парку АТЗ по замовленнях у випадку, якщо ці замовлення виникають стохастично, тобто становлять випадковий потік подій. У цій роботі представлено найбільш вдалі варіанти розв’язування, які базуються на отриманні точного гарантованого розв’язку. Тому ця робота присвячена питанню складу парку АТЗ та маршрутизації АТЗ. Метою моєї магістерської кваліфікаційної роботи є досягнення максимальної прибутковості використання парку АТЗ при їх розподілі для виконання замовлень по перевезенню вантажів, які становлять випадковий потік подій. Предмет дослідження – вплив кількості та провізної здатності парку АТЗ на ефективність виконання замовлень з перевезення вантажів при стохастичному характері їх надходження. Об’єкти дослідження – потоки замовлень на перевезення вантажів, маршрути перевезення вантажів на одноразових випадкових замовленнях, парк вантажних АТЗ. В результаті експериментальної перевірки гіпотези про відповідність потоку разових замовлень потоку Пуассона встановлено, що за умовами свого виникнення він відповідає найпростішому потоку. Аналіз умов отримання замовлень у різних регіонах дозволив виділити три групи напрямків перевезення вантажів в залежності від співвідношення інтенсивності надходження разових замовлень до інтенсивності надходження автомобілів: привабливі напрямки – при значеннях співвідношення $>1,05$; звичайні напрямки – при співвідношенні інтенсивностей від 0,7 до 1,05 та непривабливі напрямки, для яких це співвідношення є меншим за 0,7. Перевірки методу на тестовій моделі показала, що МГМ з попередньою класифікацією демонструє, приблизно, на 11% меншу гарантовану тривалість доставки усіх вантажів. При цьому також на 11% підвищується використання вантажних автомобілів і скорочується їх непродуктивний пробіг.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1. Загальна характеристика розподільчих задач	7
1.2. Методи розподілу гетерогенного парку АТЗ.....	10
1.3. Застосування обмежень для зменшення кількості можливих варіантів розподілу	11
1.4 Висновки за розділом.....	15
2. МОДЕЛЮВАННЯ ВХІДНИХ ПОТОКІВ ЗАМОВЛЕНЬ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТА ПРОЦЕСІВ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ	17
2.1. Дослідження параметрів вхідного потоку	17
2.2 Модель розподілу парку автомобілів за умов випадкового попиту.....	27
2.3. Розподіл наявного парку АТЗ за їх вантажністю при умові випадкових гуртових замовлень.....	31
2.4. Розподіл автомобілів по навантажувальних пунктах.....	36
3. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЗАДАЧ	39
3.1 Розподіл автомобілів при детермінованому потоці замовлень на перевезення.....	39
3.2. Приклад задачі стохастичного програмування	41
3.3 Розподіл автомобілів з розрахунком маршрутів за методом Кларка-Райта	42
4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ АВТОМОБІЛІВ ТА МАРШРУТИЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	55
4.1 Оцінка продуктивності автомобілів.....	55
4.2. Економічна оцінка оптимального розподілу автомобілів для великогуртових перевезень	56
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	59
ВИСНОВКИ.....	64
ЛІТЕРАТУРА	66
ДОДАТКИ	69
Додаток А. Матриці вхідних замовлень за 4 дні спостережень	70
Додаток Б Приклад розрахунку в середовищі Excel.....	72

ВСТУП

Однією з важливих задач організації автомобільних перевезень є вибір ефективних автотранспортних засобів (АТЗ), які найповніше відповідають конкретним виробничим умовам. Ці умови оцінюють параметрами маршрутів (довжина ходки з вантажем, марний пробіг, тривалість простоювання, коефіцієнт використання пробігу, та обсяги вантажів, які підлягають перевезенню. Вони можуть бути випадковими через випадковість процесу виникнення попиту, а також сталими через те, що автотранспортні підприємства мають постійних клієнтів, за якими закріплюють певні виробничі потужності.

Згідно з умовами використання, АТЗ поділяють на парк, постійно закріплений за певними об'єктами обслуговування і такий, який виконує випадкові замовлення. Наявні у автотранспортного підприємства (АТП) ресурси – АТЗ – є, як правило, різнотипними. Різнотипність означає, що автомобілі відрізняються призначенням і вантажністю. Тому задача вибору ефективних АТЗ переростає в задачу розподілу наявних ресурсів для виконання відомих замовлень. На практиці цю задачу називають також задачею диспетчеризації, оскільки нею займається диспетчерська служба АТП.

У цій магістерській роботі наведено результати розв'язування типових виробничих задач розподілу наявного парку АТЗ по замовленнях у випадку, якщо ці замовлення виникають стохастично, тобто становлять випадковий потік подій. Кількість відомих методів, а також програмних засобів розв'язання цих задач є такою великою, що важко зорієнтуватись у виборі раціонального. Тим не менше, у цій роботі представлено найбільш вдалий варіант розв'язування, який базується на отриманні точного гарантованого розв'язку. Тому ця робота присвячена питанню складу парку АТЗ та маршрутизації АТЗ.

Метою моєї магістерської кваліфікаційної роботи є досягнення максимальної прибутковості використання парку АТЗ при їх розподілі для виконання замовлень по перевезенню вантажів, які становлять випадковий потік подій.

Така мета досягається при розв'язку наступних задач дослідження.

1. Зробити огляд відомих досліджень в напрямку розподільчих задач на автомобільному транспорті.
2. Дослідити параметри вхідних потоків замовлень на перевезення вантажів.
3. Сформулювати і розв'язати задачу стохастичного розподілу парку АТЗ.
4. Дослідити залежність ефективності розподілу парку АТЗ від їх вантажності й структури маршрутів при дрібнопартійному перевезенні вантажів.

Предмет дослідження – вплив кількості та провізної здатності парку АТЗ на ефективність виконання замовлень з перевезення вантажів при стохастичному характері їх надходження.

Об'єкти дослідження – потоки замовлень на перевезення вантажів, маршрути перевезення вантажів на одноразових випадкових замовленнях, парк вантажних АТЗ.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Загальна характеристика розподільчих задач

Рациональний розподіл різнотипного рухомого складу за різними завданнями належать до розподільчих задач, або задач диспетчерського управління [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Якщо при цьому попит на перевезення є детермінованим, а ефект використання АТЗ є пропорційним до їх чисельності, то такий розподіл здійснюють методами лінійного програмування (ЛП). У загальному випадку ця задача формулюється так. Задано m типів АТЗ, яких є на підприємстві в кількості $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_m$. Тип АТЗ відповідає, як правило, його вантажності. Але окремі АТЗ можуть також відрізнятися іншими експлуатаційними параметрами на одних і тих самих, відомих маршрутах у зв'язку з їх конструктивними особливостями, технічним станом [4]. Відомі також замовлення на перевезення однорідних вантажів, які з різною ефективністю можна виконувати кожним із заданих типів АТЗ. Ефект від застосування автомобіля i -го типу для виконання j -го завдання можна подати у різних величинах: продуктивність – w_{ij} , витрати часу t_{ij} і коштів c_{ij} , очікуваний прибуток p_{ij} . В задачах подібного виду потрібно скласти план використання (розподіл) АТЗ за умови, що загальна кількість АТЗ j -го типу є обмеженою, тобто:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq A_j, j=1, 2, \dots, m. \quad (1.1)$$

де A_j – експлуатаційна кількість у парку АТЗ j -го типу.

План використання АТЗ позначають матрицею (x_{ij}) , де елементом матриці x_{ij} , як правило, позначають кількість автомобілів i -го типу, які використовуються на j -му завданні (маршруті, їзді тощо).

Якщо АТП складається з однотипних автомобілів з обумовленим річним фондом часу, то обмеження стосуються загальної кількості поїздок, які автомобілі цього типу можуть виконати на кожному з маршрутів

$$\sum_{i=1}^n z_{ik} \times x_i \leq Z_i, \quad (1.2)$$

де z_{ij} – кількість їздок, які за відведений термін може виконати автомобіль на i -му маршруті до k -го споживача;

x_i – кількість автомобілів, які працюють на i -му маршруті;

Z_i – запланована кількість ходок на i -му маршруті.

Обмеження можуть також стосуватись обсягу перевезень, наприклад, того, що попит повинен бути задоволений повністю [5]:

$$\sum_{j=1}^m q_{ij} \times x_{ij} \geq Q_i, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (1.3)$$

де q_{ij} – кількість вантажу, яку може перевезти автомобіль j -го типу на i -му маршруті, т;

Q_i – запланована до перевезення кількість вантажів (пасажирів) на i -му маршруті, яка, наприклад, продиктована нижньою межею беззбитковості (мінімальним обсягом перевезень, який обмежує беззбитковість підприємства).

Використовують, як правило один з трьох можливих критеріїв вибору АТЗ. Перший – мінімум сумарних витрат на перевезення [8]:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \times q_{ij} \times x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1.4)$$

де c_{ij} – собівартість перевезення 1 т вантажу автомобілями j -го типу на i -му замовленні, грн;

q_{ij} – фактична вантажність АТЗ автомобілів j -го типу на i -му замовленні, тон;

x_{ij} – кількість автомобілів j -го типу, які працюють на i -му маршруті (змінна задачі розподілу).

Другий критерій, який часто використовують – це загальний прибуток, який можна отримати внаслідок управління парком АТЗ:

$$\Pi = \underset{i=1}{\overset{n}{\mathbf{a}}} \underset{j=1}{\overset{m}{\mathbf{a}}} p_{ij} \times q_{ij} \times x_{ij} \text{ } \textcircled{R} \text{ } \max, \quad (1.5)$$

де p_{ij} – прибуток від перевезення 1 т вантажу, грн.

Третій з можливих критеріїв – сумарна продуктивність усіх автомобілів парку:

$$W = \underset{i=1}{\overset{n}{\mathbf{a}}} \underset{j=1}{\overset{m}{\mathbf{a}}} w_{ij} \times x_{ij} \text{ } \textcircled{R} \text{ } \max \quad (1.6)$$

Для того, щоб вибрати правильний критерій оптимізації розподілу, потрібно проаналізувати реальні виробничі умови. Вони залежать від того, як працює на ринку вантажних перевезень АТП. Так коли провізна спроможність парку є надлишковою або достатньою щодо всіх замовлень, а перевізницька фірма зазнає відчутну конкуренцію, то використовують критерій (1.4). Якщо провізна спроможність АТЗ є недостатньою, а фірма є монополістом на ринку перевезень, то використовують критерій (1.5). Якщо ж при недостатній провізній спроможності парку фірма зазнає конкуренції, то для утримання на ринку перевезення потрібно якнайповніше задовольняти попит, отже, розвивати максимальну продуктивність парку – використовувати критерій (1.6).

1.2. Методи розподілу гетерогенного парку АТЗ

Гетерогенним називають парк АТЗ, який складається з різних за вантажністю, а, отже і за продуктивністю автомобілів. У задачі маршрутизації гетерогенного фіксованого парку автотransпортних засобів (МГФПАТЗ) розмір парку є сталим або обмеженим максимальною кількістю, але на відміну від класичної транспортної задачі, транспортні засоби можуть бути різного розміру та мати різні постійні та змінні витрати. Мета тут полягає не в створенні оптимального парку, а в тому, щоб використовувати різні наявні транспортні засоби найкращим чином. Еталонні екземпляри для МГФПАТЗ подібні до восьми найбільших екземплярів набору, який використовується для транспортної задачі, представленого в роботі [27]. Порівняння різних методик рішення показано в [20]. Головний метод розглядає реальний випадок доставки вантажів, які швидко псуються [20]. Проблема моделюється як МГФПАТЗ і вирішується за допомогою алгоритму, що називається зворотним відстеженням адаптивного порогу прийняття рішення (ЗВАППР). Алгоритм зміг забезпечити практичні рішення, і результати показали значні покращення в операційній продуктивності конкретного АТП. Тут порогове значення критерію розв'язку, яке використовується для прийняття чи відхилення нового рішення, порівнюється з максимальним значенням, збереженим у списку. Список має фіксований розмір і містить найближчі відносні витрати на нові рішення, знайдені під час пошуку, порівняно з найкращим знайденим рішенням. Метод перевірено на двох тематичних дослідженнях у молочному та будівельному секторах, які показують, що він перевершує раніше опубліковані підходи авторів до вирішення МГФПАТЗ. Цей метод також дозволив значно зменшити вимоги до розміру автопарку та витрати на відрядження порівняно з поточною практикою планування парку. Недоліком методу називають неможливість його застосування для умов обмеженої інформації.

Іншим ефективним є алгоритм посадки пасажирів (АПП), який використовує принцип: кластер – по-перше, маршрут – по-друге, який спочатку групує клієнтів у відповідні кластери, а потім знаходить найкращий маршрут, відвідуючи всіх клієнтів у кожному кластері [22]. На відміну від більшості інших алгоритмів, він враховує можливість оренди транспортного засобу при нестачі доступних АТЗ. За цим визначенням можна розглядати проблему як проблему постійного парку транспортних засобів зі змінним парком орендованих транспортних засобів. Алгоритм також має справу з можливістю поділу випадкового попиту на перевезення на частини. Однак АПП, як правило, знаходить такі рішення, які краще використовують провізну здатність АТЗ, дозволяючи зменшити кількість необхідних транспортних засобів. Цей алгоритм дає найкращі результати на даний момент у восьми еталонних екземплярах. Вартість автопарку залежить від кількості використовуваних транспортних засобів і загальної невикористаної ємності [23]. Для вирішення проблеми автори розробили гібридний імітований метод відпалу, який перевірено на кількох нових прикладах. Результати невеликих екземплярів порівнюються з оптимальним рішенням, знайденим точними методами, тоді як більші екземпляри порівнюються з нижньою межею, отриманою шляхом розв'язання TSP гігантського туру, що відвідує всіх клієнтів. Результати показують, що запропонована евристика може знайти хороші рішення за прийнятний час.

1.3. Застосування обмежень для зменшення кількості можливих варіантів розподілу

1.3.1. Багатоваріантність і складність розподільчих задач. Сучасні моделі розподільчого типу стають більшими стосовно кількості змінних,

тому пошук їх розв'язання ускладнюється і в окремих випадках задачі перетворюються у такі, які не мають стабільного розв'язку [10]. Ці моделі загалом не можуть вирішити проблеми оптимальності, навіть із сучасною методологією та обладнанням. Це справедливо для більшості проблемних задач, які мають відповідний розмір для галузі.

Використання метаевристичних і комбінованих методів для вирішення цих проблем домінує серед методів вирішення, хоча в окремих працях повідомляється про деякі роботи з використанням точних методів [21]. Поступово більші приклади даної моделі можуть бути розв'язані. Це цілком очікувано, і це відображає як загальний прогрес у обчислювальній потужності, так і розвиток методів оптимізації. Застосування розширеніших моделей означає, що фактичний розмір проблеми з точки зору клієнтів і транспортних засобів, яку можна вирішити оптимально, зазвичай стає меншим. Моделі також стають більш інтегрованими, зосереджуючи, наприклад, як розміру автопарку, так і асортименту, управління ланцюгом постачання та іншими аспектами ланцюга постачання, такими як розташування. Одна з тенденцій тут також полягає в тому, щоб модуль оптимізації пропонував кілька хороших, різноманітних рішень, а не просто найкраще рішення, знайдене відповідно до реалізованої моделі. Чого явно бракує в літературі, так це трактування невизначеності та пов'язаних з нею концепцій ризику та гнучкості. Це може стосуватися, наприклад, часу в дорозі або попиту клієнтів. Історичні дані також є джерелом стохастичної інформації, яку можна використовувати для прогнозування майбутнього [4].

Ця стохастичність є невід'ємною частиною багатьох проблем, пов'язаних зі складом парку та маршрутами. Одним із простих прикладів є визначення розміру парку та його розподілу на наступний період оперативного планування для основної проблеми маршрутизації. Рішення буде набором транспортних засобів, який мінімізує очікувані витрати (або максимізує очікуваний прибуток) у порівнянні з набором майбутніх щоденних проблем, де стохастичність вхідного потоку, зазвичай, залежить

від очікуваного розташування клієнта, попиту клієнта або умов руху.

