

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Слободянюк Максим Едуардович

УДК 656.1:656.4:656.025

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ В СКЛАДНИХ ВИРОБНИЧИХ  
СИСТЕМАХ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



М. Е. Слободянюк

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий консультант: Горобченко Олександр Миколайович, д.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Київ – 2020

## АНОТАЦІЯ

Слободянюк М. Е. Розвиток теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2020.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми розвитку теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту з урахуванням особливостей їх використання в складних виробничих системах з різними видами транспорту.

Збільшення об'ємів перевезень потребує розвитку засобів транспорту та удосконалення транспортної інфраструктури, а це пов'язано зі значними додатковими витратами. Аналіз теоретичних розробок в галузі розвитку та експлуатації засобів транспорту показав, що є немало робіт які дозволяють моделювати і підвищувати ефективність систем одного виду транспорту. Але в теперішній час у зв'язку з розвитком мультимодальних перевезень з участю різних видів транспорту необхідні нові методи підвищення ефективності транспортних засобів з урахуванням особливостей кожного виду транспорту. Крім того необхідні нові підходи до оптимізації параметрів засобів транспорту, що забезпечують функціонування систем незалежно від виду транспорту, які дозволяють враховувати їх територіальність, рівень, потребу в перевезеннях регіону та наявність транспортних коридорів з метою реалізації транспортних можливостей регіонів і держави.

Експлуатація в цій роботі розуміється як мегапроцес, до якого входять процеси використання за призначенням засобів транспорту, їх технічне обслуговування і ремонт, подовження ресурсу, тощо. В цій роботі завдання підвищення ефективності експлуатації вирішується шляхом удосконалення наведених процесів з урахуванням взаємодії різних видів транспорту при реалізації вантажних перевезень.

В першому розділі проведено аналіз сучасного стану теорії і практики проектування, розвитку та функціонування засобів транспорту багаторівневих систем обробки вантажів при експлуатації різних видів транспорту. Аналіз структури виробничих систем показав, що їх треба розглядати як транспортну мережу обладнану інфраструктурою. Аналіз вітчизняних та закордонних досліджень показав, що складність вирішення проблеми, яка розглядається, полягає в тому, що теорія функціонування та експлуатації транспорту в системі обробки вантажопотоків не може бути описана одним математичним виразом через її багатофакторність. Проаналізовані також роботи в області моделювання, формування і структурування виробничих систем та екологічної безпеки.

В другому розділі сформульовано типові задачі, які виникають при формуванні структури і організації експлуатації засобів транспорту, а також відповідні етапи їх вирішення. В якості базового фрагменту системи на місцевому рівні слід розглядати окремий кластер, функціонуючий на визначеній території. Але від існуючого визначення, де не враховуються необхідність виконання перевезень між підприємствами, під кластером слід уявляти територію з сукупністю просторово-локалізованих господарюючих суб'єктів які характеризуються наявністю стійких технологічних зв'язків та експлуатації транспорту при вантажних перевезеннях, що здійснюються протягом тривалого часу.

Формування регіонального рівня системи відбувається як результат об'єднання господарюючих на місцевому рівні груп підприємств, експлуатуючих різні види транспорту (окремих кластерів) і перевезеннями на більші відстані у порівнянні з місцевим рівнем виробничих системи.

Структурний аналіз територіальних виробничих систем дає можливість визначити склад, властивість, характер і особливості експлуатації та взаємодії окремих видів транспорту в процесі функціонування і дати оцінку можливості пристосування таких систем до рішення задач визначених їх цільовому призначенню.

У третьому розділі виконано структурно-параметричний синтез і оптимізацію функціонування засобів транспорту в багаторівневих виробничих системах. Розглянуто особливості синтезу регіонального та міжрегіонального рівнів виробничих систем. Розроблено метод і розглянуто формування місцевого рівня

виробничої системи на базі виробничого кластеру з різною кількістю підприємств. Розроблено метод структурної оптимізації регіонально рівня виробничої системи. Регіональний рівень формується на основі сукупності кластерів і забезпечує цілісність усієї системи. Головним принципом формування цього рівня є мінімізація загальної довжини усіх транспортних шляхів, що знижує витрати на їх створення та експлуатацію шляхів та транспортних засобів.

У четвертому розділі розглянуто метод формування транспортного коридору на основі об'ємів перевезень і експлуатаційних витрат. Формування транспортних коридорів має декілька цілей і у тому числі: технічні, економічні, соціально-політичні та екологічні. Доопрацьовано модель стійкості автомобільного транспортного засобу та припустимої швидкості руху в максимально навантажених виробничих системах, яка відрізняється тим, що дозволяє визначити раціональні режими експлуатації вантажних автомобілів на криволінійних ділянках.

У п'ятому розділі розглянуто метод моделювання параметрів верхньої будови залізничних колій для пропуску великовагових та великогабаритних вантажів, який дозволяє підвищити ефективність експлуатації транспорту за рахунок продовження терміну служби елементів залізничної колії і підвищення швидкості руху. Розроблено узагальнену модель системи в сполучній постановці рейкового шляху і пружної основи з навантаженням від колес рухомого складу, яка дозволяє визначити пружно-деформований стан у складових частинах складної системи.

У шостому розділі розглянуто питання формування транспортної інфраструктури. Розглянуто зовнішні та внутрішні вантажопотоки України. Особливу роль інфраструктури для України визначається тим, що економіка держави транспортно-витратна. Як показали дослідження дуже ефективною є обробка і пропуск транзитних вантажів. Аналіз стану мережі України, особливо на прикордонних територіях, свідчить, що виробнича система за кількісними показниками та пропускній спроможності в цілому відповідає вимогам для додаткового транзиту на території України, а по якісним характеристикам не досягають рівня Європейських стандартів. Тому на державному кордоні чи поблизу його у містах проходження коридорів доцільно створювати логопарки. У зв'язку з

цим розроблено концепція організації експлуатації засобів транспорту в прикордонних регіонах, що дозволяє залучити додаткові, як зовнішні, так і внутрішні вантажопотоки.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- на основі аналізу і особливостей функціонування та експлуатації засобів транспорту різних видів розроблено математичні моделі та методи побудови та переформування складних виробничих систем з використанням їх структурного індексу, що дозволяє визначити кількість структурних рівнів системи яка розглядається;

- розроблено метод визначення економічного критерію ефективності експлуатації засобів транспорту, який відрізняється тим, що ґрунтується на показниках декількох видів транспорту та дозволяє врахувати технічні характеристики транспортних засобів і параметри транспортної інфраструктури;

- розроблено метод структурування різних засобів транспорту та транспортних шляхів за їх роллю та призначенням при наявності транспортного коридору і без нього, що дозволяє диференційовано підійти до інтенсивності їх обслуговування і витрат на це ресурсів.

Доопрацьовано:

- теоретичні основи технології зниження шкідливого впливу на оточуюче середовище від експлуатації автомобільних транспортних засобів, що дозволяє зменшити їх шкідливі викиди та підвищити паливну економічність.

- метод моделювання параметрів верхньої будови залізничних колій для пропуску великовагових та великогабаритних вантажів, який дозволяє підвищити ефективність експлуатації транспорту за рахунок продовження терміну служби елементів залізничної колії і підвищення швидкості руху;

- метод підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту за рахунок зниження експлуатаційних витрат, який відрізняється тим, що дозволяє визначити коефіцієнт використання кожного елементу трубопровідних систем та виконати більш ефективний розподіл експлуатаційного навантаження на окремі їх

елементи.

Дістала подальшого розвитку:

- модель стійкості автомобільного транспортного засобу та припустимої швидкості руху в максимально навантажених виробничих системах, яка відрізняється тим, що дозволяє визначити раціональні режими експлуатації вантажних автомобілів на криволінійних ділянках;

- концепція організації експлуатації засобів транспорту в прикордонних регіонах, що дозволяє залучити додаткові, як зовнішні, так і внутрішні вантажопотоки.

Підтвердженням достовірності наукових досліджень є збіг результатів теоретичних та експериментальних досліджень, а також успішна реалізація результатів роботи на промислових підприємствах України. Виконана робота відповідає паспорту спеціальності "05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту ":

– за **формулою спеціальності**: «Галузь науки і техніки, яка займається проблемами створення методологічних основ оптимального технічного використання засобів транспорту ..., їх технічної експлуатації, ..., створення умов для високоефективного використання засобів транспорту з дотриманням вимог охорони навколишнього природного середовища.» *завдяки вирішенню науково-прикладної проблеми розвитку теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту з урахуванням особливостей їх використання в системах з різними видами транспорту;*

– за **напрямами досліджень**:

п. 1. – «Теоретичні основи ..., експлуатації, технічного обслуговування, ... засобів транспорту. Стратегія розвитку, реконструкції та переоснащення підприємств ..., експлуатації, ... засобів транспорту» *завдяки розробці математичних моделей та методів побудови та переформування складних виробничих систем з використанням їх структурного індексу, що дозволяє визначити кількість структурних рівнів системи яка розглядається; розробці методу визначення економічного критерію ефективності експлуатації засобів*

*транспорту, який відрізняється тим, що ґрунтується на показниках декількох видів транспорту та дозволяє врахувати технічні характеристики транспортних засобів і параметри транспортної інфраструктури; розробці методу структурування різних засобів транспорту та транспортних шляхів за їх роллю та призначенням при наявності транспортного коридору і без нього, що дозволяє диференційовано підійти до інтенсивності їх обслуговування і витрат на це ресурсів.*

*п. 3. «Функціонування засобів транспорту в різних умовах експлуатації, виробничо-технічна база для забезпечення їх технічної готовності. Методи профілактичного обслуговування засобів транспорту, розроблення засобів діагностики та прогнозування їх технічного стану» завдяки подальшому розвитку моделі стійкості автомобільного транспортного засобу та припустимої швидкості руху в максимально навантажених виробничих системах, яка відрізняється тим, що дозволяє визначити раціональні режими експлуатації вантажних автомобілів на криволінійних ділянках; методу підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту за рахунок зниження експлуатаційних витрат, який відрізняється тим, що дозволяє визначити коефіцієнт використання кожного елементу трубопровідних систем та виконати більш ефективний розподіл експлуатаційного навантаження на окремі їх елементи.*

*п. 5. «Охорона навколишнього середовища від шкідливого впливу засобів транспорту на всіх етапах життєвого циклу. Розробка методів оцінювання та способів підвищення екологічної безпеки засобів транспорту.» завдяки доопрацюванню теоретичних основ технології зниження шкідливого впливу на оточуюче середовище від експлуатації автомобільних транспортних засобів, що дозволяє зменшити їх шкідливі викиди та підвищити паливну економічність.*

*п.7. «Створення наукових основ і методів розрахунку параметрів та управління ресурсом, надійністю та технічним станом засобів транспорту, розробка методів підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту та їх функціональних систем, обладнання та засобів забезпечення їх працездатності» завдяки розробці методу моделювання і математичних моделей визначення параметрів верхньої*

*будови залізничних колій для пропуску великовагових та крупногабаритних вантажів, методу визначення економічної складової критерія ефективності експлуатації засобів транспорту при експлуатації декількох видів транспорту*

Практичне значення одержаних результатів.

Широке використання розробленої методології в практиці експлуатації засобів транспорту різного рівня буде сприяти підвищенню ефективності їх функціонування та зменшенню шкідливого впливу на оточуюче довкілля за рахунок зниження експлуатаційних витрат і підвищення швидкості просування та обробки вантажів. Розроблені в дисертації наукові положення і результати можуть бути використані для створення нових методів організації транспортного обслуговування та розвитку транспортної інфраструктури.

**Ключові слова:** засоби транспорту, експлуатація транспорту, ефективність, виробнича система, синтез, експлуатаційні витрати, екологія.

## ANNOTATION

Slobodyanyuk M. Development of theoretical bases of increase of efficiency of operation of means of transport in difficult production systems. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.22.20 - operation and repair of vehicles. - State University of Infrastructure and Technologies, Kiev, 2020.

The dissertation is devoted to the decision of an actual scientific problem of development of theoretical bases of increase of efficiency of operation of means of transport taking into account features of their use in difficult industrial systems with various types of transport.

Increasing the volume of traffic requires the development of means of transport and the improvement of the transport infrastructure that serves the material flows, and this is associated with significant additional costs. The analysis of theoretical developments in the field of development and operation of means of transport has shown that there are many

works which allow to model and increase efficiency of systems of one mode of transport. But nowadays, with the development of multimodal transport involving different modes of transport, new methods are needed to increase the efficiency of vehicles, taking into account the specifics of each mode of transport. In addition, new approaches are needed to optimize the parameters of vehicles that ensure the functioning of systems regardless of mode of transport, which allow to take into account their territoriality, level, transport needs of the region and the availability of transport corridors to realize transport capabilities of regions and the state.

Operation in this work is understood as a megaprocess, which includes the processes of intended use of vehicles, their maintenance and repair, extension of life, and so on. In this work, the problem of improving the efficiency of operation is solved by improving the above processes, taking into account the interaction of different modes of transport in the implementation of freight.

The first section analyzes the current state of theory and practice of design, development and operation of means of transport of multilevel cargo handling systems in the operation of various modes of transport. Analysis of the structure of transport systems showed that it should be considered as a transport network equipped with infrastructure that provides processing and promotion of material flows. Analysis of domestic and foreign studies has shown that the difficulty of solving the problem under consideration is that the theory of operation and operation of transport in the system of cargo handling can not be described by a single mathematical expression due to its multifactorial nature. Works in the field of modeling, formation and structuring of transport systems and ecological safety are also analyzed.

In the second section the typical problems which arise at formation of structure and the organization of operation of means of transport, and also the corresponding stages of their decision are formulated. As a basic fragment of the system at the local level should be considered a separate cluster operating in a given area. But from the existing definition, which does not take into account the need for transportation between enterprises, the cluster should represent the territory with a set of spatially localized economic entities that are

characterized by stable technological connections and operation of transport in long-term freight.

The formation of the regional level of the system is the result of combining local business groups operating different types of transport (individual clusters) and long-distance transportation compared to the local level of production systems.

Structural analysis of territorial production systems makes it possible to determine the composition, properties, nature and features of operation and interaction of individual modes of transport in the process of functioning and assess the feasibility of adapting such systems to solve the problems defined by their intended purpose.

In the third section the structural-parametric synthesis and optimization of functioning of means of transport in multilevel production systems is executed. Peculiarities of synthesis of regional and interregional levels of production systems are considered. The method is developed and the formation of the local level of the production system on the basis of the production cluster with different number of enterprises is considered. A method of structural optimization of the regional level of the production system has been developed. The regional level is formed on the basis of a set of clusters and ensures the integrity of the entire system. The main principle of formation of this level is to minimize the total length of all transport routes, which reduces the cost of their creation and operation of roads and vehicles.

The fourth section discusses the method of forming a transport corridor based on traffic volumes and operating costs. The formation of transport corridors has several goals, including: technical, economic, socio-political and environmental. The model of stability of the motor vehicle and admissible speed of movement in the most loaded production systems which differs in that allows to define rational modes of operation of trucks on curvilinear sites is finished.

The fifth section discusses the method of modeling the parameters of the superstructure of railway tracks for the passage of heavy and bulky goods, which allows to increase the efficiency of transport by extending the service life of the elements of the railway and increase the speed. A generalized model of the system in the connecting setting of the rail track and the elastic base with the load from the wheels of the rolling stock,

which allows to determine the elastic-deformed state in the components of a complex system.

The sixth section discusses the formation of infrastructure for the processing of material flows. External and internal cargo flows of Ukraine are considered. The special role of infrastructure for Ukraine is determined by the fact that the state's economy is costly. Studies have shown that handling and passing transit cargo is very effective. Analysis of the state of Ukraine's network, especially in border areas, shows that the transport system in quantitative terms and capacity generally meets the requirements for additional transit in Ukraine, and the quality characteristics do not reach the level of European standards. Therefore, on the state border or near it in the cities of corridors, it is advisable to create logo parks. In this regard, the concept of organizing the operation of vehicles in border regions has been developed, which allows to attract additional, both external and internal freight flows.

Scientific novelty of the obtained results.

For the first time:

- on the basis of the analysis and features of functioning and operation of means of transport of different types mathematical models and methods of construction and transformation of difficult production systems with use of their structural index that allows to define quantity of structural levels of system under consideration are developed;

- the method of definition of economic criterion of efficiency of operation of means of transport which differs in that is based on indicators of several types of transport and allows to consider technical characteristics of vehicles and parameters of a transport infrastructure is developed;

- developed a method of structuring different means of transport and transport routes according to their role and purpose in the presence of a transport corridor and without it, which allows a differentiated approach to the intensity of their maintenance and resource costs.

Modified:

- theoretical bases of technology of reduction of harmful influence on environment from operation of motor vehicles that allows to reduce their harmful emissions and to increase fuel economy.

- a method of modeling the parameters of the upper structure of railway tracks for the passage of heavy and bulky goods, which allows to increase the efficiency of transport by extending the service life of the elements of the railway track and increase the speed;

- a method of increasing the efficiency of pipeline transport by reducing operating costs, which differs in that it allows to determine the utilization rate of each element of pipeline systems and perform a more efficient distribution of operational load on their individual elements.

Received further development:

- model of stability of the motor vehicle and admissible speed of movement in the most loaded production systems, which differs in that it allows to determine the rational modes of operation of trucks on curved sections;

- the concept of organizing the operation of vehicles in border regions, which allows to attract additional, both external and internal freight flows.

Confirmation of the reliability of scientific research is the coincidence of the results of theoretical and experimental research, as well as the successful implementation of the results of work at industrial enterprises of Ukraine. The work performed corresponds to the passport of the specialty "05.22.20 - operation and repair of vehicles":

**- by the formula of the specialty:**

"Branch of science and technology, which deals with the problems of creating methodological foundations for optimal technical use of vehicles..., their technical operation..., creating conditions for highly efficient use of vehicles in compliance with environmental requirements." due to the solution of the scientific and applied problem of development of theoretical bases of increase of efficiency of operation of means of transport taking into account features of their use in systems with different types of transport;

**- by scientific area:**

p. 1. - "Theoretical foundations..., operation, maintenance,... vehicles. Strategy of development, reconstruction and re-equipment of enterprises, operation, ... means of transport" *due to development of a method of synthesis of systems of means of transport of different level on the basis of the cluster approach, a method of structuring means of transport and transport ways on their role and purpose. parametric synthesis of multilevel transport systems using a cluster approach, improving the concept of creation and integration of means of transport in border regions.*

p. 3. "Operation of vehicles in different operating conditions, production and technical base to ensure their technical readiness. Methods of preventive maintenance of vehicles, development of diagnostic tools and forecasting of their technical condition" *due to the further development of the model of stability of the vehicle and the allowable speed in the most heavily loaded production systems, which allows to determine rational modes of operation of trucks on curved sections;*

p. 5. "Protection of the environment from the harmful effects of vehicles at all stages of the life cycle. Development of assessment methods and ways to improve the environmental safety of vehicles. " *due to the refinement of the theoretical foundations of the technology to reduce the harmful effects of pollution on the environment from the operation of vehicles with different modes of transport.*

p. 7. "Creation of scientific bases and methods of calculation of parameters and management of resource, reliability and technical condition of means of transport, development of methods of increase of efficiency of operation of means of transport and their functional systems, equipment and means of ensuring their working capacity" *due to development of modeling method and mathematical models of parameters. tracks for the passage of heavy and bulky goods, the method of determining the economic component of the criterion of efficiency of the means of transport in the operation of several modes of transport,*

The practical significance of the obtained results.

Extensive use of the developed methodology in the practice of operation of vehicles of different levels will help increase their efficiency and reduce the harmful impact on the environment by reducing operating costs and increasing the speed of movement and

handling of goods. The scientific provisions and results developed in the dissertation can be used to create new methods of organization of transport services and development of transport infrastructure.

**Key words:** means of transport, transport operation, efficiency, production system, synthesis, operating costs, ecology.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Tararychkin I., Nechaev G., Slobodyanyuk M. State value of pipeline transport systems if there is injury from external influence. *Transport problems*. – 2012. – Т. 7. – С. 43-52. (Журнал включено до НМБД *SCOPUS*)

2. Slobodyanyuk M., Gorobchenko O. Structural analysis of territorial transport systems based on classificationn methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. №. 1 (104). P. 23-32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194158> (Журнал включено до НМБД *SCOPUS*)

3. Mathematical modeling of an induction motor for vehicles. / S. Goolak, M. Slobodyanyuk, O. Gorobchenko, ect. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. №. 2 (105). P. 25-34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.199559> (Журнал включено до НМБД *SCOPUS*)

4. Слободянюк М.Э. Концептуальные основы развития транспортных систем международных перевозок. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. №5(159) Ч.2. 2011. С. 74 - 77.

5. Слободянюк М.Е. Оптимізація витрат на пряме перевантаження судна в залізничні вагони у транспортному коридорі. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №5(176) Ч.2. – С. 203 - 206.

6. Mathematical model of deformation of railway sleeper track structure with the step change of stiffness on the elastic winkler foundation of the constant stiffness / Maxim Slobodyanyuk, Anna Nikitina, Grigory Nechayev, Nataliya Rakovskaya. *TeKa commission of motorization and energetic in agriculture*. 2013, vol. 14, №2., p. 152-164.

7. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И., Грибиниченко М.В. Влияние тягово-скоростных характеристик автотранспортных средств на экологию. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. №4 (211) Ч.1. 2014. С. 11 - 16.

8. Slobodyanyuk M., Nechayev G., Kislitsin A. Methodics and algorithms for creation of intermodal logistics park. *TeKa: commission of motorization and energetics in agriculture*. 2014. vol.14, No1, p. 248 – 266.

9. Slobodyanyuk M., Tararychkin I., Nechaev G. Structural analysis of an interregional transport network and assessment of capability for its multi-level optimization. *Teka Kom. Mot. i Energ. in Agric*, 2013, Vol. 13, No 4, p. 250 - 257.

10. Tararychkin I., Nechaev G., Slobodyanyuk M. Operation of the road transport network in the presence of various options of freight shipping by automobile transport. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln.* 2013, vol. 13, No3, p. 235-238.

11. Методи і математичні моделі знаходження межі вантажомісткості акумулюючих обладнань з врахуванням економічних критеріїв прогресивності / Г.І. Нечаєв, О.Д. Омельченко, М.Е. Слободянюк, та ін. Вісник СХУ ім. В. Даля. №18(207) Ч.2. 2013. С. 130 – 137.

12. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Формирование транспортного коридора на основе объемов перевозок и эксплуатационных затрат. *Вісник СХУ ім. В. Даля.* 2013. №6 Ч. 2. С. 9-17.

13. Тарарычкін І.А., Слободянюк М.Э. Определение конкурентоспособности различных маршрутов транспортировки при унимодальных грузовых перевозках. *Вісник ВХУ ім. В. Даля.* 2010. №4(146). Ч.1 С. 18-22.

14. Slobodyanyuk M., Kichkin A., Kichkina E. Information maintenance formalization of material flows in logistic systems. *Teka Kom. Mot. i Energ. Roln.* OL PAN, 2010, 10D, p. 148 -152.

15. Омельченко О.Д., Яновський П.О., Слободянюк М.Е. Принципи економіко-математичного моделювання для кількісних планових розрахунків і якісного аналізу транспортних об'єктів і систем. *Вісник СХУ ім. В. Даля.* 2011. №4(158) Ч.2. С. 229-234.

16. Tararychkin I.A., Nechaev G.I., Slobodyanyuk M.E. Number of loaders optimization serving the warehouse complex of logistic system taking into account their repair. *Economic alternatives, Sofia.* 2011. Issue №1. p. 86 – 92.

17. Тарарычкін І.А., Слободянюк М.Э. Структурный анализ систем трубопроводного транспорта. *Трубопроводный транспорт (теория и практика).* 2011. №1(23). С. 36 – 38.

18. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Анализ внешних транспортных потоков Украины. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №6 (177) Ч. 1. С. 315-319.

19. Слободянюк М.Э., Омельченко А.Д. Оценка уровня динамических загрузок и эксплуатационной прочности технологических трубопроводов транспортных систем. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №9(180) Ч.1. С. 254 - 256.

20. Слободянюк М.Э., Радченко Н.А. Проверка параметров железнодорожных подъездных путей для пропуска транспортёров с тяжеловесными и крупногабаритными грузами в транспортных коридорах. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. № 3 (174). Ч. 2. С. 81-87.

21. Слободянюк М.Э., Омельченко А.Д., Кужель Н. В. Оценка эффективности транспортных систем и комплексов на основе критериев прогрессивности. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №12(183) Ч.2. С. 250 - 255.

22. Slobodyanyuk M., Gribinichenko M. Theoretical basis of automobile freight system with changeable trailers. *Teka Kom. Mot. i Energ. in Agric.* 2012. Vol. 12, Том 3, p. 140 -142.

23. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Оценка времени прохождения грузопотока по транспортной сети. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. 2013. №9 Ч.1. С. 245-248.

24. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Особенности функционирования автодорожной транспортной сети при наличии альтернативных вариантов доставки грузов. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2013. №5(194) Ч.2. С. 162 - 164.

25. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Методы структурного анализа и синтеза территориальных транспортных систем. М: Горячая линия Телеком, 2016, 202 с.

#### *Додаткові праці*

26. М.Е. Слободянюк, Г.І. Нечаєв, М.В. Грибініченко Патент України №91540 МПК (2014) G08G 1/065. Пристрій для визначення максимально дозвільної швидкості автомобіля. – опубл. 10.07.2014; Бюл.№13.

27. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Анализ сетевой структуры и многопараметрическая оптимизация межрегиональных транспортных

систем. *Тезисы 12<sup>й</sup> международной научно-технической конференции «Наука-образованию, производству, экономике».* Минск. 2014 С.259-260.

28. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Развитие транспортной инфраструктуры приграничья для взаимодействия с транспортными коридорами. *Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте: Сб. материалов 3-й международной научно-практ. конференции (24 мая 2013 г.).* Владивосток. С.69-71.

29. Нечаев Г.И., Слободянюк М.Э. Модель прямой перегрузки судна в железнодорожные вагоны в транспортном коридоре. *Материалы Всероссийской научно-технической конференции « Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования» 10 - 13 апреля, 2012 г. Хабаровск.* С. 10 -14.

30. Tararychkin I.A., Nechaev G.I., Slobodyanyuk M. E. State value of pipeline transport systems if there is injury from external influence. *Transport Problems.* 2011. *III international conference, Poland.* P. 450 – 459.

31. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Анализ внешних транспортных потоков Украины. *Матеріали III міжнародної науково-практ. конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики».* м. Євпаторія, 3-8 травня, 2012 р. С. 143 - 144.

32. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Пути снижения вредного воздействия транспортной инфраструктуры на окружающую среду. *Матеріали V міжнародної науково-практ. конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики».* м. Луганськ, 3-8 травня, 2014 . С. 23.

33. Карский В.О., Слободянюк М.Э. Использование кавитационного теплогенератора для очистки нефтешламов и сточных вод. *Матеріали V міжнародної науково-практ. конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики».* м. Луганськ, 3-8 травня, 2014 . С. 113.

34. Нечаев Г.И., Слободянюк М.Э., Гуцало Б.П. Задачи развития транспортной инфраструктуры востока Украины. *Матеріали III міжнародної науково-практ. конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики».* м. Євпаторія, 3-8 травня, 2012 р. С. 34 – 36.

35. Слободянюк М. Э., Лапаева Е.Н. Украинско-российский пограничный эксперимент международного автомобильного пункта пропуска «Дьяково – Куйбышево – 2». *Матеріали IV Міжнар. науково-практ. конференції “Проблеми розвитку транспортних систем і логістики”*, м. Євпаторія, 14 – 16 травня, 2013р. С. 102 -103.

36. Горобченко О. М., Слободянюк М. Е. Визначення критерію оптимальності експлуатації засобів транспорту в складних системах. *Матеріали IV Міжнар. науково-практ. конференції “Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування”*, м. Херсон, 8 – 10 вересня 2020 р. С. 48-49.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	25
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕОРІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ В СКЛАДНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ .....	33
1.1. Вибір і обґрунтування критерію ефективності експлуатації засобів транспорту та формулювання гіпотези досліджень. ....	33
1.2 Аналіз робіт в області моделювання та оптимізації параметрів засобів транспорту в складних системах. ....	37
1.3. Інформаційне забезпечення експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах.....	39
1.4. Аналіз екологічної безпеки на транспорті.....	40
1.5. Формування й структурування територіальних складних виробничих систем.....	41
1.5.1 Структурні елементи складних виробничих систем і особливості взаємодії в них засобів транспорту .....	45
1.6. Дослідження питань функціонування різних засобів транспорту в складних системах.....	47
Висновки до розділу 1.....	52
РОЗДІЛ 2. РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В СКЛАДНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ.....	54
2.1. Структурний аналіз і особливості функціонування складних виробничих систем.....	54
2.2. Структурний аналіз територіальних систем.....	57
2.2.1. Структурні характеристики багаторівневих систем.....	62
2.2.2. Структурний індекс територіальної системи і метод його	

визначення.....	81
2.2.3. Зміни в структурі систем, які виникають при об'єднанні множин, що перекриваються .....	87
2.3. Метод структурного аналізу територіальних систем і послідовність його реалізації.....	94
2.4. Використання результатів структурного аналізу для вирішення практичних завдань .....	99
Висновки до розділу 2 .....	108

## РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ В БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМАХ.....

3.1. Вибір цільових функцій при вирішенні завдання синтезу і оптимізації функціонування засобів транспорту в багаторівневих системах.....	110
3.1.1. Особливості синтезу місцевого рівня виробничої системи.....	112
3.1.2. Особливості синтезу регіонального рівня системи .....	117
3.1.3. Особливості синтезу міжрегіонального рівня.....	119
3.2. Формування місцевого рівня виробничої системи.....	121
3.2.1. Характеристики структури кластера й процесу його функціонування .....	121
3.2.2. Формування виробничих кластерів на базі існуючої транспортної інфраструктури .....	126
3.2.3. Формування виробничих кластерів на базі знов створюваної транспортної інфраструктури .....	129
3.3. Структурна оптимізація регіонального рівня складної виробничої системи .....	139

3.3.1. Формування фрагмента системи, що включає кластери з активними транспортними вузлами.....	140
3.3.2. Формування фрагмента системи, що включає кластери з пасивними транспортними вузлами.....	144
3.3.3. Формування фрагмента системи, що включає кластери з декількома активними вузлами й одним пасивним.....	146
3.3.4. Формування фрагмента системи, що включає кластери з активними й пасивними вузлами. ....	148
3.3.5. Поділ множини транспортних шляхів на окремі групи з урахуванням їх ролі в процесі функціонування всієї системи .....	150
3.4. Структурна оптимізація міжрегіонального рівня .....	154
3.5. Формулювання вимог до елементів територіальної виробничої системи на основі вирішення завдання структурної оптимізації.....	157
3.6. Формування територіальної виробничої системи на прикладі об'єднання й структурування груп виробничих кластерів .....	161
3.6.1. Структурний синтез багаторівневої виробничої системи.....	161
3.6.2. Формулювання вимог до структурних елементів складних виробничих систем .....	171
Висновки до розділу 3 .....	175

## РОЗДІЛ 4. УРАХУВАННЯ ВИТРАТ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ПРИ ФОРМУВАННІ ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРУ .....