1.3.2. Часові обмеження. Природним розширенням ЗВАППР є введення часових вікон, пов'язаних із кожним клієнтом, що визначає інтервал, у якому має розпочатися обслуговування клієнтів. Ця проблема позначається як ЗВАППР з часовими вікнами [5]. Часові вікна можуть бути важкими, коли рішення, яке не задовольняє обмеження часового вікна, визначається як нездійсненне. Часові вікна також можуть бути м'якими, якщо більш рання або пізніша послуга не впливає на здійсненність рішення, але штрафується в цільовій функції. Це розширення також можна використовувати для визначення розподілу наявного парку та проблем маршрутизації.

1.3.3. Обмеження вантажомісткості. Реальний парк автомобільних транспортних засобів рідко буває однорідним [3]. Є декілька причин. Автопарк часто купується власником протягом тривалого періоду часу, і АТЗ матимуть різні характеристики внаслідок технологічного розвитку та ситуації на ринку. Витрати на експлуатацію, технічне обслуговування та амортизацію змінюватимуться протягом терміну експлуатації автомобіля. Крім того, власники, як правило, хочуть мати різноманітний набір типів транспортних засобів у своїх автопарках як через експлуатаційні обмеження, так і через властиві переваги універсальності. Ми поділяємо відмінні аспекти типів транспортних засобів на три основні категорії [7]:

- фізичні розміри;
- обмеження сумісності;
- витрати.

Фізичні розміри, такі як довжина, ширина та висота автомобіля, в основному визначають його вантажність. Під час автомобільних перевезень фізичні розміри та вага вантажів можуть обмежувати доступ до дорожньої мережі. Яскравими прикладами є вузькі дороги в містах і старих селах, а також обмежений простір біля рамп для завантаження або розвантаження. Обмеження розміру та ваги можуть навіть змінюватися з часом, як прикладом є сезонні обмеження навантаження на вісь.

1.3.4. Обмеження по швидкості. Ми також можемо розглядати швидкість автомобіля як фізичний вимір, точніше, фізичне обмеження. Нижчешвидкісний транспортний засіб також може мати нижчу вартість одиниці, але його використання може бути неможливим або дати менш економічно ефективно загальне рішення через часові обмеження [7]. В інших випадках потрібні спеціальні транспортні засоби з меншою швидкістю через обмеження обладнання або навколишнє середовище. Обмеження сумісності, окрім фізичних розмірів, іноді обмежують типи продуктів, які транспортний засіб може перевозити, і куди транспортний засіб може пересуватися. Часто клієнтам потрібен транспорт зі спеціальним обладнанням для вантажно-розвантажувальних робіт. Для роботи в певних областях можуть знадобитися спеціальні сертифікати. Є спеціальні зони, які мають особливо суворі обмеження щодо шкідливих викидів відпрацьованих газів. Подібним чином, особливо в міських районах, зараз існують дедалі суворіші екологічні обмеження щодо шуму, викидів газів і частинок, які обмежують використання транспортних засобів. Деякі продукти, такі як корозійні хімічні речовини, потребують вантажівок із цистернами зі спеціальним покриттям. Для перевезення небезпечних вантажів часто потрібні спеціальні транспортні засоби та сертифікати, а також можуть бути обмеження щодо маршруту.

1.3.5. Фінансові обмеження. Витрати є важливими факторами, що відрізняють типи транспортних засобів. Великі транспортні засоби, як правило, мають нижчу вартість одиниці, ніж менші транспортні засоби, враховуючи, що використання потужності є достатньо високим [4]. Старі транспортні засоби мають менші витрати на амортизацію, але вищі витрати на технічне обслуговування та екологію. Перш, ніж прийняти рішення про довгострокові інвестиції в парк, перевізник повинен розглянути стратегічний вибір між володінням транспортними потужностями та аутсорсингом. Очікувані доходи необхідно порівнювати з очікуваними витратами, як правило, в умовах значної невизначеності. На більш короткому горизонті мета часто полягає в тому, щоб досягти балансу між фіксованими витратами

на парк АТЗ і непередбаченими витратами, які накопичуються, коли попит перевищує потужність і зовнішні потужності повинні бути куплені, знову проблема, яка може ускладнюватися високою невизначеністю. Додаткова вантажоемність має цінність, оскільки більша гнучкість може дозволити кращі рішення маршрутизації. Навіть якщо автопарк призначений для транспортування одного виду вантажу, й усі транспортні засоби купуються одночасно, можуть бути вагомими причинами для збереження неоднорідного парку.

1.4 Висновки за розділом

Було проведено ретельний огляд більшості відповідних документів про комбінований склад гетерогенного парку АТЗ та маршрути з огляду на їх розподільчі аспекти. Переглянуто близько 40 статей. З них близько 50% мають загальний характер без прямого акценту на конкретному виді задач, тоді як 25% конкретно обговорюють розподільчу проблему. Решта 25% складають документи про мультимодальні перевезення.

Більшість робіт обговорюють тактичне прийняття рішень. Більшість робіт досліджують метаевристики через складність точного розв'язання задач маршрутизації. У частині огляду документи згруповано відповідно до основної схеми класифікації в межах комбінованого складу парку та маршрутів. Вони включають стандартний розмір парку та змішані транспортні задачі, а також важливі варіанти, такі як гетерогенний фіксований парк, проблеми з часовими вікнами, і проблеми з декількома депо, а також інші другорядні варіанти проблеми.

Головну критику сьогоднішніх досліджень комбінованого складу парку АТЗ, та проблем формування маршрутів можна розглядати як подвійну задачу. По-перше, існує тенденція описувати проблеми, надто ідеалізовані та далекі від вимог реального стану справ. Друга, але пов'язана з цим проблема – це відсутність розгляду стохастичних аспектів разом із поняттями ризику та

стійкості. Ми вважаємо, що обидва ці недоліки будуть краще усунені в наших дослідженнях.

Характеристики транспортного попиту в обсягах, часі та географії можуть спонукати до використання транспортних засобів різного розміру, незважаючи на те, що транспортні засоби більшої місткості часто дешевші за одиницю. Гетерогенний парк транспортних засобів, як правило, є більш гнучким і економічно ефективним щодо коливань попиту [3]. Крім того, можуть існувати обмеження, які роблять деякі типи вантажівок несумісними, як пояснено вище.

2. МОДЕЛЮВАННЯ ВХІДНИХ ПОТОКІВ ЗАМОВЛЕНЬ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТА ПРОЦЕСІВ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ

2.1. Дослідження параметрів вхідного потоку

Потік замовлень на перевезення вантажів являє собою послідовність однорідних подій, що відбуваються одне за одним у випадкові моменти часу. Серед властивостей, якими можуть володіти потоки, виділяють властивості стаціонарності, відсутності післядії і ординарності [14].

Властивість стаціонарності характеризується тим, що ймовірність надходження певної кількості замовлень за деякий проміжок часу не залежить від вибору початку його вимірювання, а залежить тільки від довжини цього проміжку. Отже, якщо потік має властивість стаціонарності, то ймовірність надходження певної кількості замовлень n за деякий проміжок часу тривалістю t є функція, що залежить лише від n і t .

Властивість відсутності післядії означає, що замовлення надходять незалежно одне від одного, тобто для будь-яких непересічних проміжків часу t число замовлень n , що надходять на один з них, не залежить від того, скільки замовлень надійшло за інший період. В такому випадку, умовна ймовірність надходження n замовлень на будь-якому проміжку часу t , обчислена за будь-яких припущень про те, що відбувалося до початку аналізованого проміжку, дорівнює безумовній ймовірності, тобто попередня поведінка потоку не позначається на ймовірності надходження замовлень n в найближчому майбутньому.

Отже, якщо потік має властивість відсутності післядії, то має місце взаємна незалежність надходження тої чи іншої кількості замовлень в непересічні проміжки часу t .

Властивість ординарності характеризується тим, що ймовірність надходження за певний проміжок часу двох або більше замовлень дуже мала у порівнянні з ймовірністю надходження одного замовлення. Отже, якщо

потік має властивість ординарності, то за нескінченно малий проміжок часу може з'явитися не більше одного замовлення.

У разі відповідності потоку замовлень всім вищезазначеним властивостям, можна говорити про те, що він відповідає найпростішому потоку однорідних подій [10]. Часто на практиці важко встановити, чи володіє потік всіма перерахованими властивостями. Тому існують й інші умови, при дотриманні яких потік можна вважати найпростішим або близьким до нього. Зокрема, встановлено, що якщо потік являє собою суму великої кількості незалежних рідкісних подій, вплив кожної з яких на всю їх суму мізерно малий, то сумарний потік рідкісних подій близький до найпростішого та має розподіл Пуассона [12].

Відповідність вхідного потоку випадкових замовлень пуассонівському має досить вагомні аргументи для його підтвердження. Адже окреме разове замовлення, про яке заявляє вантажовласник до виконання протягом доби є рідкісною подією, а кількість вантажовідправників, котрі мають разові потреби в перевезеннях протягом доби, є досить великою. Рідкість формування замовлень для окремого вантажовідправника обумовлена ринком разових замовлень, адже при великій кількості відправлень вантажу, зазвичай, укладається довгостроковий договір з транспортно-експедиційним або автотранспортним підприємством, що виключає часті замовлення з разового ринку. Виходячи з цього, надходження великої кількості разових замовлень від різних вантажовідправників по всій країні впродовж доби утворює сумарний потік, який за умовами свого виникнення відповідає найпростішому. Таким чином, припущення про відповідність вхідного потоку разових замовлень найпростішому Пуассонівському потоку приймається за основу для побудови аналітичних моделей досліджуваного процесу. Тому, нехай I - інтенсивність надходження замовлень на перевезення, тоді ймовірність того, що за проміжку часу t надійде рівно n замовлень, розраховується наступним чином [5]:

$$P_n = \frac{(1 - \lambda t)^n}{n!} \lambda e^{-\lambda t}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.1)$$

де P_n - ймовірність надходження рівно n замовлень;

n - кількість замовлень на перевезення вантажів, од.;

t - період надходження замовлень на перевезення вантажу, $t = 1$ доба.

Варто зазначити, що на спеціалізовані логістичні сайти замовлення надходять деякою сукупністю, що не завжди відображає реальну інтенсивність надходження запитів на міжміські вантажоперевезення, оскільки одне і теж замовлення може дублюватися декілька разів. Такий масив даних складний для математичного опису, і не являється корисним з точки зору вивчення природи потоку разових замовлень, оскільки не надає можливості встановити його закономірності, як першоджерела. Тому, у будь-якому разі, первинний масив даних повинен піддаватись ретельному очищенню та обробці, метою чого є отримання достовірної інформації щодо кількості заявлених протягом доби замовлень на міжміські вантажоперевезення. Такого роду процедура називається «просіюванням» [20]. В результаті «просіювання» моментів надходження замовлень на перевезення вантажу $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ існує можливість отримання послідовності показників a_1, a_2, a_n , використання яких дозволить визначити отримає або не отримає замовлення на перевезення окремих перевізників, тобто ймовірність отримання перевізником замовлення, що надходить, дорівнює наступному виразу:

$$P_1 = \{a_n=1\} = p. \quad (2.2)$$

Тоді ймовірність того, що перевізник не отримає замовлення на перевезення визначається за такою формулою:

$$P_0 = \{a_n=0\} = 1-p. \quad (2.3)$$

Початковий найпростіший потік разових замовлень з параметром λ трансформується в найпростіший потік разових замовлень на перевезення вантажів, які надходять до перевізника з параметром λ_p . Нехай вісь часу розділена на малі проміжки довжиною Δt . Нехтуючи величинами менше Δt , визначається ймовірність того, що в цей період часу не надійшло жодного замовлення:

$$P_0(\Delta t) = 1 - \lambda \Delta t, \quad (2.4)$$

де $P_0(\Delta t)$ – ймовірність відсутності замовлення за період часу Δt .

Ймовірність того, що в період часу довжиною Δt надійде рівно одне замовлення, буде дорівнювати $P_1(\Delta t)$, тобто

$$P_1(\Delta t) = \lambda \Delta t, \quad (2.5)$$

де $P_1(\Delta t)$ – ймовірність надходження замовлення за період часу Δt .

Якщо в період часу Δt надійде одне замовлення, то умовна ймовірність того, що його отримає певний перевізник, може бути визначена як $p_1(\Delta t)$:

$$P_1(\Delta t) = \lambda p \Delta t. \quad (2.6)$$

А ймовірність того, що в малий період Δt не надійшло жодного замовлення для певного перевізника дорівнює $p_0(\Delta t)$:

$$P_0(\Delta t) = 1 - \lambda p \Delta t. \quad (2.7)$$

Якщо період часу t розділений на w рівних проміжків довжиною Δt , то ймовірність того, що в цей час не надійде жодного замовлення для певного перевізника, прийме наступний вигляд:

$$p^w(\Delta t) = (1 - \lambda p \Delta t)^w, \quad (2.8)$$

де w – кількість проміжків, на які розділений період часу Δt .

Розподіл потоку замовлень на перевезення вантажів X_p , на відрізку часу довжиною t матиме такий вигляд:

$$P_n = P\{X_p = n\} = \frac{(lpt)^n}{n!} e^{-lpt}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.9)$$

Отримана математична модель є найпростішим представленням процесу отримання замовлень перевізником за інших ідеальних умов, а саме коли вхідний потік замовлень умовно налаштований саме для цього перевізника. Проте реальна ситуація отримання перевізником замовлення дещо інакша. Адже на практиці на замовлення може претендувати не лише один перевізник. Задля урахування рівня конкуренції на ринку транспортних послуг при визначенні ймовірності отримання та неотримання замовлення перевізником необхідно використовувати наступні формули:

$$P_1 = \frac{lpt}{m\phi}, \quad (2.10)$$

$$P_0 = 1 - \frac{lpt}{m\phi}. \quad (2.11)$$

Крім того, в результаті вивчення реальної картини надходження замовлень вдалось встановити, що насправді потоки замовлень на перевезення мають складну мінливу структуру, з деякими закономірностями змін її складових у часі й просторі. Так, замовлення на перевезення вантажів, можуть надходити як окремими одиницями, так і групою. У зв'язку з необхідністю врахування цих особливостей виникає потреба у розвитку моделі (2.9). Врахувати складну структуру потоку замовлень на перевезення можливо за допомогою методу твірних функцій, головна ідея якого полягає в тому, що рекурентне співвідношення, що визначає послідовність подій, представляють у вигляді рівняння для його твірної

функції, це рівняння вирішують, і по знайденій твірній функції отримують залежність загального члена послідовності [14]. Припустимо, що в моменти найпростішого потоку з параметром λ_p замовлення надходять групами, кількість яких являє собою послідовність незалежних випадкових величин, з натуральними значеннями $\{X_h\}$, $h \geq 1$ і відомим законом їх розподілу $\{Q_d\}$, $d = 1, 2, 3, \dots$. Нехай $j(n)$ – твірна функція для випадкового числа n замовлень в h групі. Тоді

$$j(n) = \sum_{d>1} Q_d \times n^d. \quad (2.12)$$

Залежність (2.12) дає можливість в цілому аналітично описати загальний потік замовлень, з урахуванням розподілу окремих одиниць замовлень в групах. Отже, на підставі математичного опису закономірностей надходження разових замовлень існує можливість перейти до використання відомого математичного апарату для оцінки діяльності підприємств-перевізників, що надаються послуги по обслуговуванню ринку разових замовлень [14, 20]. Використовуючи отримані залежності, здійснюється перевірка сумарного потоку інтенсивностей замовлень - досліджувався кожен регіон надходження за десяти сумарними значеннями кількості замовлень, що надійшли для цієї області в цілому за добу незалежно від напрямку перевезення вантажу. Двоетапна перевірка гіпотези про відповідність потоку разових замовлень потоку Пуассона дозволить дослідити не лише потік, що складається з рідкісних добових замовлень різних вантажовідправників, а й створить можливість оцінити сумарні добові потоки подій для кожного регіону. Завдяки представленню вихідного масиву даних щодо розподілу вантажопотоків у вигляді регіональної матриці, яка відображає разові потреби вантажовласників на переміщення продукції протягом доби для населених пунктів в укрупненому до регіоні вигляді, виникає питання щодо визначення кількості експериментів достатньої для адекватної перевірки гіпотези про характер вхідних потоків

для кожного з 600-та можливих напрямків перевезень вантажів. Для вирішення цього завдання припускається, що здійснюється χ -експериментів, в кожній серії якого перевіряється гіпотеза про пуассонівський потік при рівні значимості α рівному 0,05 (додаток А). При цьому ймовірність відкинути гіпотезу за умови, що вона правильна, β дорівнює 95%. Тоді, логічним є твердження, що для обраного рівня значимості кількість c -експериментів буде дорівнювати:

$$c = H \times 0,05, \quad (2.13)$$

де H – загальна кількість можливих маршрутів перевезення вантажів, од.
Тобто

$$c = 600 \times 0,05 = 30 \text{ од.}$$

Після цього, на підставі центральної граничної теореми, при β , дорівнює 0,95, визначаємо кількість можливих випадків спростування гіпотези про відповідність вхідного потоку разових замовлень потоку Пуассона серед встановленої кількості експериментів [15]:

$$c \leq n \times (1 - \alpha) + x_b \times \sqrt{c \times \alpha (1 - \alpha)}, \quad (2.14)$$

де χ – кількість можливих експериментів спростування гіпотези про відповідність вхідного потоку разових замовлень потоку Пуассона, од.;

x_b – табличне значення, $x_b = 1,65$ [38].