4.1. Загальна постановка завдання формування транспортного коридору.	177
4.2. Розробка критерію оцінки ефективності функціонування транспортного коридору з урахуванням експлуатаційних витрат. ....	180
4.3. Моделі оптимізації витрат і режимів руху, пов'язаних з експлуатацією транспортної інфраструктури. ....	182

4.3.1. Модель оптимізації витрат залежних від профілю шляху.....	182
4.3.2. Модель оптимізації витрат залежних від обсягів транспортної роботи. ....	183
4.3.3. Модель режиму руху транспортного засобу в кривих ділянках траси.....	186
4.3.4. Визначення часу проходження транспортного засобу по виробничій системі. ....	195
4.3.5. Модель прямої взаємодії залізниці при перевантаженні судна в логістичному парку транспортного коридору .....	200
4.3.6. Потенціал транспортних коридорів України з ділянками морських перевезень і шляхи його реалізації.....	204
Висновки до розділу 4. ....	214
<b>РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕРХНЬОЇ БУДОВИ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ.....</b>	<b>216</b>
5.1. Перевірка параметрів залізничних під'їзних колій для пропуску транспортів з великогабаритним і великоваговим вантажем. ....	216
5.2. Математична модель деформації рейко-шпальної решітки із ступінчастою зміною жорсткості на пружнім Вінклеровом підставі постійної жорсткості .....	224
5.3. Спрощений метод визначення технічних параметрів деформації рейко- шпальної решітки .....	243
Висновки до розділу 5 .....	245
<b>РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ТА ФОРМУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....</b>	<b>247</b>
6.1. Постановка завдання ефективного розвитку транспортної	

інфраструктури .....	247
6.1.1. Аналіз транспортних потоків .....	248
6.1.2. Підвищення ефективності розвитку транспортної інфраструктури пов'язаною із транспортним коридором .....	251
6.2. Вибір виду, методу та алгоритму створення інтермодального логістичного парку .....	257
Висновки до розділу 6 .....	272
<b>РОЗДІЛ 7. МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ .....</b>	<b>273</b>
7.1. Вплив тягово-швидкісних характеристик автотранспортних засобів на екологію .....	273
7.2. Метод оцінки ефективності функціонування відновлюваних систем трубопровідного транспорту .....	285
7.3. Оцінка економічного збитку від аварійної ситуації в засобах трубопровідного транспорту .....	295
Висновки до розділу 7 .....	300
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>301</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>305</b>
<b>ДОДАТОК А. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ КЛАСТЕРІВ .....</b>	<b>327</b>
<b>ДОДАТОК Б. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД І НАФТОСУМІШЕЙ У ЗАСОБАХ ТРУБОПРОВІДНОГО ТРАНСПОРТУ .....</b>	<b>342</b>
<b>ДОДАТОК В. ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ СТВОРЕННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНОГО ЛОГІСТИЧНОГО ПАРКУ .....</b>	<b>373</b>
<b>ДОДАТОК Г. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ .....</b>	<b>393</b>

## Вступ

В останні роки розширюється виробничо-економічна база та потенціал як розвинутих держав, так і тих, що розвиваються. Не останню роль у цьому процесі відіграє транспорт всіх видів та його експлуатація. Від витрат на експлуатацію транспорту у значній мірі залежить рентабельність підприємства. Розвиток виробничої бази та збільшення випуску різної продукції прямо пов'язано зі збільшенням об'ємів перевезень. Як показав аналіз транспортних витрат, вони складають від 7% до 30% собівартості готової продукції. Таким чином, підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту є значним резервом підвищення конкурентоспроможності підприємств та економіки держави в цілому.

Збільшення об'ємів перевезень потребує розвитку засобів транспорту та удосконалення транспортної інфраструктури, а це пов'язано зі значними додатковими витратами.

Експлуатація в цій роботі розуміється як мегапроцес, до якого входять процеси використання за призначенням засобів транспорту, їх технічне обслуговування і ремонт, подовження ресурсу, тощо. В цій роботі завдання підвищення ефективності експлуатації вирішується шляхом удосконалення наведених процесів з урахуванням взаємодії різних видів транспорту при реалізації вантажних перевезень.

Аналіз теоретичних розробок в галузі розвитку та експлуатації засобів транспорту показав, що є немало робіт, які дозволяють моделювати і підвищувати ефективність систем одного виду транспорту. Але в теперішній час у зв'язку з розвитком перевезень з участю різних видів транспорту необхідні нові методи підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту з урахуванням особливостей кожного виду транспорту. Крім того необхідні нові підходи до оптимізації параметрів засобів транспорту, що забезпечують функціонування виробничих систем незалежно від виду транспорту, які дозволяють враховувати їх територіальність, рівень, потребу в перевезеннях регіону та наявність транспортних коридорів, з метою реалізації транспортних можливостей регіонів і держави при розгляданні складних виробничих систем. Під складними виробничими системами в

роботі розуміється багатокomпонентний комплекс виробничих, переробних підприємств, та підприємств транспортного обслуговування регіону, що експлуатують різні види транспорту у вантажних перевезеннях.

**Актуальність теми.** В теперішній час теоретичні основи експлуатації засобів транспорту достатньо розроблені та впроваджені. Але розвиток та ускладнення функціонування транспортної галузі в останні роки (мультимодальні перевезення, транспортні коридори) вимагають розглядати експлуатацію транспортного засобу з позицій елементів складної багаторівневої системи. Актуальність роботи обумовлена тим, що існуючих теоретичних розробок такого спрямування не достатньо, щоб повністю визначити взаємний вплив різних засобів транспорту на ефективність їх експлуатації та ефективність транспортного процесу в цілому. Особливу актуальність набувають роботи пов'язані з експлуатацією та розвитком засобів транспорту, що залучаються до транспортних коридорів, але при цьому залишаються не достатньо розробленими питання безпеки та екологічної безпеки при експлуатації їх в якості елементів виробничих систем. Розробка теоретичного підґрунтя взаємодії засобів транспорту є досить складною задачею, тому що кожний вид транспорту має свої особливості, специфіку роботи, ремонтні вимоги, матеріальну, комунікаційну та інформаційну базу, а ефективність їх роботи залежить від ефективності експлуатації кожного виду транспорту та їх взаємодії з урахуванням вимог до мінімізації шкідливого впливу на екологію. Таким чином, брак теоретичних результатів, відсутність рекомендацій експлуатаційним підприємствам та рекомендацій науково-дослідних установ стосовно оптимізації експлуатації транспортних засобів в складних системах дозволяє сформулювати актуальну наукову проблему: розвиток теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами планами, темами.** Робота виконана у відповідності до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розп. КМУ від 30 травня 2018 р. № 430-р); «Концепцією розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період до 2020 року», затвердженою наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від

08.01.2008 р. №7; Проекту технічної допомоги ЄС «Підтримка інтеграції України до транс-європейської транспортної мережі» та твінінг-проектом «Підтримка розробки та впровадження транспортної політики в Україні». Наукові результати отримані при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт, зокрема: «Розробка методів логістичного забезпечення енергозберігаючих технологій і транспортно-складської обробки вантажопотоків» № д/р 0110И0020106; «Розробка технологій формування і обробки вантажопотоків у транспортних коридорах, що мінімізують витрати на логістичне обслуговування і стимулюють соціально-економічний розвиток регіонів» № д/р 0112И000219.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є вирішення наукової проблеми підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту шляхом урахування особливостей їх використання в складних виробничих системах, мінімізації витрат на технічну експлуатацію, а також підвищення безпеки використання та мінімізації екологічного впливу на оточуюче середовище.

Для досягнення вказаної мети у роботі поставлені такі наукові задачі:

- провести аналіз сучасного стану теоретичних і експериментальних досліджень розвитку та експлуатації різних засобів та видів транспорту в складних виробничих системах;
- розробити метод структурування багаторівневих виробничих систем з експлуатацією різних видів транспорту;
- удосконалити метод структурно-параметричного синтезу та оптимізації параметрів експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах;
- розробити метод визначення економічного критерію ефективності експлуатації транспорту в складній виробничій системі;
- розробити метод структурування засобів транспорту за їх роллю та призначенням при експлуатації їх в транспортному коридорі;
- доопрацювати математичні моделі визначення параметрів засобів транспорту в умовах експлуатації їх з великоваговими та довгомірними вантажами;
- доопрацювати концепцію організації експлуатації засобів транспорту в прикордонних регіонах;

- визначити та оцінити шляхи удосконалення методів експлуатації засобів транспорту для зниження забруднення навколишнього середовища;
- удосконалити метод підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту за рахунок зниження експлуатаційних витрат як складової виробничої системи;
- розвинути модель стійкості колісного транспортного засобу та визначення припустимої швидкості руху в умовах експлуатації для максимально завантажених виробничих систем.

**Об'єкт дослідження** – процеси експлуатації засобів транспорту та об'єктів інфраструктури при функціонуванні складних виробничих систем.

**Предмет дослідження** – моделі та методи підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах, що включають різні види транспорту.

**Методи дослідження.** Постановка задач дослідження, вибір методів їх вирішення та аналіз результатів здійснено з використанням теорії системного аналізу і синтезу складних технічних систем для створення ефективних способів регулювань процесів, що виникають в них. При дослідженні експлуатації засобів транспорту використовувались графоаналітичні методи та теорія множин, а також кластерний підхід для визначення взаємних зв'язків між постачальниками та споживачами вантажів. Для структурно-параметричного синтезу та підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту використовувалась теорія графів, метод Парето, системний та структурний аналіз. При розробці моделей експлуатації використовувались теорія динамічного програмування, методи статистичних досліджень, оптимізаційні методи дослідження операцій та теорія масового обслуговування.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вирішено наукову проблему розвитку теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту з урахуванням особливостей їх використання в виробничих системах з різними видами транспорту, що дозволило визначити нові підходи до транспортного забезпечення в сучасних умовах.

*Вперше:*

- на основі аналізу і особливостей функціонування та експлуатації засобів транспорту різних видів розроблено математичні моделі та методи побудови та переформування складних виробничих систем з використанням їх структурного індексу, що дозволяє визначити кількість структурних рівнів системи яка розглядається;

- розроблено метод визначення економічного критерію ефективності експлуатації засобів транспорту, який відрізняється тим, що ґрунтується на показниках декількох видів транспорту та дозволяє врахувати технічні характеристики транспортних засобів і параметри транспортної інфраструктури;

- розроблено метод структурування засобів транспорту та виробничих систем за їх роллю та призначенням при наявності транспортного коридору і без нього, що дозволяє диференційовано підійти до інтенсивності їх обслуговування і витрат на це ресурсів.

*Доопрацьовано:*

- теоретичні основи технології зниження шкідливого впливу на оточуюче середовище від експлуатації автомобільних транспортних засобів, що дозволяє зменшити їх шкідливі викиди та підвищити паливну економічність.

- метод моделювання параметрів верхньої будови залізничних колій для пропуску великовагових та великогабаритних вантажів, який дозволяє підвищити ефективність експлуатації транспорту за рахунок продовження терміну служби елементів залізничної колії і підвищення швидкості руху;

- метод підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту за рахунок зниження експлуатаційних витрат, який відрізняється тим, що дозволяє визначити коефіцієнт використання кожного елементу трубопровідних систем та виконати більш ефективний розподіл експлуатаційного навантаження на окремі їх елементи.

*Дістала подальшого розвитку:*

- модель стійкості автомобільного транспортного засобу та припустимої швидкості руху в максимально навантажених виробничих системах, яка відрізняється тим, що дозволяє визначити раціональні режими експлуатації вантажних автомобілів на криволінійних ділянках;

- концепція організації експлуатації засобів транспорту в прикордонних регіонах, що дозволяє залучити додаткові, як зовнішні, так і внутрішні вантажопотоки.

**Обґрунтованість наукових результатів**, висновків і рекомендацій, що захищаються, обумовлена коректністю постановки і рішення задач, адекватністю моделей реальним об'єктам, коректністю використання математичного апарату програмування та введенням в моделі достовірних загальновідомих зовнішніх функцій. Підтвердженням достовірності наукових досліджень є збіг результатів теоретичних та експериментальних досліджень, а також успішна реалізація результатів роботи на промислових підприємствах України.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що широке використання розробленої методології в практиці експлуатації засобів транспорту різного рівня буде сприяти підвищенню ефективності їх експлуатації за рахунок зниження експлуатаційних витрат, продовження терміну служби, підвищення швидкості просування та обробки вантажів та зменшенню шкідливого впливу на оточуюче довкілля. Розроблені в дисертації наукові положення і результати можуть бути використані в експлуатаційних та науково-дослідних установах для створення нових методів експлуатації транспорту та транспортної інфраструктури. Використання запропонованих методів і моделей дає опосередковано зменшення фінансових витрат приблизно на 7 - 14% при оптимізації експлуатації різних видів транспорту для вирішення виробничих завдань. Результати роботи впроваджено у навчальний процес підготовки магістрів в ДУІТ за спеціальністю «Залізничний транспорт». Також запропоновані методи впроваджені: в Директораті цифрової інфраструктури на транспорті Міністерства інфраструктури України, в АТ

«Укртрансфанта» та двох підприємствах залізничного транспорту ТОВ «ДТЕК». Відповідні акти наведені у додатку до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення та результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У спільних роботах автору належать наступні положення.

У спільних роботах [1,17,19] здобувачем запропоновано систему оцінки пошкоджень магістральних трубопроводів при зовнішньому впливі, в [2,9] сформовано критерії та розроблено метод для визначення числа рівнів у виробничій системі; в [3] уточнено вимоги до моделі двигуна транспортного засобу; в [6] розроблено модель системи в сполучній постановці рейкового шляху і пружної основи; в [7] запропоновано метод і принципова схема системи об'єктів і пристроїв динамічного регулювання швидкості руху; в [8] запропоновано метод і алгоритм створення логопарку і розглянуті шляхи його реалізації; в [12] запропоновано варіант скорочення протяжності транспортних коридорів Східного і Близькосхідного напрямку; в [10] встановлено закономірності зміни стану мережі в довгостроковій перспективі; в [11] розроблено метод розрахунку загального запасу при нових розмірах складу; в [13] розроблено метод оцінки витрат при доставці вантажів; в [14] запропоновано підхід до розробки інформаційного супроводу вантажоперевезень; в [15] розроблено умови використання контейнерів великої ваги при різних схемах їх завантаження; в [16] запропоновано методи проведення сервісного обслуговування транспортного обладнання; в [17] запропоновано метод визначення витрат на оцінку і ремонт магістральних трубопроводних систем; в [18] виконано аналіз транспортних потоків України; в [20] розроблено метод оцінки міцності складання верхньої будови залізничних колій при пропуску транзитних поїздів; в [21] запропоновано критерій для оцінки технічного рівня процесів транспортування та метод оцінки його економічної складової; в [22] розроблено теоретичні основи розрахунку продуктивності автопоїзда зі змінними автопричепами; в [23] розроблено модель часу проходження транспортного засобу з урахуванням можливого або необхідного обслуговування; в [24] розроблена математична модель оптимізації маршруту; в [25] запропоновано модель

експлуатації транспортних засобів при різній кількості структурних елементів мережі.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: на II, III, IV, V Міжнародних науково-практичних конференціях (МНПК) «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» у 2010-2014 роках у містах Євпаторія і Луганськ; науково-технічній конференції «Науково-технічні проблеми, транспорту, промисловості та освіти», 2012 р., м. Хабаровськ; на 2-й МНПК «Стратегія розвитку міст», 2013 р., м. Харків; 3-й МНПК «Актуальні проблеми економіки і управління на транспорті», 2013 р., м. Владивосток; 12-й МНПК «Наука - образованию, производству, экономике», 2014 р., м. Мінськ; 3-й МНПК «Проблеми транспорту», 2011 р., Польща; МНПК «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування», 2020 р., м. Херсон.

#### **Публікації.**

Основні наукові результати дисертації опубліковані у 25 наукових працях, у тому числі: 1 монографія, 8 статей в закордонних фахових виданнях, що рецензуються, 16 статей у виданнях, що внесені до переліку наукових фахових видань України та входять до міжнародних наукометричних баз. 3 статті опубліковано у журналах, що входять до наукометричної бази Scopus.

## **Розділ 1.**

### **Аналіз сучасного стану теорії експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах**

#### **1.1. Вибір і обґрунтування критерію ефективності експлуатації засобів транспорту та формулювання гіпотези досліджень.**

Переміщення матеріальних цінностей є однією з умов життєдіяльності будь-якого суспільства незалежно від його пристрою, територіального розташування, економічного стану та інших факторів. Від організації експлуатації транспорту суттєво залежать витрати на всю транспортно-складську обробку, а якщо врахувати, що залежно від роду вантажу, способу транспортування та зберігання, сумарні витрати становлять від 7 до 30 % собівартості самої продукції й спостерігається їхній ріст [26,27,28], то очевидним стає залежність конкурентоспроможності і рентабельності підприємств від цих витрат.

Основні витрати відбуваються в транспортних мережах, оскільки до них відносяться всі об'єкти транспортної інфраструктури і у тому числі: дорожні та інші комунікації, що з'єднують постачальників і споживачів матеріалів і товарів, склади й складські термінали, що здійснюють формування, переформування й розформування транспортних потоків з досить великим числом різних операцій з вантажами, транспортні засоби та інше обладнання, що здійснюють переміщення вантажів, системи й обладнання інформаційного забезпечення обробки і просування вантажів, документообігу та ін. Якщо виробничу систему, по суті, представити як транспортну мережу, забезпечену інфраструктурою, що забезпечує просування вантажів і містить перераховані вище об'єкти, то ефективність її роботи в цілому залежить від ефективності функціонування кожного об'єкта або ланки. Однак, слід зазначити, що підвищення ефективності функціонування будь-якого об'єкта, до чого ми власне повинні прагнути, може бути досягнуте різними шляхами. Це може бути:

- Розвиток і вдосконалення транспортних засобів на різних етапах їх проектування та експлуатації;

- заміна обладнання і машин на нові або аналогічні із кращими експлуатаційними характеристиками й показниками;
- модернізація існуючого обладнання та максимальне використання його технічних характеристик;
- продовження терміну служби обладнання, деталей і вузлів за рахунок зміни технології та умов експлуатації;
- зниження експлуатаційних витрат за рахунок оптимізації використання об'єктів транспортно-складської інфраструктури.
- зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище процесів експлуатації засобів транспорту.

З огляду на досить широкий спектр питань, що входять до кола завдань, вирішення яких в тій чи іншій мірі сприятиме підвищенню ефективності експлуатації засобів транспорту на різних етапах їх життєдіяльності необхідно виділити головні питання і завдання, вплив яких найбільш відчутно, розробити і удосконалити теоретичні основи і методи їх вирішення.

Слід зазначити, що виробничі системи з їх великим числом ланок за участю різних видів транспорту, як об'єктів моделювання, є системами дуже високого порядку і тому розробляти моделі, що враховують навіть тільки основні чинники, що впливають на будь-який показник функціонування або за будь-яким критерієм, досить важко і недоцільно. Досвід моделювання систем матеріалоруку при використанні тільки одного виду транспорту [29-31] є досить громіздким і важко реалізується через багатофакторність, а спрощення моделей знижує достовірність і практичну цінність результатів моделювання.

Слід відзначити також, що моделювання процесів розвитку виробничих систем, як багатофакторних, пов'язане з необхідністю врахування економічного потенціалу і розвитку виробничої, матеріальної і ресурсної бази регіонів або потенційних постачальників і споживачів, екологічних наслідків розвитку і експлуатації засобів транспорту, взаємодії їх з транспортними коридорами або навпаки можливості формування транспортного коридору всередині системи.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що потрібна розробка нової методології й наукових основ проектування, розвитку й експлуатації виробничих систем, що базуються на диференційованому підході до рішення завдань удосконалювання та оптимізації функціонування головних ланок виробничих систем з урахуванням технологічних, технічних, екологічних та інших факторів і особливостей з подальшою інтеграцією результатів за обраним критерієм. Важливо при такому підході правильно вибрати основні ланки, функціонування яких впливає на обраний критерій.

З погляду ефективності функціонування будь-яка виробнича система є багатокритеріальною. Але оскільки основна робота виробничої системи – це переміщення матеріальних цінностей і організація виробництва, то найбільш об'єктивними й всеохоплюючими є два критерії – це швидкість вантажопотоку і витрати на його просування. Останній можна вважати інтегруючим, оскільки їм можна оцінити функціонування будь-якої ланки будь-якої системи й привести до нього будь-який інший критерій або виразити через нього.

Для аналізу та визначення проблемної ситуації, що виникає та потребує досліджень, проаналізовано групи факторів, що впливають на ефективність експлуатації засобів транспорту, та стан процесу експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах.

*Фактори, що впливають на ефективність експлуатації засобів транспорту:*

- зниження експлуатаційних витрат за рахунок оптимізації використання засобів транспорту з урахуванням системної взаємодії різних видів транспорту.
- широкий розвиток інформаційних технологій забезпечення експлуатації транспортних засобів;
- ускладнення, розвиток та вдосконалення структури сучасних систем транспортного забезпечення;
- модернізація і заміна обладнання і машин на нові або аналогічні із кращими експлуатаційними характеристиками й показниками;
- продовження терміну служби обладнання, деталей і вузлів за рахунок зміни технології та умов експлуатації;

- зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище процесів функціонування засобів транспорту.

*Стан процесу експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах:*

- відсутні методи і моделі оптимізації експлуатації засобів транспорту з урахуванням їх системної взаємодії.

- моделювання процесів експлуатації засобів транспорту пов'язане з необхідністю врахування економічного потенціалу і розвитку виробничої та матеріальної бази потенційних постачальників і споживачів, екологічних наслідків розвитку і експлуатації транспортних засобів.

- відсутні теоретичні підходи до формування засобів та інфраструктури для обробки вантажів при переході з одного виду транспорту на другий та на пунктах перетинання кордону.

- потребує дослідження структура окремих рівнів та системи транспортного забезпечення в цілому за інтегральним критерієм економічної ефективності.

- відсутнє структурування засобів транспорту та транспортних шляхів за їх роллю та призначенням при функціонуванні системи з транспортним коридором.

Виходячи з вищенаведеного, виникає протиріччя: **з одного боку**, існують відомі шляхи підвищення ефективності експлуатації окремих видів транспорту, **з іншого боку**, при системному розгляді транспортного забезпечення з залученням декількох видів транспорту, **виникає необхідність** в дослідженні взаємних впливів різних експлуатаційних характеристик засобів транспорту та забезпечення їх максимальної ефективності при комплексному використанню.

На підставі визначеного протиріччя сформульовано **гіпотезу дослідження**: найбільшої ефективності експлуатації засобів транспорту можна досягти при системному аналізі їх функціонування в складних виробничих системах.

## 1.2 Аналіз робіт в області моделювання та оптимізації параметрів засобів транспорту в складних системах.

Враховуючи величезне значення і роль транспорту у життєдіяльності будь-якого державного регіону, підприємства, у комбінації зі значними витратами на їхнє функціонування, а так само можливість впливати на ці витрати, питаннями підвищення ефективності систем матеріалоруку, як досить актуальною проблемою, займалися й продовжують займатися багато вітчизняних та закордонних вчених.

Важливим етапом у розробці будь-яких заходів, спрямованих на підвищення ефективності транспорту є вивчення матеріальних потоків, їх структур, закономірностей зміни кількісних і тимчасових характеристик, методів їх оптимізації.

Вивченню трансконтинентальних і світових вантажопотоків і методів прогнозування багато уваги приділено в роботах [32-35]. Встановлено, що основний обсяг перевезень у потоковому режимі здійснюється між Європою, Далеким сходом і США.

Значний внесок у теорію створення й розвитку виробничих систем різного рівня вніс С.М. Резер [31]. У роботі розглянуті принципи побудови єдиної транспортної мережі в державі, яку можна розглядати, як складову міжнародних мереж. Запропоновано деякі варіанти планування і керування роботою такої системи. Розглянуті деякі питання взаємодії окремих вузлів мережі. Запропоновані математичні моделі оптимізації взаємодії деяких видів транспорту у вузлах. Розглянуті питання організації перевізного процесу й розвитку транспортно-складського господарства. Однак усі ці питання та напрацювання теоретичного характеру розглянуті стосовно до планового господарства і для використання їх у сучасних виробничо-економічних умовах вимагають удосконалення і певної доробки з урахуванням стохастичності в процесах формування та обробки транспортних потоків і функціонування транспорту.

Слід зазначити, що в 80-ті роки минулого сторіччя питаннями розвитку технології й оптимізації транспортних процесів так чи інакше пов'язаних з функціонуванням окремих вузлів і елементів виробничих систем займалося багато

вітчизняних та закордонних вчених. Так у роботі [36] кожний вид транспорту єдиної транспортної системи розглядається як її частина, але при цьому зберігає свої специфічні особливості. Розглядається розподіл перевезень між різними видами транспорту залежно від розмірів території й обсягів виробництва підприємствами даного району.

У роботах [37,38,39] розглянуті питання вдосконалювання взаємодії залізничного й морського транспорту в транспортних вузлах портових виробничих систем. Запропоновані методи планування й керування вагонопотоками в портах для підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту при участі двох видів транспорту.

Питання практичного застосування подібних методів для використання резервів у роботі залізничного транспорту й у тому числі на вантажних станціях, як вузлах виробничих систем, обслуговуючих підприємства та при взаємодії з різними видами транспорту розглянуті в роботах [40-42].

Розвиток виробничих систем втягує в сферу їх діяльності усе більше нових машин, технологій, методів планування та керування. Це вимагає застосування і розвитку методів моделювання для оптимізації параметрів машин і вузлів виробничих систем через усе більше число факторів, що виявляють вплив на критерії функціонування цих елементів.

Питанням моделювання складних транспортних систем і їх елементів багато уваги приділене в роботах [36,43-48,].

Крім того пропонуються нові технології з використанням інтермодальних перевезень, як одне з нових напрямків у розвитку транспортних систем [49]. Пропонуються методи визначення пропускної здатності виробничих систем [50] при превалюванні залізничного транспорту, коли він бере на себе функції організатора перевезення по виробничій системі.

Значну роль в організації роботи виробничих систем відіграє промисловий транспорт, оскільки на ньому здійснюється 90% навантаження-розвантаження вантажів, що переміщуються по виробничих системах різних рівнів, тобто внутрівиробничих, промислових вузлах, регіональних, міждержавних та ін. Великий обсяг перевантажувальної роботи, до 25% загального вантажопотоку, виконується в

складських терміналах, вантажних дворах, залізничних станціях, морських портах за участю промислового транспорту, а ці структури є елементами виробничих систем. У відсотковому відношенні ці показники досить стійкі в часі [43,51].

Моделювання транспортно-складських систем і їх окремих ланок, як виробничих систем більш високого порядку, розглянуте в роботах [40,41,52]. Слід зазначити, що обробка вантажопотоків у транспортно-складському комплексі, як в елементі виробничої системи, розглянута в детермінованому й агрегованому видах, що дає можливість моделювати обробку вантажопотоків з різними тимчасовими й кількісними параметрами. Виробнича система високого рівня в загальному виді передбачає взаємодію різних видів транспорту.

Одному з найважливіших питань експлуатації засобів транспорту – взаємодії різних видів транспорту й розробці моделей їх взаємодії приділена увага в роботі [53].

Моделювання виробничо-транспортних систем на рівні виробництва або підприємства наведено в роботі [54].

### **1.3. Інформаційне забезпечення експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах.**

Ефективність функціонування складних виробничих систем, як уже було сказано раніше, можна оцінити двома основними критеріями – це «витрати» на просування по них вантажного потоку або «час». Найбільш ефективним і показовим у мирний час є критерій «витрати» і він розподіляється по статтях витрат у такий спосіб [55,56]: на фізичне переміщення вантажів (транспортну техніку, комунікації, інфраструктуру й ін.) доводиться основна частина витрат. Це приблизно 70-75%. Другим по затратам є інформаційне забезпечення – на нього доводиться 15-20% загальних витрат на обслуговування вантажопотоків. І тільки 5-7% припадає на фінансові потоки. Проте, скорочення витрат по кожній зі статей витрат підвищує ефективність експлуатації засобів транспорту[57,58].

Інформаційне забезпечення – це область діяльності, яка динамічно розвивається внаслідок швидкого розвитку комп'ютерної техніки, засобів зв'язку і

ІТ- технологій у цілому. Значні розробки в області інформаційних технологій на транспорті в період їх активного розвитку, і які стали фундаментом сучасних інформаційних технологій наведені в роботах [59-63].

Пізніші розробки, спрямовані на підвищення ефективності логістичних послуг у системах за рахунок удосконалювання інформаційного забезпечення, оптимізації процесів документообігу з використанням нової сучасної матеріальної бази й електронного підпису наведені в роботах [64-66,]. У роботах досить глибоко й ґрунтовно представлені розробки в області створення, фіксації, захисту даних доступу, способи обмеження чисельності користувачів комп'ютерних систем, здатність функціонування системи, укладення контрактів і інші розробки по використанню електронно-цифрового підпису при організації й контролю.

#### **1.4. Аналіз екологічної безпеки на транспорті**

Відомо, що з розвитком цивілізації все більший збиток наноситься навколишньому середовищу. Не останнє місце в цьому процесі займає транспорт і транспортна інфраструктура. Збільшується кількість транспортних засобів, із двигунами внутрішнього згорання і їх потужності, що приводить до збільшення шкідливих викидів в атмосферу, забруднюючи при цьому не тільки її, але й пришляхову територію. Не можна сказати, що розв'язком цієї проблеми не займаються, займаються багато й досить ефективно, поліпшуючи процеси згорання палива, підвищуючи К.К.Д. двигунів, збільшуючи знімання потужності з одиниці об'єму двигуна, утилізуючи теплову енергію вихлопу та ін. тобто поліпшуючи технічні характеристики транспортного засобу.

Однак, з погляду експлуатації транспортного засобу, як елемента виробничої системи є можливості зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище за рахунок удосконалювання організації технологічних процесів його роботи. Це дозволить більш повно реалізувати технічні характеристики не тільки енергетичної установки, а й транспортного засобу в цілому. Наприклад, динамічна оптимізація режиму руху, як одного з параметрів експлуатації засобів транспорту, може бути ефективним інструментом зниження шкідливих викидів.

Важливим в інфраструктурі виробничих систем при обслуговуванні, як залізничного, автомобільного, авіаційного, трубопровідного й особливо водного транспорту є утилізація нафтопродуктів, як у результаті розливів, так і після технологічного обслуговування транспортних засобів. Це утилізація відпрацьованих масел, відходи промивання цистерн, нафтових танків морських суден, горизонтальних і вертикальних резервуарів складів і складських терміналів нафтопродуктів і інших технологічних ємностей на транспорті.

Для боротьби з розливами нафтопродуктів і плаваючим сміттям у портах і відкритому морі найчастіше використовують судна-нафтозбиральники й бонові загородження. Конструктивне виконання останніх нараховує більш 150 різних типів [67,68]. Очищення ж материкових нафтошламів представляє значні труднощі.

У цей же час на сьогоднішній день немає досить ефективних технологій і устаткування, яке дозволяло б не тільки очищати забруднену територію, але й ефективно переробляти, тобто розділяти забруднені ґрунти й матеріали, з можливістю повторного використання отриманих корисних матеріалів.

### **1.5. Формування й структурування територіальних складних виробничих систем**

Вирішенню проблем пов'язаних з підвищенням ефективності експлуатації засобів та систем транспорту присвячені роботи багатьох фахівців і дослідників [36,38,39,41,42,46-48,69-75].

При цьому багато авторів визнають необхідність вивчення виробничих виробничих систем як функціонуючих об'єктів з багаторівневою структурою [76-81].

Значний економічний ефект при експлуатації виробничої системи може бути досягнутий ще на стадії її проектування, побудови і перетворень (реконструкцій).

Значні фінансові витрати на експлуатацію засобів транспорту, що проявляється в об'ємах перевезень, роблять актуальними різні розробки й технології, що забезпечують скорочення цих витрат.

Одним з ефективних і перспективних напрямків на стадії проектування і розвитку виробничих систем є структурування та оптимізація параметрів

транспортної мережі на різних рівнях з урахуванням багатофакторності і її впливу на критерії оптимальності. Розвиток цього напрямку припускає й потребує розробки методів диференціювання виробничих систем на окремі структурні складові й синтезу для одержання оптимальної структури. Це дозволить оптимізувати або правильно, за обраним критерієм, вибрати завантаження окремих ланок системи, розмістити й розбудувати інфраструктурні елементи, що обробляють місцеві й транзитні вантажопотоки, розробити технологію взаємодії із транспортними коридорами, планувати витрати на експлуатацію окремих елементів і виробничої системи в цілому.

Питанням побудови функціонування й розвитку транспортних систем присвячено багато робіт вітчизняних і закордонних учених [82,-90]. До робіт теоретичного характеру можна віднести [91-101].

Формування виробничої системи на базі адміністративно територіального принципу пов'язане з формальним об'єднанням об'єктів адміністративного поділу в єдину структуру, що є необхідною умовою для додання виробничій системі властивості цілісності. При цьому слід мати у виді, що розмір і кількість розглянутих територій будуть визначати масштаб аналізованої системи, а головною умовою взаємодії її частин є наявність транспортної мережі й зв'язків між територіями тобто транспортних шляхів.

Таким чином, основою адміністративно-територіального принципу формування виробничої системи є процедура формального об'єднання територій, з урахуванням їх існуючого адміністративного розмежування. При цьому зовнішні межі об'єднаних територій повинні розглядатися як межі сформованої виробничої системи.

Адміністративний поділ територій виявляється різним у різних країнах і формується, як правило, у процесі їх історичного розвитку. Наприклад, адміністративний поділ Німеччини пов'язане з наявністю Земель, у складі яких є адміністративні округи, райони, не районні міста, амти й комуни. При цьому кожна адміністративна одиниця має чітко позначені межі.

У республіці Білорусь адміністративний поділ заснований на розмежуванні областей, у складі яких є окремі райони.

Таким чином, з урахуванням існуючого адміністративно-територіального устрою тієї або іншої країни виробнича система може розглядатися як сукупність видів транспорту й відповідної інфраструктури, розташованих у кордонах розглянутих адміністративних утворів. Очевидно, що при такому підході локалізація досліджуваної виробничої системи буде визначатися з урахуванням кордонів розглянутих адміністративних одиниць.

Отже, формальне об'єднання існуючих адміністративно-територіальних одиниць дозволяє встановити межі й виконувати аналіз експлуатації засобів транспорту різного складу й конфігурації, що представляє інтерес для досліджень плануючих органів і підприємств, які забезпечують їхню експлуатацію.

Адміністративно-територіальний принцип локалізації виробничих систем є найбільш ефективним при дослідженні зв'язків і характеру взаємодії між окремими регіонами й територіями. При цьому вивчаються закономірності процесів пов'язаних з пасажирськими й вантажними перевезеннями, склад і структура транспортних потоків, їх сезонність і т.п. На основі результатів виконаного аналізу керівництву відповідних адміністративних одиниць можуть бути запропоновані конкретні рекомендації, у тому числі й управлінського характеру. Таким чином, можна затвердити, що безсумнівною перевагою способу формування виробничих систем на базі існуючого адміністративного поділу є можливість для відповідних органів влади здійснювати контроль функціонування й планування перспективного розвитку таких систем.

При цьому створюються сприятливі умови для довгострокового планування та поетапної реалізації робіт, зв'язаних з будівництвом транспортної інфраструктури, ремонтом, реконструкцією окремих елементів, як з використанням бюджетних ресурсів, так і із залученням приватних інвестицій.

Однак принцип локалізації територіальних виробничих систем на базі існуючого адміністративного поділу не є єдино можливим. У тому випадку, коли виробнича система формується по виробничо-галузевому принципу, об'єктом досліджень є процеси взаємодії підприємств і пов'язані із цим вантажні перевезення.

Такого роду системи забезпечують функціонування окремих економічних районів, а їх територіальна локалізація пов'язана з історично сформованим економічним районуванням.

Утворення економічних районів у різних країнах є результатом об'єктивних процесів пов'язаних з територіальним поділом праці. Звичайно економічний район має кілька галузей спеціалізації, обумовлених економіко-географічними, демографічними, кліматичними та іншими факторами. Розвиток спеціалізованих виробництв, приводить до формування на території господарювання взаємозалежних суб'єктів економічної діяльності і як наслідок спеціалізованих економічних районів.

Межі економічних районів визначаються ареалом розміщення трудових ресурсів спеціалізованих виробництв і їх технологічною кооперацією. У цих умовах межі економічних районів будуть визначати й межі відповідних територіальних виробничих систем.

Відзначимо, що процедура формування економічних районів може бути зв'язана і із включенням до його складу повноцінних адміністративних одиниць.

Таким чином, формування територіальних виробничих систем по виробничо-галузевому принципу певним чином зв'язане й з адміністративним поділом, оскільки межі таких систем звичайно встановлюються з урахуванням границь адміністративних одиниць у складі економічних районів. При цьому склад і структура розглянутої виробничої системи можуть бути лише частиною транспортного комплексу економічного району, а їх конкретизація буде залежати від специфіки розв'язуваних завдань.

Однак, аналіз експлуатації засобів транспорту може виконуватися не тільки в масштабах економічного району або територіальної одиниці. Закономірності взаємодії екстериторіальних груп підприємств, які відносяться й до різних галузей економіки також становить практичний інтерес.

### **1.5.1 Структурні елементи складних виробничих систем і особливості взаємодії в них засобів транспорту**

Виробничі системи як штучні інженерно-технічні об'єкти мають складну внутрішню структуру й властивість цілісності. Для виявлення складу й властивостей таких систем використовують методи декомпозиції, коли складна система розглядається такою, що складається з ряду підсистем і взаємопов'язаних елементів [102,103].

Під елементом системи розуміється найпростіша неподільна частина здатна виконувати задані функції. Елемент системи розглядається як безструктурний об'єкт, подальша деталізація якого неможлива або недоцільна. Необхідний рівень деталізації об'єктів визначається з урахуванням завдань досліджень і пов'язаний з необхідністю адекватного опису процесу функціонування системи.

Підсистемою називається частина системи, що володіє властивістю цілісності, системності й має свою мету функціонування. Наприклад, територіальна виробнича система може включати підсистеми автомобільного, залізничного, водного й трубопровідного транспорту. Однак незалежно від кількості й складу підсистем, експлуатація транспорту пов'язана з використанням загального набору прийомів і технологій для досягнення мети всієї системи.

Під технологією звичайно мається на увазі спосіб перетворення наявного вихідного ресурсу в необхідний продукт. При цьому під продуктом розуміється результат діяльності або процесів [104-107]. Із цієї причини транспортні технології слід розглядати як такі процеси, що забезпечують відповідну взаємодію окремих підсистем і елементів.

Розглянемо докладніше питання про те, які конкретно елементи і яким образом взаємодіють при функціонуванні системи як єдиного цілого. Аналізуючи структуру територіальної виробничої системи як сукупність точкових елементів (об'єктів), що з'єднуються між собою за допомогою лінійних елементів (транспортних шляхів) слід зазначити, що їх взаємодія тісно пов'язана з реалізацією транспортних операцій, технологій і процесів. Крім того взаємодія елементів системи зв'язана й процесами

планування, контролю, обміну інформацією, керування, вибору оптимальних режимів функціонування й т.п.

Найпростіша взаємодія елементів здійснюється на базі одновидових перевезень, коли доставка вантажів виконується з використанням одного виду транспорту.

Змішані перевезення здійснюються за допомогою декількох видів транспорту та вимагають більш ретельного підходу до питань взаємодії організацій й планування робіт. Технології міжвидової взаємодії пов'язані з необхідністю розподілу транспортної роботи між різними видами транспорту для досягнення позитивного ефекту через зниження витрат на транспортування, зменшенням часу на доставку вантажів, забезпеченням його схоронності, заданого рівня сервісу, безпеки й т.п. [108-110].

Оскільки різні види транспорту характеризуються відомою комбінацією переваг і недоліків, то досягнення позитивного ефекту при їх спільному використанні звичайно зв'язують із оптимізацією процесів взаємодії й функціонування на рівні окремих підсистем.

Взаємодія елементів територіальної виробничої системи звичайно реалізується з використанням наступних технологій:

- одновидових перевезень, при яких доставка вантажів виконується з використанням одного виду транспорту;
- змішаних перевезень, при яких доставка вантажів виконується за участю як мінімум двох видів транспорту;
- прямих змішаних перевезень, тобто змішаних перевезень по єдиному перевізному документу під керуванням одного оператора (перевізника);
- міжнародних змішаних перевезень, якщо при виконанні перевезень відбувається перетинання, хоча б одного державного кордону.

У цілому можна зробити висновок, що ефективність функціонування територіальної виробничої системи пов'язана з особливостями процесу взаємодії окремих підсистем, структурних елементів і характеристиками задіяних на практиці логістичних операцій, процесів і технологій.

Сучасні методи аналізу й оптимізації параметрів процесу функціонування територіальних виробничих систем спрямовані на вдосконалювання існуючих і розробку нових технологій взаємодії структурних елементів [92,111,112]. При цьому структура системи розглядається як деяка даність, отримана в результаті синтезу або формування під яку й повинні бути адаптовані застосовувані технології операції й процеси. При цьому в технічній літературі відсутній системний аналіз різних структур і властивостей виробничих систем побудованих на їхній основі. Класифікація структурних елементів по суті є формальною й у ряді випадків не дозволяє об'єктивно оцінювати їхню роль і потенціал у масштабі всієї виробничої системи [113].

В цілому можна зробити висновок, що питання структурного аналізу й синтезу територіальних виробничих систем повною мірою не пророблені, що створює певні складності як при оцінки функціонування діючих, так і при проектуванні знов створюваних систем.

### **1.6. Дослідження питань функціонування різних засобів транспорту в складних системах**

В останні роки у зв'язку з розвитком логістики, з'явилися роботи присвячені підвищенню ефективності експлуатації виробничих систем з використанням оптимізаційних методів логістики при взаємодії різних видів транспорту та інших ланок транспортної інфраструктури [92,114-120].

Показовим, з погляду необхідності розвитку методів оптимізації структури виробничих систем, є дослідження вантажопотоків які перетинають через територію України, а так само сформованих на цій території [121-129].

Перетворення колишніх республік СРСР у незалежні держави стали причинами актуалізації проблеми кордонів. З одного боку, атрибутом незалежної держави є державний кордон. З іншого боку, кордони нових держав виявляються різнорідними. Частина їх є колишніми державними кордонами Радянського Союзу, а частина – фактично адміністративними границями між колишніми республіками.

Перші відносяться до старих кордонів, які мають довгу історію і традиції, другі – тільки формуються.

У цьому зв'язку на сучасному етапі актуальною є проблема розробки механізмів підвищення якості транспортно-комунікаційної, логістичної інфраструктури та транзитних перевезень, використання яких може створити реальні передумови збільшення транзитних вантажопотоків, поліпшення соціально-економічного становища прикордонних територій і економіки не тільки України в цілому але й суміжних держав.

Сформована система складів повинна бути вв'язана керованими транспортними зв'язками таким чином, щоб можна було говорити про транспортно-складську систему. Тільки в цьому випадку ємності складів будуть використовуватися ефективно, а вся система здатна ефективно перетворити вхідні потоки у вихідні, тобто поглинати й згладжувати сплески потоків.

Раціональне керування потоками в мережі розподілу вимагає створення автоматизованих керуючих систем, що використовують оптимізаційні моделі. На транспорті й особливо на залізничному, створене розвинене інформаційне середовище, що створює основу для ефективного управління.

Спрощений аналіз експортно-імпортних поставок України за 2015-2019 роки показав, що практично з усіма країнами-партнерами обсяг їх значно скоротився. Це говорить про те, що для пошуку шляхів збільшення поставок, необхідні пошуки привабливих схем поставок, що знижують витрати на ці операції, тому що частка їх у готовій продукції дуже велика.

Реформування соціально-економічних відносин в Україні, структурна перебудова всіх механізмів життєдіяльності суспільства створювала передумови для прискорення територіального розвитку кожного з регіонів насамперед за рахунок вигідності географічного розташування і технологічної доступності транспортно-логічних послуг.

У період зміни української економіки, господарська діяльність більшості її суб'єктів неможлива без здійснення функцій розподілу, зберігання й транспортування вантажів, однак організація даної функції часто перебуває на низькому рівні, що приводить до значних фінансових втрат для зазначених суб'єктів,

зниженню рівня логістичного обслуговування клієнтів і структурних підрозділів самих підприємств.

Тому що процеси, пов'язані з діяльністю складів і різних видів вантажного транспорту, споживають значну частину сукупних витрат у товаропровідному ланцюзі, то ефективно організовані об'єкти логістичної інфраструктури (склад, транспорт), а так само їх інтегрована взаємодія дозволяють оптимізувати витрати логістичної системи, отже, скоротити кінцеву вартість продукту. У даній частині оптимізаційне керування взаємодією складів і транспорту створює економічний ефект для господарюючих суб'єктів.

Враховуючи, що по географічному положенню саме через територію України проходять найкоротші напрямки транзитних вантажопотоків, а також при наявності розвиненої транспортної мережі й незамерзаючих портів, існують потенційні можливості для збільшення обсягів міжнародного транзиту вантажів.

Наявні транспортні потоки обходять Україну на користь більш сприятливих умов перетинання кордонів і митного оформлення вантажів. Виграє той, хто проводить активну транзитну політику, яка спрямована на розвиток потужностей інфраструктури транзиту, модернізацію рухомого складу, упорядкування процедури переміщення вантажів через кордони, впровадження сучасних технологій перевезень і інформаційного забезпечення.

Використання термінально-складських комплексів, як невід'ємних елементів виробничих систем, дозволяє також оперативно й найбільш ефективно управляти технологією транспортування вантажів, оскільки саме на цих об'єктах проводиться перетворення потоку за допомогою зміни параметрів прийнятих, та відправлених партій вантажів за величиною, складом та за іншими характеристиками для цілей подальшого оптимального просування вантажів, у тому числі за допомогою автомобільного транспорту.

Таким чином, ефективна організація взаємодії об'єктів логістичної інфраструктури: термінально-складських комплексів (ТСК), автомобільного і залізничного транспорту створює стратегічні вигоди трьох типів – економічні, сервісні й технологічні.

Аналіз робіт з дослідження ефективності використання засобів транспорту дозволив встановити в загальному вигляді фактори впливу на цей показник (рис. 1.1)



Рисунок 1.1 – Фактори, що впливають на ефективність експлуатації засобів транспорту (ЗТ)

Таким чином ефективність експлуатації в загальному вигляді:

$$E_e = F(I; B; S; Z; D; T; t), \quad (1.1)$$

де  $I$  – показник структури виробничої системи;

$B$  – план перевезень (плановий вантажопотік);

$S$  – показник інфраструктури обробки вантажопотоків;

$t$  – транспортний час (час перевезення);

$Z$  – витрати на процес перевезень;

$D$  – показник впливу на навколишнє середовище;

$T$  – показник технічних параметрів засобів транспорту.

В даному дослідженні за показник ефективності обрано інтегральний параметр «витрати на процес перевезень» -  $Z$ .

Критерій оптимальності експлуатації засобів транспорту в складних системах:

$$Z = f \left( \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot L_i + \sum_{i=1}^n \chi_i \cdot W_i + A \right) \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

де  $\xi_i$  – витратні нормативи по утриманню протягом одного календарного року ділянки виробничої системи;

$L_i$  – довжина ділянки  $i$ -го виду транспорту, що задіяний в перевізному процесі;  
 $i$  – умовний показник виду транспорту, що задіяний в перевізному процесі ( $i=1$  для автомобільного транспорту,  $i=2$  для залізничного транспорту і т. д.)

$\chi_i$  – витратні нормативи по експлуатації однієї одиниці транспортних засобів на один кілометр ділянки;

$W_i$  – кількість одиниць транспортних засобів одного виду, що задіяні в перевізному процесі;

$A$  – витрати на обробку вантажів при зміні виду транспорту впродовж перевізного процесу.

Обмеження використання критерію:

$$B = \text{const};$$

$$T = \text{const};$$

$$S = \text{const}.$$

Умови використання критерію:

$$I = \sum_{i=1}^n Q_i l_i \rightarrow \min, \quad (1.3)$$

де  $Q_i$  – транспортна маса (обсяг перевезень, т);

$l_i$  – транспортний шлях (відстань перевезення), км;

$$t = \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow \min, \quad (1.4)$$

де  $t_i$  – час перевезення вантажу окремим видом транспорту, діб.

$$D = \sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i \rightarrow \min, \quad (1.5)$$

де  $d_i$  – показник впливу на навколишнє середовище окремої одиниці транспорту (транспортного засобу).

Назріла необхідність розробити методологічну основу побудови та розвитку ефективних виробничих транспортних систем у регіонах розподілу вантажопотоків, що дозволить надійно забезпечити процеси руху товарів з мінімумом витрат і необхідний транспортно-складський сервіс споживачам продукції.

Глибокий аналіз транспортних потоків по видах і обсягам вантажів, видам транспорту які використовуються для транспортування, по напрямкам переміщення і способам формування потоків у виробничих системах, або використанні транспортних коридорів і без них, а також за іншими показниками, що характеризують магістральні потоки і їх зміни, показали наступне. В умовах не стабільних і постійно мінливих як економічних так і політичних ситуаціях досить важко й практично безперспективно планувати підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту на основі статистики параметрів перевезень, коли базуючись на параметрах минулих років проводиться екстраполяція їх на перспективу, особливо довгострокову. Це пов'язане з тим, що нестійкі показники параметрів попередніх років не дозволяють сформувавши основу для надійної екстраполяції показників на перспективу. У свою чергу, це не дозволяє оптимізувати та ефективно використовувати витрати на розвиток і експлуатацію інфраструктури виробничих систем, що значною мірою визначає їхню ефективність.

Виходячи з вищесказаного очевидним є необхідність розробки теоретичних методів розвитку й експлуатації виробничих систем на основі більш стійких показників, які можна використовувати на стадії проектування і реконструкції з урахуванням планованої зміни характеристик транспортних засобів і розвитку промислово-економічних територій, що обслуговуються цими системами.

## **Висновки до розділу 1**

1. У сучасних умовах економічної нестабільності й спаду виробництв окремих територій і держави в цілому необхідні пошуки альтернативних шляхів підтримки економічного балансу та підвищення ВВП, що може бути досягнуто різними шляхами. Перевізний процес забезпечує життєдіяльність будь-якої виробничої структури й витрати на нього становлять від 7% до 30% собівартості готової продукції. Враховуючи вищевикладене, а також розвиток інтеграційних процесів в основі яких також лежать перевезення, виникає необхідність розробки нових підходів у формуванні, експлуатації й розвитку виробничих систем з різними видами транспорту.

2. Проведено аналіз сучасного стану теорії експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах, який виявив існування протиріччя: з одного боку, існують відомі шляхи підвищення ефективності окремих видів транспорту, з іншого боку, при системному розгляді транспортного забезпечення з залученням декількох видів транспорту, виникає необхідність в дослідженні взаємних впливів різних засобів транспорту та забезпечення їх максимальної ефективності в складних виробничих системах. На підставі визначеного протиріччя сформульовано гіпотезу дослідження: найбільшої ефективності експлуатації засобів транспорту можна досягти при розгляді їх функціонування в складних виробничих системах.

3. Проведено аналіз робіт в області моделювання та оптимізації параметрів засобів транспорту, а також інформаційного забезпечення експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах.

4. Проаналізовані питання шкідливого впливу та екологічних наслідків експлуатації засобів транспорту і їх інфраструктури на навколишнє середовище, як важливого фактору, який слід враховувати при вирішенні завдань підвищення ефективності засобів транспорту.

5. Досліджені питання формування і структурування територіальних виробничих систем та структурні елементи складних виробничих систем разом з особливостями взаємодії в них засобів транспорту. Це дало порозуміння, що питання структурного аналізу й синтезу територіальних виробничих систем повною мірою не пророблені, що створює певні складності як при оцінці функціонування діючих, так і при проектуванні знов створюваних систем.

6. Обрано і обґрунтовано об'єктивний інтегральний критерій ефективності експлуатації засобів транспорту та представлено критерій оптимальності експлуатації засобів транспорту в складних системах.

7. Виявлені недоліки відомих методів формування та технологій функціонування та експлуатації засобів транспорту в складних виробничих систем, а також визначені актуальні завдання, спрямовані на підвищення ефективності засобів транспорту в складних виробничих систем з використанням різних видів транспорту, сформульовані мета й завдання дисертаційної роботи.

## **Розділ 2.**

### **Розвиток теоретичних основ побудови та функціонування транспортних засобів в складних виробничих системах**

#### **2.1. Структурний аналіз і особливості функціонування складних виробничих систем.**

Виробнича діяльність промислових підприємств різного профілю пов'язана з необхідністю здійснення вантажних перевезень при доставці сировини, матеріалів, напівфабрикатів, готової продукції. Для задоволення потреб у перевезеннях створюються виробничі системи й уся необхідна територіальна інфраструктура. Формування і розвиток таких систем тісно пов'язано з особливостями та обсягами регіонального виробництва, наявністю стійких транспортних зв'язків між підприємствами, а також перспективами подальшого розвитку промислових зон і територій.

Саме завдяки наявності транспортного сполучення окремі суб'єкти господарської діяльності виявляються зв'язаними між собою, а можливість їх взаємодії при виробництві та збуті продукції створює необхідні передумови для всебічного розвитку різного роду територіально-виробничих об'єднань.

Задачі формування раціональної структури виробничої системи в цих умовах є досить актуальними [130-133]. Зв'язане це з тим, що будівництво транспортних комунікацій, об'єктів інфраструктури, їх ремонт і підтримка в працездатному стані в цілому є досить витратними. Крім того незадовільний стан комунікацій приводить до збільшення строків доставки вантажів, загальному зростанню витрат, інтенсивному зношуванню транспортних засобів, погіршенню екологічної обстановки в регіонах і т.д.

З експлуатаційної точки зору використовувана територіальна виробнича система являє собою сукупність транспортних шляхів, вузлів, складських комплексів, розподільних центрів та інших елементів інфраструктури, що забезпечують можливість ефективного просування транспортних потоків при здійсненні функціонуючими підприємствами виробничо-господарської діяльності.

У цих умовах, прийняття обґрунтованих проектних рішень пов'язаних з формуванням транспортної мережі, реконструкцією діючих ділянок, удосконаленням існуючих розв'язок і інших елементів інфраструктури повинно бути узгоджено із загальною концепцією збалансованого регіонального розвитку. При цьому слід мати на увазі, що виробничі зв'язки між окремими суб'єктами господарювання формуються, як правило, на місцевому рівні і саме на цьому рівні виникають довгострокові транспортні зв'язки.

Таким чином, територіальні виробничі системи, що функціонують у встановлених межах, розглядаються надалі як сукупність джерел і споживачів транспортних потоків, взаємодія між якими відбувається на базі єдиної транспортної мережі з метою задоволення існуючих потреб у вантажних перевезеннях. Отже, створення умов для ефективного функціонування територіальних виробничих систем різного рівня складності й призначення є важливим практичним завданням, рішення якої дозволяє знизити загальні витрати як при здійсненні вантажних перевезень, так і при експлуатації таких систем. При цьому важливо, щоб структура системи в цілому була раціональною, відповідала існуючим потребам і перспективам збалансованого регіонального розвитку.

Слід також зазначити, що створення і підтримка в робочому стані виробничих систем, їх реконструкція та технічне переоснащення вимагають залучення значних фінансових ресурсів з попередньою оцінкою економічної ефективності, а також очікуваних строків окупності [55,134-136].

Перелік типових завдань, виникаючих при формуванні й організації функціонування територіальних виробничих систем наведено у табл. 2.1.

Рішення перерахованих завдань на різних етапах проектування, експлуатації, реконструкції й розвитку систем обумовлює необхідність періодичної оцінки їх поточного стану й обґрунтування доцільності прийняття конкретних управлінських рішень [84,137-140].

Таблиця 2.1 – Типові завдання, що виникають при розробці й організації функціонування виробничих систем

Перелік завдань по формуванню структури й організації експлуатації засобів транспорту	Відповідний етап функціонування пов'язаний з рішенням поставленого завдання
Завдання аналізу й визначення відповідності структури наявної виробничої системи потребам регіонів, пов'язаним зі здійсненням вантажних перевезень	Вирішується на етапі номінальної експлуатації системи для оцінки можливості й доцільності оптимізації режимів її функціонування на різних рівнях
Завдання синтезу й оптимізації структури багаторівневих виробничих систем з урахуванням планованих потреб в організації перевезень	Вирішується на етапі проектування й формування структури транспортної мережі при освоєнні нових територій і регіонів
Завдання прийняття рішень пов'язаних з поступовим (еволюційним) розвитком територіальних виробничих систем і приведення відповідності їх структури й стану мінливим потребам у здійсненні місцевих, регіональних і міжрегіональних перевезень	Вирішується на етапі реконструкції, модернізації, удосконалювання й розвитку діючих виробничих систем

Таким чином, проблема формування раціональної структури територіальних виробничих систем і забезпечення їх ефективного функціонування є важливою, актуальною й пов'язаною з перспективами подальшого розвитку промислових зон, районів і окремих регіонів.

## 2.2. Структурний аналіз територіальних систем

Аналіз структури територіальних виробничих систем виконується для визначення складу, властивостей, характеру й особливостей взаємодії окремих елементів у процесі функціонування, що дозволяє дати оцінку пристосованості таких систем до рішення завдань, обумовлених їхнім цільовим призначенням.

Структура виробничої системи в загальному випадку може складатися із трьох взаємозалежних рівнів, що відрізняються своїм складом і функціями, що виконуються. Однак кількість структурних рівнів може бути й менше трьох, а відомі методи структурного аналізу не дозволяють однозначно встановити їхню кількість і склад, що створює складності при розв'язку практичних завдань, зв'язаних у тому числі, і з вибором оптимальних режимів функціонування.

Розглянемо, як приклад, фрагмент територіальної виробничої системи, показаний на рис. 2.1.

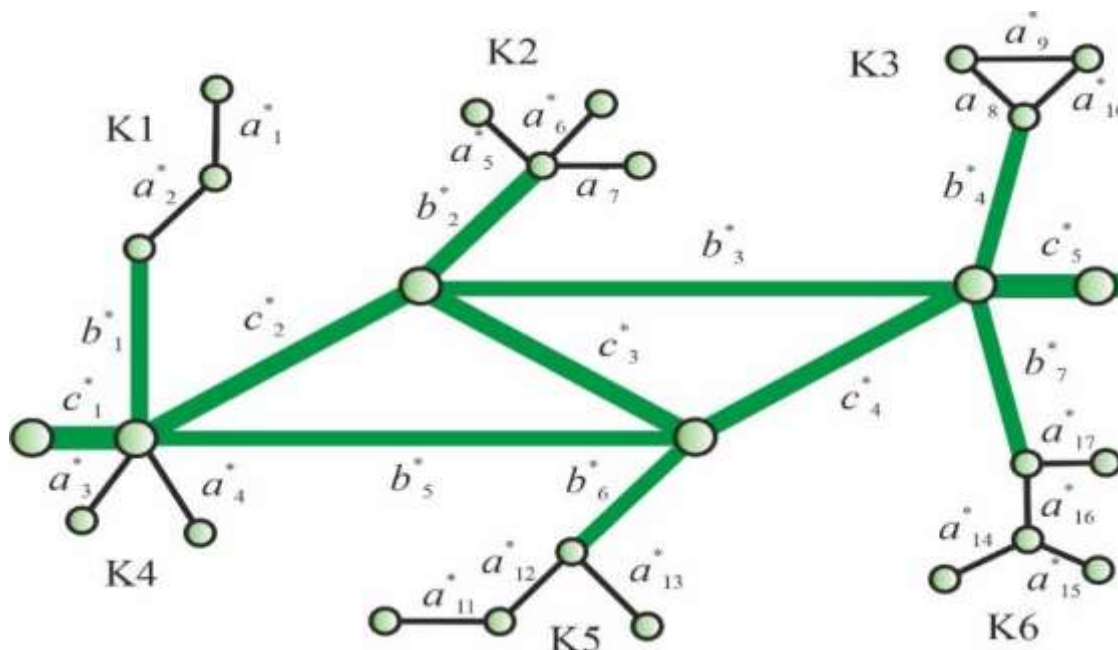


Рисунок 2.1 – Фрагмент територіальної виробничої системи

До його складу входять шість взаємодіючих кластерів K1, K2, ... K6, кожний з яких містить транспортні шляхи, різної довжини.

Сукупність шляхів таких ділянок утворює склад місцевого рівня системи. Для фрагмента, показаного на рис. 2.1, лінійні елементи місцевого рівня позначаються  $a_i^*$  ( $i = 1, 2, \dots, 17$ ) і становлять множину  $A^*$ .

У свою чергу лінійними елементами системи є й шляхи, що з'єднують між собою вузли окремих кластерів, з утворенням єдиної транспортної мережі на регіональному рівні. Ці ділянки на рис. 2.1 позначаються  $b_i^*$  ( $i = 1, 2, \dots, 7$ ), а їх сукупність визначає склад множини  $B^*$ .

Крім того, у складі системи є й елементи, що забезпечують проходження транзитних вантажопотоків, які позначаються  $c_i^*$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ), а їх сукупність утворює множину  $C^*$  і визначає склад міжрегіонального рівня системи (рис. 2.1).

Таким чином, можна укласти, що кожна з ділянок мережі, як елемент виробничої системи характеризується приналежністю до певного структурного рівня, фактичною довжиною транспортного шляху й сумарною величиною вантажопотоку у двох протилежних напрямках.

Дані, що характеризують склад аналізованої системи представлені в табл. 2.2, а на рис. 2.2 показане взаємне розташування на площині  $q|l$  елементів, що належать множинам  $A^*$ ,  $B^*$  і  $C^*$ .