Тоді $\chi \leq 3,46$. Отримане значення χ свідчить про те, що з ймовірністю 0,95 кількість можливих випадків відкидання гіпотези про відповідність вхідного потоку разових замовлень потоку Пуассона з рівнем значимості $\alpha = 0,05$ для 30 експериментів не перевищить 3,46 од.

Наступним кроком дослідження вхідного потоку є вибір 30 напрямків перевезення вантажів з 600-та можливих їх варіантів, що будуть приймати участь в експерименті. Цей крок нами здійснюється в програмному

середовищі MS Excel за допомогою відповідної функції генератора випадкових чисел. Так, на підставі десяти значень інтенсивностей надходження разових замовлень для 30 випадково обраних напрямків перевезення здійснюється розрахунок емпіричної та теоретичної функцій розподілу Пуассона та визначається максимальне відхилення між зазначеними показниками:

$$D = \left| f_{i\phi} - \frac{(I t)^{n_{i\phi}}}{n_{i\phi}!} \times e^{-I t} \right|, \quad (2.15)$$

де $f_{i\phi}$ – накопичена частота i -го інтервалу, од.;

$v_{i\phi}$ – значення вибірки i -го інтервалу, од.

Результати розрахунків для обраних напрямків перевезення наведено в табл. 2.1. Графічна інтерпретація результатів розрахунків експериментального дослідження наводиться для напрямків перевезень, що характеризуються середнім та найбільшим відхиленням між емпіричною та теоретичною функцією розподілу Пуассона на рис. 2.1 та 2.2.

Оскільки в жодному з 30 напрямків перевезень, що брали участь в експерименті, максимальне відхилення між емпіричною та теоретичною функціями розподілу Пуассона не перевищило його критичного значення, то гіпотеза про відповідність вхідного потоку разових замовлень на міжміській вантажоперевезення потоку Пуассона на першому етапі перевірки не спростовується.

Методика виконання другого етапу дослідження аналогічна першому, проте вихідною інформацією для його виконання слугують 10 значень сумарних добових інтенсивностей надходження разових замовлень кожної з областей країни незалежно від напрямку перевезення вантажу.

В результаті перевірки сумарних добових потоків разових замовлень для кожної з областей країни на їх відповідність потоку Пуассона, гіпотеза щодо цього не спростовується.

Таблиця 2.1 – Максимальні значення відхилення між емпіричною та теоретичною функцією розподілу Пуассона для 30 випадково обраних напрямків перевезення вантажів за 2023 рік

№	Маршрут	Максимальне відхилення	№	Маршрут	Максимальне відхилення
1	Харків-Хмельницький	0,106	16	Хмельницький-Полтава	0,191
2	Закарпаття-Житомир	0,019	17	Рівне-Суми	0,233
3	Хмельницький-Чернігів	0,099	18	Суми-Закарпаття	0,082
4	Харків-Полтава	0,125	19	Хмельницький-Херсон	0,094
5	Харків-Херсон	0,101	20	Кропивницький-Чернігів	0,123
6	Хмельницький-Львів	0,101	21	Суми-Львів	0,112
7	Хмельницький-Львів	0,127	22	Чернігів-Миколаїв	0,086
8	Чернівці-Миколаїв	0,312	23	Хмельницький-Львів	0,206
9	Миколаїв-Донецьк	0,005	24	Львів-Вінниця	0,070
10	Миколаїв-Львів	0,139	25	Черкаси-Чернігів	0,081
11	Черкаси-Хмельницький	0,091	26	Запоріжжя-Дніпро	0,015
12	Дніпро-Львів	0,196	27	Харків-Суми	0,200
13	Львів-ІваноФранківськ	0,190	28	Рівне-Запоріжжя	0,100
14	Одеса-Львів	0,103	29	Луцьк-Житомир	0,115
15	Київ-Миколаїв	0,063	30	Львів-Харків	0,316



Рисунок 2.1 – Емпірична та теоретична функції розподілу Пуассона для маршруту «Хмельницький-Львів»



Рисунок 2.2 – Емпірична та теоретична функції розподілу Пуассона для маршруту «Львів-Запоріжжя»

Двократна успішна перевірка гіпотези про відповідність потоку замовлень закону Пуассона може вважатися практичним доказом цієї відповідності, що створює всі основи для використання властивостей закону Пуассона у подальших розрахунках.

2.2 Модель розподілу парку автомобілів за умов випадкового попиту

Попит на вантажні перевезення в загальному випадку є випадковою величиною: транспортною роботою, обсягом перевезень вантажів, або пасажирів тощо. Отже, до моменту планування структури і використання парку АТЗ нема точної інформації про нього. Є лише відомим закон розподілу випадкової величини, який виражається функцією густини розподілу $f(x)$. Задача обґрунтування структури парку формулюється так.

Продуктивність АТЗ, які можуть входити до складу парку, за період T задана рядом w_1, w_2, \dots, w_m , де для будь-яких $i > j$, $w_i < w_j$, $i, j = 1 \dots m$. Передбачається, що впродовж майбутнього планового періоду T існуватиме попит на виконання транспортної роботи X , який є випадковою величиною і виражається законом розподілу $F(p) = P(X < p)$ і густиною $f(p) = \frac{dF(p)}{dp}$. Для утримання одного автомобіля j -го типу впродовж T потрібні постійні витрати c_{nj} , а для виконання ним одиниці транспортної роботи – змінні витрати c_{zmj} . Потрібно так сформувати парк, щоб при умові максимального задоволення попиту сумарні витрати на перевезення були мінімальними.

Для розв'язування задачі введемо деякі позначення. Нехай x_i – кількість автомобілів i -го типу, $i = \overline{1, m}$ продуктивність кожного з яких – w_i . Продуктивність парку за період T дорівнює:

$$W = \sum_{i=1}^m w_i \times x_i, \quad (2.16)$$

де W наводиться у тжм за період T .

Реально виконана транспортна робота за умови, що попит на неї становить x , дорівнюватиме:

$$R = \min\{W, x\}, \quad (2.17)$$

що можна подати через функцію густини розподілу випадкової величини

$$R = \int_0^W p \times f(p) dp + W \int_W^{\infty} f(p) dp. \quad (2.18)$$

Перший доданок функціоналу (2.18) – це очікуваний рівень задоволення попиту (математичне сподівання) за умови, що цей попит апріорно менший від продуктивності парку. Оскільки в загальному випадку може виявитись, що $W > x$, то для успішного функціонування на ринку перевезень фірма повинна створити запас продуктивності парку, який виражено другим доданком функціоналу (2.18).

Фірма зі структурою парку АТЗ $x_1 \dots x_m$, де $x_i \geq 0$, матиме постійні витрати на його утримання:

$$C_n = \sum_{i=1}^m c_{ni} \times x_i, \text{ грн.} \quad (2.19)$$

Якщо увесь парк використовуватиметься впродовж періоду T , то змінні витрати становитимуть

$$C_{zm} = \sum_{i=1}^m c_{zm,i} \times x_i \times w_i, \text{ грн.}, \quad (2.20)$$

а загальні витрати:

$$C_{zm} = \sum_{i=1}^m (c_{ni} + c_{zm,i} \times w_i) \times x_i, \text{ грн.} \quad (2.21)$$

Максимальне використання парку при якомога повному задоволенні попиту може бути знайдено, якщо розв'язати задачу, яка формулюється так. Сформулювати такий розподіл наявного парку (x_i) , для якого $R \rightarrow \max$, $C \rightarrow \min$ при $x_{ij} \geq 0$.

Така задача належить до задач стохастичного програмування. Стохастичним програмуванням (СП) називають розділ математичного програмування, який вивчає теорію, моделі, методи розв'язування умовних екстремальних задач за неповної інформації щодо умов задачі [25]. Формулювання задач СП суттєво залежить від цільових засад інформаційної структури. Одне з формулювань задач керування і, зокрема, планування за умов невизначеності та ризику є таким. Нехай x означає можливе рішення з деякої апріорно допустимої множини X . Однак, наслідок рішення залежить не тільки від x , але й від випадкових чинників X , значення яких заздалегідь не відомі. Вважають, що відома множина X , така, що $x \in X$. Стосовно розподілу X на цій множині можуть бути різні гіпотези. У кращому випадку відомий точний закон розподілу X , у гіршому – лише те, що $x \in X$.

Задачу СП розв'язують непрямым методом. Цей метод ґрунтується на можливості явного запису функцій мети і обмежень і зведенні їх до детермінованих. Згідно з цим методом розв'язок сформульованої задачі зводиться до математичного програмування. Задачі такого типу розв'язують різними методами, зокрема множників Лагранжа, градієнтним тощо [25]. Це досить складні методи, а розв'язок кожної із задач нелінійного програмування залежить від функції мети. У цьому випадку не можна запропонувати універсального підходу. Ці методи є запрограмовані, і в цій магістерській роботі пропонується використати найпоширеніший такий програмний засіб, – Solver, застосунок до електронних таблиць *Excel*. Методика його використання є такою. Спершу знаходять таке числове значення перевізної спроможності W , яке б давало максимальну виконану транспортну роботу. Якщо відомо, що закон розподілу випадкової величини – нормальний, то згідно з формулою (2.19) обсяг наданих транспортних послуг визначається за формулою [7]:

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi s}} \int_0^W \frac{(p-\bar{p})^2}{2s^2} dp + \frac{1}{\sqrt{2\pi s}} \int_W^\infty \frac{(p-\bar{p})^2}{2s^2} dp \quad \text{max}, \quad (2.22)$$

де s - середньоквадратичне відхилення випадкової величини;

\bar{p} - математичне сподівання випадкової величини (обидві величини – константи).

Приклад розрахунку подано в додатку Б.

Спрощений остаточний вираз задоволеного попиту автомобільних перевезень при нормальному законі розподілу має вигляд [11]:

$$R = \frac{W}{2} + \sqrt{\frac{2}{p}} \times \frac{s}{2} \exp\left[-\frac{(\bar{p}-W)^2}{2s^2}\right] + \frac{\sqrt{2p}}{2s} \times \bar{p} \times \operatorname{erf}\left[\frac{\sqrt{2}(\bar{p}-W)}{2s}\right] - \exp\left[-\frac{(\bar{p}-W)^2}{2s^2}\right] + \sqrt{2} \frac{(p-1)}{\sqrt{p}} \times \operatorname{erf}\left[\frac{\sqrt{2}(\bar{p}-W)}{2s}\right], \quad (2.23)$$

де W – провізна спроможність парку;

\bar{p} - середнє значення попиту;

s - середньоквадратичне відхилення;

$\operatorname{erf}(x) = \int_0^x e^{-t^2} dt$ - відома в математичній статистиці функція помилок.

Якщо закон розподілу попиту на перевезення є експоненційним, то математичний вираз для задоволеного попиту є [2]:

$$R = \int_0^W p \times e^{-p} dp + \int_W^\infty W \times e^{-p} dp. \quad (2.24)$$

Перший інтеграл виразу (2.24) після інтегрування за частинами дорівнює:

$$\int_0^W p \times e^{-p} dp = \left. \frac{p \times e^{-p}}{-1} \right|_0^W - \int_0^W \frac{e^{-p}}{-1} dp = \frac{p \times e^{-p}}{-1} - W e^{-p} \Big|_0^W + \frac{1}{-1} = \frac{1 - e^{-1W}}{1} - W \times e^{-1W} \quad (2.25)$$

Другий інтеграл перетворюємо так:

$$\int_0^{\infty} W e^{-lp} dp = W \int_0^{\infty} \frac{e^{-lp}}{e^{-l}} \frac{1}{l} dl = W e^{-lW}. \quad (2.26)$$

Задоволений попит при експоненційному законі його розподілу з параметром l має вигляд

$$R = \frac{1 - e^{-lW}}{l}. \quad (2.27)$$

У формулі (2.27) W - детермінований, а l - випадковий чинник. Для розв'язування застосовуємо Solver.

2.3. Розподіл наявного парку АТЗ за їх вантажністю при умові випадкових гуртових замовлень

Структура парку автомобілів повинна якнайповніше відповідати розподілу гуртових замовлень, які є нероздільними (один гурт вантажів має перевозитись одним автомобілем). Тип автомобілів задано рядом за їх вантажністю q_1, q_2, \dots, q_m . Крім того, відомими є розподіл розмірів вантажів, заданий функцією густини $f(x)$ і їх середньодобова кількість - $N_{сд}$. Режим роботи підприємства є такий, що час перебування в наряді кожного автомобіля дорівнює T_n . Середня тривалість виконання замовлення автомобілем j -го типу (при умові відповідності його вантажності розміру гурту вантажу) - t_j .

Потрібно сформуванати раціональний розподіл АТЗ парку, тобто знайти таку кількість автомобілів j -го типу - $A_j, j=1, 2, \dots, m$, щоб кожен з них і парк в цілому були максимально завантажені на гуртових перевезеннях. Ймовірність надходження в АТП замовлення на перевезення гурту вантажу, для якого потрібен автомобіль вантажністю $q_j (j=1, 2, \dots, m-1)$ становить

$$p_j = \begin{cases} \int_0^{q_j} f(x) dx, & j=1 \\ \int_{q_{j-1}}^{q_j} f(x) dx, & j>1 \end{cases}, \quad (2.28)$$

де $f(x)$ – густина розподілу розмірів гуртів вантажів.

Ймовірність надходження замовлень на перевезення гурту вантажу, для чого потрібен автомобіль вантажністю q_m , який виконає замовлення за i ходок становитиме:

$$p_{m,i} = \begin{cases} \int_0^{q_m} f(x) dx, & i=1 \\ \int_{(i-1)q_m}^{iq_m} f(x) dx, & i>1 \end{cases}. \quad (2.29)$$

Потрібну кількість автомобілів j -го типу ($j=1, 2, \dots, m-1$) визначають за формулою:

$$A_j = \frac{N_{cd} \times p_j \times \alpha_j}{T_n}. \quad (2.30)$$

Потрібна кількість автомобілів вантажності q_m дорівнює:

$$A_m = \frac{N_{cd} \times \sum_{i=1}^{\infty} i \times p_{m,i} \times \alpha_m}{T_n}. \quad (2.31)$$

Загальна чисельність парку дорівнює

$$A_e = \sum_{j=1}^m A_j \quad (2.32)$$

Для експоненційного закону розподілу гуртів вантажу за розмірами, тобто заданого функцією

$$f(x) = \frac{1}{\bar{g}} e^{-\frac{x}{\bar{g}}}, \quad (2.33)$$

де \bar{g} - середній розмір гурту вантажів, т, ймовірності, виражені формулами (2.29), (2.30) набудуть виду:

$$p_1 = 1 - e^{-\frac{q_1}{\bar{g}}}, \quad (2.34)$$

$$p_j = e^{-\frac{q_{j-1}}{\bar{g}}} - e^{-\frac{q_j}{\bar{g}}}, \quad \text{для } 1 < j < m, \quad (2.35)$$

$$p_{m,i} = e^{-\frac{(i-1)q_m}{\bar{g}}} - e^{-\frac{iq_m}{\bar{g}}}, \quad (2.36)$$

Якщо розміри гуртів вантажу підпорядковані нормальному закону розподілу, то інтервальна оцінка частоти випадкової величини – гурту вантажів розміром g_j можна знайти за формулою:

$$p_j = \Phi\left(\frac{q_j - \bar{g}}{s_g}\right) - \Phi\left(\frac{q_{j-1} - \bar{g}}{s_g}\right), \quad (2.37)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ - функція стандартного нормального розподілу, яка є табульованою.