Однак використання спостережуваних значень вантажопотоків  $q$  [т/діб] і відстаней  $l$  [км] із зазначеною розмірністю, при графічному відображенні структури системи показаної на рис. 2.2 недостатньо інформативно. Зв'язане це з тим, що при описі властивостей систем кращим виявляється використання безрозмірних показників. Тому надалі замість вихідних множин  $A^*$ ,  $B^*$  і  $C^*$  з наборами елементів  $a_i^* (l_i^{A^*}, q_i^{A^*})$ ,  $b_i^* (l_i^{B^*}, q_i^{B^*})$ ,  $c_i^* (l_i^{C^*}, q_i^{C^*})$  використовуються перетворені множини  $A$ ,  $B$ , і  $C$  з елементами  $a_i (x_i^A, y_i^A)$ ,  $b_i (x_i^B, y_i^B)$ ,  $c_i (x_i^C, y_i^C)$  безрозмірні координати яких визначаються так:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_i^A = \frac{l_i^{A^*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^A = \frac{q_i^{A^*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}} \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} x_i^B = \frac{l_i^{B^*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^B = \frac{q_i^{B^*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}} \end{array} \right. , \quad (2.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_i^C = \frac{l_i^{C^*} - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \\ y_i^C = \frac{q_i^{C^*} - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}} \end{array} \right.$$

де:  $l_{\max}$  – максимальне значення довжини транспортної ділянки серед усіх елементів  $l_i^{A^*}$ ,  $l_i^{B^*}$ ,  $l_i^{C^*}$  ;

$l_{\min}$  – відповідно мінімальне значення;

$q_{\max}$  – максимальна величина вантажопотоку, серед усіх елементів  $q_i^{A^*}$ ,  $q_i^{B^*}$ ,  $q_i^{C^*}$  ;

$q_{\min}$  – відповідно мінімальне значення вантажопотоку.

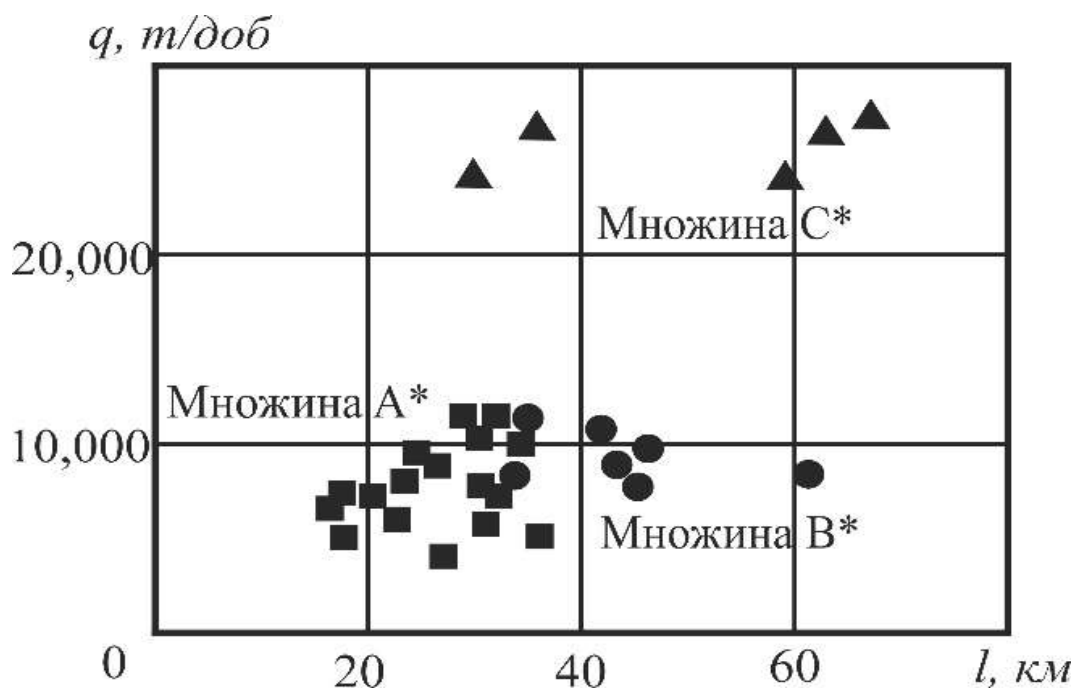


Рисунок 2.2 – Характеристики елементів виробничої системи у вигляді сукупності точок на площині  $qol$

Для розглянутої виробничої системи, з характеристиками елементів, наведеними в табл. 2.2 на рис. 2.3 показане взаємне розташування приналежних множинам А, В і С точок у системі координат Y0X. Видно, що перехід до нових безрозмірних координат для опису властивостей міжрегіональної виробничої системи приводить до того, що всі точки приналежні перетвореним множинам А, В і С перебувають у границях квадрата зі стороною рівній одиниці, що спрощує процедуру оцінювання їх взаємного розташування.

Крім того, видно, що точки приналежні множинам А і В групуються таким чином, що можуть розглядатися як приналежні одній об'єднаній множині.

Це означає, що розглянута система може виявитися не трьох, а дворівневою, а відповідь на запитання про те, яку ж кількість рівнів система має насправді, вимагає проведення додаткового аналізу.

Таблиця 2.2 – Характеристики територіальної виробничої системи

Позначення множин і окремих елементів у їхньому складі	Характеристики елементів виробничої системи		
	Рівень системи й порядковий номер елемента, і	Довжина ділянки, км	Величина загального вантажопотоку, т/добу
$A^*$	<i>місцевий</i>	$l_i^{**}$	$q_i^{**}$
$a_1^*$	1	23	6110
$a_2^*$	2	18	4960
$a_3^*$	3	31	5740
$a_4^*$	4	17	6600
$a_5^*$	5	27	4140
$a_6^*$	6	36	5120
$a_7^*$	7	32	7220
$a_8^*$	8	31	7740
$a_9^*$	9	24	7910
$a_{10}^*$	10	26	8800
$a_{11}^*$	11	18	7140
$a_{12}^*$	12	25	9300
$a_{13}^*$	13	34	10140

Продовження таблиці 2.2

Позначення множин і окремих елементів у їхньому складі	Характеристики елементів виробничої системи	Позначення множин і окремих елементів у їхньому складі	Характеристики елементів виробничої системи
$a_{14}^*$	14	22	6840
$a_{15}^*$	15	31	10200
$a_{16}^*$	16	29	11220
$a_{17}^*$	17	32	11140
$B^*$	<i>регіональний</i>	$t_i^{B^*}$	$q_i^{B^*}$
$b_1^*$	1	33	8100
$b_2^*$	2	44	8850
$b_3^*$	3	61	8260
$b_4^*$	4	34	10920
$b_5^*$	5	45	7760
$b_6^*$	6	42	10650
$b_7^*$	7	46	9730
$C^*$	<i>міжрегіональний</i>	$t_i^{C^*}$	$q_i^{C^*}$
$c_1^*$	1	67	27200
$c_2^*$	2	36	26650
$c_3^*$	3	30	24150
$c_4^*$	4	59	23950
$c_5^*$	5	63	26340

Територіальну систему, слід уважати трирівневою, у тому випадку, якщо точкові елементи  $ai$ ,  $bi$ ,  $ci$  приналежні різним рівням утворюють на площині  $Y0X$  множини, що не перекриваються, А, В і С. Структурний аналіз такої системи пов'язаний з визначенням взаємного розташування на площині  $Y0X$  точок приналежних множинам А, В, С, з наступною оцінкою можливості об'єднання множин, що перекриваються, при їхній наявності.

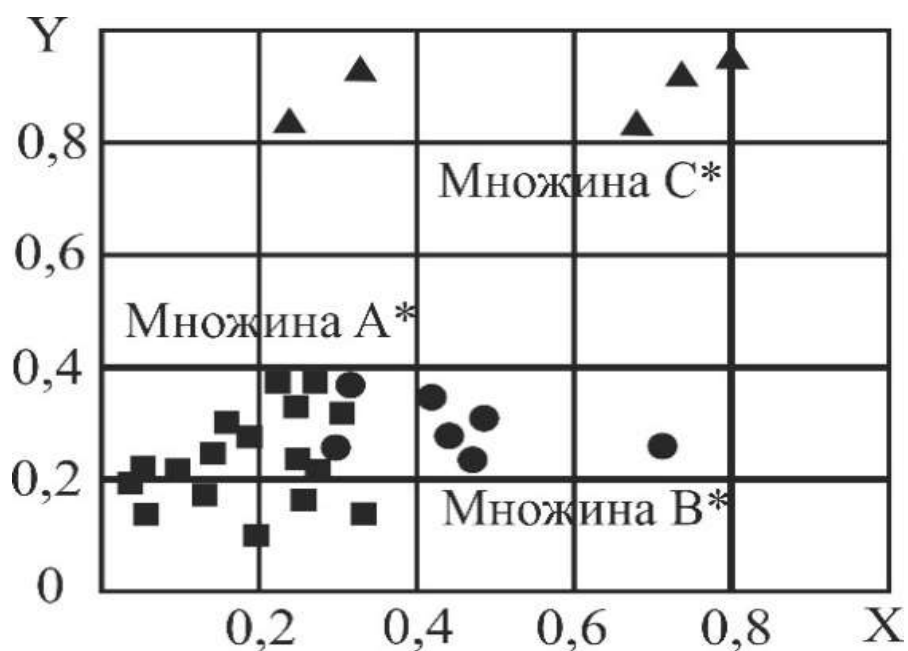


Рисунок 2.3 – Характеристики елементів виробничої системи у вигляді сукупності точок на площині  $Y0X$

Таким чином, для уточнення числа структурних рівнів системи й складових їхніх елементів повинні бути розроблені критерії й алгоритми, що дозволяють визначати взаємне розташування зазначених множин на площині з урахуванням можливого їхнього перекриття й оцінкою необхідності подальшого об'єднання множин, що перекриваються.

### 2.2.1. Структурні характеристики багаторівневих систем

Структурний аналіз діючої виробничої системи виконується, як ми вже відзначали раніше, для визначення числа рівнів і складання переліку структурних елементів, на кожному із установлених рівнів. На початковому етапі аналізу приналежність окремих лінійних елементів до того або іншого структурного рівня встановлюється як можливо з урахуванням їх функціонального призначення в рамках територіальної системи. Надалі структурний склад окремих рівнів повинен бути уточнений за результатами оцінки взаємного розташування на площині  $Y0X$  елементів, що належать множинам А, В і С [141].

Аналізована система буде однозначно трирівневою тільки в тому випадку, якщо на площині  $Y0X$  елементи всіх розглянутих множин  $A$ ,  $B$  і  $C$  не перекриваються. При наявності перекриття загальне число структурних рівнів буде залежати від того, які з множин, що перекриваються, можуть бути об'єднані.

Таким чином, реалізація процедури оцінки взаємної близькості множин, що характеризують структуру виробничої системи, є важливим етапом аналізу, результати якого багато в чому будуть визначати подальші дії, пов'язані з необхідністю об'єднання множин, що перекриваються.

У відповідності зіснуючими уявленнями мірою близькості окремих елементів множини є відстань між ними, яка залежно від характеру розв'язуваного завдання може встановлюватися різним образом [3].

Оскільки надалі виникає необхідність оцінки взаємної близькості як окремих елементів множини на площині, так і різних множин, що представляють собою сукупність однорідних точкових об'єктів, що характеризують той або інший структурний рівень, то всі ці завдання повинні бути розглянуті й вирішені послідовно.

### **Множина елементів системи як сукупність точок на площині**

Розглядаючи множину елементів як сукупність кінцевого числа точок на площині, слід зазначити, що вибір метрики або міри, що дозволяє оцінювати їхню близькість є важливим етапом проведення подальшого аналізу.

Блиькість елементів  $a_i(x_i^A, y_i^A)$  і  $a_j(x_j^A, y_j^A)$  що належать множині  $A$  оцінюється надалі за допомогою евклідової відстані, яка визначається на площині  $Y0X$  у такий спосіб:

$$d(a_i, a_j) = \sqrt{(x_i^A - x_j^A)^2 + (y_i^A - y_j^A)^2}, \quad (2.2)$$

У цьому випадку поняття близькості окремих елементів збігається з їхньою геометричною близькістю на площині  $Y0X$ , а найважливішою характеристикою

такої множини, що складається з  $N_A$  елементів є максимальна відстань  $D_A$  між його точками:

$$D_A = \text{diam } A = \sup_{a_i, a_j \in A} d(a_i, a_j), \quad (2.3)$$

Таким чином, надалі під діаметром множини розуміється верхня грань відстаней між парами його точок [143].

Це означає, що множина елементів  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N_A$ ) на площині  $YOX$  може бути «накрите» колом діаметром  $D_A$ . Однак центр такого кола не може розглядатися як центр усієї множини. Зв'язане це з тим, що при наявності декількох елементів з відстанню між ними рівним  $D_A$ , у множини буде спостерігатися кілька центрів. Тому, у загальному випадку, множина елементів на площині центру не має.

Проте, при рішенні практичних завдань зв'язаних, наприклад, з визначенням центру ваги системи точок на площині, у якості центру множини розглядається центроїд [144], тобто умовна точка  $S_A$  на площині з координатами:

$$\bar{x}_A = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} x_i^A}{N_A}; \quad \bar{y}_A = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} y_i^A}{N_A}, \quad (2.4)$$

Припустимо, множина  $A$  складається з 23-х точкових елементів, координати яких представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Координати елементів множини  $A$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_i$	0,7	0,625	0,675	0,775	0,55	0,6	0,65	0,725	0,7	0,75	0,625	0,675
$y_i$	0,4	0,375	0,375	0,375	0,35	0,35	0,35	0,325	0,3	0,3	0,275	0,275

i	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$x_i$	0,5	0,525	0,575	0,6	0,475	0,525	0,5	0,55	0,5	0,575	0,525
$y_i$	0,25	0,225	0,225	0,2	0,175	0,175	0,15	0,15	0,5	0,475	0,55

Положення кола діаметром  $D_A$  із центром у точці  $S_A$  для розглянутої системи даних показано на рис. 2.4. Видно, що при використанні зазначеного алгоритму визначення меж множини на площині, за межами кола діаметром  $D_A$  може перебувати кілька точок.

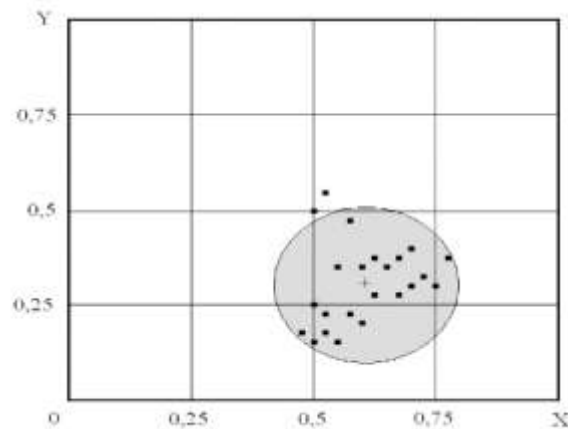


Рисунок 2.4 – Розташування на площині  $Y0X$  елементів множини  $A$  і відповідного кола діаметром  $D_A$  із центром у точці  $S_A$  (+)

Розглянемо тепер, як приклад, множини  $A$ , що полягає з 18 точок на площині (рис. 2.5а). Координати елементів складових цієї множини, наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Координати елементів множини  $A$

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_i$	0,2	0,3	0,275	0,325	0,25	0,35	0,225	0,275	0,325	0,2	0,25	0,3
$y_i$	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725	0,7	0,7	0,7

$i$	13	14	15	16	17	18
$x_i$	0,35	0,225	0,3	0,25	0,175	0,3
$y_i$	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,6

Якщо до складу такої множини додати три точки  $a_{19}(0,6; 0,6)$ ,  $a_{20}(0,525; 0,575)$ ,  $a_{21}(0,575; 0,55)$ , то діаметр  $D_A$  зросте практично вдвічі, а центроїд  $S_A$  зміститься в напрямку до доданої групи точок. При цьому всі точки доданої групи виявляються за межами області, обмеженої колом діаметром  $D_A$  (рис. 2.5б).

Крім того видно, що введення до складу множини нових елементів, які можна розглядати як «викиди» через їхню далекість від основного складу множини, не обов'язково супроводжується збільшенням його діаметра.

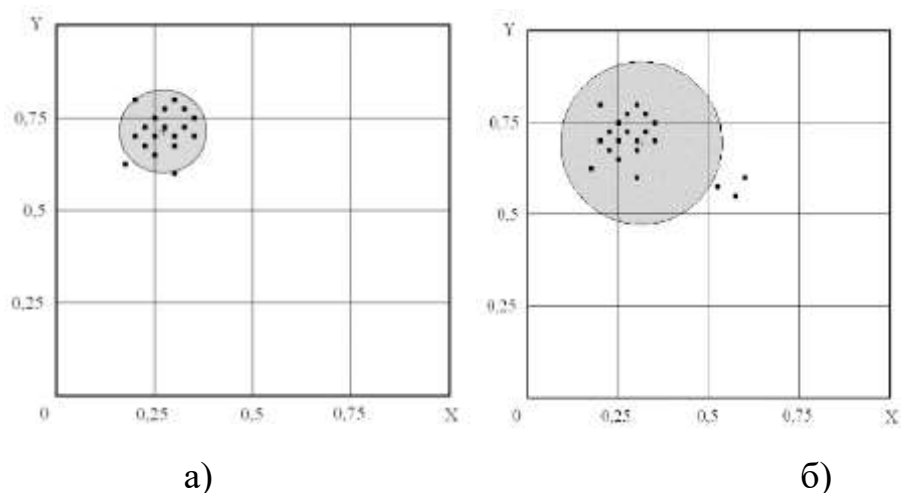


Рисунок 2.5 – Положення на площині  $YOX$  елементів  $a_i$  і кола діаметром  $D_A$  для множин, що містять 18 точок (а) і 21 точку (б)

Для ілюстрації цього положення розглянемо множину  $A$  (рис. 2.6а), що полягає з 20 елементів, координати яких наведені в табл. 2.5. Якщо до складу такої множини включити додаткову групу із трьох точок з координатами  $a_{21}(0,55 ; 0,75)$ ,  $a_{22}(0,5 ; 0,7)$  і  $a_{23}(0,575 ; 0,675)$ , то у результаті діаметр множини  $D_A$  не зміниться, а центроїд  $S_A$  лише трохи зміститься в напрямку додатково введеної групи точок (рис. 2.6б).

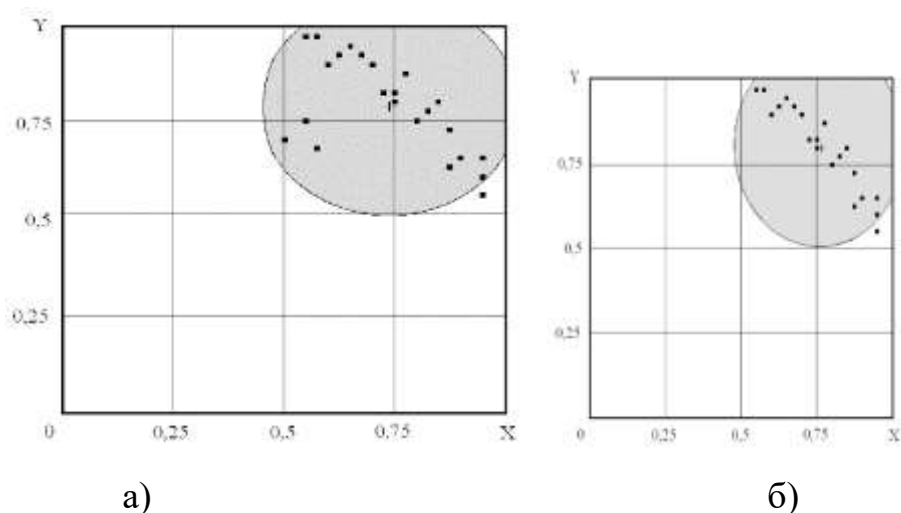


Рисунок 2.6 – Множини точок на площині  $YOX$ , що полягають із двадцяти (а) і двадцяти трьох елементів (б)

Таблиця 2.5 – Координати елементів множини А

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_i$	0,55	0,575	0,65	0,625	0,6	0,675	0,7	0,775	0,725	0,75	0,75	0,85
$y_i$	0,975	0,975	0,95	0,925	0,9	0,925	0,9	0,875	0,825	0,825	0,8	0,8

i	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_i$	0,825	0,8	0,875	0,9	0,95	0,875	0,95	0,95
$y_i$	0,775	0,75	0,725	0,65	0,65	0,625	0,6	0,55

У цілому, нескладно показати, що розглянуті характеристики  $D_A$  і  $S_A$  множини А мають наступні властивості.

1. При наявності в складі множини великої кількості елементів (кілька десятків і більш) включення додаткових точок у межах окружності діаметром  $D_A$  із центром у точці  $S_A$  не приводить до помітної зміни положення центру (властивість стійкості положення центроїда).

2. Зміна діаметра множини не відбувається, якщо значення координат кожного з елементів побільшити (зменшити) на те саме число (властивість незалежності діаметра від обраного початку координат).

3. Додавання нового елемента до складу множини приводить до збільшення його діаметру тільки в тому випадку, якщо при цьому має місце збільшення найбільшої відстані між елементами.

Перераховані властивості дозволяють розглядати  $D_A$ ,  $\bar{x}_A$  і  $\bar{y}_A$  як характеристики придатні для опису групових властивостей елементів складових множин А.

Таким чином, можна зробити висновок, що для визначення положення й меж множин А на площині  $YOX$  використання таких характеристик як  $S_A(\bar{x}_A, \bar{y}_A)$  і  $D_A$  є достатнім, а із практичної точки зору цілком виправданим.

## Характеристики взаємного розташування множин

Поняття відстані між групами однорідних об'єктів звичайно використовується при розробці процедури їх класифікації й пов'язане з оцінкою взаємного розташування на площині множин різної природи. При цьому характеристикою близькості окремих множин може служити відстань, обумовлена за принципом «близького сусіда», з використанням потенційних функцій і т.п.

Оскільки центр окремої множини визначається положенням його центроїда на площині  $Y0X$ , то надалі відстань між множинами  $A$  і  $B$  (рис. 2.7), які містять відповідно  $N_A$  і  $N_B$  елементів, визначається як евклідова між центроїдами  $S_A$  і  $S_B$ :

$$D_{AB} = \sqrt{(\bar{x}_A - \bar{x}_B)^2 + (\bar{y}_A - \bar{y}_B)^2} = \sqrt{\left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_A} x_i^A}{N_A} - \frac{\sum_{i=1}^{N_B} x_i^B}{N_B} \right]^2 + \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_A} y_i^A}{N_A} - \frac{\sum_{i=1}^{N_B} y_i^B}{N_B} \right]^2}, \quad (2.5)$$

Якщо множини  $A$  і  $B$  характеризуються значеннями відповідних діаметрів  $D_A$  і  $D_B$ , то надалі такі множини оцінюються, як такі, що не перекриваються, при виконанні нерівності [145]:

$$D_{AB} < \frac{D_A}{2} + \frac{D_B}{2}, \quad (2.6)$$

Або, після перетворень:

$$\eta_{AB} = 1 - \frac{D_A + D_B}{2D_{AB}} > 0, \quad (2.7)$$

У цьому випадку критерій  $\eta_{AB}$  слід розглядати як показник парної близькості множин  $A$  і  $B$ . Він приймає позитивні значення в тих випадках, коли елементи розглянутих множин віддалені на площині  $Y0X$  настільки, що області обмежені відповідними діаметрами  $D_A$  і  $D_B$  не перекривають один одного. При цьому поступове взаємне віддалення множин, що не перекриваються,  $A$  і  $B$  буде

супроводжуватися і безперервним ростом позитивних значень показника парної близькості  $\eta_{AB}$ .

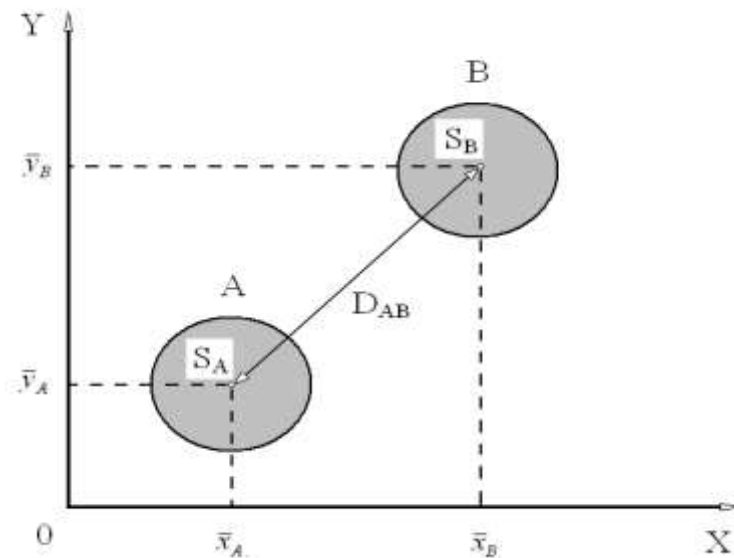


Рисунок 2.7 – Схема визначення евклідової відстані між множинами A і B на площині YOX

Якщо ж має місце часткове або повне перекриття зазначених множин на площині, то  $\eta_{AB}$  приймає негативне значення.

Розглянемо тепер випадок, коли на площині YOX (рис. 2.8) розташовано три множини A, B і C із числом елементів  $N_A$ ,  $N_B$ ,  $N_C$  і відповідними діаметрами  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_C$ . Відстань між множинами A і B визначається по формулі (2.5). Аналогічним образом визначаються й відстані між множинами B і C, а також A і C.

Показники парної близькості для перерахованих множин, що встановлюються відповідно до викладеного підходу й з використанням аналогічних позначень визначаються так:

$$\begin{cases} \eta_{AB} = 1 - \frac{D_A + D_B}{2 \cdot D_{AB}} \\ \eta_{AC} = 1 - \frac{D_A + D_C}{2 \cdot D_{AC}} \\ \eta_{BC} = 1 - \frac{D_B + D_C}{2 \cdot D_{BC}} \end{cases}, \quad (2.8)$$

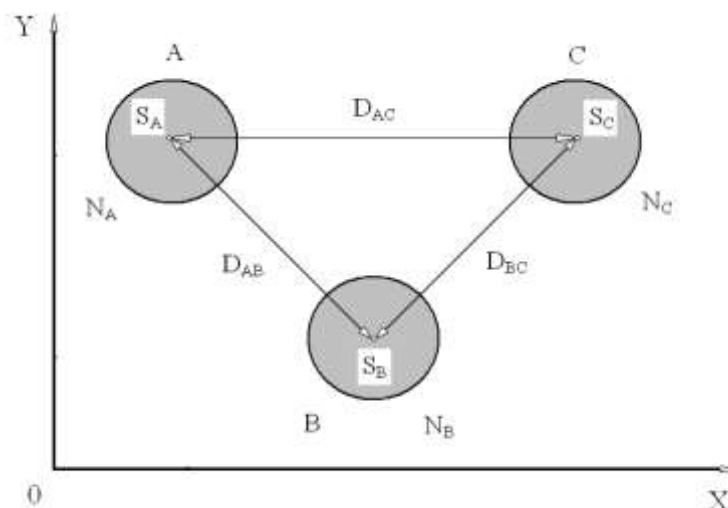


Рисунок 2.8 – Взаємне розташування множин А, В, С на площині і схема визначення відстаней між ними

Аналізовані множини А, В і С не будуть перекриватися (рис. 2.9) при виконанні умов:

$$\begin{cases} \eta_{AB} > 0 \\ \eta_{AC} > 0 \\ \eta_{BC} > 0 \end{cases}, \quad (2.9)$$

Відзначимо, що із практичної точки зору найбільший інтерес представляє ситуація, коли аналізована система має три структурні рівні, а множини відповідних точкових елементів на площині  $Y0X$  не перекриваються.

Припустимо, аналізована система є трирівневою, і умова (2.9) виконується. Оскільки максимальне значення кожного парного показника близькості дорівнює одиниці, то в системі прямокутних координат  $\eta_{AB} \eta_{AC} \eta_{BC}$  область можливої зміни радіус-вектора  $\vec{\rho}$  буде перебувати усередині простору, обмеженого одиничним кубом (рис. 2.10).

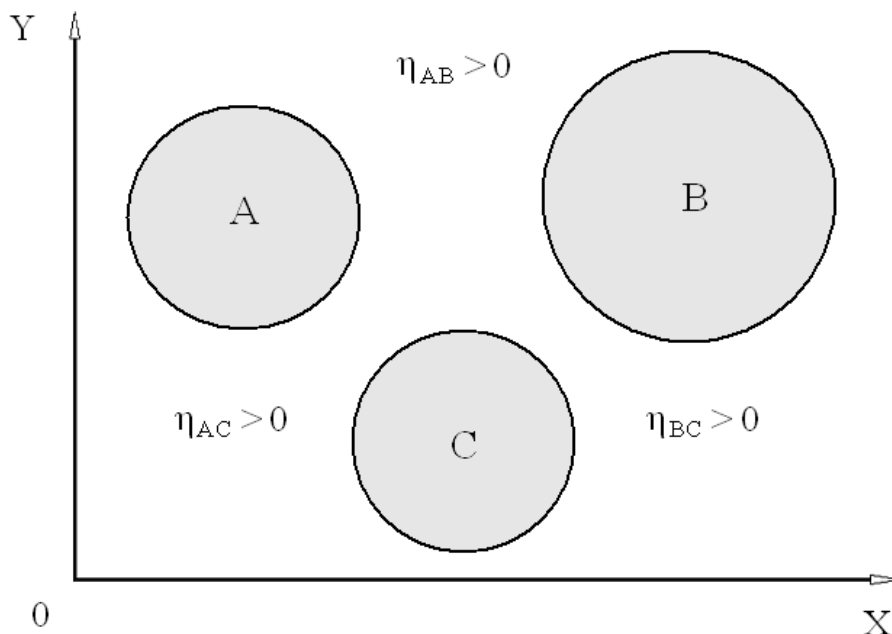


Рисунок 2.9 – Взаємне розташування множин А, В і С, що не перекриваються

Максимально можливої величини модуль радіус-вектора  $\vec{\rho}$  досягає в тому випадку, коли точка  $S^*(1, 1, 1)$ , що характеризує взаємне розташування множин збігається з вершиною куба, найвіддаленішої від початку координат:  $|\vec{\rho}|_{\max} = \sqrt{3}$  (рис. 2.10).