Тоді

$$p_{m,i} = \begin{cases} \Phi\left(\frac{q_m - \bar{g}}{s_g}\right) - \Phi\left(\frac{q_{m-1} - \bar{g}}{s_g}\right), & i = 1 \\ \Phi\left(\frac{i q_m - \bar{g}}{s_g}\right) - \Phi\left(\frac{(i-1) q_m - \bar{g}}{s_g}\right), & i > 1 \end{cases}, \quad (2.38)$$

Мною було досліджено розміри гуртів однорідного вантажу на підприємстві ТОВ «Транс-Сервіс-1», які є випадковою величиною, які підпорядковуються експоненційному закону $f(x) = 0,0675e^{-0,0675x}$. Середня вага гурту вантажу $\bar{g} = 1/0,0675 = 14,8$ т. Для перевезення річного обсягу $Q_p = 300$ тис. т на підприємстві можна використовувати три типи автомобілів з фактичними вантажностями $q_1 = 7,5$ т, $q_2 = 12,5$ т, $q_3 = 14$ т. Тривалість навантаження й розвантаження автомобілів є, відповідно, $t_{np1} = 1,47$ год., $t_{np2} = 1,58$ год., $t_{np3} = 1,58$ год. Інші показники є однаковими для всіх автомобілів: середня технічна швидкість – $V_t = 22$ км/год.; середня довжина ходки з вантажем – $l_g = 10$ км; коефіцієнт використання пробігу $b = 0,5$; час перебування в наряді $T_n = 9,5$ год. Задача полягає у тому, щоб визначити потрібну кількість автомобілів вантажністю q_1, q_2, q_3 , які можна було б найефективніше використати впродовж планового року. Розв'язання має такий вид. Якщо параметри маршрутів і всі інші експлуатаційні параметри автомобілів, крім коефіцієнта використання їх вантажності відомі, то задача зводиться до вибору автомобілів за вантажністю. Знайдемо ймовірність того, що впродовж року на підприємство надійде замовлення, для виконання якого найраціональніше використовувати автомобіль вантажністю q_1 за формулою (2.34):

$$p_1 = 1 - e^{-\frac{q_1}{\bar{g}}} = 1 - e^{-\frac{7,5}{14,8}} = 0,4;$$

вантажністю q_2

$$p_2 = e^{-\frac{q_1}{\bar{g}}} - e^{-\frac{q_2}{\bar{g}}} = e^{-\frac{7,5}{14,8}} - e^{-\frac{12,5}{14,8}} = 0,17.$$

Ймовірність $p_{3,i}$ надходження гуртів вантажу, які доцільно перевозити автомобілями максимальної вантажності q_3 за i ходок, визначають за формулою (2.35)

$$\begin{aligned}
 p_{3,1} &= e^{-\frac{12,5}{14,8}} - e^{-\frac{14,0}{14,8}} = 0,05; \\
 p_{3,2} &= e^{-\frac{14,0}{14,8}} - e^{-\frac{2 \times 4,0}{14,8}} = 0,24; \\
 p_{3,3} &= e^{-\frac{2 \times 4,0}{14,8}} - e^{-\frac{3 \times 4,0}{14,8}} = 0,13; \\
 p_{3,4} &= e^{-\frac{3 \times 4,0}{14,8}} - e^{-\frac{4 \times 4,0}{14,8}} = 0,01; \\
 p_{3,5} &= e^{-\frac{4 \times 4,0}{14,8}} - e^{-\frac{5 \times 4,0}{14,8}} \approx 0.
 \end{aligned}$$

Тривалість однієї їздки, яку здійснює автомобіль j -го типу, визначають за формулою:

$$t_j = \frac{l_g}{b \times V_t} + t_{np,j}, \text{ год.}, \quad (2.39)$$

Так, для автомобіля першого типу вона становитиме $t_1 = \frac{10}{0,5 \times 22} + 1,47 = 2,38$ год.; другого і третього $t = \frac{10}{0,5 \times 22} + 1,58 = 2,49$ год.

Середньодобову кількість замовлень визначимо за формулою

$$N_{cd} = \frac{Q}{\bar{g} \times D_i}, \quad (2.40)$$

де D_i – кількість днів роботи підприємства впродовж року (приймають 255 днів).

$$N_{cd} = \frac{3 \times 10^5}{14,8 \times 255} = 79,49.$$

Заокругливши до цілого, отримаємо 80 замовлень.

За формулами (2.29), (2.30) визначимо почергово потрібну кількість автомобілів:

вантажністю 7,5 т:

$$A_1 = \frac{80 \times 0,4 \times 2,38}{12} = 6,36, \text{ приймаємо } 7 \text{ автомобілів};$$

вантажністю 12,5 т:

$$A_2 = \frac{80 \times 0,17 \times 2,49}{12} = 2,82, \text{ приймаємо 3 автомобілі};$$

вантажністю 14,0 т:

$$A_3 = \frac{80 \times (0,05 + 0,24 + 0,13 + 0,01) \times 2,38}{12} = 7,138, \quad \text{приймаємо 8}$$

автомобілів. Отже, потрібна експлуатаційна кількість автомобілів для виконання замовлення підприємством «Транс-Сервіс-1» на заданому напрямі перевезень, яке має випадковий характер і підпорядковується експоненційному закону, становить $A_1 = 7$, $A_2 = 3$, $A_3 = 8$ автомобілів.

2.4. Розподіл автомобілів по навантажувальних пунктах

Визначення кількості автомобілів у черзі до завантаження (розвантаження) у транспортних пунктах – це ще один вид розподільчої задачі, яка відноситься до задач оперативної диспетчеризації. Згідно її умовами, потрібно визначити, скільки автомобілів чекатиме навантаження, і яким буде середній час очікування в черзі t_1 і час перебування під навантаженням t_2 , якщо відомі: інтенсивність надходження автомобілів до вантажного пункту $l = 5$ автомобілів/год.; інтенсивність обслуговування вантажного пристрою автомобілів $m = 6$ автомобілів/год. Логічно постає питання: як організувати навантаження, щоб у 95% часу в черзі було не більше максимально допустимої для даного пункту кількості автомобілів?

Коефіцієнт використання часу навантажувального пристрою визначається за формулою

$$r = \frac{l}{m}. \quad (2.41)$$

Для прикладу попереднього підприємства, $r = \frac{5}{6} = 0,83$. Середня кількість автомобілів у черзі визначиться при умові найпростішого Пуассонівського потоку подій:

$$n_1 = \frac{l^2}{m(m-1)}, \quad (2.42)$$

$$n_1 = \frac{5^2}{6(6-5)} = 4,17.$$

Середня кількість автомобілів у черзі і під навантаженням:

$$n_2 = \frac{l}{m-1}. \quad (2.43)$$

$n_2 = \frac{5}{6-5} = 5$. Середній час очікування в черзі:

$$t_1 = \frac{l}{m(m-1)}, \text{ хв.} \quad (2.44)$$

$$t_1 = \frac{5}{6(6-5)} = 0,83 \text{ год} = 50 \text{ хв.}$$

Визначимо ймовірність появи в черзі до навантаження не більше трьох автомобілів (для прикладу залізнично-автомобільного терміналу Львів-вантажний) за формулою:

$$P_n = \frac{l^n}{n!} \cdot \frac{1}{m-1} \cdot \frac{1}{m-1}. \quad (2.42)$$

За цією формулою, при

$$n = 0, P_0 = 0,250;$$

$$n = 1, P_0 = 0,188;$$

$$n = 2, P_0 = 0,141;$$

$$n = 3, P_0 = 0,106.$$

За формулою додавання ймовірностей сумісних подій знаходимо, що ймовірність появи в черзі не більше трьох автомобілів становить 0,685. Ймовірність того, що в черзі буде більше трьох автомобілів така:

$$1 - 0,685 = 0,315.$$

Для заданої ймовірності 0,95 розв'яжемо рівняння:

$$0.95 = (1 - l/m)(l/m)^0 + (1 - l/m)(l/m)^1 + (1 - l/m)(l/m)^2 + (1 - l/m)(l/m)^3$$

Це рівняння розв'язують способом підбору. Нехай $l/m=0,47$. Тоді:

$$0,47(1 + 0,47 + 0,221 + 0,104) = 0,95135.$$

Умова задачі виконується. Розв'язок знайдено. Отже, навантажувальний процес потрібно організувати так, щоб інтенсивність обслуговування автомобілів навантажувальними засобами була не меншою 10,63 автомобілі за годину. Це потрібно враховувати при розподілі вантажних автомобілів по маршрутах.

3. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЗАДАЧ

3.1 Розподіл автомобілів при детермінованому потоці замовлень на перевезення

Підприємство ТОВ «Транс-Сервіс-1» має постійних клієнтів, які з регулярною періодичністю надсилають замовлення на перевезення. Однак автотранспорт підприємства перебуває у випадковому розподілі щодоби. У зв'язку з цим, логічно постає питання про розподіл АТЗ по відомих (детермінованих) замовленнях, які легко спрогнозувати.

Для прикладу розглянемо задані на ТОВ 3 типи вантажних автомобілів, які потрібно розподілити між 4-ма відомими маршрутами. У табл. 3.1 наведено кількість автомобілів кожного типу - A_i , $i = 1, 2, 3$; обсяг перевезення на кожному маршруті - Q_j , який потрібно виконати за робочий день; обсяг перевезення w_{ij} , який автомобіль i -ї марки може перевезти на j -му маршруті за той самий період, а також експлуатаційні витрати c_{ij} , пов'язані з перевезенням 1 т вантажу автомобілем j -го типу на i -му маршруті.

Таблиця 3.1 – Початкові дані для розподілу автомобілів

Маршрути, j	Техніко-економічні показники для типу автомобіля						Обсяг перевезення, Q_j т
	$i = 1$		$i = 2$		$i = 3$		
	витрати, c_{1j} грн.	продуктивність, w_{1j} т/день	витрати, c_{2j} грн.	продуктивність, w_{2j} т/день	витрати, c_{3j} грн.	продуктивність, w_{3j} т/день	
1	15	15	70	30	40	25	300
2	20	10	28	25	70	50	200
3	25	20	15	10	40	30	1000
4	40	50	45	17	65	45	500
Кількість автомобілів	$A_1 = 50$		$A_2 = 20$		$A_3 = 30$		-

Розподілити автомобілі за маршрутами потрібно так, щоб сумарні витрати на перевезення були мінімальними, а весь запланований обсяг вантажу був перевезений вчасно.

Позначивши x_{ij} – кількість автомобілів j -го типу, які планують закріпити за i -м маршрутом, запишемо функцію мети:

$$z = 15x_{1.1} + 20x_{2.1} + 25x_{3.1} + 40x_{4.1} + 70x_{1.2} + 28x_{2.2} + 15x_{3.2} + 45x_{4.2} + 40x_{1.3} + 70x_{2.3} + 40x_{3.3} + 65x_{4.3}$$

з обмеженнями:

$$15x_{1.1} + 30x_{1.2} + 25x_{1.3} \leq 300$$

$$10x_{2.1} + 25x_{2.2} + 50x_{2.3} \leq 200$$

$$20x_{3.1} + 10x_{3.2} + 30x_{3.3} \leq 1000$$

$$50x_{4.1} + 17x_{4.2} + 45x_{4.3} \leq 500$$

$$x_{1.1} + x_{2.1} + x_{3.1} + x_{4.1} \leq 50$$

$$x_{1.2} + x_{2.2} + x_{3.2} + x_{4.2} \leq 20$$

$$x_{1.3} + x_{2.3} + x_{3.3} + x_{4.3} \leq 30$$

$$x_{ij} \geq 0$$

Переписавши обмеження у вигляді

$$y_1 = 15x_{1.1} + 30x_{1.2} + 25x_{1.3} - 300 \leq 0$$

$$y_2 = 10x_{2.1} + 25x_{2.2} + 50x_{2.3} - 200 \leq 0$$

$$y_3 = 20x_{3.1} + 10x_{3.2} + 30x_{3.3} - 1000 \leq 0$$

$$y_4 = 50x_{4.1} + 17x_{4.2} + 45x_{4.3} - 500 \leq 0$$

$$0 = -x_{1.1} - x_{2.1} - x_{3.1} - x_{4.1} + 50$$

$$0 = -x_{1.2} - x_{2.2} - x_{3.2} - x_{4.2} + 20$$

$$0 = -x_{1.3} - x_{2.3} - x_{3.3} - x_{4.3} + 30,$$

складемо симплекс-таблицю (табл. 3.2)

Таблиця 3.2 – Початкова симплекс-таблиця розподілу

	$-x_{1.1}$	$-x_{2.1}$	$-x_{3.1}$	$-x_{4.1}$	$-x_{1.2}$	$-x_{2.2}$	$-x_{3.2}$	$-x_{4.2}$	$-x_{1.3}$	$-x_{2.3}$	$-x_{3.3}$	$-x_{4.3}$	1
$y_1 =$	-15	0	0	0	-30	0	0	0	-25	0	0	0	-300
$y_2 =$	0	-10	0	0	0	-25	0	0	0	-50	0	0	-200
$y_3 =$	0	0	-20	0	0	0	-10	0	0	0	-30	0	-1000
$y_4 =$	0	0	0	-50	0	0	0	-17	0	0	0	-45	-500
$0 =$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	50
$0 =$	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	20
$0 =$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	30
$z =$	-15	-20	-25	-40	-70	-28	-15	-45	-40	-70	-40	-65	0

3.2. Приклад задачі стохастичного програмування

Автотранспортне підприємство може складатися з вантажних автомобілів трьох типів, річна продуктивність кожного з яких, враховуючи відомі параметри ustalених маршрутів та режим роботи підприємства, є, відповідно, 170, 200, 220 тис. тонн за рік. Витрати на утримання кожного з цих автомобілів є також 170, 200 і 220 тис. грн. на рік (до цих витрат відносять ТО і ремонт, постійні витрати підприємства, заробітну плату обслуговчого персоналу тощо). Встановлено, що на наступний плановий рік очікується попит на вантажні перевезення, який підпорядковується експоненційному закону розподілу із середнім значенням 30000 тис тжм. Середні змінні витрати на виконання 1 тжм транспортної роботи становлять 12 грн. Потрібно так сформувати структуру парку, щоб із заданою ринковою ситуацією отримати максимальний прибуток. Розв'язування. Задачу можна розв'язати за допомогою електронних таблиць Excel. Для цього потрібно попередньо підготувати таблицю початкових даних (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Вибір структури парку при експоненційному законі розподілу

Параметр, позначення, одиниці вимірювання	Тип автомобіля			Разом	Середнє значення
	$i=1$	$i=2$	$i=3$		
Кількість автомобілів, x_i	0	45	39	84	-
Параметр розподілу l	-	-	-	-	0,000033
Прогноз попиту на перевезення, R , тис. тжм/рік				13303,53	30000
Продуктивність, w_i , тис. тжм/рік	170	200	220		-
Продуктивність парку, W_i , тис. тжм/рік	0,00	9000,00	8580,00	17580,00	-
Виконана робота, Q_i , тис. тжм/рік	-	-	-	13303,53	-
Постійні витрати на один АТЗ, c_{ni} , тис. грн.	170	200	220		-
Постійні витрати, $c_{ni} \times x_i$, тис. грн.	0	9000	8580	17580	-
Змінні витрати на одиницю продукції, c_{zm} , грн.	-	-	-	-	12
Змінні витрати, $c_{zm} \times R$, тис. грн.	-	-	-	-	15964,2
Сукупні витрати, $\sum_{i=1}^3 c_{ni} \times x_i - c_{zm} \times R$, тис. грн.	-	-	-	33544,2	-
Тариф на виконання транспортної роботи, C , грн.	-	-	-	-	3,0
Валові надходження, $C \times R$, тис. грн.	-	-	-	399106	-
Прибуток, Pr , тис. грн.	-	-	-	63664	-

У цій таблиці змінними розв'язання задачі є кількості автомобілів трьох типів. Перед програмним розв'язуванням потрібно задати обмеження $x_i \geq 0, i=1,2,3$ і наперед великі початкові значення цих величин (наприклад, 1000 автомобілів). Графа таблиці “прогноз попиту на перевезення” має два значення: середнє, яке дорівнює оберненому числовому значенню параметра закону розподілу і сумарне, яке обчислюють за формулою (2.22).