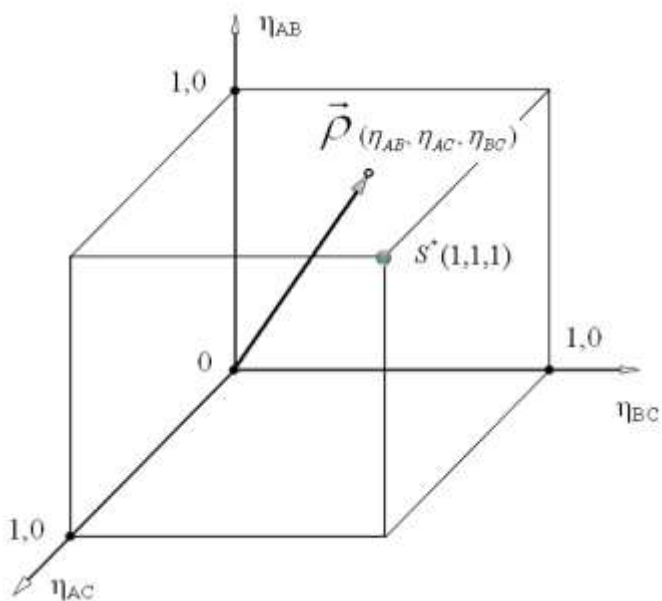


Рисунок 2.10 – Положення радіус-вектора  $\vec{\rho}$  в тривимірній системі координат

$$\eta_{AB} \quad \eta_{AC} \quad \eta_{BC}$$

Таке положення радіус-вектора буде відповідати випадку найбільшого віддалення всіх розглянутих множин, друг від друга. Тоді для оцінки близькості множин, що не перекриваються, слід використовувати узагальнений показник  $\theta$  [145]:

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\eta_{AB}^2 + \eta_{AC}^2 + \eta_{BC}^2} \quad (2.10)$$

Використання нормувального множника  $1/\sqrt{3}$  приводить до того, що узагальнений показник близькості може змінюватися в діапазоні значень:

$$0 \leq \theta \leq 1.$$

Таким чином, можна зробити висновок, що розроблений узагальнений показник близькості декількох множин, що не перекриваються, заснований на обліку парних показників близькості окремих множин і рівний їхньому середньому квадратичному значенню.

Відзначимо також, що у випадку  $\theta = 0$  має місце граничне зближення всіх множин без їхнього взаємного перекриття, а негативні значення узагальнений показник близькості приймає тоді, коли спостерігається часткове або повне перекриття будь-яких з множин А, В, С на площині  $Y0X$ .

У цілому ж структурні особливості трирівневих виробничих систем будуть явно виражені в тих випадках, коли множини, що не перекриваються, вилучені друг від друга настільки, що величина узагальненого показника близькості перебуває в інтервалі значень  $0,5 < \theta < 1,0$ .

Для виконання розрахунків і оцінки взаємного розташування окремих множин на площині відповідно до запропонованого алгоритму й використанням розроблених

показників в інтегрованій обчислювальній системі Mathcad складена комп'ютерна програма, фрагмент якої показаний на рис. 2.11.

Можливості розрахункової програми оцінювалися для різних варіантів взаємного розташування множин A, B і C.

Так, на рис. 2.11 показане взаємне положення множин, що не перекриваються, координати окремих елементів яких наведено в таблицях 2.6, 2.7 і 2.9.

У розглянутому випадку парні показники близькості приймають наступні позитивні значення:

$$\begin{cases} \eta_{AB} = 0,384 \\ \eta_{AC} = 0,302 \\ \eta_{BC} = 0,422 \end{cases}, \quad (2.11)$$

количество элементов множества A;		количество элементов множества B;		количество элементов множества C;				
$NA := 18$		$NB := 20$		$NC := 10$				
координаты элементов множества A:								
$ax_1 := 0.2$	$ax_2 := 0.3$	$ax_3 := 0.2$	$ax_4 := 0.2$	$ax_5 := 0.2$	$ax_6 := 0.2$	$ax_7 := 0.2$	$ax_8 := 0.2$	$ax_9 := 0.2$
$ax_{10} := 0.2$	$ax_{11} := 0.2$	$ax_{12} := 0.2$	$ax_{13} := 0.2$	$ax_{14} := 0.2$	$ax_{15} := 0.2$	$ax_{16} := 0.2$	$ax_{17} := 0.2$	$ax_{18} := 0.2$
$ay_1 := 0.8$	$ay_2 := 0.8$	$ay_3 := 0.775$	$ay_4 := 0.775$	$ay_5 := 0.75$	$ay_6 := 0.75$	$ay_7 := 0.725$	$ay_8 := 0.725$	$ay_9 := 0.725$
$ay_{10} := 0.7$	$ay_{11} := 0.7$	$ay_{12} := 0.7$	$ay_{13} := 0.7$	$ay_{14} := 0.675$	$ay_{15} := 0.675$	$ay_{16} := 0.65$	$ay_{17} := 0.625$	$ay_{18} := 0.7$
координаты элементов множества B:								
$bx_1 := 0.551$	$bx_2 := 0.475$	$bx_3 := 0.491$	$bx_4 := 0.595$	$bx_5 := 0.45$	$bx_6 := 0.471$	$bx_7 := 0.485$	$bx_8 := 0.53$	
$bx_{11} := 0.443$	$bx_{12} := 0.492$	$bx_{13} := 0.51$	$bx_{14} := 0.385$	$bx_{15} := 0.371$	$bx_{16} := 0.471$	$bx_{17} := 0.477$	$bx_{18} := 0.385$	
$by_1 := 0.4$	$by_2 := 0.375$	$by_3 := 0.375$	$by_4 := 0.375$	$by_5 := 0.35$	$by_6 := 0.35$	$by_7 := 0.35$	$by_8 := 0.325$	
$by_{11} := 0.275$	$by_{12} := 0.275$	$by_{13} := 0.35$	$by_{14} := 0.225$	$by_{15} := 0.225$	$by_{16} := 0.2$	$by_{17} := 0.175$	$by_{18} := 0.175$	
			$bx_9 := 0.551$	$bx_{10} := 0.555$	$bx_{19} := 0.393$	$bx_{20} := 0.385$		
			$by_9 := 0.3$	$by_{10} := 0.3$	$by_{19} := 0.15$	$by_{20} := 0.15$		
координаты элементов множества C:								
$cx_1 := 0.55$	$cx_2 := 0.575$	$cx_3 := 0.65$	$cx_4 := 0.625$	$cx_5 := 0.61$	$cx_6 := 0.671$	$cx_7 := 0.71$	$cx_8 := 0.712$	
$cx_9 := 0.615$	$cy_1 := 0.775$	$cy_2 := 0.755$	$cy_3 := 0.751$	$cy_4 := 0.715$	$cy_5 := 0.72$	$cy_6 := 0.725$	$cy_7 := 0.73$	
$cy_8 := 0.665$	$cy_9 := 0.621$	$cy_{10} := 0.624$	$cx_{10} := 0.715$					

Рисунок 2.11 – Фрагмент розрахункової програми із блоком вихідних даних

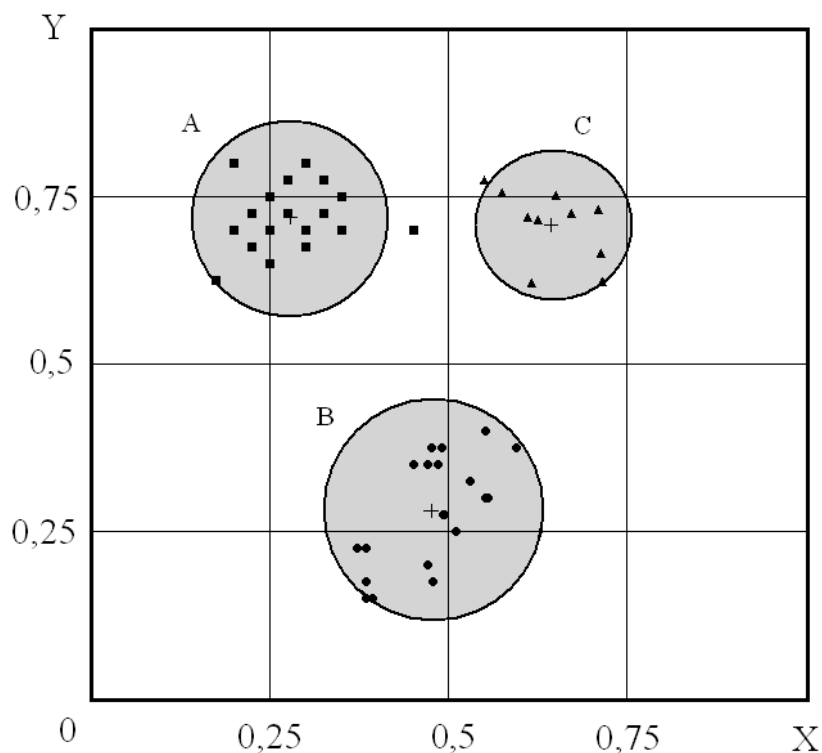


Рисунок 2.12 – Взаємне розташування трьох множин, що не перекриваються

Відповідно значення узагальненого показника близькості:  $\theta = 0,373$ . З малюнка 2.12 видно, що перекриття аналізованих множин не відбувається й, отже, розглянута система є тривірневою.

Таблиця 2.6 – Координати елементів множини А

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_i$	0,2	0,3	0,275	0,325	0,25	0,35	0,225	0,275	0,325
$y_i$	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_i$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,225	0,3	0,25	0,175	0,45
$y_i$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,7

Таблиця 2.7 – Координати елементів множини В

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,551	0,475	0,491	0,595	0,45	0,471	0,485	0,53	0,551	0,555
$y_i$	0,4	0,375	0,375	0,375	0,35	0,35	0,35	0,325	0,3	0,3

i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_i$	0,493	0,492	0,51	0,385	0,371	0,471	0,477	0,385	0,393	0,385
$y_i$	0,275	0,275	0,25	0,225	0,225	0,2	0,175	0,175	0,15	0,15

Таблиця 2.8 – Координати елементів множини С

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,55	0,575	0,65	0,625	0,61	0,671	0,71	0,712	0,615	0,715
$y_i$	0,775	0,755	0,751	0,715	0,72	0,725	0,73	0,665	0,621	0,624

Якщо координати елементів складових множини А, В і С відповідають даним представленим у таблицях 2.9, 2.10, 2.11, то множини А і В будуть частково перекриватися так, як це показано на рис. 2.13.

Таблиця 2.9 – Координати елементів множини А

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_i$	0,2	0,3	0,275	0,325	0,25	0,35	0,225	0,275	0,325
$y_i$	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_i$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,225	0,3	0,25	0,175	0,45
$y_i$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,7

Таблиця 2.10 – Координати елементів множини В

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,401	0,325	0,341	0,445	0,3	0,321	0,335	0,38	0,401	0,405
$y_i$	0,7	0,675	0,675	0,675	0,65	0,65	0,65	0,625	0,6	0,6

i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_i$	0,343	0,342	0,36	0,435	0,221	0,321	0,327	0,235	0,273	0,235

$y_i$	0,575	0,575	0,55	0,525	0,525	0,5	0,475	0,475	0,45	0,45
-------	-------	-------	------	-------	-------	-----	-------	-------	------	------

Таблиця 2.11 – Координати елементів множини С

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,55	0,575	0,65	0,625	0,61	0,671	0,71	0,712	0,615	0,715
$y_i$	0,775	0,755	0,751	0,715	0,72	0,725	0,73	0,665	0,621	0,624

Розрахункові значення показників парної близькості:

$$\begin{cases} \eta_{AB} = -0,969 \\ \eta_{AC} = 0,302 \\ \eta_{BC} = 0,202 \end{cases}, \quad (2.12)$$

У цьому випадку негативне значення показника  $\eta_{AB}$  свідчить про взаємне перекриття множин А і В.

Якщо елементи, які складають множини А, В і С характеризуються даними, представленими в таблицях 2.12, 2.13, 2.14, то множини А і С будуть частково перекриватися так, як це схематично показане на рис. 2.14.

Відповідні значення показників парної близькості для цього випадку:

$$\begin{cases} \eta_{AB} = 0,384 \\ \eta_{AC} = -0,546 \\ \eta_{BC} = 0,381 \end{cases}, \quad (2.13)$$

Таблиця 2.12 – Координати елементів множини А

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_i$	0,2	0,3	0,275	0,325	0,25	0,35	0,225	0,275	0,325
$y_i$	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_i$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,225	0,3	0,25	0,175	0,45
$y_i$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,7

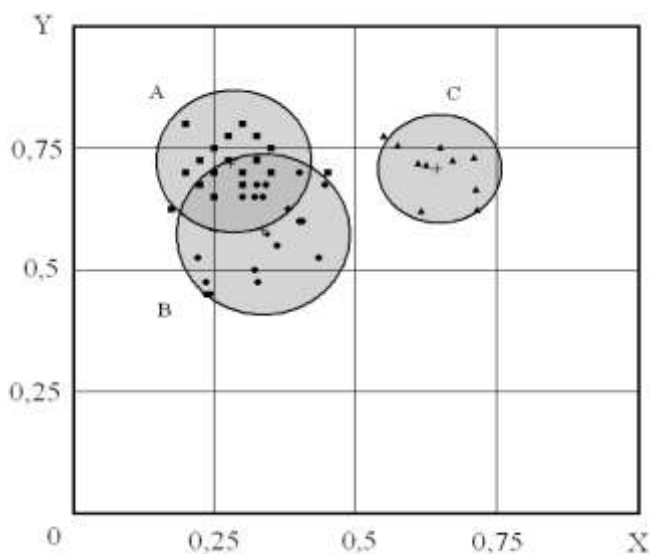


Рисунок 2.13 – Взаємне розташування трьох множин на площині із частковим перекриттям двох з них

Таблиця 2.13 – Координати елементів множини В

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,551	0,475	0,491	0,595	0,45	0,471	0,485	0,53	0,551	0,555
$y_i$	0,4	0,375	0,375	0,375	0,35	0,35	0,35	0,325	0,3	0,3

i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_i$	0,493	0,492	0,51	0,385	0,371	0,471	0,477	0,385	0,393	0,385
$y_i$	0,275	0,275	0,25	0,225	0,225	0,2	0,175	0,175	0,15	0,15

Таблиця 2.14 – Координати елементів множини С

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,35	0,375	0,45	0,425	0,41	0,471	0,51	0,512	0,415	0,515
$y_i$	0,775	0,755	0,751	0,715	0,72	0,725	0,73	0,665	0,621	0,624

Стосовно до розглянутої системи даних від'ємне значення приймає показник  $\eta_{AC}$ , що дозволяє зробити висновок про часткове перекриття множин А і С на площині  $Y0X$ .

Якщо ж елементи множин А, В і С характеризуються даними представленими в таблицях 2.15, 2.16, 2.17 то перекриватися будуть множини В і С (рис. 2.15).

Розрахункові значення парних показників близькості в цьому випадку:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{AB} = 0,096 \\ \eta_{AC} = 0,302 \\ \eta_{BC} = -0,835 \end{array} \right. \quad (2.14)$$

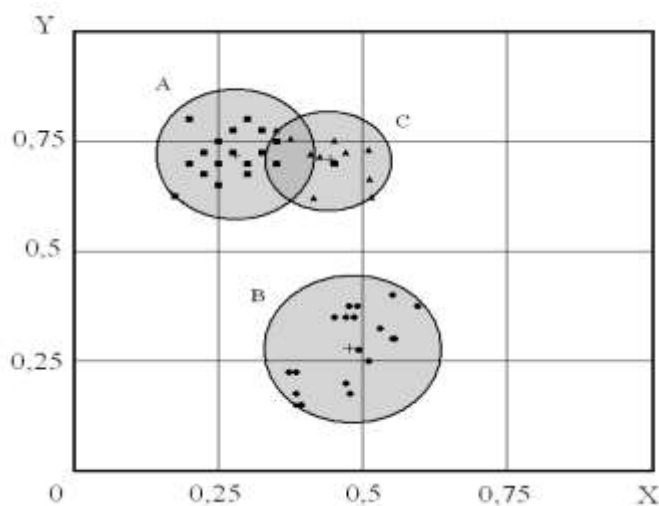


Рисунок 2.14 – Взаємне розташування трьох множин на площині із частковим перекриттям двох з них

Таблиця 2.15 – Координати елементів множини А

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_i$	0,2	0,3	0,275	0,325	0,25	0,35	0,225	0,275	0,325
$y_i$	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_i$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,225	0,3	0,25	0,175	0,45
$y_i$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,7

Таблиця 2.16 – Координати елементів множини В

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,651	0,575	0,591	0,695	0,55	0,571	0,585	0,63	0,651	0,655
$y_i$	0,7	0,675	0,675	0,675	0,65	0,65	0,65	0,625	0,6	0,6

i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_i$	0,593	0,592	0,61	0,585	0,471	0,471	0,577	0,485	0,493	0,485
$y_i$	0,575	0,575	0,55	0,525	0,525	0,5	0,475	0,475	0,45	0,45

Таблиця 2.17 – Координати елементів множини С

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,55	0,575	0,65	0,625	0,61	0,671	0,71	0,712	0,615	0,715
$y_i$	0,775	0,755	0,751	0,715	0,72	0,725	0,73	0,665	0,621	0,624

Негативне значення показника парної близькості  $\eta_{BC}$  дозволяє зробити висновок, що перекриваються множини В і С.

У тому випадку, якщо елементи множин А, В і С характеризуються набором даних представлених у таблицях 2.18, 2.19, 2.20, то всі перераховані множини будуть перекриватися так, як це показано на рис. 2.20.

Таблиця 2.18 – Координати елементів множини А

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_i$	0,4	0,5	0,475	0,525	0,45	0,55	0,425	0,475	0,525
$y_i$	0,8	0,8	0,775	0,775	0,75	0,75	0,725	0,725	0,725

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_i$	0,4	0,45	0,5	0,55	0,425	0,5	0,45	0,375	0,65
$y_i$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,675	0,675	0,65	0,625	0,7

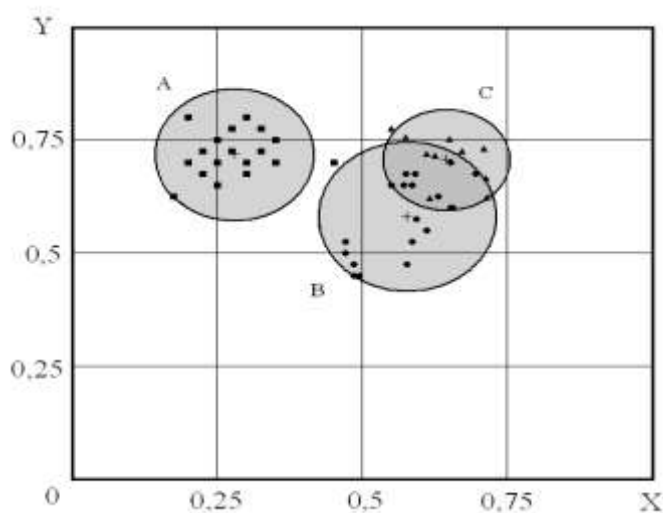


Рисунок 2.15 – Розташування на площині трьох множин, із частковим перекриттям двох з них

Таблиця 2.19 – Координати елементів множини B

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,651	0,575	0,591	0,695	0,55	0,571	0,585	0,63	0,651	0,655
$y_i$	0,7	0,675	0,675	0,675	0,65	0,65	0,65	0,625	0,6	0,6

i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_i$	0,593	0,592	0,61	0,585	0,471	0,471	0,577	0,485	0,493	0,485
$y_i$	0,575	0,575	0,55	0,525	0,525	0,5	0,475	0,475	0,45	0,45

Таблиця 2.20 – Координати елементів множини C

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$	0,55	0,575	0,65	0,625	0,61	0,671	0,71	0,712	0,615	0,715
$y_i$	0,775	0,755	0,751	0,715	0,72	0,725	0,73	0,665	0,621	0,624

Усі значення показників парної близькості будуть у цьому випадку від'ємними:

$$\begin{cases} \eta_{AB} = -0,747 \\ \eta_{AC} = -0,546 \\ \eta_{BC} = -0,835 \end{cases}, \quad (2.15)$$

Таким чином, розроблені показники й відповідна розрахункова програма для оцінки взаємного розташування множин на площині дозволяють визначати очікувані властивості аналізованих багаторівневих виробничих систем.

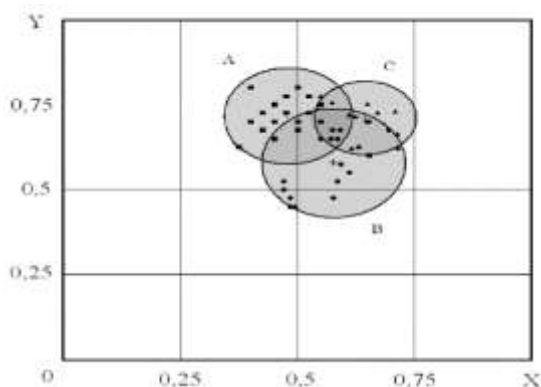


Рисунок 2.16 – Взаємне розташування трьох множин, що перекриваються, на площині

Можливість застосування пропонованого методу структурного аналізу для розв'язки практичних завдань пов'язаних з оцінкою очікуваних властивостей багаторівневих виробничих систем розглядається нижче.

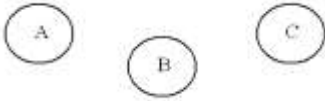

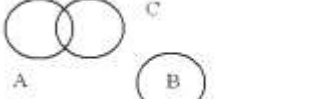

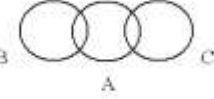
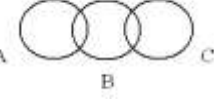
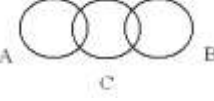

### 2.2.2. Структурний індекс територіальної системи і метод його визначення

Особливості функціонування територіальних виробничих систем тісно пов'язані з їхньою структурою, яка характеризується деякою комбінацією парних показників близькості. При цьому, як було показано раніше, значення окремих показників  $\eta_{AB}$ ,  $\eta_{AC}$ ,  $\eta_{BC}$  можуть бути як позитивними, так і від'ємними.

Це означає, що в загальному випадку існує вісім варіантів комбінацій знаків парних показників близькості, яким можуть бути поставлені у відповідність різні структурні індекси з умовними позначками  $S1, S2, \dots S8$ .

Визначення структурного індексу аналізованої системи, як її найважливішої характеристики в кожному конкретному випадку слід робити відповідно до даних, представлених у табл. 2.21.

Таблиця 2.21 – Структурні характеристики багаторівневих виробничих систем

Умовна позначка структурного індексу системи	Схема взаємного розташування окремих множин на площині	Знаки парних показників близькості		
		$\eta_{AB}$	$\eta_{AC}$	$\eta_{BC}$
S1		+	+	+
S2		-	+	+
S3		+	-	+
S4		+	+	-
S5		-	-	+
S6		-	+	-
S7		+	-	-
S8		-	-	-

У цілому можна затверджувати, що структурний індекс є характеристикою сімейства однотипних виробничих систем із близькими властивостями, а можлива різноманітність спостережуваних на практиці структур описується з використанням

восьми основних варіантів, що відповідають тим або іншим структурним індексам з умовними позначками  $S1, S2, \dots S8$ .

Рішення практичних завдань, пов'язаних з уточненням структури, складу й режимів експлуатації засобів транспорту слід виконувати на основі попередньо встановлюваного структурного індексу.

Таким чином, процедура структурного аналізу виробничої системи пов'язана з необхідністю попереднього визначення її структурного індексу за результатами розрахунків значень парних показників близькості, відповідно до даних, представлених у табл. 2.21

Для кожного структурного індексу в табл. 2.22 наведені дані про можливі варіанти об'єднання множин, що перекриваються, а також інформація з кількості структурних рівнів, відповідних до різних варіантів такого об'єднання.

Тоді, визначення числа структурних рівнів функціонуючої виробничої системи слід робити на основі наступної послідовності дій.

1. Після визначення значень парних показників близькості, з урахуванням їх знаків і з використанням даних табл. 2.21 встановлюється структурний індекс аналізованої системи.

2. У рамках встановленого структурного індексу приймається рішення про те, які з множин, що перекриваються, повинні бути об'єднані, а які слід розглядати, що тільки як частково перекриваються.

Таблиця 2.22 – Структурні індекси систем і відповідні їм варіанти формування структури

Умовна позначка структурного індексу системи	Кількість рівнів виробничої системи при виконанні умов пов'язаних із частковим перекриттям і об'єднанням множин структурних елементів	
S1	три рівні, якщо множини А, В і С не перекриваються	
S2	два рівні при наявності об'єднаної множини А&В	три рівні при частковому перекритті А і В
S3	два рівні при наявності об'єднаної множини А&С	три рівні при частковому перекритті А і С
S4	два рівні при наявності об'єднаної множини В&С	три рівні при частковому перекритті В і С

Продовження таблиці 2.22

Умовна позначка структурного індексу системи	Кількість рівнів виробничої системи при виконанні умов пов'язаних із частковим перекриттям і об'єднанням множин структурних елементів			
S5	один рівень при наявності об'єднаної множини A&B&C	два рівні при наявності об'єднаної множини A&B і частковому перекритті A і C	два рівні при наявності об'єднаної множини A&C і частковому перекритті A і B	три рівні при частковому перекритті A і B, а також A і C
S6	один рівень при наявності об'єднаної множини A&B&C	два рівні при наявності об'єднаної множини A&B і частковому перекритті B і C	два рівні при наявності об'єднаної множини B&C і частковому перекритті A і B	три рівні при частковому перекритті A і B, а також B і C
S7	один рівень при наявності об'єднаної множини A&B&C	два рівні при наявності об'єднаної множини A&C і частковому перекритті C і B	два рівні при наявності об'єднаної множини B&C і частковому перекритті A і C	три рівні при частковому перекритті A і C, а також C і B
S8	один рівень при наявності об'єднаної множини A&B&C			

3. Остаточне рішення по визначенню кількості структурних рівнів аналізованої системи приймається після виконання процедури об'єднання множин, що перекриваються, відповідно до даних, представлених у табл. 2.22.

Відзначимо, що в процесі розв'язки завдання визначення числа структурних рівнів системи, виникає необхідність розробки критеріїв і правил прийняття рішень, пов'язаних з можливим об'єднанням на площині  $Y0X$  множин, що частково перекриваються.

Розглянемо цю процедуру докладніше. Припустимо, що дві множини  $W$  і  $V$  з діаметрами  $D_W$  і  $D_V$  частково перекриваються. При цьому  $D_W > D_V$ , а величина їх перекриття  $Z > 0$  (рис. 2.17).

Визначимо коефіцієнти  $K_1$  і  $K_2$ , як безрозмірні відносні величини:

$$K_1 = \frac{D_V}{D_W} \quad , \quad (2.16)$$

$$K_2 = \frac{Z}{D_V} = 0,5 + \frac{D_W - 2D_{WV}}{2D_V} \quad , \quad (2.17)$$

Величина  $Z$  часткового перекриття множин (рис. 2.17):

$$Z = \frac{D_W + D_V}{2} - D_{WV} \quad , \quad (2.18)$$

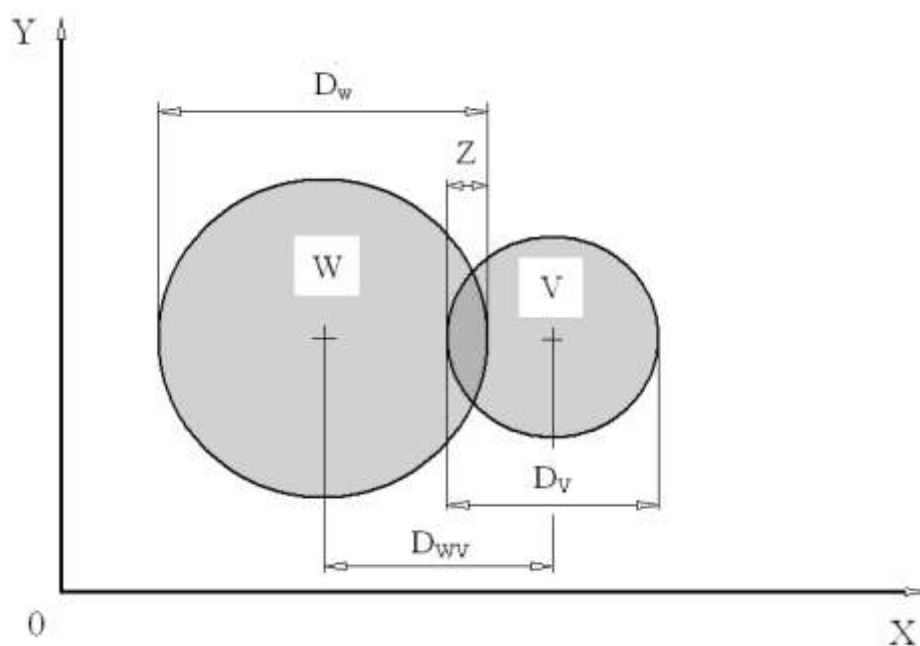


Рисунок 2.17 – Взаємне розташування на площині двох множин, що частково перекриваються,  $W$  і  $V$

Оскільки  $D_W > D_V$ , те коефіцієнт  $0 < K_1 < 1$ . Якщо значення  $0 < K_1 < 0,25$ , то через відносно невеликий діаметр множини  $V$  незалежно від величини перекриття  $Z$  можна вважати, що елементи множини  $V$  являє собою «викид», який слід включити до складу основної множини  $W$ .

Аналізуючи можливу зміну коефіцієнта  $K_2$  зі збільшенням перекриття  $Z$ , слід зазначити, що при виконанні умови  $K_2 > 0,5$  центроїд множини  $V$  попадає в границі множини  $W$  обумовлені окружністю діаметром  $D_W$ .

Із цієї причини виконання нерівності  $K_2 > 0,5$  розглядається надалі як достатня підстава для об'єднання множин, що частково перекриваються,  $W$  і  $V$ .

Графічне представлення розробленого алгоритму об'єднання множин, що перекриваються, показано на рис. 2.18. Для області  $\Omega_1$  значень коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$  множини, що частково перекриваються,  $W$  і  $V$  слід розглядати як існуючі роздільно із частковим «перемішуванням» окремих елементів.

Для області  $\Omega_2$  значень коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$  слід уважати доцільним об'єднання множин  $W$  і  $V$  внаслідок значного перекриття й «перемішування» їх елементів.

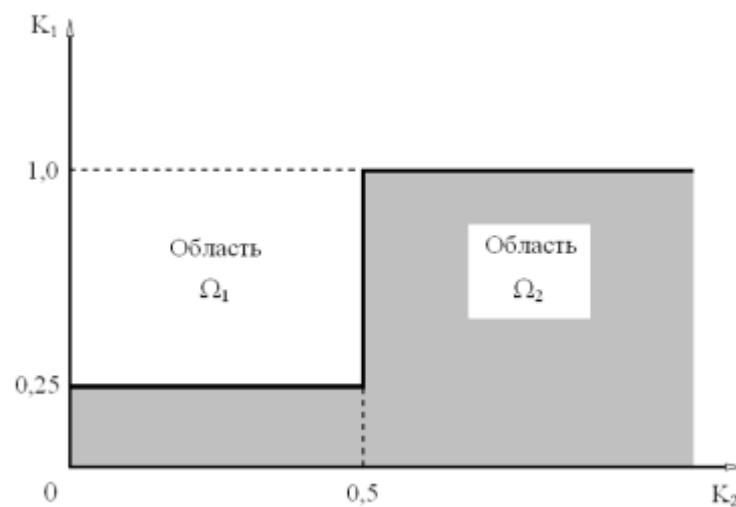


Рисунок 2.18 – Области  $\Omega_1$  й  $\Omega_2$  значень коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$ , для яких приймаються альтернативні рішення по об'єднанню множин, що перекриваються

Таким чином, розроблено метод встановлення числа структурних рівнів міжрегіональної виробничої системи заснований на попередньому визначенні структурного індексу системи з наступним прийняттям рішень по об'єднанню множин, що перекриваються, при їхній наявності.