Графа “Продуктивність парку” містить числові значення, які є функціями від кількості автомобілів кожного типу. Враховуючи, що продуктивність кожного автомобіля є відомою константою, ці функції є лінійними.

Числове значення “виконана транспортна робота” обчислюють за співвідношенням (2.24) або його конкретизованим виразом (2.27).

Критерій розв'язання задачі – максимальний прибуток, який обчислюють за формулою:

$$Pr = C \times R - \sum_{i=1}^3 c_{ni} \times x_i - c_{zm} \times R, \text{ грн.}, \quad (3.1)$$

де C – ціна одиниці виконаної транспортної роботи, грн.;

R – задоволений попит на перевезення, т-км;

c_{ni} – постійні витрати на утримання одного автомобіля i -го типу, грн.;

c_{zm} – змінні витрати на одиницю виконаної транспортної роботи, грн.

3.3 Розподіл автомобілів з розрахунком маршрутів за методом Кларка-Райта

На практиці досить часто трапляється, що в гетерогенному парку АТЗ надходять замовлення (маршрути), які можна об'єднати у зв'язку з тим, що вантажомісткість одного АТЗ є більшою, або рівною ніж сума декількох гуртів вантажів. У таких випадках є доцільно так розподілити наявний парк

по замовленнях, які надійшли, щоб замовлення були виконані з мінімальними затримками, а парк АТЗ мав максимальну продуктивність.

Для таких комплексних задач використовують метод Кларка-Райта. Перевагами методу є його простота, надійність і гнучкість, що дозволяє враховувати цілий ряд додаткових чинників, які впливають на кінцеве рішення задачі. Суть методу полягає в тому, щоб, відштовхуючись від початкової схеми доставки (див. рис. 3.1), по кроках можна перейти до оптимальної схеми доставки на кільцевих маршрутах. З цією метою вводиться таке поняття, як покілометровий виграш, який обчислюємо за формулою:

$$s_{ij} = l_{*i} + l_{*j} - l_{ij}, \text{ км}, \quad (3.2)$$

де l_{*i}, l_{*j} – відстань, по маятникових маршрутах між оптовою базою * і пунктами і та j відповідно, км.;

l_{ij} – відстань між пунктами і та j, км.

Маятникові маршрути використовуються в тих випадках, коли обсяг попиту у одержувача співставимий або навіть перевищує вантажність автомобіля. Кільцеві маршрути використовуються, коли обсяг попиту істотно менше вантажності автомобіля. В кузовному відсіку транспортного засобу формується збірний вантаж, призначений відразу для декількох споживачів. Для прикладу розрахуємо покілометровий виграш від об'єднання двох маятникових маршрутів: * – А – *, та * – В – *. Потенційний виграш при цьому становитиме: $s_{ij} = 0,32 + 0,42 - 0,20 = 0,54$ км. Усі інші отримані за формулою (3.2) значення заносимо в табл.3.4, де представлені потенційні покілометрові виграші з об'єднання усіх можливих маятникових маршрутів. Скористаємося алгоритмом Кларка-Райта. Вибрані транспортні засоби:

марки: 1) ГАЗ 27057, 2) IVECO Daily L 29L9;

вантажність номінальна: 1) 1350 кг, 2) 1225 кг.

Існуюча транспортна мережа показана на рис.3.1.

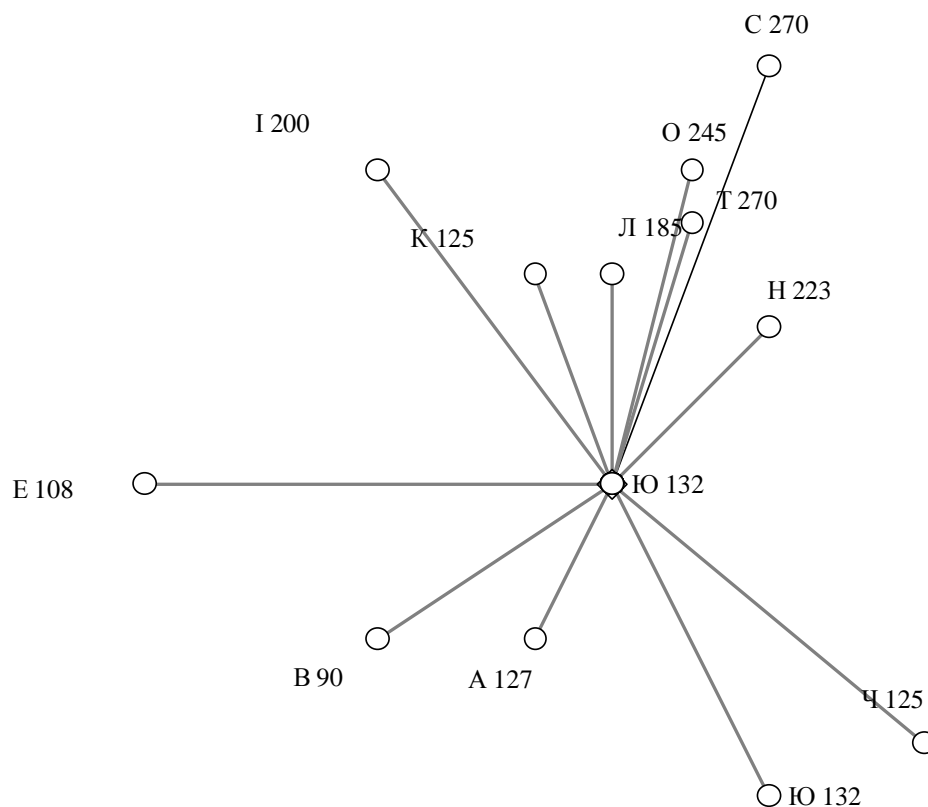


Рисунок 3.1 – Модель початкової транспортної мережі для розрахунку: А-Ю – транспортні пункти; цифри біля кружечків – обсяги вантажів, які потрібно доставити, кг

Таблиця 3.4 – Існуюча транспортна мережа

Літера	*	А	В	Е	І	К	Л	Н	О	С	Т	Ч	Ю
<i>x, км</i>	0,8	0,7	0,5	0,2	0,5	0,7	0,8	1,0	0,9	1,0	1,2	0,9	1,0
<i>y, км</i>	0,6	0,3	0,3	0,6	1,2	1,0	1,0	0,9	1,2	1,4	1,1	0,1	0,0
<i>q, кг</i>	2100	127	90	108	200	125	185	223	245	270	270	125	132

Згідно з початковими даними вибираємо параметри існуючої транспортної мережі (табл.3.4).

Характеристика транспортних пунктів подана в табл.3.5.

Умовні позначення вантажів, які перевозяться, що вказані в табл.3.6:

а - медикаменти;

мб - будівельні матеріали;

пмп - промислові товари;

пдп - продовольчі продукти;

схп - овочі, фрукти;

гл - горілчані вироби;

х - хлібобулочні вироби;

Таблиця 3.5 – Характеристика відправника і одержувачів дрібногуртових вантажів у місті Львові

Літера	№	X	У	q, кг	Назва, адреса вантажовласника	Назва вантажу	вид пакування вантажу	Кільк. вантажн. місць	Маса вантажу	Пункт призначення	Навантаження та розвантаження
А	1	0,7	0,3	126,6	Приватне підприємство	мб	коробки	4	127	Магазин №20	водій, вручну
В	3	0,5	0,3	105	Приватне підприємство	пмп	коробки	4	90	Магазин, № 14	водій, вручну
Е	7	0,2	0,6	108	Хлібопекарня	х	л-піддон	5	108	Магазин, № 23	вантажники, вручну
І	12	0,3	1,2	179,1	ТзОВ "АРК"	мб	палети	1	145	Гуртівня № 6	вантажники автонвант.
К	15	0,7	1,0	201,3	Фабрика "Весна"	од	тюки	7	125	Магазин № 96	водій, вручну
Л	16	0,8	1,0	214,5	Винний завод	гл	ящики	9	185	Магазин, вул Шевченка, 77	вантажники, вручну
Н	18	1,0	0,9	222,9	СХ фірма "Гроно"	схп	ящики	9	223	Магазин, вул Шевченка, 68	вантажники, вручну
О	19	0,9	1,2	243,6	Приватне підприємство	гл	коробки	8	245	Кафе, вул М Яцкова, 22	водій, вручну
С	22	1,0	1,4	272,7	Приватне підприємство	пдп	ящики	11	270	Магазин №11	вантажники, вручну
Т	23	1,2	М	269,7	Фірма "Медіус"	а	коробки	9	270	Магазин, № 6	водій, вручну
Ч	28	0,9	0,1	124,8	Приватне підприємство	гл	коробки	4	125	Кафе	водій, вручну
Ю	31	1,0	0,0	131,7	Приватне підприємство	см	блоки пляшок	4	132	Магазин, вул. Голубовича, 11	вантажники, вручну

Визначаю відстані між заданими пунктами, скориставшись їх координатами по осі x (табл.3.6), та y (табл.3.7).

Таблиця 3.6 – Матриця відстаней по осі X

Літера		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		А	В	Е	І	К	Л	Н	О	С	Т	Ч	Ю
1	А		-0,2	-0,5	-0,2	0,0	0,1	0,3	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3
2	В	0,2		-0,3	0,0	0,2	0,3	0,5	0,4	0,5	0,7	0,4	0,5
3	Е	0,5	0,3		0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	0,8	1,0	0,7	0,8
4	І	0,2	0,0	-0,3		0,2	0,3	0,5	0,4	0,5	0,7	0,4	0,5
5	К	0,0	-0,2	-0,5	-0,2		0,1	0,3	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3
6	Л	-0,1	-0,3	-0,6	-0,3	-0,1		0,2	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2
7	Н	-0,3	-0,5	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2		-0,1	0,0	0,2	-0,1	0,0
8	О	-0,2	-0,4	-0,7	-0,4	-0,2	-0,1	0,1		0,1	0,3	0,0	0,1
9	С	-0,3	-0,5	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	0,0	-0,1		0,2	-0,1	0,0
10	Т	-0,5	-0,7	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,2	-0,3	-0,2		-0,3	-0,2
11	Ч	-0,2	-0,4	-0,7	-0,4	-0,2	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,3		0,1
12	Ю	-0,3	-0,5	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,1	

Таблиця 3.7 – Матриця відстаней по осі Y

Літера		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		А	В	Е	І	К	Л	Н	О	С	Т	Ч	Ю
1	А		0,2	-0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,6	0,7	0,9	0,6	0,7
2	В	0,4		-0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,6	0,7	0,9	0,6	0,7
3	Е	0,1	-0,1		-0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	0,4	0,6	0,3	0,4
4	І	-0,5	-0,7	-1,0		-0,5	-0,4	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	-0,3	-0,2
5	К	-0,3	-0,5	-0,8	-0,5		-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,1	0,0
6	Л	-0,3	-0,5	-0,8	-0,5	-0,3		0,0	-0,1	0,0	0,2	-0,1	0,0
7	Н	-0,2	-0,4	-0,7	-0,4	-0,2	-0,1		0,0	0,1	0,3	0,0	0,1
8	О	-0,5	-0,7	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,2		-0,2	0,0	-0,3	-0,2
9	С	-0,7	-0,9	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5		-0,2	-0,5	-0,4
10	Т	-0,4	-0,6	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1		-0,2	-0,1
11	Ч	0,6	0,4	0,1	0,4	0,6	0,7	0,9	0,8	0,9	1,1		0,9
12	Ю	0,7	0,5	0,2	0,5	0,7	0,8	1,0	0,9	1,0	1,2	0,9	

Оскільки задано координати транспортних пунктів, то довжини наявних доріг обчислимо за формулою:

$$l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (3.3)$$

де i, j - транспортні пункти, між якими є дорога;

x_i, x_j, y_i, y_j - координати відповідних пунктів, км.

Знайдені таким чином довжини доріг подані в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Матриця відстаней між відправником і споживачами

	А	В	Е	І	К	Л	Н	О	С	Т	Ч	Ю
*	0,32	0,42	0,60	0,78	0,41	0,40	0,36	0,61	0,82	0,64	0,51	0,63
А	#####	0,20	0,58	0,98	0,70	0,71	0,67	0,92	1,14	0,94	0,28	0,42
В	0,20	#####	0,42	0,92	0,73	0,76	0,78	0,98	1,21	1,06	0,45	0,58
Е	0,58	0,42	#####	0,61	0,64	0,72	0,85	0,92	1,13	1,12	0,86	1,00
І	0,98	0,92	0,61	#####	0,45	0,54	0,76	0,60	0,73	0,91	1,25	1,39
К	0,70	0,73	0,64	0,45	#####	0,10	0,32	0,28	0,50	0,51	0,92	1,04
Л	0,71	0,76	0,72	0,54	0,10	#####	0,22	0,22	0,45	0,41	0,91	1,02
Н	0,67	0,78	0,85	0,76	0,32	0,22	#####	0,32	0,50	0,28	0,81	0,90
О	0,92	0,98	0,92	0,60	0,28	0,22	0,32	#####	0,22	0,32	1,10	1,20
С	1,14	1,21	1,13	0,73	0,50	0,45	0,50	0,22	#####	0,36	1,30	1,40
Т	0,94	1,06	1,12	0,91	0,51	0,41	0,28	0,32	0,36	#####	1,04	1,12
Ч	0,28	0,45	0,86	1,25	0,92	0,91	0,81	1,10	1,30	1,04	#####	0,14
Ю	0,42	0,58	1,00	1,39	1,04	1,02	0,90	1,20	1,40	1,12	0,14	#####

Примітка. У клітинках таблиці, які відповідають одному пункту – $l_{ii} = \text{#####}$, що фактично означає відсутність замкнутих циклів у наявній транспортній мережі.

Сформуємо найкоротшу зв'язуючу мережу, вибравши найкоротший шлях, який починається в початковому пункті *, обходить усі задані пункти-споживачі і закінчується в пункті *. Для цього використано алгоритм лінійного програмування, який служить для розв'язання задач комівояжера [5]. Зміст алгоритму полягає в наступному. Розглянемо будь-які два пункти P_i і P_j транспортної мережі. Відстань між ними, згідно з табл.3.8, – $l_{ij} = r(P_i,$

P_j), якщо вершини P_i і P_j з'єднані безпосередньою дорогою, і $l_{ij} = +\infty$, якщо вони не з'єднані. Кожному шляху, що проходить через пункти $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, n$ – $m(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_n)$ можна поставити у відповідність множину чисел x_{ij} , які дорівнюють одиниці, якщо відповідна дорога l_{ij} належить цьому шляху, і нуль – якщо не належить. У цьому випадку задача пошуку найкоротшого шляху полягає в пошуку матриці значень $\|x_{ij}\|$, з мінімумом лінійної функції:

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij} x_{ij} \quad (3.4)$$

з обмеженнями
$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad (3.5)$$

$$C1 = \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{ji}) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.6)$$

$$C2 = \sum_{j=1}^1 (x_{1j} - x_{j1}) = 1 \quad (3.7)$$

$$C3 = \sum_{j=1}^n (x_{nj} - x_{jn}) = -1 \quad (3.8)$$

Для подальшого розв'язання складено табл. 3.9 і записано в неї початкові дані. В таблиця показано приклад пошуку найкоротшої відстані від пункту *, через усі пункти-споживачі – до пункту *.

Таким чином, застосувавши алгоритм, знаходимо, що шлях, що утворює найкоротшу зв'язуючу мережу – це *-Ю-Ч-Т-С-О-Н-Л-К-І-Е-В-А-*

(рис.3.2).