Використовуючи розроблений метод структурного аналізу відносно системи представленої на рис. 2.1 можна показати, що незважаючи на часткове перекриття множин А і В (рис. 2.19), об'єднувати їх не слід, оскільки в цьому випадку:  $K_1 = 0,70$  і  $K_2 = 0,34$ .

Результати виконаних розрахунків дозволяють зробити висновок, що показана на рис. 2.1 система характеризується наступним набором параметрів:  $D_{AB} = 0,341$ ,  $D_{AC} = 0,918$ ,  $D_{BC} = 0,73$ ,  $D_A = 0,391$ ,  $D_B = 0,56$ ,  $D_C = 0,752$ ,  $\eta_{AB} = -0,393$ ,  $\eta_{AC} = 0,378$ ,  $\eta_{BC} = 0,101$  і її слід розглядати як трирівневу, зі структурним індексом  $S_2$ .

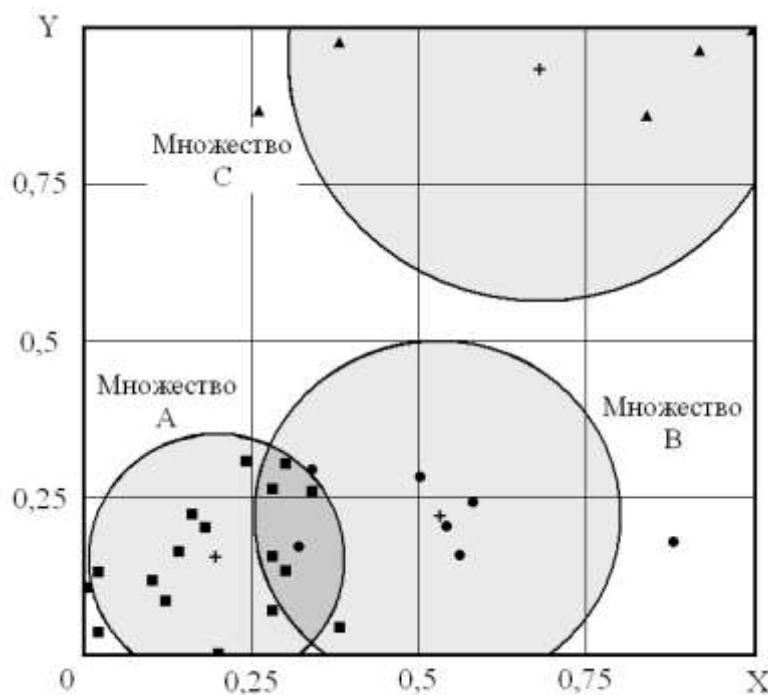


Рисунок 2.19 – Взаємне розташування на площині  $Y0X$  множин А, В, С елементів територіальної виробничої системи

### 2.2.3. Зміни в структурі систем, які виникають при об'єднанні множин, що перекриваються

Територіальні виробничі системи, як було показано раніше, формуються на основі інтеграції структур місцевого й регіонального рівнів з урахуванням необхідності просування вантажних потоків уздовж транспортних коридорів.

Первинними елементами такої системи є транспортні шляхи місцевого рівня, наявність яких забезпечує можливість виконання вантажних перевезень між підприємствами в межах окремих виробничих кластерів.

Так, на рис. 2.20 схематично показано розташування кластерів  $K1$ ,  $K2$  і  $K3$ , а також зазначені відповідні кордони в межах яких виконується основний обсяг транспортної роботи.

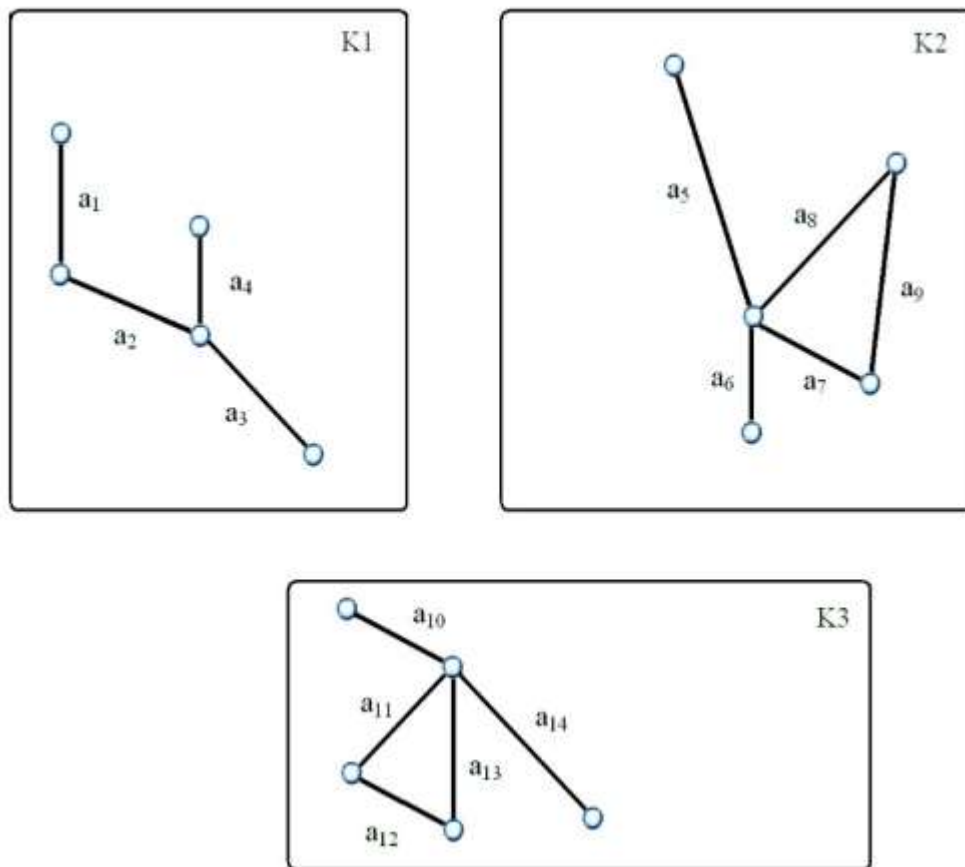


Рисунок 2.20 – Схема території, на якій розташовано три кластери, кожний з яких містить взаємодіючі підприємства

У цьому випадку місцевий рівень виробничої системи формується на базі зазначених кластерів, кожний з яких містить групу взаємодіючих виробничих і складських об'єктів, зв'язаних між собою транспортним сполученням.

Для розглянутого фрагмента території із трьома функціонуючими кластерами загальне число елементів місцевого рівня  $a_i$  буде чотирнадцять ( $i = 1, 2 \dots 14$ ).

Сукупність розглянутих елементів утворює множина  $A$ , що характеризує структуру системи на місцевому рівні. Оскільки процес експлуатації засобів транспорту обумовлений необхідністю взаємодії всіх його видів, то розглянуті кластери  $K1$ ,  $K2$  і  $K3$  повинні бути з'єднані транспортними шляхами, наприклад так, як це показано на рис. 2.21.

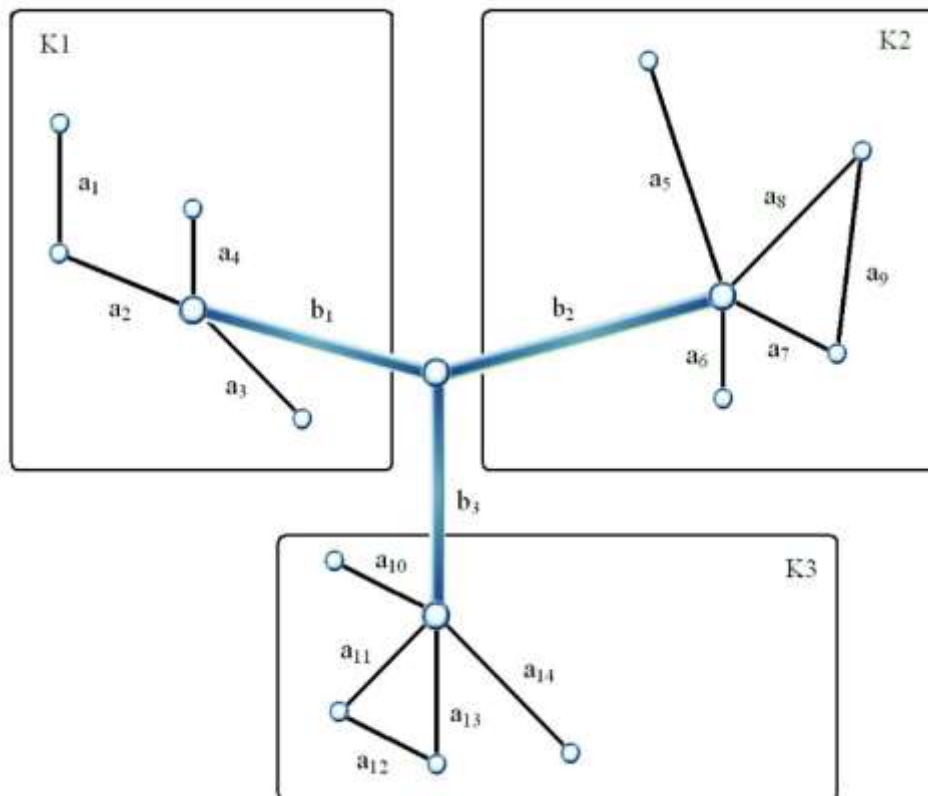


Рисунок 2.21 – Схема території із трьома виробничими кластерами зв'язаними між собою загальною транспортною мережею

Транспортні шляхи  $b_1$ ,  $b_2$ , і  $b_3$ , необхідні для формування регіонального рівня, утворюють множину елементів  $B$  і забезпечують можливість доставки вантажів при взаємодії підприємств, що перебувають у складі різних кластерів.

У цьому випадку виробнича система, яка формується на основі кластерів  $K1$ ,  $K2$  і  $K3$  є дворівневою, а в її складі є 14 елементів місцевого рівня ( $a_1, a_2, \dots, a_{14}$ ) і 3 елемента регіонального рівня ( $b_1, b_2, b_3$ ).

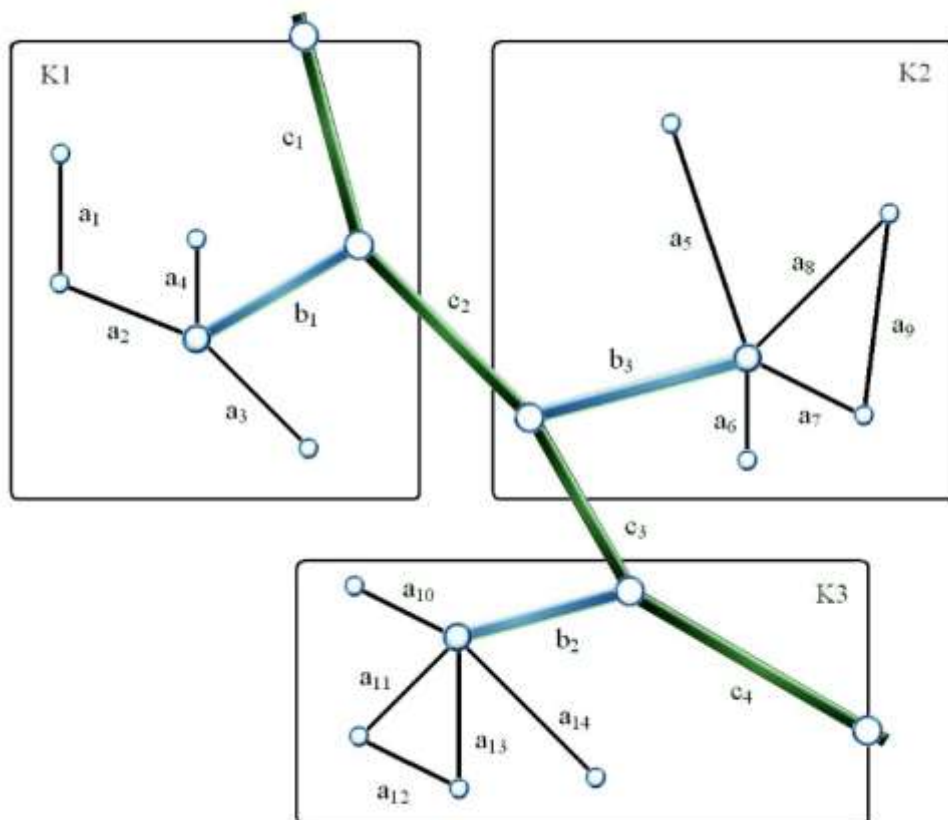


Рисунок 2.22 – Схема тривірневої міжрегіональної виробничої системи

У тому випадку, якщо розглянутий фрагмент виробничої системи повинен забезпечувати проходження транзитних вантажних потоків, то характер з'єднання кластерів може бути іншим, з урахуванням необхідності формування міжрегіонального рівня й відповідного коридору, що забезпечує можливість проходження транзитних вантажів.

Так, на рис. 2.22 показаний фрагмент тривірневої міжрегіональної виробничої системи, яка крім елементів  $a_i$  ( $i=1, 2, \dots, 14$ ) і  $b_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) містить у своєму складі й елементи  $c_i$  ( $i=1, 2, \dots, 4$ ) утворюючі множину  $C$  і які забезпечують можливість формування й функціонування транспортного коридору.

Таким чином, у загальному випадку, міжрегіональна виробнича система характеризується наявністю взаємозалежних елементів  $a_i$ ,  $b_i$  і  $c_i$ , що визначають її властивості на місцевому, регіональному й міжрегіональному рівні. Однак розглянута процедура структурування й визначення приналежності окремих елементів множинам  $A$ ,  $B$  і  $C$  по суті є формальною й відбиває тільки характер

функціонального зв'язку окремих елементів системи без обліку виникаючих на практиці вантажопотоків. Можна в такий спосіб затверджувати, що процес формального об'єднання елементів на основі обліку їх функціонального призначення в системі слід розглядати лише як перший етап структурного аналізу, що вимагає подальшого уточнення. Оскільки аналіз властивостей виробничої системи пов'язаний із процедурою можливого об'єднання множин, що перекриваються, на площині  $Y0X$  і наступного уточнення структури, то вивчення спостережуваних трансформацій і реальних наслідків такого об'єднання становить практичний інтерес. Із цієї причини можливі результати й наслідки зазначеного об'єднання множин повинні бути розглянуті на конкретних прикладах докладніше.

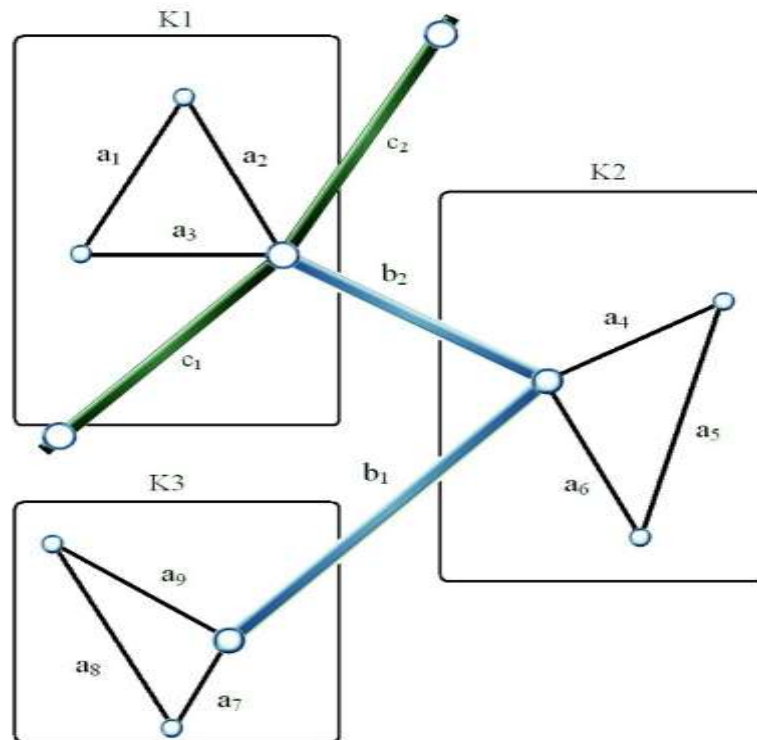
### **Зміни в структурі виробничих систем, які виникають при утворі об'єднаної множини A&B**

Припустимо, що множини A і B на площині  $Y0X$  перекриваються, а наслідком такого перекриття є необхідність їх об'єднання.

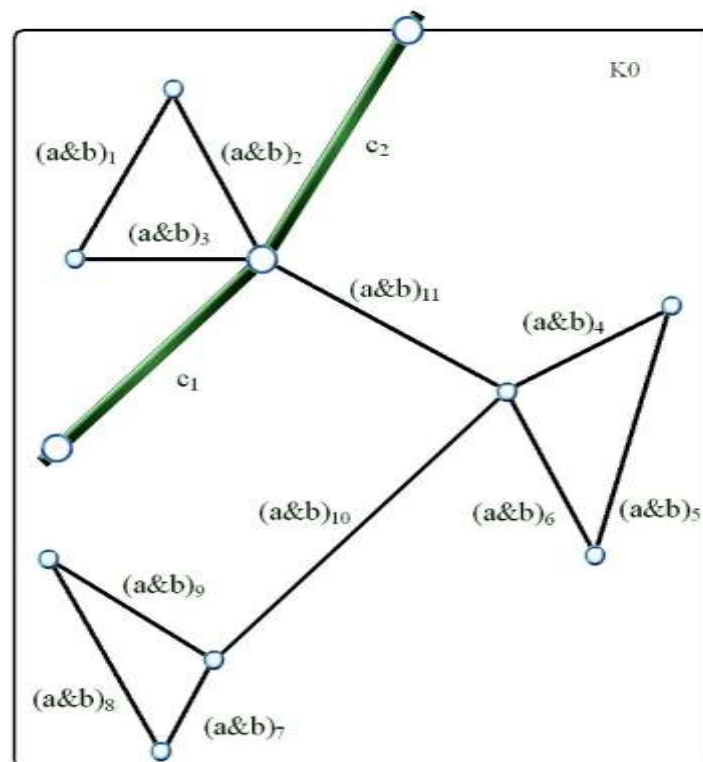
Тоді структура системи буде характеризуватися наявністю об'єднаної множини A&B з відповідним набором елементів  $(a \& b)_i$ , при їхній загальній кількості:  $i = N_A + N_B$ . При цьому розглянутий процес об'єднання буде пов'язаний із включенням до складу множини A&B елементів, що раніше належали місцевому й регіональному рівням, що буде супроводжуватися формуванням дворівневої системи.

Так, наявність зазначених особливостей у системі, показаної на рис. 2.23а приводить до того, що множини A&B реально відповідає об'єднаний кластер  $K0$  з новими межами й складовими його структурних елементів (рис. 2.23б).

Таким чином, результат об'єднання множин A і B у реальних умовах буде пов'язаний з утворенням нового кластера. При цьому подібного роду трансформація може спостерігатися для систем зі структурними індексами S2, S5, S6 і S8 (табл. 2.22).



a)



б)

Рисунок 2.23 – Схема виробничої системи до процедури об'єднання кластерів  $K1, K2, K3$  (а) і після їхнього об'єднання в кластер  $K0$  (б)

## **Зміни в структурі виробничих систем, які виникають при утворенні об'єднаної множини A&C**

Розглянемо наслідок можливого об'єднання на площині  $Y0X$  множин  $A$  і  $C$ , а також ті зміни в структурі системи, які супроводжують такого роду процес на конкретному прикладі.

Припустимо, що особливості функціонування виробничої системи, показаної на рис. 2.24а дозволяють об'єднати множини  $A$  і  $C$ , що перекриваються, із подальшим утворенням нової множини  $A&C$ . Структура такої системи з елементами  $b_1, b_2$  і  $(a\&c)_1, (a\&c)_2, \dots (a\&c)_{14}$  показана на рис. 2.24б.

Видно, що в цьому випадку елементи формально виконуючі роль структурних складових транзитного коридору і виявляються включеними до складу кластерів  $K1, K2$  і  $K3$ . При цьому число структурних рівнів системи після виконання зазначеної трансформації буде рівно двом.

Подібного роду ситуації виникають у тих випадках, коли обсяги транзитних вантажопотоків уздовж коридорів невеликі, і в цілому порівняні з обсягами перевезень між окремими елементами кластерів на місцевому рівні. Це означає, що на місцевому рівні процедура об'єднання множин  $A$  і  $C$  буде пов'язана із включенням до складу діючих кластерів нових структурних елементів.

Не складно показати, що подібного роду трансформація обумовлена уточненням структури й функцій окремих елементів, виявляється можливою для виробничих систем, які характеризуються структурними індексами  $S3, S5, S7$  і  $S8$  (табл. 2.22).

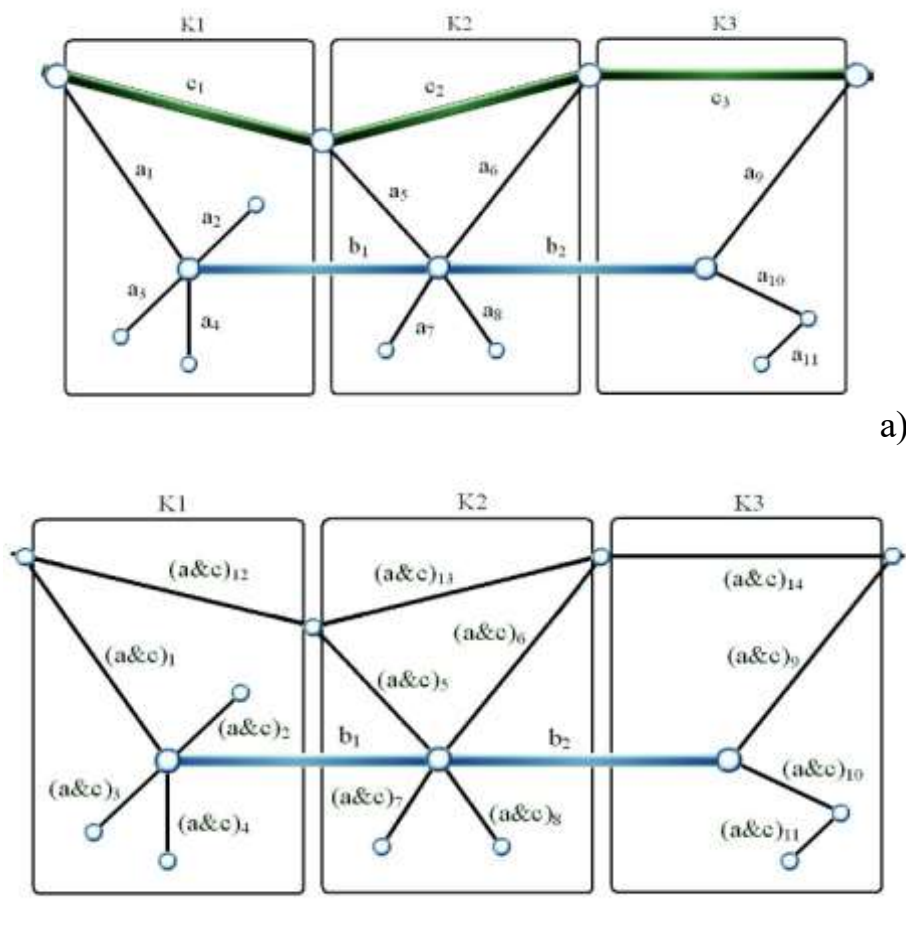


Рисунок 2.24 – Схема виробничої системи до (а) і після процедури об'єднання множин А і С (б)

### 2.3. Метод структурного аналізу територіальних систем і послідовність його реалізації

Розроблений у п. 2.2 метод структурного аналізу пов'язаний з необхідністю послідовного здійснення наступних етапів.

1. На базі наявної схеми й відомого характеру взаємодії окремих елементів у можливій формі встановлюється склад місцевого, регіонального й міжрегіонального рівня аналізованої територіальної виробничої системи.

2. З урахуванням існуючих обсягів перевезень, а також характеристик транспортних шляхів проводиться уточнення структури системи. Для цього обчислюються показники парної близькості, визначається структурний індекс, а

також оцінюється необхідність об'єднання множин, що перекриваються на площині  $YOX$ , при наявності такого перекриття.

3. Після здійснення всіх процедур пов'язаних з уточненням складу окремих структурних рівнів, встановлюється їхня загальна кількість.

Подальше рішення типових завдань, перерахованих у табл. 2.1 пов'язане з наступним плануванням і реалізацією конкретних заходів відносно окремих елементів системи на кожному структурному рівні.

Розглянемо можливість застосування зазначеної послідовності дій при рішенні конкретного практичного завдання.

Припустимо, структура міжрегіональної транспортної мережі характеризується формальною схемою, показаною на рис. 2.25. При побудові такого роду схеми враховувався характер існуючих взаємозв'язків між елементами кластерів  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ , а також шляхи які зв'язують вузли цих кластерів і наявність коридору із транзитним рухом.

Визначення числа структурних рівнів і уточнення їх складу в рамках розглянутої формальної схеми вимагає обліку кількісних характеристик функціонуючої системи, таких як реальна довжина окремих ділянок (транспортних шляхів) а також фактичні значення вантажопотоків, які визначаються для заданого проміжку часу.

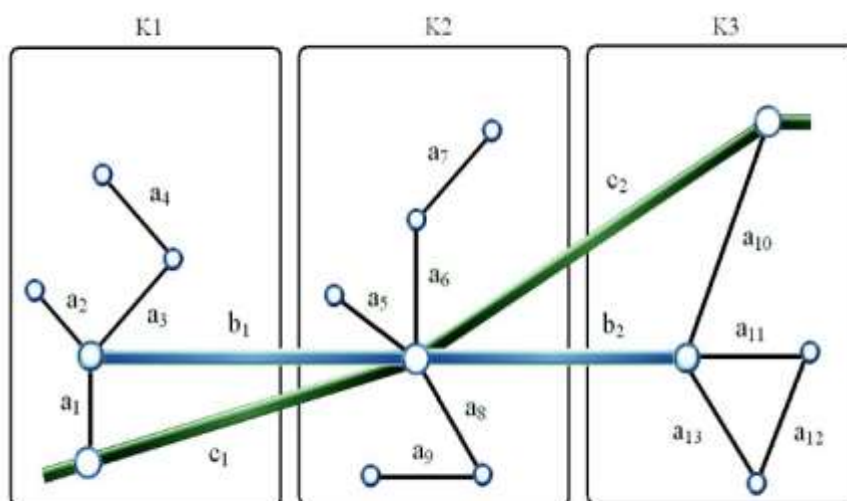


Рисунок 2.25 – Схема виробничої системи, побудованої з урахуванням функціонального призначення окремих структурних елементів

Безрозмірні характеристики елементів аналізованої виробничої системи показані в табл. 2.23 і використовуються надалі при відображенні на площині  $Y0X$  точкових елементів, що належать множинам А, В і С.

Таблиця 2.23 – Характеристики елементів територіальної виробничої системи

Позначення окремих множин і їхніх елементів	Характеристики елементів виробничої системи		
	Рівень системи й порядковий номер елемента, $i$	Безрозмірні координати елементів множини на площині $Y0X$	
		$x_i$	$y_i$
А	<i>місцевий</i>	$x_i^A$	$y_i^A$
$a_1$	1	0,38	0,69
$a_2$	2	0	0,42
$a_3$	3	0,41	0
$a_4$	4	0,53	0
$a_5$	5	0,62	0,32
$a_6$	6	0,35	0,37
$a_7$	7	0,45	0,47
$a_8$	8	0,6	0,63
$a_9$	9	0,7	0,36
$a_{10}$	10	0,7	0,48
$a_{11}$	11	1	0,58
$a_{12}$	12	0,81	1
$a_{13}$	13	0,18	0,63
В	<i>регіональний</i>	$x_i^B$	$y_i^B$
$b_1$	1	0,37	0,57
$b_2$	2	0,74	0,39
С	<i>міжрегіональний</i>	$x_i^C$	$y_i^C$
$c_1$	1	0,4	0,41
$c_2$	2	0,81	0,61

Графічне відображення окремих точкових елементів і меж перерахованих множин показано на рис. 2.26 і дозволяє зробити попередній висновок про те, що система, можливо, є однорівневою.

Для перевірки такого роду гіпотези з використанням розробленої комп'ютерної програми встановлені наступні характеристики системи й розрахункові показники:  $D_{AB}=0,043$ ,  $D_{AC}=0,102$ ,  $D_{BC}=0,058$ ,  $D_A=1,077$ ,  $D_B=0,411$ ,  $D_C=0,456$ ,  $\eta_{AB}=-16,122$ ,  $\eta_{AC}=-6,532$ ,  $\eta_{BC}=-6,44$ .

Від'ємні значення парних показників близькості дозволяють укласти, що всі три множини А, В і С перекриваються на площині Y0X. Крім того, нескладно показати, що уточнення структури аналізованої системи пов'язане з необхідністю послідовного об'єднання всіх перерахованих множин.

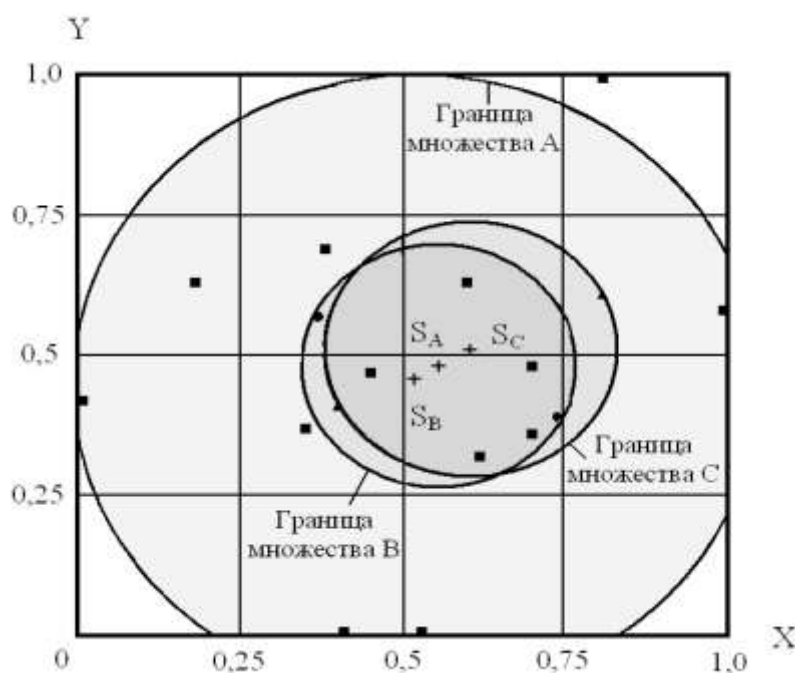


Рисунок 2.26 – Взаємне розташування на площині Y0X точкових елементів приналежних множинам А, В і С

Для цього слід об'єднати множини В і С відповідно до методики, викладеної в п. 2.2.2 з утворенням множини В&С, і далі об'єднати цю множину із множиною А. Результат такого поетапного об'єднання множин і уточнення структури вихідної виробничої системи показано на рис. 2.27.