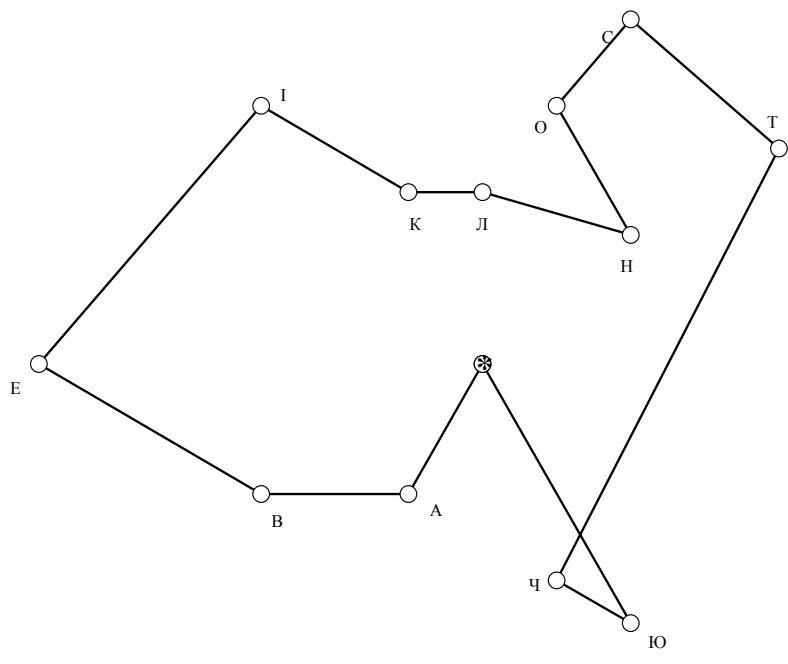


Рисунок 3.2 – Найкоротша зв'язуюча мережа

Таблиця 3.9 – Матриця чисел x_{ij} , які визначають шляхи найкоротшої мережі

	А	В	Е	І	К	Л	Н	О	С	Т	Ч	Ю	**		
*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
А	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
В	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Е	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
І	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
К	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Л	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Н	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
О	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
С	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
Т	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
Ч	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
Ю	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Цю задачу розв'язано з допомогою прикладної програми *Solver* в електронних таблицях *Excel*. Для цього введено такі початкові дані:

- критерій - цільова комірка - обчислювалась за виразом (3.2) і фактично означає суму добутоків;
- обмеження - величина $\sum_{j=1}^n (x_{nj} - x_{jn})$ для рядка з номером пункту, від якого шукається відстань повинна дорівнювати 1;
- обмеження - величина $\sum_{j=1}^n (x_{nj} - x_{jn})$ для рядка з номером пункту, куди приходить найкоротший шлях, повинна дорівнювати -1;
- всі інші величини виділеного стовпця таблиці 3.4 повинні дорівнювати 0;
- усі змінні x_{ij} повинні бути двійковими числами (приймати значення 0, або 1).

Таблиця 3.9 – Матриця потенційних покілометрових виграшів

	А	В	Е	І	К	Л	Н	О	С	Т	Ч	Ю
*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
А	#####	0,54	0,33	0,11	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,54	0,52
В	0,54	#####	0,60	0,28	0,11	0,06	0,00	0,05	0,04	0,00	0,49	0,47
Е	0,33	0,60	#####	0,77	0,37	0,28	0,11	0,29	0,29	0,12	0,25	0,23
І	0,11	0,28	0,77	#####	0,75	0,64	0,38	0,79	0,88	0,52	0,04	0,02
К	0,03	0,11	0,37	0,75	#####	0,71	0,46	0,74	0,74	0,54	0,00	0,00
Л	0,01	0,06	0,28	0,64	0,71	#####	0,54	0,78	0,78	0,63	0,00	0,01
Н	0,01	0,00	0,11	0,38	0,46	0,54	#####	0,65	0,69	0,72	0,06	0,09
О	0,00	0,05	0,29	0,79	0,74	0,78	0,65	#####	1,21	0,93	0,02	0,04
С	0,00	0,04	0,29	0,88	0,74	0,78	0,69	1,21	#####	1,10	0,03	0,06
Т	0,01	0,00	0,12	0,52	0,54	0,63	0,72	0,93	1,10	#####	0,11	0,15
Ч	0,54	0,49	0,25	0,04	0,00	0,00	0,06	0,02	0,03	0,11	#####	1,00
Ю	0,52	0,47	0,23	0,02	0,00	0,01	0,09	0,04	0,06	0,15	1,00	#####

Для виконання умови кроку 3 алгоритму [21] необхідно обчислити фактичну вантажність вибраних транспортних засобів.

Фактична вантажність автомобіля обмежена двома чинниками: номінальною вантажністю і об'ємом кузова. Для того, щоб її визначити для конкретного вантажу і конкретного автомобіля, потрібно знати об'ємну масу вантажу, яку визначаємо з довідника [3]:

$$M = Z \cdot V_k, \text{ т} \quad (3.9)$$

де M – максимальна маса вантажу в кузові автомобіля, т;

V_k – максимальний об'єм вантажу в кузові, м³;

Z – об'ємна маса вантажу, т/м³;

Згідно із завданням перевезенню підлягають такі вантажі: медикаменти, будівельні матеріали, промислові товари, продовольчі продукти, овочі, фрукти, горілко-лікерні вироби, хлібобулочні вироби. Для заданих вантажів питомі маси становлять, відповідно – $Z = 0,14, 0,22; 0,19; 0,15; ; 0,18; 0,33; ; 0,56$. т/м³. Найменша питома маса – 0,14 т/м, за якою проводимо наступні розрахунки. Об'єм вантажного відсіку автомобіля ГАЗ 27057: $2000 \cdot 1500 \cdot 2200 / 10^6 = 6,6 \text{ м}^3$. Об'єм вантажного відсіку автомобіля IVECO Daily L 29L9: $2600 \cdot 1600 \cdot 2030 = 8,4 \text{ м}^3$. Фактична вантажність автомобіля ГАЗ 27057, обчислена за об'ємом кузова:

$$q_{\phi} = 6,6 \cdot 0,14 \cdot 1000 = 924,0 \text{ кг.}$$

Автомобіля IVECO Daily L 29L9:

$$q_{\phi} = 8,4 \cdot 0,14 \cdot 1000 = 1182,3 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт статичного використання вантажності визначається з виразу:

$$g_c = \frac{q_{\phi}}{q_n} \quad (3.10)$$

де q_{ϕ} – фактична вантажність, кг;

q_n – номінальна вантажність, кг.

Для автомобіля ГАЗ 27057: $g_c = 924,0 / 1350 = 0,6844$.

Для автомобіля IVECO Daily L 29L9: $g_c = 1182,3 / 1225 = 0,96512$.

Кільцеві маршрути, які виконуватиме автомобіль ГАЗ 27057 показано на рис. 3.3, автомобіль IVECO Daily L 29L9 – рис.3.4.

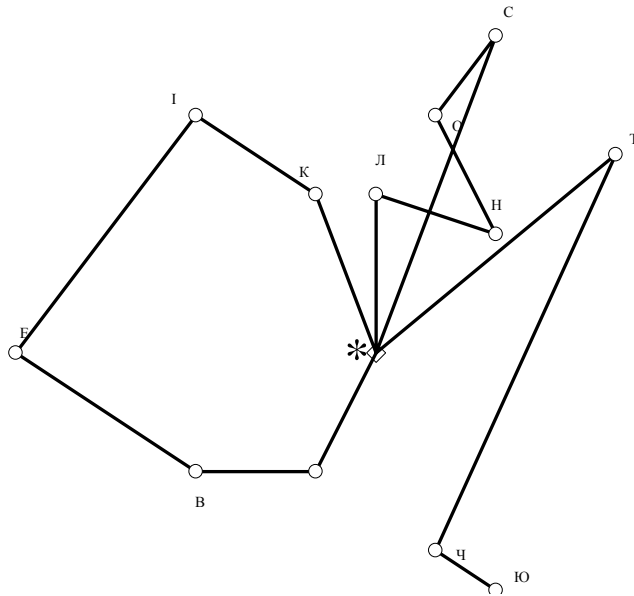


Рисунок 3.3 – Кільцеві маршрути, які виконує автомобіль ГАЗ 27057

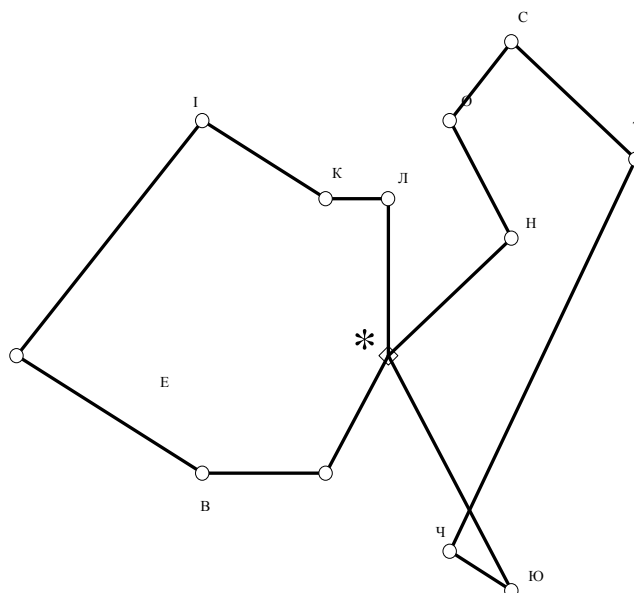


Рисунок 3.4 – Кільцеві маршрути, які виконує автомобіль IVECO Daily L 29L9

4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ АВТОМОБІЛІВ ТА МАРШРУТИЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

4.1 Оцінка продуктивності автомобілів

У роботі для оцінки ефективності розподілу АТЗ обчислювались такі параметри. Годинна продуктивність автомобіля (т/год) [8]:

$$W_Q = \frac{q \cdot g_c \cdot V_t \cdot b_e}{l_e + t_{np} \cdot V_t \cdot b_e} \quad (4.1)$$

де V_t – середня технічна швидкість автомобіля, км/год.; b_e – коефіцієнт використання пробігу; t_{np} – тривалість навантажувально-розвантажувальних робіт, год.

в тжм/год [8]:

$$W_P = \frac{q \cdot g_d \cdot V_t \cdot b_e \cdot t_e}{l_e + t_{np} \cdot V_t \cdot b_e} \quad (4.2)$$

Коефіцієнт використання пробігу

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{Z_c} a_{Bi}}{\sum_{i=1}^{Z_c} (1_B + 1_{MX})_i} \quad (4.3)$$

Сумарний час простою автомобіля під навантаженням та розвантаженням за виконання маршруту, вибираю з довідкових даних згідно з типом вантажу і способом навантаження-розвантаження. Так, оскільки вантажність автомобілів – до 7 т, то норма часу на його навантаження для поштучних вантажів становить 15 хв. + 15 хв., для немеханізованих способів. Стільки ж часу – для розвантаження. Отже, загальний час вантажних робіт становитиме 1 год. Середня технічна швидкість приймається з нормативів – 22 км/год. Результати обчислень подано в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри ефективності дрібногуртових перевезень

Показник	Автомобіль	
	ГАЗ 27057	IVECO Daily L 29L9
Номінальна вантажність, кг	1350	1225
Фактична вантажність, кг	924,00	1182,27
Коефіцієнт статичного використання вантажності	0,68	0,97
Коефіцієнт динамічного використання вантажності	0,21	0,13
Пробіг з вантажем, км	4,00	4,16
Довжина маршруту, км	6,2	4,8
Коефіцієнт використання пробігу	0,65	0,86
Пробіг без вантажу, км	2,2	0,7
Середня технічна швидкість, км/год.	22,000	22
Тривалість вантажних робіт, год.	1	1
Транспортна робота т-км	8402,0	8743,9
Перевезено на маршрутах, кг	2100	2100
Продуктивність		
т-км/год	0,898	0,542
т/год	0,722	0,969

Висновок: Згідно з виконаною маршрутизацією найбільш доцільно застосувати автомобілі ГАЗ 27057, оскільки вони мають більшу продуктивність – 0,898 т-км/год. Покілометровий вигрaш при цьому становить – 7,3 км. Покілометровий вигрaш при використанні менш продуктивного автомобіля – 7,3 км.

4.2. Економічна оцінка оптимального розподілу автомобілів для великогуртових перевезень

Досліджуване АТП складається з 25 типів вантажних автомобілів за номінальною вантажністю. Розглядалися автомобілі вантажністю $q_n = 10$ т, змінні витрати під час використання кожного з яких становлять $C_{зм} = 55,6$ грн

на 1 км пробігу. Щорічні постійні витрати підприємства становлять $C_n = 500$ тис. грн. Коефіцієнт використання автопарку – $a_e = 0,65$ і середній час перебування в наряді – $T_n = 8$ год. Автомобілі працюють однозмінно. Прогнозовані ринкові ціни на транспортні послуги становлять $C = 15$ грн/тжм. Ставилась задача визначити, якою має бути середня продуктивність автомобілів, для того, щоб підприємство було беззбитковим упродовж перших $D_k = 60$ календарних днів роботи. Умову беззбитковості підприємства можна вивести, вважаючи, що прибуток за означений період дорівнює нулю

$$P = C \times P_n - C_{\Pi} + P_n \times C_{zm}, \quad (4.4)$$

де P – прибуток за певний період роботи, грн;

C – тариф за транспортну роботу грн/тжм.

P_n – запланована оплачена транспортна робота парку тжм.

Загальні річні постійні витрати становлять 500 тис. грн. За 60 календарних днів вони становитимуть

$$C_{\Phi} = \frac{C_n}{D_H} D_K, \text{ грн}, \quad (4.5)$$

де D_H – номінальна кількість робочих днів підприємства (приймаємо 305 для шестиденного робочого тижня).

$$C_{\Phi} = \frac{500}{305} 60 = 98361 \text{ грн.}$$

Якщо прибуток прирівняти до нуля, то транспортну роботу автомобілів, при якій підприємство буде беззбитковим, визначають з формули

$$P_n = \frac{C_{\Pi}}{C - C_{zm}}, \text{ тжм.} \quad (4.5)$$

Транспортну роботу автомобільного парку підприємства впродовж D_k календарних днів визначають з формули [7]:

$$A\Gamma = A_c \times D_k \times a_e \times \overline{T_n} \times W_p, \text{ тжм}, \quad (4.6)$$

де $\overline{T_n}$ – середній час перебування в наряді, год; A_c – кількість однотипних автомобілів; W_p – годинна продуктивність одного автомобіля, тжм.

Підставивши формулу (4.5) у формулу (4.4), здійснивши відповідні перетворення, отримуємо формулу для визначення беззбиткової продуктивності автомобілів [7]:

$$W_p = \frac{C_n}{(C - C_{зм}) \times A_c \times D_k \times a_e \times \overline{T_n}}, \text{ тжм/год.} \quad (4.7)$$

$$W_p = \frac{98361}{(15 - 5,56) \times 60 \times 25 \times 0,65 \times 8 \times 25} = 10,7 \text{ тжм/год.}$$

За звітний період в АТП отримано такі дані (табл.4.2).

Таблиця 4.2 – Початкові дані до визначення беззбитковості підприємства

Назва підрозділу	Вартість обладнання, тис.грн	Площа приміщень м ²	Кількість працівників	Виконана транспортна робота, тис. тжм
Колона 1	1200	1000	30	250
Колона 2	2500	1500	40	410

Враховуючи ці витрати, було обчислено допустиму собівартість продукції 1 тжм у виробничих підрозділах (колонах) АТП.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі я розглянув вимоги безпеки при навантаженні, розвантаженні та перевезенні вантажів. Їх поділяють на загальні й спеціальні [2].

Загальні вимоги. При навантаженні, розвантаженні та перевезенні вантажів можуть мати місце такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- наїзди під час руху автомобілів, навантажувачів;
- наїзди при самовільному русі транспортних засобів;
- падіння працюючих з висоти і на поверхні;
- падіння вантажу;
- ураження електричним струмом;
- перекидання автомобілів-самоскидів з відкосів, в яри;
- термічні фактори (пожежі при наливанні або зливанні палива з цистерни автомобіля);
- наявність у повітрі шкідливих речовин (пилу). Виконання вантажно-розвантажувальних робіт, а також, перевезення вантажів має здійснюватися згідно з вимогами Правил перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні, Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.

Власник підприємства повинен здійснювати контроль за виконанням вимог безпеки при роботі автомобілів на об'єктах і вживати, спільно з власниками підприємств та організацій, що обслуговуються, заходів для забезпечення безпеки вантажно-розвантажувальних робіт та щодо усунення виявлених порушень.

При централізованих перевезеннях, перед тим як направити автомобілі, вантажно-розвантажувальні механізми та робітників на місце навантаження (розвантаження) вантажів, власник підприємства зобов'язаний

перевірити відповідність умов праці вимогам безпеки праці у вантажовідправників та вантажоодержувачів.

Якщо умови роботи не забезпечують безпеку вантажно-розвантажувальних робіт, забороняється направляти на місце навантаження і розвантаження автомобілі і людей до усунення недоліків.

Робота автомобілів на будівельних майданчиках, території промислових підприємств, у кар'єрах тощо допускається тільки з дозволу відповідальних осіб зазначених об'єктів та після проведення з водіями цільового інструктажу відповідно до чинних нормативних актів з охорони праці.

Навантаження і розвантаження вантажів, кріплення їх і тентів на транспортних засобах, а також відкривання та закривання бортів автомобілів, напівпричепів та причепів здійснюється силами і засобами вантажовідправників, вантажоодержувачів або спеціалізованих організацій.

Навантаження і розвантаження вантажів на автомобілях, обладнаних підйнятно-транспортними механізмами, здійснюється водієм. Водій зобов'язаний перевірити відповідність укладання, розміщення та надійність кріплення вантажів і тентів на транспортному засобі вимогам безпеки, а в разі виявлення порушень вимагати від особи, відповідальної за навантажувальні роботи, їх ліквідації.

Способи укладання вантажів повинні забезпечувати їх стійкість, а також можливість механізованого навантаження і розвантаження. Вантаж повинен бути розміщений, а за необхідності закріплений на транспортному засобі так, щоб він:

- не створював небезпеки водію та оточенню;
- не обмежував водію оглядовості;
- не порушував стійкість транспортного засобу;
- не закривав світлові та сигнальні прилади, а також номерні знаки.

Маневрування транспортних засобів з вантажами після зняття з них кріплення не допускається. Вантажно-розвантажувальні роботи із

застосуванням вантажопідіймальних механізмів для вантажів, на яких не показані схеми строповки або зі зміщеним центром ваги, повинні виконуватися під керівництвом особи, призначеної наказом власника організації, що виконує ці роботи.

Вантажно-розвантажувальні роботи вантажопідіймальними механізмами необхідно проводити тільки за відсутності людей (у т.ч. водія) в кабіні (за винятком автомобілів-самоскидів, кабіна яких перекрита спеціальними захисними козирками) або в кузові транспортного засобу; вони повинні знаходитися поза зоною дії стріли або маневрування навантажувального механізму.

Водіям автомобілів дозволяється за їх згодою виконувати роботи з навантаження і розвантаження вантажів масою (одне місце) не більше 20кг для чоловіків і 7 кг для жінок.

При цьому відповідальність за організацію і безпечне проведення водіями цих робіт покладається на вантажовідправника і вантажоодержувача, що повинно обумовлюватися договором.

Вантажно-розвантажувальні роботи виконуються, як правило, механізованим способом за допомогою кранів, навантажувачів або інших вантажопідіймальних засобів, а при незначних обсягах засобами малої механізації. У місцях виконання вантажно-розвантажувальних робіт і в зоні обслуговування вантажопідіймальних механізмів забороняється знаходитися особам, які не мають прямого відношення до цих робіт. Забороняється виконання будь-яких робіт з обслуговування та ремонту транспортних засобів на відстані ближче 5 м від зони дії вантажно-розвантажувальних машин. Якщо при навантаженні і розвантаженні виникає небезпека для осіб, які виконують цю роботу, її треба припинити і вжити заходів щодо усунення цієї небезпеки. Вантажі дозволяється брати тільки з верху штабеля або купи.

Спеціальні вимоги щодо навантаження, перевезення та розвантаження вантажів. Вантажі, що перевозяться транспортними засобами, за масою

поділяються на три категорії, а за ступенем небезпеки при навантаженні, розвантаженні та транспортуванні – на чотири групи.

Вагові категорії вантажів:

1 категорія – масою (одного місця) менше 30 кг, а також сипучі, дрібноштучні, що перевозяться навалом, тощо;

2 категорія – масою від 30 до 500 кг;

3 категорія – масою більше 500 кг.

Групи вантажів:

1 – малонебезпечні (будівельні матеріали, харчові продукти тощо);

2 – небезпечні за своїми розмірами (негабаритні);

3– пильні або гарячі (цемент, мінеральні добрива, асфальт, бітум тощо);

4 – небезпечні вантажі.

При постановці транспортних засобів під вантажно-розвантажувальні роботи необхідно вжити заходів, що попереджують їх самовільний рух. Переміщення вантажів 1-ї категорії від складу до місця навантаження або від місця розвантаження до складу може бути організоване вручну, якщо відстань по горизонталі не перевищує 25 м. При більшій відстані такі вантажі повинні транспортуватися механізмами і пристроями.

У виняткових випадках на місцях непостійного вантаження і розвантаження допускається проводити вантаження і розвантаження вантажів масою до 55 кг (одного місця) вручну двома вантажниками. Транспортування, навантаження та розвантаження вантажів 2-ї та 3-ї категорій на всіх постійних і тимчасових вантажно-розвантажувальних майданчиках (пунктах) має бути механізоване. При завантаженні кузова автомобіля навалочним вантажем він не повинен підійматися над бортами кузова (стандартними або нарощеними) і повинен розміщуватися рівномірно по усій площині кузова. Штучні вантажі, що підіймаються над бортами кузова, необхідно ув'язувати міцним справним такелажем (канатами, мотузками). Забороняється користуватися металевими канатами та дротом.

Ящиковий, катно-бочковий та інший штучний вантаж повинен бути укладений так, щоб під час руху (зрушенні з місця і крутих поворотах, різкому гальмуванні) він не міг переміщуватися по підлозі кузова. За наявності зазорів між окремими місцями вантажу слід вставляти між ними міцні дерев'яні прокладки і розпірки. Бочки з рідким вантажем установлюють пробкою догори. Скляна тара з рідинами приймається до перевезення тільки в спеціальній упаковці, її необхідно установлювати вертикально (пробкою догори). Забороняється установлювати вантаж у скляній тарі один на один (у два ряди) без відповідних прокладок (дощок), що захищають нижній шар від розбивання під час руху. Пильні вантажі дозволяється перевозити на автомобілях (відкритих кузовах), які обладнані пологами і ущільнювачами, при цьому необхідно вжити заходів, що виключають їх розпилювання під час руху.

Водії та робітники, зайняті на перевезенні, навантаженні та розвантаженні пильних вантажів або отруйних речовин, повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту. При установленні вантажів неправильної форми та складної конфігурації на транспортні засоби, крім вантажів, які не допускається кантувати, їх слід розташовувати таким чином, щоб центр ваги знаходився найнижче. Вантажі, що перевищують габарити транспортного засобу по довжині на 2 м і більше (довгомірні вантажі), перевозять на автомобілях з причепами-розпусками, до яких вантажі повинні надійно кріпитися. При одночасному перевезенні довгомірних вантажів різної довжини більш короткі вантажі повинні розміщуватися зверху.

ВИСНОВКИ

1. Значна мінливість факторів при доставці вантажів, з одного боку, а також зростання рівня вимог до її якості і збереження, з іншого, формують необхідність удосконалення оперативного контролю за транспортними процесами. Це означає, що від статичних методів розподілу вільних АТЗ і відповідної маршрутизації потрібно переходити до динамічних методів складання розкладів роботи АТЗ і маршрутів з врахуванням параметрів потоку вхідних замовлень на перевезення.

2. В результаті експериментальної перевірки гіпотези про відповідність потоку разових замовлень потоку Пуассона встановлено, що за умовами свого виникнення він відповідає найпростішому потоку. Аналіз умов отримання замовлень у різних регіонах дозволив виділити три групи напрямків перевезення вантажів в залежності від співвідношення інтенсивності надходження разових замовлень до інтенсивності надходження автомобілів: привабливі напрямки – при значеннях співвідношення $>1,05$; звичайні напрямки – при співвідношенні інтенсивностей від 0,7 до 1,05 та непривабливі напрямки, для яких це співвідношення є меншим за 0,7.

3. Максимальне використання парку при якомога повному задоволенні попиту може бути знайдено, якщо розв'язати задачу, яка формулюється як задач стохастичного програмування. Модель розподілу наявного парку АТЗ суттєво залежить від розподілу інтервалів надходження вантажів.

4. Перевірки методу на тестовій моделі показала, що МГМ з попередньою класифікацією демонструє, приблизно, на 11% меншу гарантовану тривалість доставки усіх вантажів. При цьому також на 11% підвищується використання вантажних автомобілів і скорочується їх непродуктивний пробіг.

5. Середовищем розробки моделі обраний програмний продукт MS Excel, так як він являється достатньо зручним та найбільш зрозумілим у використанні інструментом моделювання для більшості осіб з різним рівнем

комп'ютерної підготовки. Крім того, програмний продукт MS Excel володіє достатньою кількістю функціональних можливостей для модельного відтворення основних процесів, що відбуваються при обслуговуванні ринку разових замовлень..

6. Вибрана мною методика може бути використана для диспетчерського керування вантажними автомобільними перевезеннями при плануванні доставки вантажів, які мають короткі допустимі терміни доставки.

7. Для оцінки економічної ефективності задач оперативного розподілу було запропоновано методику визначення точки беззбитковості АТП, яка також визначає допустиму мінімальну собівартість 1 т-км транспортної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аземша С.А. Статистичне моделювання роботи вантажних автомобілів на міжнародних маршрутах за різних стратегій прийняття зворотного завантаження [Електронний ресурс] // Transport and Telecommunication – 2007 – С. 53– 61. – Режим доступу: http://tsi.lv/Transportand-Telecommunication/v8_en/7.pdf.
2. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення. Навч. посібник. – К.: Видавничий Дім „Слово”, 2010. – 408с.
3. Вільковський Є. К., Бакуліч О. О. Вантажознавство (вантажі, правила перевезень, рухомий склад): навч. посібник. - Львів: "Інтелект-Захід", 2005, 224с.
4. Давідіч Ю. О. Розробка графіка руху транспортних засобів при організації вантажних перевезень: навч. посіб. / Ю. О. Давідіч; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 345 с.
5. Мосьпан Н. В. Формування стратегій автотранспортних підприємств по обслуговуванню разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Харків, 2018.
6. Молчановський О. І. Побудова початкового розв'язку для задачі маршрутизації транспортних засобів з підбором та доставкою / О. І. Молчановський, А. Л. Любонько // Матеріали ІІІ Всеукраїнської науковопрактичної конференції «Інформаційні технології-2012». – 2012. – С. 256–260.
7. Нагорний Є.В. Конспект лекцій з дисципліни «Комерційна робота на автомобільному транспорті». – Харків: ХНАДУ, – 2006.– С. 115.
8. Оліскевич М.С. Організація автомобільних перевезень. – Ч 1. – Вантажні перевезення. – Навчальний підручник. Львів: Ви-во «ЛП». – 2017. – 412 с.

9. Прейгер Д.К. Стратегічні напрями розвитку транспортної галузі України у післякризовий період / Прейгер Д.К., Собкевич О.В., Ємельянова О.Ю. – К.: НІСД, 2012. – 106 с.
10. Ральфс Т. Задача маршрутизації транспортних засобів з обмеженою вантажопідйомністю та деякі пов'язані проблеми / Т. Ральфс, Дж. Хартман, М. Галаті. // Університет індустрії та системної інженерії Лехайгу, Університет Рутгерс. – 2001. – С. 1-31.
11. Статистична інформація про вантажні перевезення автомобільним видом транспорту [Електронний ресурс] / Державний комітет статистики України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
12. Статистика зміни цін на перевезення по Україні [Електронний ресурс] / Логістичний сайт компанії Della. – Режим доступу: <http://della.ua/> 37. Наказ міністерства транспорту України «Про затвердження Правил перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні» від 14 жовтня 1997 року №363 // Офіційний вісник України. – 1998. – №8. – 283 с.
13. Avramovich, D., Cook, T. M., Langston, G. D. and Sutherland, F. A Decision Support System for Fleet Management: A Linear Programming Approach. Interfaces 1982; 12: 19.
14. A review of Dynamic Vehicle Routing Problems / M. Gendreau, V. Pillac, C. Guert, A. Medaglia. – Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation, 2011(62). – 28 p. 154
15. Baldacci, R., Battarra, M. and Vigo, D. Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles. Technical Report 2007/1, DEIS, University Bologna, Italy; 2007.
16. Baldacci, R., Battarra, M. and Vigo, D. Valid Inequalities for the Fleet Size and mix Vehicle Routing Problem with Fixed Costs. Technical Report 2007/4, DEIS, University Bologna, Italy; 2007.
17. Baldacci, R., Bodin, L. and Mingozzi, A. The multiple disposal facilities and multiple inventory locations rollon-rolloff vehicle routing problem. Computers & Operations Research 2006; 33: 2667-2702.

18. Ball, M. O., Golden, B. L., Assad, A. and Bodin, L. Planning for Truck Fleet Size in the Presence of a Common-Carrier Option. *Decision Sciences* 1983; 14: 103-120.
19. Bartholdi III, J. J. and Platzman, L. K. An $O(n \log n)$ planar travelling salesman heuristic based on spacefilling curves. *Operations Research Letters* 1982; 1: 121-125.
20. Calvete, H. I., Gale, C., Oliveros, M.-J. and Sanchez-Valverde, B. A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows. *European Journal of Operational Research* 2007; 177: 1720-1733.
21. Clarke, G. and Wright, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research* 1964; 12: 568-581.
22. Cordeau J.-F. Recent Models and Algorithms for One-to-One Pickup and Delivery Problems / J.-F. Cordeau, Laporte G., Ropke S. // *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, Springer. – 2008. – P. 327–357.
23. Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. The truck dispatching problem. *Management Science* 1959; 6: 81-91.
24. Fagerholt, K. and Rygh, B. Design of a Sea-Bourne System for Fresh Water transport - A Simulation Analysis. *Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science* 2002; 40: 137-146.
25. Lenstra J. K. Complexity of vehicle routing and scheduling problems / J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan. // *Networks*. – 1981. – 11. – P. 221–227.
26. Powell W. B. The Dinamic Vechicle Allocation Problem with Uncertain Demands / W. B. Powell, Y. Sheffi, S. Thiriez // *The Ninth International Symposium on Trasportation and Traffic Theory*, The Netherlands. – 1984. – P. 357–374. 157
27. Powell W. B. A Stochastic Model of the Dynamic Vehicle Allocation Problem / W. B. Powel // *Trasportation Science* – 1986. – P. 117–129.
28. Winston C. The demand for freight transportation: models and applications / C. Winston // *Transportation Research*. – 1983. – V. 17A(6). – P. 419–427.