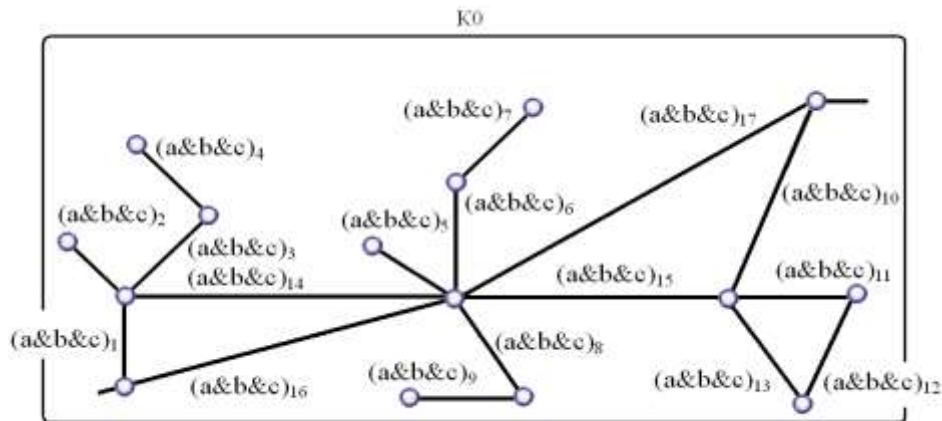


Рисунок 2.27 – Схема однорівневої виробничої системи, побудованої з урахуванням результатів об'єднання множин елементів А, В і С

Видно, що утворення множини  $A \& B \& C$  супроводжується об'єднанням кластерів  $K1, K2, K3$ , і формуванням нового кластера  $K0$  (рис. 2.27).

Причиною такого роду трансформації вихідної структури системи заснованої на формальних ознаках є та обставина, що обсяги перевезень між окремими точковими елементами, а також транспортні шляхи на різних рівнях, приблизно обумовлених як місцевий, регіональний і міжрегіональний виявляються близькі між собою.

Таким чином, у результаті проведеного аналізу встановлено, що аналізована система фактично є однорівневою зі структурним індексом  $S8$ .

Це означає, що до всіх транспортних ділянок, як елементів системи повинні пред'являтися однакові вимоги, пов'язані з організацією ефективного просування вантажних потоків. Якщо ж розглядати перспективи подальшого розвитку, як самої системи, так і оснащення її відповідними інфраструктурними об'єктами, то при такій постановці завдання всі елементи, що належать одному структурному рівню, виявляються в рівних умовах. Подібного роду інформація виявляється досить цінною й може бути використана при плануванні й проведенні робіт пов'язаних з реконструкцією і відновленням складу діючих територіальних виробничих систем.

## **2.4. Використання результатів структурного аналізу для вирішення практичних завдань**

Ефективне функціонування територіальних виробничих систем пов'язано з необхідністю періодичного обслуговування і підтримки в працездатному стані, як наявних транспортних шляхів, так і відповідних елементів інфраструктури.

Рішення такого роду завдань можливо за рахунок цільового планування, контролю та ефективного використання наявних ресурсів [145,146]. При цьому раціональний розподіл фінансових коштів у рамках єдиної виробничої системи є актуальною проблемою, рішення якої досягається звичайно на базі різного роду погоджень і компромісів.

Відповідно до встановленої практики фінансові ресурси, що направляються на утримання або капітальний ремонт розподіляються цільовим чином по окремих ділянках і об'єктах з урахуванням конкретного обсягу і складу планованих робіт.

У загальному випадку обсяги виділюваних засобів і характер їх розподілу залежать від структури, складу територіальної системи, а також від експлуатаційних характеристик окремих транспортних шляхів.

### **Приклад практичного використання розробленого методу структурного аналізу**

Припустимо, аналізована територіальна виробнича система характеризується наявністю сукупності автодорожніх шляхів, що забезпечують можливість виконання вантажних перевезень. Потрібно визначити обсяги фінансування по утриманню протягом одного календарного року всіх автодоріг і забезпечити раціональний розподіл фінансових ресурсів по окремих ділянках функціонуючої транспортної мережі.

Оскільки плановані витрати на утримання автодоріг залежать насамперед від їхнього загального стану й експлуатаційних характеристик, то питання про класифікацію окремих елементів територіальних виробничих систем набуває важливе практичне значення.

Так, дані по класифікації автомобільних доріг у відповідності вимогами держстандарту Р 52398-2005 наведені в табл. 2.24.

Видно, що категорія автомобільної дороги визначається, насамперед, кількістю й шириною смуг руху. При цьому залежність категорії автодороги від інтенсивності руху транспорту відсутня.

У той же час СНІП 2.05.02-08 розділяє автомобільні дороги на п'ять категорій, залежно від інтенсивності руху транспортних засобів (табл. 2.25).

При розрахунках інтенсивності руху коефіцієнти зведення різних транспортних засобів до легкового автомобіля слід приймати відповідно до рекомендацій [68], представленими в табл. 2.26

Розрахункова величина інтенсивності руху визначається як сума у двох протилежних напрямках в умовних одиницях, зведених до легкового автомобіля. Значення коефіцієнтів зведення для вантажних автомобілів і автопоїздів при наявності пересіченої й гірської місцевості слід збільшити в 1, 2 рази.

Таблиця 2.24 – Класифікація автомобільних доріг загального використання [147]

Клас автомобільної дороги	Категорія автомобільної дороги	Загальна кількість смуг руху	Ширина смуги руху, м	Центральна роздільна смуга
Автомагістраль	ІА	4 і більш	3,75	Обов'язкова
Швидкісна дорога	ІБ	4 і більш	3,75	
	ІВ	4 і більш	3,75	
Дорога звичайного типу (не швидкісна дорога)	ІІ	4	3,5	Допускається відсутність
		2 або 3	3,75	Не потрібно
	ІІІ	2	3,5	
	ІV	2	3,0	
	V	1	4.5 і більш	

Таблиця 2.25 – Класифікація автомобільних доріг залежно від інтенсивності руху транспортних засобів [148]

Категорія дороги	Розрахункова інтенсивність руху, наведена до легкового автомобіля, прив. ед. / доба	Функціональне призначення в мережі доріг		
IA	св. 14000	Державні	Регіональні або міжмуніципальні	Місцеві
IB	св. 14000			
IV, II	св. 6000			
III	св. 2000 до 6000			
IV	св. 200 до 2000			
V	до 200			

Для автобусів і спеціальних автомобілів коефіцієнти приведення рекомендується приймати як для базових автомобілів відповідної вантажопідйомності.

Таблиця 2.26 – Рекомендовані значення коефіцієнтів приведення

Типи транспортних засобів	Коефіцієнт приведення
Легкові автомобілі	1
Мотоцикли з коляскою	0,75
Мотоцикли й мопеди	0,5
Вантажні автомобілі, вантажопідйомністю, т:	
2	1,5
6	2
8	2,5
14	3
більше 14	3,5
Автопоїзда, вантажопідйомністю, т:	
12	3,5
20	4
30	5
більше 30	6

Крім того, у документі [148] приводяться розрахункові швидкості руху автотранспортних засобів, що досягаються на дорогах, які відносяться до різних категорій (табл. 2.27).

Таким чином нормативні документи, що існують, встановлюють зв'язок категорії автомобільної дороги й розрахункових швидкісних режимів, насамперед, з інтенсивністю руху транспортних засобів.

Таблиця 2.27 – Розрахункові швидкості руху транспортних засобів

Категорія дороги	Розрахункові швидкості, км/година		
	Основні	місцевості, що допускаються на важких ділянках	
		Пересіченої	Гірської
IA	140	120	80
IB	120	100	60
IV	100	80	60
II	120	100	60
III	100	80	50
IV	80	60	40
V	60	40	30

Розглянемо в цьому зв'язку конкретне практичне завдання. Припустимо, територіальна виробнича система характеризується сукупністю взаємозалежних елементів, перелік яких приводиться в табл. 2.28. Тут же представлені й результати структурного аналізу, тобто указана приналежність окремих лінійних елементів (ділянок транспортної мережі) до того або іншому структурного рівня.

Видно, що в складі окремих структурних рівнів перебувають ділянки транспортної мережі, що характеризуються приналежністю автодоріг до різних категорій. Так, серед елементів місцевого рівня територіальної системи (12 позицій для множини А\*) до автодоріг III категорії відносяться 2 позиції, а до IV категорії 10 позицій відповідно.

Для регіонального рівня системи половина автодоріг відносяться до II, а половина до III категорії.

Класифікація елементів автодорожньої транспортної мережі на основі категорій, як ми вже відзначали раніше, здійснюється для планування розподілу витрат на їхнє утримання звичайно протягом одного календарного року. При цьому

існує ряд нормативних документів і методик розрахунків витрат по утриманню автомобільних доріг, їх поточному обслуговуванню й ремонту, капітальному ремонту й т.п. [84,150].

Таблиця 2.28 – Результати структурного аналізу територіальної виробничої системи

Позначення множин і окремих елементів у їхньому складі	Довжи на ділянки, км	Величина загального вантажопотоку, т / діб	Розрахунки інтенсивності руху, прив. ед. /діб	Категорія дороги за ДСТ 52398 - 2005	Середнє значення вантажопотоку для відповідного рівня, т / діб
$A^*$	$la_i^*$	$qa_i^*$	Місцевий рівень		
$a_1^*$	28	3200	1882	IV	$\bar{q}_A = 2818$
$a_2^*$	33	3050	1870	IV	
$a_3^*$	12	4220	3560	III	
$a_4^*$	21	3940	3310	III	
$a_5^*$	16	1680	1480	IV	
$a_6^*$	27	2110	1520	IV	
$a_7^*$	21	2010	1550	IV	
$a_8^*$	18	2205	1845	IV	
$a_9^*$	36	2560	1860	IV	
$a_{10}^*$	24	3110	1910	IV	
$a_{11}^*$	30	3510	1930	IV	
$a_{12}^*$	20	2225	1495	IV	
$B^*$	$l^B_i$	$q^B_i$	Регіональний рівень		
$b_1^*$	66	6220	5210	III	$\bar{q}_B = 7441$
$b_2^*$	72	7460	5460	III	
$b_3^*$	68	7820	7200	II	
$b_4^*$	77	8265	7440	II	
$C^*$	$l^C_i$	$q^C_i$	Міжрегіональний рівень		

Продовження таблиці 2.28

$c_1^*$	93	16050	11900	II	$\bar{q}_c = 16580$
$c_2^*$	92	17640	12160	II	
$c_3^*$	98	19650	12280	II	
$c_4^*$	112	15250	11960	II	
$c_5^*$	87	14310	9400	II	

Річна потреба у фінансуванні комплексу робіт із утримання автодоріг визначається з урахуванням розподілу витрат по видах планованих робіт і категоріям автодоріг. Для цих цілей можливе застосування комплексу АКСАД і інших програмних продуктів.

В основу розрахункової методики можуть бути покладені витратні нормативи по утриманню протягом одного календарного року ділянки автодороги V технічної категорії довжиною 1 км у розмірі  $\xi = 206,086$  тис. грн / км рік ( з урахуванням зимового утримання в розмірі 102,025 тис грн / км рік і літнього утримання в розмірі 104,056 тис грн / км рік).

Для різних держав, умов і технологій розмір цих витрат буде інший.

Оцінку витрат з використанням ресурсного методу, що встановлює диференціацію вартості робіт залежно від категорії автодороги рекомендується виконувати на основі даних табл. 2.29.

Таблиця 2.29 – Коефіцієнти, що враховують диференціацію вартості робіт з капітального ремонту, ремонту й утриманню автомобільних доріг

Вид роботи	Технічна категорія дороги			
	II	III	IV	V
Зміст автодоріг	4,10	2,35	1,40	1
Ремонт автодоріг з удосконаленням типом покриття	1,52	1,46	1,37	1
Ремонт автодоріг з перехідним типом покриття	-	-	1,37	1
Капітальний ремонт автодоріг	1.82	1,66	1,46	1

Наведені в таблиці коефіцієнти приведення показують, у скільки раз вартість робіт із утримання й капітальному ремонту автодоріг установленої категорії перевищує аналогічні витрати для доріг п'ятої категорії.

Тоді сумарна річна потреба у фінансуванні комплексу робіт із утримання автодоріг у складі розглянутої територіальної виробничої системи  $Z$  визначається так:

$$Z = \xi \cdot \{ 4,1 \cdot L_{II} + 2,35 \cdot L_{III} + 1,4 \cdot L_{IV} \} \quad , \quad (2.19)$$

де:  $L_{II}$ ,  $L_{III}$ ,  $L_{IV}$  – значення загальної довжини автодоріг другої, третьої й четвертої категорій відповідно (табл. 2.30).

Планований обсяг витрат на утримання територіальної виробничої системи протягом одного календарного року складе:

$$Z = 206081 \cdot (4,1 \cdot 6,27 + 2,35 \cdot 171 + 1,4 \cdot 253) = 685579967 \text{ грн / рік}$$

Дані по розподілу зазначених коштів між окремими ділянками транспортної мережі по базовому варіанту, з урахуванням їх фактичної довжини наведені в табл. 2.31.

Таблиця 2.30 – Характеристики довжини автодоріг територіальної виробничої системи

Категорія дороги	Загальна довжина доріг відповідної категорії, км	Приналежність ділянки до множини елементів відповідного рівня системи	Загальна довжина доріг на відповідному структурному рівні, км
II	627	A* (місцевий рівень)	286
III	171	B* (регіональний рівень)	283
IV	253	C* (міжрегіональний рівень)	482
Разом	1051		1051

Таблиця 2.31 – Розподіл витрат на утримання елементів виробничої системи

Позначення множин і окремих елементів у їхньому складі	Коефіцієнти приведення		Розрахункові витрати, тис грн / рік	
	для базового методу розрахунків	для запропонованого методу розрахунків	Базовий варіант розподілу	Пропонований варіант розподілу
<b>A*</b>	<b>Місцевий рівень</b>			
$a_1^*$	1,4	1	8078,375	4963,756
$a_2^*$	1,4	1	9520,942	5850,141
$a_3^*$	2,35	1	5811,484	2127,324
$a_4^*$	2,35	1	10170,097	3722,817
$a_5^*$	1,4	1	4616,214	2836,432
$a_6^*$	1,4	1	7789,861	4786,479
$a_7^*$	1,4	1	6058,781	3722,817
$a_8^*$	1,4	1	5193,241	3190,986
$a_9^*$	1,4	1	10386,482	6381,972
$a_{10}^*$	1,4	1	6924,321	4254,648
$a_{11}^*$	1,4	1	8655,402	5318,310
$a_{12}^*$	1,4	1	5770,268	3545,540
<b>B*</b>	<b>Регіональний рівень</b>			
$b_1^*$	2,35	2,64	31963,163	30888,744
$b_2^*$	2,35	2,64	34868,905	33696,812
$b_3^*$	4,1	2,64	57455,382	31824,767
$b_4^*$	4,1	2,64	65059,771	36036,868
<b>C*</b>	<b>Міжрегіональний рівень</b>			
$c_1^*$	4,1	5,88	78578,685	96942,154
$c_2^*$	4,1	5,88	77733,753	95899,765
$c_3^*$	4,1	5,88	82803,345	102154,098
$c_4^*$	4,1	5,88	94632,395	116747,541
$c_5^*$	4,1	5,88	73509,092	90687,822

Відзначимо, що розглянутий базовий варіант розподілу витрат враховує лише інтенсивність руху транспортних засобів у масштабі аналізованої системи. У той же час основний механічний вплив на дорожнє полотно й в остаточному підсумку на стан дороги впливають вантажні транспортні засоби, які забезпечують необхідні обсяги вантажних перевезень, що повною мірою не враховується існуючими розрахунковими методиками.

Із цієї причини представляється доцільним використання результатів виконаного структурного аналізу для розподілу витрат на утримання автодоріг з урахуванням реально існуючих вантажопотоків у рамках аналізованої територіальної виробничої системи.

Приймаючи загальний рівень витрат незмінним, на рівні  $Z = 685579,967$  тис грн / рік, виконаємо перерозподіл коштів на кожному з рівнів системи, забезпечивши при цьому їх пропорційність середній величині вантажопотоків спостережуваних на відповідному рівні.

Так, необхідні для виконання розрахунків середні значення вантажопотоків  $\bar{q}_A$ ,  $\bar{q}_B$  і  $\bar{q}_C$ , що характеризують обсяги перевезень на кожному зі структурних рівнів системи наведені в табл. 2.28.

Розрахункові значення коефіцієнтів приведення обумовлених відповідно до пропонованого методу витрат на утримання окремих ділянок виробничої системи з урахуванням їх приналежності до того або іншого структурного рівня наведені в табл. 2.32.

Таблиця 2.32 – Коефіцієнти приведення по обсягах перевезень для різних рівнів територіальної виробничої системи

Рівень виробничої системи	Місцевий	Регіональний	Міжрегіональний
Значення коефіцієнта приведення	1	2,64	5,88

Тоді для розглянутої трирівневої територіальної виробничої системи загальний рівень витрат складе:

$$Z = \chi \cdot (1 \cdot 286 + 2,64 \cdot 283 + 5,88 \cdot 482) = 685579967 \text{ грн / рік.}$$

Витрати на утримання протягом календарного року одного кілометра дороги, що належить місцевому рівню:

$$\chi = 177277 \text{ грн / км} \cdot \text{рік.}$$

Порівняння отриманих даних по витратах для базового й пропонованого варіанта розподілу фінансових ресурсів (табл. 2.31) дозволяє зробити висновок, що відповідно до пропонованої схеми має місце перерозподіл коштів у бік збільшення витрат на підтримку в працездатному стані насамперед елементів міжрегіонального рівня виробничої системи. Пояснюється це тим, що середні обсяги вантажних перевезень на міжрегіональному рівні перевищують середні обсяги перевезень на регіональному в 2,64 рази, і середні обсяги перевезень на місцевому рівні в 5,88 раз.

Таким чином, пропонований метод розподілу фінансових витрат на підтримку в працездатному стані окремих елементів територіальної виробничої системи, що базується на результатах структурного аналізу, виявляється більшою мірою орієнтований на вріхування реально спостережуваних обсягів вантажних перевезень, які здійснюються в рамках усієї системи.

## **Висновки до розділу 2**

1. Проведено структурний аналіз і особливості функціонування складних виробничих систем, де визначено склад територіальної виробничої системи, перелік типових завдань, виникаючих при формуванні та організації функціонування територіальних виробничих систем.

2. Проведено структурний аналіз територіальних систем на прикладі взаємодіючих кластерів  $K$ , що дозволило визначити характеристики територіальної виробничої системи на окремих рівнях, а саме на місцевому, регіональному та міжрегіональному, чим дало можливість дослідити структурні характеристики багаторівневих систем та виявити характеристики взаємного розташування множин та структурні характеристики багаторівневих виробничих систем у вигляді таблиці.

3. Розроблений метод формування мережної структури й структурного аналізу територіальних виробничих систем, заснований на логістичних принципах, що дозволяє визначати кількісний склад і характеристики їх окремих рівнів. При цьому доведено, що властивості виробничих систем тісно пов'язані з їхньою структурою, яка відповідно до розробленої класифікації характеризується набором структурних індексів  $S_1, S_2, \dots, S_8$ , а системи з однаковими, індексами й однаковим числом рівнем є структурно-подібними.

4. На основі аналізу і особливостей функціонування та експлуатації засобів транспорту різних видів розроблено математичні моделі та методи побудови та переформування складних виробничих систем з використанням їх структурного індексу, що дозволяє визначити кількість структурних рівнів системи яка розглядається;

5. Використання результатів структурного аналізу систем дозволяє вирішити завдання раціонального розподілу ресурсів на утримання, поточний і капітальний ремонт окремих транспортних шляхів і інфраструктурних елементів у рамках усієї виробничої системи. Показано, що облік структурних особливостей системи й прив'язка рівня експлуатаційних витрат на підтримку транспортних шляхів у працездатному стані з урахуванням спостережуваних обсягів перевезень суттєво впливає на характер розподілу фінансових коштів. При цьому в порівнянні з використанням ресурсного методу, витрати на утримання окремих елементів можуть відрізнятись в 1,4- 2,35 рази.

### Розділ 3.

## Структурно-параметричний синтез і оптимізація функціонування засобів транспорту в багаторівневих системах

Відомі методи синтезу логістичних виробничих систем [69–75,79] у ряді випадків не дозволяють вирішувати завдання вибору їх оптимальної структури, що зв'язане як з багатоваріантністю умов, так і зі складністю самої процедури синтезу, яка повинна бути виконана при її рішенні. Крім того, по своїй структурі такі системи виявляються, як правило, багаторівневими, а організація їх ефективного функціонування утруднена у зв'язку з відсутністю відповідних методів і алгоритмів.

### 3.1. Вибір цільових функцій при вирішенні завдання синтезу і оптимізації функціонування засобів транспорту в багаторівневих системах.

Структурний синтез складних технічних систем виконується для пошуку й формування оптимальної структури, що відповідає встановленим принципам, а також визначення проектних вимог до окремих структурних елементів, що забезпечують можливість ефективного рішення завдань, обумовлених цільовим призначенням системи[25].

Особливість структурного синтезу багаторівневих виробничих систем пов'язана з необхідністю виконання ряду послідовних оптимізаційних процедур, починаючи з нижчого структурного рівня й з використанням відповідних цільових функцій [93].

Надалі, при рішенні завдань структурного синтезу будемо вважати, що функціонування багаторівневих систем пов'язане з наявністю наступного ряду експлуатаційних особливостей.

1. Господарська діяльність і взаємодія місцевих підприємств приводять до локалізації виробничих вантажних потоків переважно на місцевому рівні.

2. Вантажні транзитні перевезення здійснюються переважно по транспортним коридорам, які виконують зв'язуючу роль у міжрегіональному сполученні. При цьому транзитними вважаються такі вантажопотоки, які проходять через

міжрегіональні транспортні центри (рис. 3.1), а їх внесок у загальний обсяг перевезень між такими центрами, виявляється визначальним.

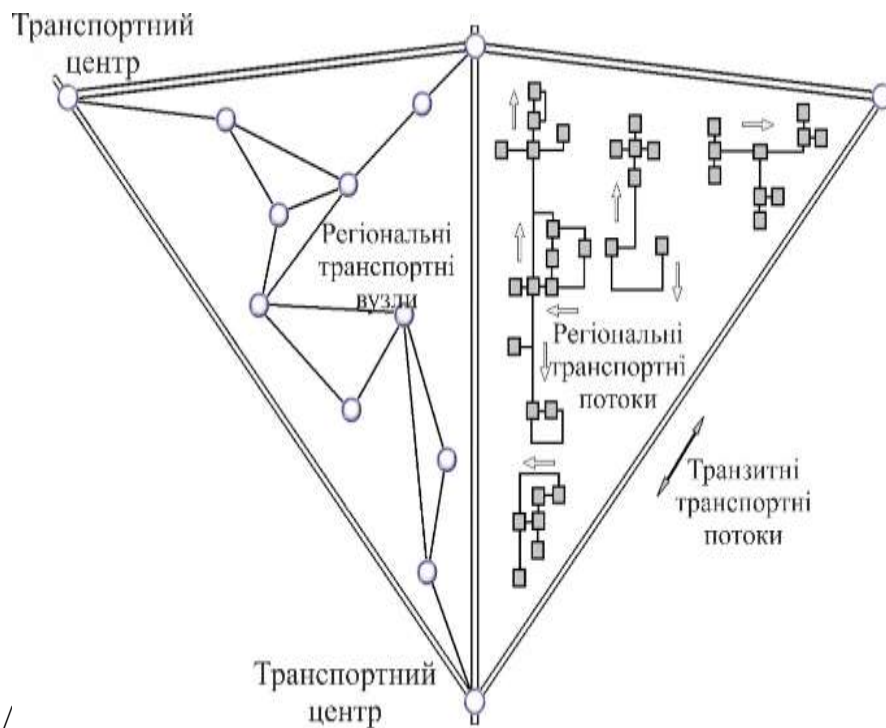


Рисунок 3.1 – Схема територіальної виробничої системи, у складі якої є як регіональні, так і транзитні вантажні потоки

Наявність перерахованих особливостей спрощує процедуру структурного синтезу виробничих систем і дозволяє здійснювати їхнє формування послідовно на місцевому, регіональному й міжрегіональному рівні, при безумовному дотриманні принципу цілісності всієї системи. [25]

Таким чином, структурний синтез систем і рішення питань, пов'язаних із багатопараметричною оптимізацією необхідно виконувати, починаючи з місцевого рівня, який незалежно від цільового призначення територіальної виробничої системи і загального числа рівнів є базовим. Подальше формування структури регіонального й міжрегіонального рівня виконується з урахуванням отриманих результатів. При цьому слід виходити з умови забезпечення цілісності аналізованої системи й можливості взаємодії всіх її складових частин у процесі експлуатації.

### 3.1.1. Особливості синтезу місцевого рівня виробничої системи

Транспортні зв'язки між підприємствами виникають у процесі їх виробничо-комерційної діяльності і пов'язані з необхідністю доставки вантажів при здійсненні загального технологічного процесу й задоволенні виникаючих потреб у перевезеннях.

Саме в цих умовах на місцевому рівні відбувається процес формування територіальних кластерів, що представляють собою мережні об'єднання підприємств, зв'язаних між собою виробничими відносинами. Так, за даними робіт [84,139,150-153] «кластер – це група близьких географічно взаємодіючих компаній, та організацій, що співробітничать із ними, спільно діючих у певному виді бізнесу напрямків, що характеризуються спільністю діяльності й доповнюють один одного».

Однак подібне визначення кластера вимагає уточнення, оскільки воно не враховує необхідність виконання вантажних перевезень між окремими підприємствами. Тому надалі під кластером розуміється територія, із сукупністю просторово локалізованих господарюючих суб'єктів, що характеризуються наявністю стійких технологічних зв'язків і вантажних перевезень, здійснюваних протягом тривалого періоду часу.[25, 154]

Просторова локалізація означає, що при вирішенні завдань формування виробничих систем суб'єкти, що хазяюють, можуть розглядатися як точкові утвори, при цьому сукупність зазначених точкових об'єктів і з'єднуючих їх транспортних шляхів формують транспортну мережу місцевого рівня. Крім того, умовою існування кластера вважається наявність стійких транспортних зв'язків і перевезень між господарюючими суб'єктами протягом одного року й більше. Будемо також вважати, кластери, які формуються характеризуються тим, що в їхніх межах проводиться не менш двох третин усього обсягу транспортної роботи, яка виконується при функціонуванні місцевого виробництва. [154]

Подібного роду обмеження пов'язані з необхідністю визначення границь кластерів, які з однієї сторони є досить умовними, а з іншої сторони піддаються можливим змінам.

Доцільність використання кластерів при описі функціонування територіальних виробничих систем на місцевому рівні обумовлена тією обставиною, що основний обсяг транспортної роботи виконується, як правило, у межах виробничих кластерів, а стійкі виробничі зв'язки виникають, насамперед, між елементами таких кластерів.

Подальше об'єднання кластерів між собою приводить до формування наступного (регіонального) структурного рівня виробничої системи й пов'язане з необхідністю створення умов для виконання перевезень між окремими елементами (підприємствами), які можуть перебувати в складі різних кластерів.

Зазначений методологічний підхід до формування місцевого рівня системи, забезпеченню її цілісності й структурування дозволяє вирішувати завдання синтезу й визначати умови раціоналізації вантажних перевезень, у тому числі й при наявності замкнених транспортно-технологічних потоків (рис. 3.2).

Таким чином, завдання формування й організації функціонування територіальної виробничої системи на місцевому рівні пов'язано з необхідністю попереднього визначення меж окремих виробничих кластерів, а також структурних елементів, що входять до їх складу. Питання про те, які конкретно суб'єкти господарської діяльності повинні бути включені до складу того або іншого кластера, вирішується виходячи з умови територіальної близькості й необхідності здійснення вантажних перевезень між ними. Відзначимо, що зі складу кластера можуть бути виключені деякі віддалені елементи, якщо при виконанні далеких перевезень, їх сумарний внесок у загальну транспортну роботу кластера не перевищує третьої частини.

Тому, у рамках розглянутої методології синтезу головною умовою формування виробничих кластерів вважається територіальна близькість місцевих підприємств (структурних елементів). Визначення меж і складу окремих кластерів проводиться з урахуванням тієї обставини, що транспортна робота в межах цих границь повинна становити не менш двох третин від загального обсягу транспортної роботи, яка виконується при функціонуванні всіх технологічно зв'язаних структурних елементів.

Раніше відзначалося, що структурна оптимізація складних багаторівневих виробничих систем пов'язан ослідовою оптимізацією структури на окремих рівнях. При цьому для вирішення багатопараметричних оптимізаційних завдань можуть бути використані різні методи, критерії й алгоритми.

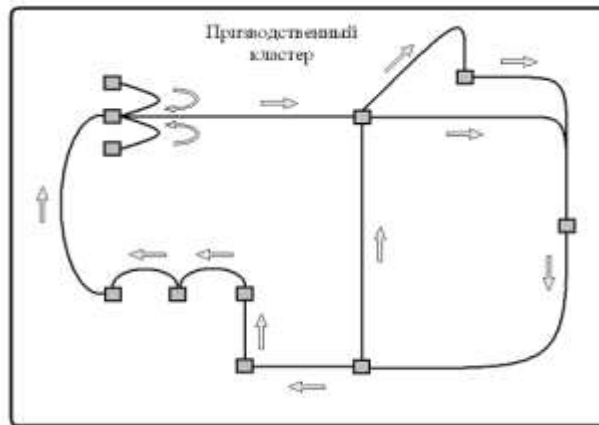


Рисунок 3.2 – Схема виробничого кластера із замкненими транспортно-технологічними потоками. Стрілками зазначені напрямки здійснюваних вантажних перевезень

Так, за даними роботи [155] при аналізі процесу експлуатації засобів транспорту узагальнений критерій оптимізації може бути представлений у наступній формі:

$$I = Q^{\alpha} \cdot l^{\beta} \cdot T^{\gamma} \quad , \quad (3.1)$$

де:  $I$  – цільова функція;

$Q$  – транспортна маса (обсяг перевезень, т);

$l$  – транспортний шлях (відстань перевезення), км;

$T$  – транспортний час(час перевезення), діб.

Величини  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$  являють собою показники ступеня, які вибираються, виходячи з конкретних умов вирішення оптимізаційного завдання.

Наприклад, якщо  $\alpha=0$ ,  $\beta=1$  і  $\gamma=-1$ , то цільовою функцією є швидкість доставки вантажів:  $I = l/T$ . Якщо  $\alpha=1$ ,  $\beta=1$  і  $\gamma=0$ , то цільовою функцією є виконувана транспортна робота:  $I = Q \cdot l$ .

Оскільки на місцевому рівні структура кожного з виробничих кластерів повинна формуватися з урахуванням можливого замикання в його межах основних транспортних потоків, то при організації функціонування виробничої системи в масштабі окремого кластера, слід виходити з умови мінімізації виконуваної в його межах транспортної роботи.