ДОДАТКИ

Додаток А. Матриці вхідних замовлень за 4 дні спостережень

Перший день спостережень

Область	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Всього
1.Вінницька	10	1	12	4	3	0	4	1	30	2	2	4	0	13	5	1	1	5	4	4	6	5	5	5	3	130
2.Волинська	0	0	1	5	1	2	2	1	3	1	1	8	0	0	0	2	2	2	0	1	2	1	2	0	1	38
3.Дніпропетровська	8	0	31	28	1	0	10	5	13	4	6	7	7	12	11	3	3	3	8	7	1	2	2	3	19	194
4.Донецька	2	2	15	13	2	0	6	1	7	6	20	3	2	8	3	0	1	0	11	3	0	0	1	0	8	114
5.Житомирська	3	1	1	1	1	0	2	3	12	0	1	2	1	3	5	1	0	1	2	1	3	3	5	1	3	56
6.Закарпатська	1	1	1	0	0	0	1	0	3	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	12
7.Запорізька	2	0	9	12	0	2	5	0	3	0	4	6	3	6	4	0	1	0	7	0	2	1	0	0	11	78
8.Івано-Франківська	2	1	0	0	3	0	0	2	2	0	0	4	0	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	2	23
9.Київська	24	7	30	22	12	6	8	10	29	13	12	17	10	24	21	11	10	14	12	6	13	8	5	7	18	349
10.Кіровоградська	6	4	3	2	1	0	1	0	6	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	2	0	1	0	4	37
11.Луганська	2	0	5	9	0	2	1	1	3	2	4	0	0	5	2	1	0	1	6	4	1	0	0	0	8	57
12.Львівська	16	9	16	13	8	8	7	17	21	8	8	13	6	8	7	11	1	8	7	3	6	5	1	6	12	225
13.Николаївська	2	1	8	5	0	0	6	1	10	5	2	1	10	7	1	0	3	2	5	1	3	0	2	9	8	87
14.Одеська	6	0	12	10	1	3	3	2	21	1	3	3	9	3	3	3	0	2	4	4	1	3	1	0	11	109
15.Полтавська	7	2	10	6	3	5	10	1	27	4	1	2	1	6	5	0	5	0	7	2	0	5	1	1	8	119
16.Рівненська	5	3	2	0	5	4	3	1	8	0	0	2	1	2	1	4	1	2	1	0	0	0	2	1	0	48
17.Сумська	5	1	2	3	0	0	2	0	7	0	0	1	0	1	2	1	1	0	2	0	1	0	1	0	3	33
18.Тернопільська	1	1	1	0	0	4	1	1	1	1	1	7	0	1	3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	26
19.Харківська	6	3	17	21	1	5	3	1	16	4	8	2	0	4	9	1	4	1	6	0	1	0	0	0	11	124
20.Херсонська	2	0	6	1	0	0	0	0	9	2	4	0	2	2	4	1	0	2	2	2	0	1	1	0	11	52
21.Хмельницька	6	4	8	6	0	1	1	2	8	2	1	8	1	4	0	1	1	3	4	1	3	6	1	1	3	76
22.Черкаська	3	2	14	14	3	2	4	3	24	5	2	2	3	7	7	2	1	1	2	3	1	2	3	5	2	117
23.Чернігівська	4	3	6	5	5	0	4	0	17	1	4	0	2	0	4	2	0	4	5	1	7	8	6	0	0	88
24.Черновецька	4	1	3	0	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	1	1	0	1	2	0	1	1	1	0	0	22
25.АР Крим	2	2	21	6	0	0	0	1	12	1	6	5	2	1	6	0	0	0	6	4	0	5	3	0	18	101
Всього	129	49	234	186	50	44	84	55	296	63	91	102	51	124	112	49	32	55	102	51	54	61	42	34	165	2315

Другий день спостережень

Область	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Всього
1.Вінницька	16	2	9	7	5	0	7	0	25	2	0	3	0	4	0	1	1	4	2	2	5	2	5	3	5	110
2.Волинська	6	3	4	1	1	3	2	3	6	2	4	3	4	1	1	2	0	1	2	2	3	3	1	1	8	67
3.Дніпропетровська	8	6	31	18	2	0	10	1	18	10	18	14	5	16	15	4	4	2	21	6	7	6	7	7	43	279
4.Донецька	3	0	26	13	3	2	13	1	8	3	29	9	0	7	1	1	3	0	9	4	0	0	3	0	8	146
5.Житомирська	4	2	1	2	0	2	1	1	24	4	1	2	0	3	0	1	0	0	4	0	1	2	1	1	0	57
6.Закарпатська	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
7.Запорізька	0	0	10	8	0	1	11	0	4	8	4	8	4	6	2	0	0	0	3	3	0	1	0	0	11	84
8.Івано-Франківська	2	1	6	0	4	0	1	0	0	2	2	0	0	0	1	0	1	0	1	2	0	0	0	0	1	24
9.Київська	36	7	37	30	26	8	20	16	47	8	16	9	5	23	13	10	8	7	13	4	7	9	7	3	19	388
10.Кіровоградська	1	3	13	6	0	0	0	8	2	15	7	0	6	0	1	2	0	2	0	0	1	3	0	1	7	71
11.Луганська	0	1	7	4	2	2	0	2	2	4	0	3	5	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	4	47
12.Львівська	10	9	7	6	5	6	3	6	20	0	4	14	2	7	1	5	2	5	5	2	21	6	5	14	8	173
13.Николаївська	0	0	4	6	4	1	0	0	5	3	0	3	0	10	0	0	0	5	1	0	2	0	2	1	2	49
14.Одеська	1	0	6	9	3	2	6	0	5	3	3	2	5	12	0	0	1	1	8	6	4	8	2	1	6	94
15.Полтавська	8	1	8	6	1	0	2	0	11	1	1	2	2	3	6	1	1	3	11	0	3	4	1	3	5	84
16.Рівненська	4	3	0	2	1	0	1	0	8	0	2	1	0	1	1	1	0	2	0	0	1	1	1	2	0	32
17.Сумська	0	0	2	0	1	0	2	0	5	0	0	2	0	0	1	0	4	0	0	2	1	0	1	0	2	23
18.Тернопільська	0	3	1	1	3	0	1	1	5	1	1	4	0	1	3	0	0	2	2	1	0	1	0	0	0	31
19.Харківська	8	4	15	25	1	3	4	2	14	5	5	1	2	4	6	1	0	1	2	1	2	0	4	4	7	121
20.Херсонська	2	4	8	10	0	0	0	4	3	0	9	1	4	1	0	0	0	7	3	0	0	0	0	0	13	69
21.Хмельницька	6	6	8	4	7	0	3	0	7	4	1	14	0	9	3	5	3	6	2	3	7	1	0	7	7	113
22.Черкаська	0	0	16	9	3	0	3	1	21	5	3	11	1	3	8	1	5	9	8	0	4	6	6	2	1	126
23.Чернігівська	1	7	2	4	2	2	0	0	16	0	1	3	2	2	0	1	0	2	0	1	0	0	3	0	0	49
24.Черновецька	0	1	0	1	1	0	1	0	5	0	1	0	0	0	0	0	2	3	1	0	1	0	0	0	0	17
25.АР Крим	0	8	6	5	1	1	5	2	5	2	2	4	2	4	2	0	3	0	3	2	4	2	1	1	8	73
Всього	116	71	228	178	77	33	98	34	275	68	117	127	38	131	64	36	39	63	106	43	75	53	53	50	159	2332

Третій день спостережень

Область	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Всього
1.Вінницька	4	4	5	2	8	1	7	5	25	1	1	4	6	4	1	2	2	3	4	1	6	2	3	1	2	104
2.Волинська	5	5	3	0	8	3	2	7	7	0	0	12	1	3	4	5	0	3	5	0	4	2	1	3	1	84
3.Дніпропетровська	7	6	43	48	10	5	28	3	38	15	21	13	17	21	16	7	11	6	29	11	10	13	12	7	38	435
4.Донецька	3	0	9	12	3	0	5	1	8	5	11	3	1	5	6	2	6	3	8	3	1	0	3	0	14	112
5.Житомирська	4	1	5	4	3	3	2	1	16	1	3	5	0	7	2	1	0	0	7	2	0	3	1	2	3	76
6.Закарпатська	2	1	0	4	0	1	0	1	2	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	18
7.Запорізька	0	1	10	8	0	2	7	0	3	3	4	6	7	5	5	0	0	0	4	7	1	1	1	1	15	91
8.Івано-Франківська	0	2	1	2	0	1	0	0	7	0	1	3	1	2	2	0	1	1	3	0	6	0	0	1	5	39
9.Київська	13	3	30	21	9	4	17	16	28	16	13	19	8	34	11	11	13	7	14	14	9	7	8	5	24	354
10.Кіровоградська	2	2	3	5	1	0	3	1	2	1	1	4	1	4	2	1	2	3	2	1	1	4	2	2	5	55
11.Луганська	1	0	5	10	2	2	2	3	5	3	2	1	3	4	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	48
12.Львівська	5	12	7	9	5	11	5	14	16	0	2	20	0	8	6	1	3	4	4	2	9	0	1	6	7	157
13.Миколаївська	3	1	3	3	2	1	1	1	5	3	1	3	1	5	0	0	1	1	3	1	3	1	1	1	3	47
14.Одеська	4	0	6	8	2	3	8	7	9	10	6	0	4	16	6	2	2	3	4	6	5	6	3	4	10	134
15.Полтавська	0	1	9	9	3	1	2	2	18	5	7	5	3	4	7	2	5	1	12	0	1	7	2	1	8	115
16.Рівенська	5	1	2	4	2	2	0	3	5	1	0	4	0	1	3	4	1	1	3	2	2	3	1	3	2	55
17.Сумська	1	0	4	6	1	0	4	0	10	1	0	0	3	4	2	1	0	1	4	0	0	1	0	0	2	45
18.Тернопільська	1	3	7	1	1	1	0	3	7	0	0	9	2	2	1	0	0	1	0	2	1	5	1	2	1	53
19.Харківська	2	3	6	14	3	2	5	0	9	2	5	5	0	4	11	1	4	2	3	3	2	3	2	2	15	108
20.Херсонська	0	0	7	12	0	2	4	2	1	0	6	2	3	9	5	1	2	0	6	2	0	0	3	0	10	77
21.Хмельницька	10	4	21	7	5	2	6	7	15	2	2	9	0	11	3	0	1	4	3	2	5	5	4	10	13	151
22.Черкаська	4	3	20	6	1	0	2	1	35	10	5	5	7	4	7	1	4	2	8	8	4	4	6	0	11	158
23.Чернігівська	0	2	8	6	3	1	4	0	8	1	2	3	1	5	1	2	2	0	6	1	2	1	7	1	4	71
24.Черновецька	0	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	2	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	13
25.АР Крим	0	0	8	6	3	3	5	0	4	0	3	1	0	3	2	1	0	1	4	2	1	1	0	3	16	67
Всього	76	56	223	207	75	51	121	79	283	80	97	139	69	167	103	46	61	50	139	72	72	71	62	57	211	2667

Четвертий день спостережень

Область	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Всього
1.Вінницька	11	1	11	9	3	1	1	2	17	4	2	5	6	13	6	0	3	4	2	2	2	6	3	1	5	120
2.Волинська	6	1	5	3	4	2	2	2	8	0	2	8	0	0	2	2	0	3	1	0	4	1	0	3	4	63
3.Дніпропетровська	11	3	27	25	7	1	23	6	18	10	21	10	11	22	8	6	7	4	12	12	2	7	7	3	34	297
4.Донецька	3	1	7	11	2	1	7	2	15	7	11	5	1	2	8	4	5	0	8	2	2	6	1	1	16	128
5.Житомирська	4	1	2	4	1	2	1	3	13	0	4	3	0	0	3	0	1	2	5	1	0	1	1	1	3	56
6.Закарпатська	0	0	0	2	0	0	2	2	5	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	2	0	3	0	23
7.Запорізька	7	1	12	13	1	2	6	0	9	0	10	10	4	3	10	0	3	0	10	6	3	1	2	1	21	135
8.Івано-Франківська	4	0	3	5	1	0	4	1	1	1	0	2	1	2	2	2	0	2	0	0	4	1	1	3	1	41
9.Київська	9	5	19	20	8	5	12	13	22	8	20	30	7	27	10	18	12	10	12	12	11	9	13	7	21	340
10.Кіровоградська	4	0	4	7	0	0	3	2	9	1	2	4	2	2	1	1	2	0	1	1	1	0	1	1	3	52
11.Луганська	3	1	10	2	1	2	3	0	4	1	2	1	0	4	5	0	1	2	2	1	0	0	1	0	0	46
12.Львівська	12	6	6	13	5	4	5	5	7	3	3	12	4	4	2	3	3	8	6	1	8	2	4	2	3	131
13.Миколаївська	2	1	10	11	0	0	7	1	5	2	2	4	3	11	1	3	2	1	4	2	2	2	3	0	10	89
14.Одеська	5	1	12	8	3	3	2	2	13	1	0	6	3	12	4	3	5	3	6	7	0	8	5	1	11	124
15.Полтавська	0	1	10	7	0	1	1	2	11	4	6	5	2	5	8	0	2	1	4	1	3	6	3	2	4	89
16.Рівенська	3	5	1	2	0	0	2	3	4	0	0	3	1	0	4	1	2	2	2	0	1	1	1	1	3	42
17.Сумська	3	3	11	5	0	0	1	0	13	1	0	2	1	6	7	1	4	1	1	0	0	0	0	0	3	63
18.Тернопільська	1	0	4	0	0	0	1	1	4	0	1	4	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	2	1	23
19.Харківська	3	0	14	11	0	0	5	3	13	4	10	0	1	11	2	1	6	1	3	1	0	2	3	1	19	114
20.Херсонська	4	0	5	1	0	1	2	1	10	4	1	1	4	8	4	1	0	1	3	1	1	3	1	0	15	72
21.Хмельницька	3	1	19	4	2	0	4	0	16	1	3	7	0	3	3	0	4	1	6	1	3	2	0	4	2	89
22.Черкаська	9	2	14	9	4	1	1	5	29	7	5	8	4	5	10	3	5	1	13	6	2	5	6	6	6	166
23.Чернігівська	3	2	1	4	2	0	0	2	5	0	1	3	0	3	1	0	1	2	4	0	1	1	4	1	2	43
24.Черновецька	0	0	2	2	0	0	0	3	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	12
25.АР Крим	3	3	7	2	3	4	4	2	6	2	4	3	2	4	1	0	1	3	3	0	1	1	1	2	8	70
Всього	113	39	216	180	47	30	99	60	260	62	110	137	57	150	103	51	70	54	108	59	53	67	62	46	195	2428

Додаток Б Приклад розрахунку в середовищі Excel

1	A	B			E	F
		C				
2	Параметр	Тип автомобіля			Разом	Середнє значення
3		1	2	3		
3	Кількість автомобілів	108	0	0	108	
4	Параметр розподілу					0.0004
5	Прогноз попиту на перевезення, тис. т-км/рік					2600
6	Продуктивність, тис. т-км/рік	1000	800	950		
7	Продуктивність парку, тис. т-км/рік	108000.0	0.0	0.0	108000.00	
8	Виконана робота, тис. т-км/рік	2600.0	0.0	0.0	2600.00	2600.000
9	Коефіцієнт продуктивності	0.024	0.024	0.024	0.024	
10	Постійні витрати на утримання одного АТЗ, тис. грн	1.25	1.5	1.9		
11	Постійні витрати, тис. грн	135	0	0	135	
12	Змінні витрати на одиницю продукції, грн	0.19	0.17	0.15		
13	Змінні витрати, тис. грн	0.4940	0.0000	0.0000	0.4940	
14	Сукупні витрати, тис. грн	135.4940	0.0000	0.0000	135.4940	
15	Тариф на виконання транспортної роботи, грн			8		
16	Виручка, тис. грн	20800.00	0.00	0.00	20800.00	
17	Прибуток, тис. грн	20664.51	0.00	0.00	20664.51	

Рис. Б.1. Приклад розрахунку розподілу автомобілів при нормальному законі розподілу замовлень

1	A	B			E	F
		C				
2	Параметр	Тип автомобіля			Разом	Середнє значення
3		1	2	3		
3	Кількість автомобілів	34	68	75	177	
4	Прогноз попиту на перевезення, тис. т-км/рік					27000
5	Продуктивність, тис. т-км/рік	140	150	160		
6	Продуктивність парку, тис. т-км/рік	4760	10200	12000	26960	
7	Виконана робота, тис. т-км/рік	4760	10200	12000	26960	
8	Коефіцієнт продуктивності	1.000	1.000	1.000	1.000	
9	Постійні витрати на утримання одного АТЗ, тис. грн	1	2	5		
10	Постійні витрати, тис. грн	34	136	375	545	
11	Змінні витрати на одиницю продукції, грн	0.19	0.17	0.15		
12	Змінні витрати, тис. грн	904.40	1734.00	1800.00	4438.40	
13	Сукупні витрати, тис. грн	938.40	1870.00	2175.00	4983.40	
14	Тариф на виконання транспортної роботи, грн			0.3		
15	Виручка, тис. грн	1428.00	3060.00	3600.00	8088.00	
16	Прибуток, тис. грн	489.60	1190.00	1425.00	3104.60	

Рис. Б.2. Приклад розрахунку розподілу автомобілів при експоненційному законі розподілу замовлень