У цьому випадку цільовою функцією буде сумарна транспортна робота, яка виконується у встановлених границях кластера з урахуванням вантажних перевезень уздовж кожного із транспортних шляхів. Визначення умов, при яких можливе досягнення її мінімуму:

$$I_M = \sum_i Q_i l_i \rightarrow \min \quad , \quad (3.2)$$

забезпечує можливість синтезу оптимальної структури системи, на рівні окремо взятого кластера.

У такій постановці формування структури кластера у встановлених межах повинно бути засновано з урахуванням взаємного розташування окремих його елементів (точок) і характеристик вантажних потоків виникаючих між ними.

При цьому відносно окремо взятого кластера виникає необхідність вирішення наступного ряду практичних завдань. [25]

1. Визначення складу кластера, на основі наявної інформації про можливу взаємодію місцевих підприємств, а також уточнення його меж.

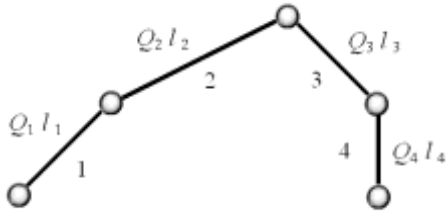
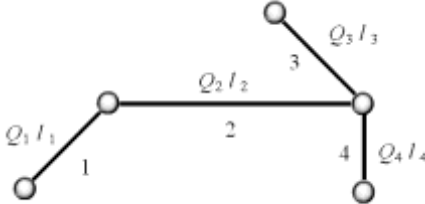
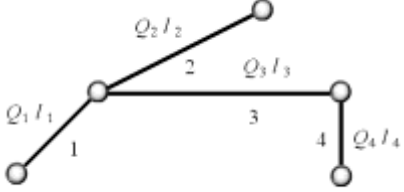
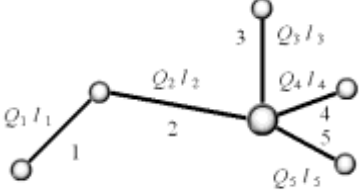
2. Визначення доцільності використання як елемента регіонального рівня транспортного вузла зі складу точкових об'єктів кластера або введення до складу кластера додаткового структурного елемента, здатного виконувати цю роль.

3. Визначення положення додаткового транспортного вузла в межах розглянутого кластера, якщо його використання визнане доцільним, а також оцінка обсягів здійснюваних через цей вузол вантажоперевезень.

Розглянемо приклад формування структури системи на місцевому рівні для кластера, що включає чотири підприємства, зв'язаних між собою технологічним циклом і необхідністю доставки сировини, напівфабрикатів і готової продукції.

Можливі варіанти розташування транспортних шляхів і відповідні обсяги транспортної роботи, яка виконується при здійсненні перевезень між такими крапковими об'єктами, наведені в табл. 3.1. Тут слід зазначити, що для варіанта В4 передбачена можливість використання додаткового структурного елемента у вигляді транспортного вузла.

Таблиця 3.1 – Порівняльні характеристики різних варіантів формування виробничої системи на рівні окремого кластера

Варіант формування системи	Структурна схема виробничої системи на рівні кластера	Кількість транспортних шляхів	Транспортна робота, яка виконується в межах кластера, МЛН. Т КМ
В1		4	$I_{B1} = \sum_{i=1}^4 Q_i \cdot l_i = 3,65$
В2		4	$I_{B2} = \sum_{i=1}^4 Q_i \cdot l_i = 3,32$
В3		4	$I_{B3} = \sum_{i=1}^4 Q_i \cdot l_i = 2,81$
В4		5	$I_{B4} = \sum_{i=1}^5 Q_i \cdot l_i = 2,42$

Для розглянутого випадку вибір варіанта організації транспортних сполучень і синтез місцевого рівня в межах розглянутого кластера слід здійснювати на основі порівняння отриманих значень  $I_{B1}$ , ...  $I_{B4}$  (табл. 3.1).

Видно, що найбільш кращім виявляється варіант В4, оскільки сумарна транспортна робота, що виконувалась в межах кластера виявляється в цьому випадку найменшою.

### 3.1.2. Особливості синтезу регіонального рівня системи

Розглянемо особливості синтезу регіонального рівня виробничої системи, як процесу об'єднання в єдину мережу окремих вузлів кластерів (рис. 3.3). Очевидно, що саме в результаті такого об'єднання досягається можливість взаємодії різних рівнів і цілісність усієї системи.

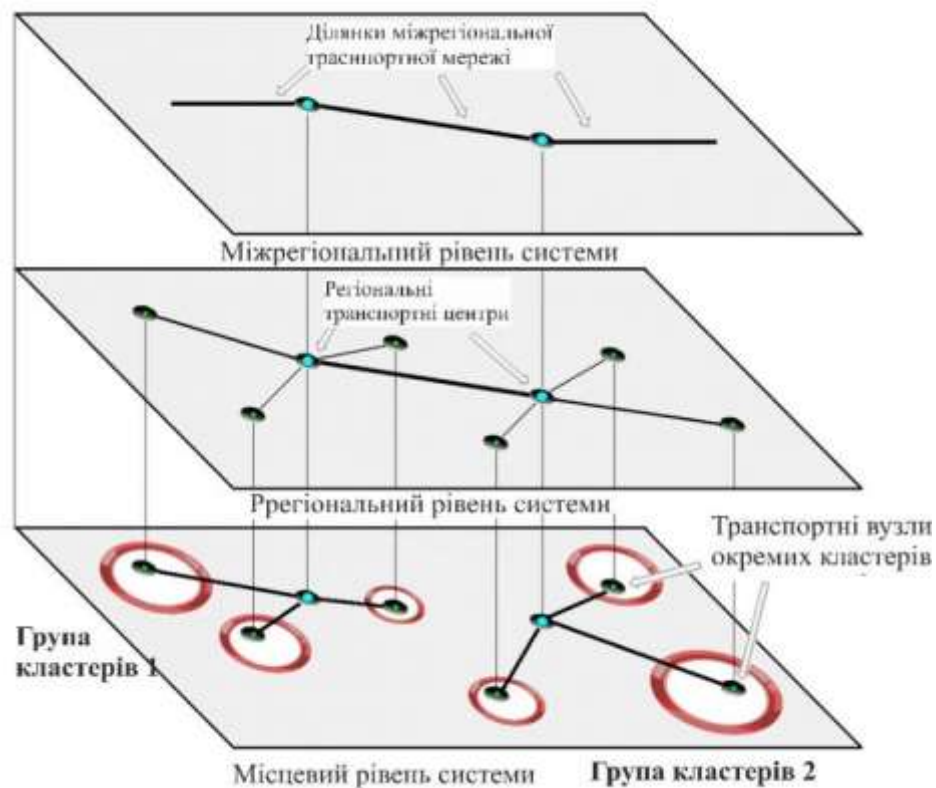


Рисунок 3.3 – Структурні рівні територіальної виробничої системи й характер їх взаємному зв'язку

Оскільки основна транспортна робота на місцевому рівні виконується в межах кластерів, а обсяги перевезень між кластерами порівняно невеликі, то на регіональному рівні синтезованої системи сумарна довжина зв'язуючих маршрутів повинна бути по можливості мінімальною.

Реалізація принципу мінімальної сумарної довжини транспортних шляхів на регіональному рівні є доцільною, оскільки дозволяє знизити витрати на створення й підтримку в робочому стані всієї виробничої системи на цьому рівні. У цьому випадку вирішення завдання синтезу регіонального рівня пов'язано з необхідністю мінімізації загальної довжини всіх транспортних шляхів, що належать цьому рівню системи:

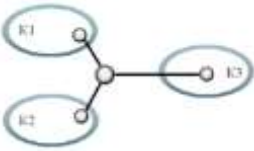
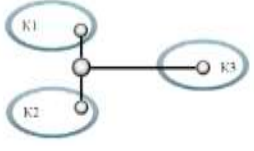
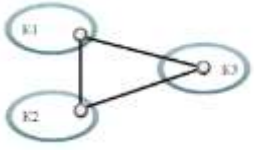
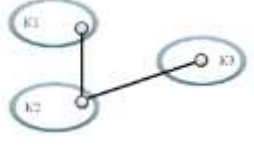
$$I_P = \sum_i l_i \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

де:  $l_i$  – відстані між вузлами окремих кластерів, поєднаних у єдину регіональну мережу.

Розглянемо приклад синтезу регіонального рівня виробничої системи для групи із трьох прилеглих кластерів  $K1$ ,  $K2$  і  $K3$ , характеристики яких наведені в табл. 3.2. У зазначеній таблиці показані також і варіанти можливого з'єднання вузлів перерахованих кластерів.

У рамках розглянутої методології синтезу, вибір сукупності транспортних шляхів для аналізованої групи кластерів слід здійснювати відповідно до варіанта В1, оскільки саме в цьому випадку загальна довжина всіх транспортних шляхів виявляється найменшою.

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики різних варіантів формування регіонального рівня виробничої системи

Варіант формування мережі	Структурна схема мережі для групи із трьох кластерів $K1, K2$ і $K3$	Кількість транспортних шляхів	Загальна довжина транспортних шляхів, км
V1		3	95
V2		3	101
V3		3	166
V4		2	104

### 3.1.3. Особливості синтезу міжрегіонального рівня

Синтез міжрегіонального рівня системи зв'язаний, як ми вже відзначали раніше, з необхідністю створення й забезпечення ефективного функціонування коридорів із транзитним вантажним рухом. Тому доцільність включення до складу таких коридорів вузлів і транспортних шляхів, які перетинають кластери, слід оцінювати виходячи з умови мінімізації загального часу проходження транзитних потоків по цих коридорах.

Оскільки функціонування міжрегіонального рівня виробничої системи пов'язано з наявністю коридорів, що дозволяють здійснювати доставку транзитних вантажів і з'єднуючих між собою транзитні транспортні центри, то цільова функція для цього рівня системи буде являти собою суму[25]:

$$I_T = \sum_i T_i \quad , \quad (3.4)$$

де:  $T_i$  – середній час проходження транзитного потоку через  $i$ -ту ділянку міжрегіонального рівня системи.

Досягнення мінімуму цільової функції  $I_T \rightarrow \min$  є в цьому випадку важливим практичним завданням, яке може бути вирішена шляхом прийняття конкретних рішень по організації руху транспортних засобів, створення необхідної інфраструктури, впровадження сучасних технологій просування вантажопотоків і т.п.

Так, на рис. 3.4, як приклад, показаний фрагмент міжрегіонального рівня виробничої системи з вантажним транзитним рухом уздовж ділянок з вузловими точками 1, 2, 3, 4 і 5.



Рисунок 3.4 – Схема фрагмента міжрегіонального рівня виробничої системи з обраними ділянками просування вантажних транзитних потоків

Припустимо, середній час проходження вантажних потоків на ділянці 2-3 становить  $T_1 = 0,6$  години, а на ділянці 3-4 відповідно  $T_2 = 0,3$  години. При цьому

довжина зазначених ділянок:  $l_{2,3} = 31$  км,  $l_{3,4} = 16$  км. Тоді загальний час проходження вантажів на маршруті 2-3-4 буде:  $T_1 + T_2 = 0,9$  години.

Якщо середній час проходження вантажів прямо між вузловими точками 2 і 4 становить 1,2 години, а довжина ділянки  $l_{2,4} = 42$  км, то відповідно до розглянутого підходу цей маршрут не може бути включений до складу коридору із транзитним рухом, незважаючи на його меншу довжину, у порівнянні з альтернативним маршрутом, що проходять через вузлові точки 2, 3 і 4.

Це означає, що до складу регіонального рівня виробничої системи повинні бути включені ділянки 1-2, 2-3, 3-4 і 4-5 (рис. 3.4).

Таким чином, вирішення завдання структурного синтезу територіальних виробничих систем повинне бути пов'язане з пошуком і послідовним формуванням оптимальної структури на місцевому, регіональному й міжрегіональному рівні з використанням відповідних цільових функцій і методів оптимізації.

### **3.2. Формування місцевого рівня виробничої системи**

Місцевий рівень виробничої системи формується на базі виробничих кластерів, структурну оптимізацію яких доцільно здійснювати на основі принципів викладених у п. 3.1.1. При цьому необхідно мати повну інформацію щодо кількості, просторового розташування окремих структурних елементів, обсягів здійснюваних між ними вантажних перевезень, можливих варіантах доставки вантажів, видів транспорту, які використовуються й т.п. Це означає, що завдання формування структури окремих кластерів і організацію їх функціонування слід вирішувати з використанням попередньо встановлюваних числових параметрів і розрахункових характеристик.

#### **3.2.1. Характеристики структури кластера й процесу його функціонування**

Оскільки виробничий кластер являє собою територіальний об'єкт, що включає взаємодіючі підприємства між якими виконуються вантажні перевезення, то

зазначені підприємства розглядаються надалі як точкові структурні елементи, позначувані  $M_1, \dots, M_n$ .

Для опису існуючих перевезень між окремими елементами  $M_i$  і  $M_j$  доцільно використовувати характеристику зв'язку  $m_{i,j}$ . Якщо в процесі функціонування кластера доставка вантажів проводиться від  $M_i$  до  $M_j$ , то відповідна характеристика зв'язку  $m_{i,j}=1$ . Якщо ж вантажопотік у цьому напрямку відсутній, то  $m_{i,j}=0$ . При повній відсутності вантажних перевезень між точками  $M_i$  і  $M_j$  відповідні характеристики:  $m_{i,j} = m_{j,i} = 0$ .

Так, для елементів кластера значення характеристик зв'язків  $m_{i,j}$  наведені в табл.3.3.

Зміст зазначеної таблиці повною мірою характеризує діючі зв'язки між окремими елементами розглянутого кластера.

Таблиця 3.3 – Характеристики зв'язку  $m_{i,j}$  між елементами кластера

Поточні значення індексів $i$ та $j$		$j$				
		1	2	3	4	5
$i$	1	0	1	0	0	0
	2	0	0	1	1	1
	3	0	1	0	1	0
	4	0	0	1	0	0
	5	0	1	0	0	0

Представлену в табл. 3.3 інформацію слід використовувати при формуванні матриці зв'язків  $\| M \|$ , елементи якої  $m_{i,j}$ , відповідають змісту елементів таблиці зв'язків.

Так, стосовно до розглянутого випадку:

$$\| M \| = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (3.5)$$

Відзначимо, що діагональні елементи матриці зв'язків завжди дорівнюють нулю ( $m_{i,i} = 0$ ). Крім того, для опису взаємного розташування окремих елементів кластера, слід скласти перелік відстаней між його точками (елементами), наприклад за формою, представленої в табл. 3.4.

Відзначимо, що відстань  $l_{i,j}$  між точками  $M_i$  і  $M_j$  залежно від характеру розв'язуваного завдання визначається як мінімальна відстань між цими точками, або як дійсна відстань із урахуванням відхилення маршруту руху транспортних засобів від прямолінійного, з використанням підвищувальних коефіцієнтів. [25]

Таблиця 3.4 – Дані про відстані між окремими елементами кластера

Поточні значення індексів $i$ та $j$		$j$				
		1	2	3	4	5
$i$	1	0	$l_{1,2}$	$l_{1,3}$	$l_{1,4}$	$l_{1,5}$
	2	$l_{2,1}$	0	$l_{2,3}$	$l_{2,4}$	$l_{2,5}$
	3	$l_{3,1}$	$l_{3,2}$	0	$l_{3,4}$	$l_{3,5}$
	4	$l_{4,1}$	$l_{4,2}$	$l_{4,3}$	0	$l_{4,5}$
	5	$l_{5,1}$	$l_{5,2}$	$l_{5,3}$	$l_{5,4}$	0

Таблицю з даними про відстані між точками кластера слід використовувати для формування матриці відстаней  $\|L\|$ , з елементами  $l_{i,j}$ . У цьому випадку ця матриця має вигляд:

$$\|L\| = \begin{pmatrix} 0 & l_{1,2} & l_{1,3} & l_{1,4} & l_{1,5} \\ l_{2,1} & 0 & l_{2,3} & l_{2,4} & l_{2,5} \\ l_{3,1} & l_{3,2} & 0 & l_{3,4} & l_{3,5} \\ l_{4,1} & l_{4,2} & l_{4,3} & 0 & l_{4,5} \\ l_{5,1} & l_{5,2} & l_{5,3} & l_{5,4} & 0 \end{pmatrix}, \quad (3.6)$$

Очевидно, що діагональні елементи матриці дорівнюють нулю ( $l_{i,i} = 0$ ). Слід також зазначити, що матриця  $\|L\|$  характеризує тільки взаємне розташування окремих елементів у складі кластера, без урахування значень вантажних потоків, що виникають між ними при функціонуванні.

Розглянемо в цьому зв'язку кластер, схема якого показана на рис. 3.5. Дані про вантажопотоки в межах цього кластера  $m_{i,j}$  наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики вантажопотоків  $q_{i,j}$  між елементами кластера, представленою на рис. 3.5.

Поточні значення індексів $i$ та $j$		J			
		1	2	3	4
i	1	0	$q_{1,2}$	$q_{1,3}$	$q_{1,4}$
	2	$q_{2,1}$	0	$q_{2,3}$	0
	3	$q_{3,1}$	0	0	0
	4	$q_{4,1}$	0	0	0

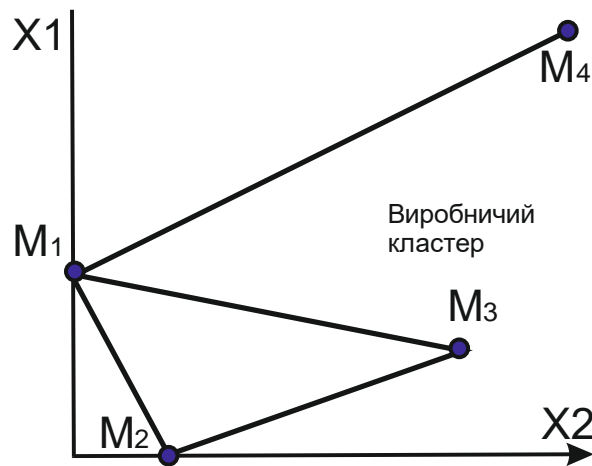


Рисунок 3.5 – Структурна схема кластера, що складається з чотирьох точкових елементів

У цьому випадку матриця вантажопотоків:

$$\| Q \| = \begin{vmatrix} 0 & q_{1,2} & q_{1,3} & q_{1,4} \\ q_{2,1} & 0 & q_{2,3} & 0 \\ q_{3,1} & 0 & 0 & 0 \\ q_{4,1} & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.7)$$

а відповідні матриці зв'язків і відстаней:

$$\| M \| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.8)$$

$$\| L \| = \begin{vmatrix} 0 & l_{1,2} & l_{1,3} & l_{1,4} \\ l_{2,1} & 0 & l_{2,3} & l_{2,4} \\ l_{3,1} & l_{3,2} & 0 & l_{3,4} \\ l_{4,1} & l_{4,2} & l_{4,3} & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.9)$$

Очевидно, що зазначених характеристик кластера досить для визначення обсягу транспортної роботи, яка виконується в його межах

Тоді, якщо  $n$  – загальне число підприємств (точкових елементів) у складі кластера, то сумарна транспортна робота, яка виконується за аналізований період часу визначається так[25]:

$$I_S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{i,j} \cdot m_{i,j} \cdot l_{i,j} \quad (3.10)$$

Структурна оптимізація функціонування системи на місцевому рівні, як ми вже відзначали раніше, пов'язана з мінімізацією транспортної роботи, що виконується. Із цієї причини визначення умов, при яких досягається мінімум цільової функції (3.10) і слід розглядати як рішення оптимізаційного завдання. Однак вибір цільової функції залежить і від постановки завдання. Так, у ряді практичних

випадків вимоги до організації руху вантажних потоків і формуванню структури виробничого кластера будуть суттєво відрізнятися залежно від того, яким образом передбачається використовувати існуючу інфраструктуру і які нові об'єкти повинні бути створені.

### **3.2.2. Формування виробничих кластерів на базі існуючої транспортної інфраструктури**

Формування структури кластера на базі існуючої транспортної мережі слід здійснювати за результатами порівняння значень виконуваної транспортної роботи для декількох можливих варіантів доставки вантажів. Остаточний вибір варіанта в цьому випадку пов'язаний з мінімізацією очікуваної величини транспортної роботи, що виконується в межах аналізованого кластера. При цьому можливий і облік додаткових факторів, зв'язаних наприклад, зі зниженням обсягу перевалочних робіт, скороченням часу простою транспортних засобів, загальної вартості доставки вантажів і т.п. [100,156,157].

У цьому випадку структура системи на місцевому рівні повинна бути сформована з урахуванням можливої раціоналізації вантажних потоків стосовно до існуючої й фактично використаної територіальної інфраструктури.

Використання додаткових транспортних вузлів (наприклад у формі логістичних центрів, складських переробних комплексів, вантажних терміналів і т.п.), що дозволяють знизити витрати й загальний обсяг виконуваної транспортної роботи, у цих умовах може бути цілком виправданим [158-261].

Розглянемо показану на рис. 3.6 схему виробничого кластера, що полягає із семи елементів ( $M_1, \dots, M_7$ ) координати яких відомі й наведені в табл. 3.6.

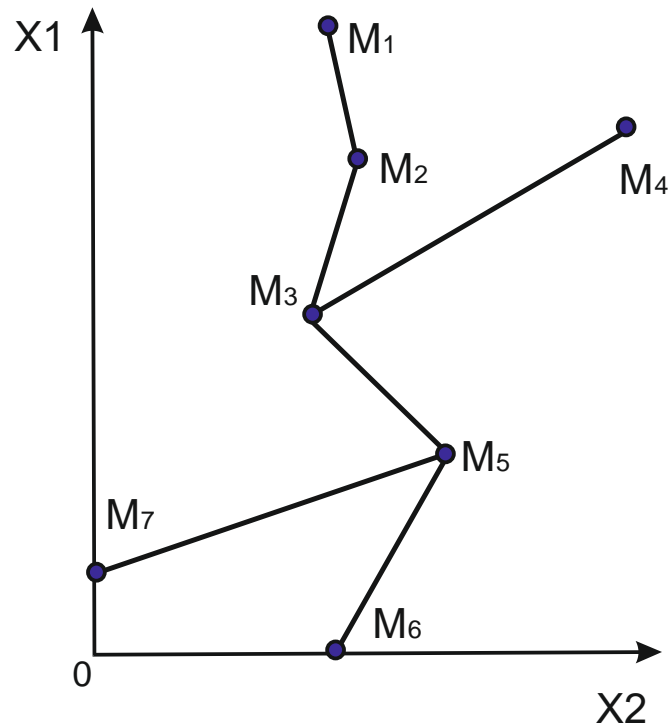


Рисунок 3.6 – Схема виробничого кластера, у складі якого є сім точкових елементів

Таблиця 3.6 – Координати окремих точок виробничого кластера

Точковий елемент кластера		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>
Координати елемента	x <sub>1</sub> , км	11.2	12.8	10.4	25.8	17.2	11.6	0
	x <sub>2</sub> , км	29.6	23.4	16	24.8	9.4	0	3.8

Дані по обсягах вантажних перевезень і транспортній роботі, яка виконується в межах кластера наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Дані, що характеризують транспортну роботу, виконувану в межах кластера

Маршрут доставки вантажів	Обсяг перевезень, млн. т	Довжина маршруту, км	Фактична транспортна робота виконувана на маршруті, млн. т км
M <sub>1</sub> M <sub>2</sub>	0,15	6,4	0,96
M <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	0,18	7,78	1,4
M <sub>3</sub> M <sub>4</sub>	0,11	17,74	1,95
M <sub>5</sub> M <sub>3</sub>	1,4	9,48	13,27
M <sub>5</sub> M <sub>6</sub>	1,7	10,94	18,6
M <sub>7</sub> M <sub>5</sub>	2,8	18,09	50,65

Транспортна робота виконувана в межах аналізованого кластера становить:  $Q = 86,83$  млн. т км. Якщо структуру трохи змінити й увести до складу кластера транспортний вузол  $M_0$  (рис. 3.7) з координатами  $x_1 = 9,6$  км і  $x_2 = 7$  км, з'єднаний залізничним сполученням з елементами  $M_3$  і  $M_6$ , то обумовлена по формулі (3.10) транспортна робота буде:  $Q^* = 59,05$  млн. т км.

Дані для виконання необхідних розрахунків наведено в таблиці 3.8. Можна в такий спосіб укласти, що введення до складу кластера додаткового елемента  $M_0$  приводить до зниження транспортної роботи, яка виконується, практично на третину. Це означає, що для включення до складу кластера такого елемента виявляється доцільним.

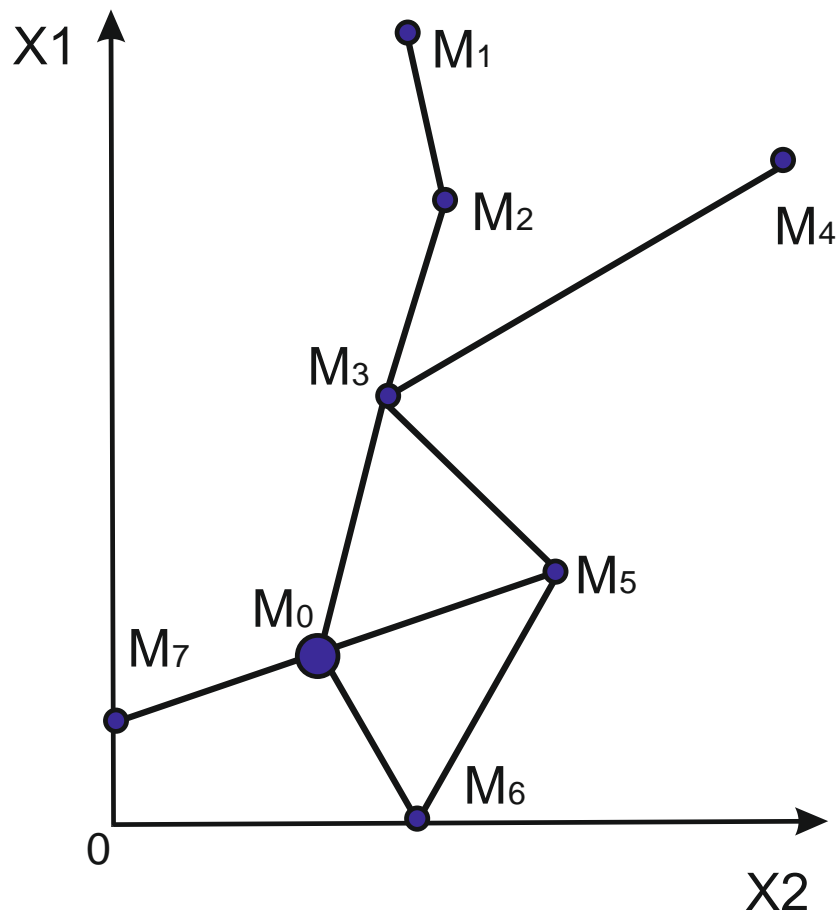


Рисунок 3.7 – Схема виробничого кластера, до складу якого додатково включений транспортний вузол  $M_0$

Таблиця 3.8 – Дані для визначення транспортної роботи, виконуваної в границях кластера

Маршрут доставки вантажів	Обсяг перевезень, млн. т	Довжина маршруту, км	Фактична транспортна робота, виконувана на маршруті, млн. т км
M <sub>1</sub> M <sub>2</sub>	0,15	6,40	0,96
M <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	0,18	7,78	1,4
M <sub>3</sub> M <sub>4</sub>	0,11	17,74	1,95
M <sub>5</sub> M <sub>3</sub>	0,2	9,48	1,9
M <sub>5</sub> M <sub>6</sub>	0,1	10,94	1,09
M <sub>7</sub> M <sub>8</sub>	2,8	10,12	28,3
M <sub>0</sub> M <sub>5</sub>	0,1	7,97	0,8
M <sub>0</sub> M <sub>3</sub>	1,7	9,04	15,37
M <sub>0</sub> M <sub>6</sub>	1,0	7,28	7,28

Із практичної точки зору транспортний вузол може являти собою логістичний центр або спеціалізований термінал по переробці вантажних потоків. При цьому вибір конкретного варіанта реалізації нового структурного елемента повинен бути заснований на результатах аналізу можливих витрат і оцінці строків реалізації прийнятого рішення.

### 3.2.3. Формування виробничих кластерів на базі знов створюваної транспортної інфраструктури

Якщо виробничий кластер формується на новій території, а транспортна мережа й відповідна інфраструктура створюються під очікувані потреби у вантажних перевезеннях, то процес формування місцевого рівня системи вимагає врахування низки специфічних особливостей. Розглянемо це питання докладніше.

Припустимо виробничий кластер складається із шести точкових елементів M<sub>1</sub>, ... M<sub>6</sub>, розташування яких схематично показане на рис. 3.8. Будемо вважати, що між кожною парою елементів існують транспортні шляхи, а за розглянутий період часу між усіма елементами виконуються вантажні перевезення одиничного обсягу ( $q_{i,j} = 1$  т/діб для будь-яких комбінацій  $i \neq j$ ).

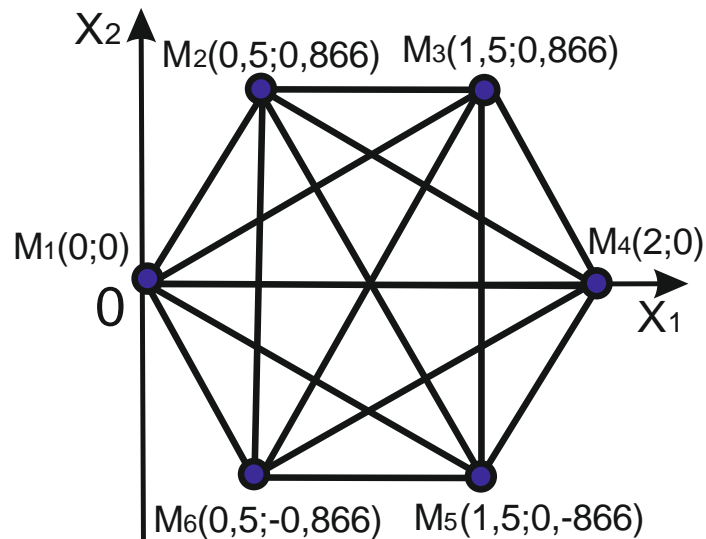


Рисунок 3.8 – Схема кластера, у складі якого є шість точкових елементів

Тоді вимога, пов'язана з необхідністю мінімізації транспортної роботи приводить до того, що кожна пара елементів кластера повинна з'єднуватися між собою транспортними шляхами у вигляді відрізків прямих ліній. У такому випадку загальна довжина транспортної мережі:

$$L_{\Sigma} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 l_{i,j} \quad , \quad (3.12)$$

Сумарна транспортна робота в границях формованого таким способом кластера:

$$Q_w = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 q_{i,j} \cdot l_{i,j} \quad , \quad (3.13)$$

Очевидно, що прийнятий варіант структурування транспортної мережі забезпечує досягнення мінімуму загальної транспортної роботи \$Q\_w\$. Однак у такому випадку слід також визнати, що ухвалені рішення спричиняє невиправдане збільшення загальної довжини транспортних шляхів, які використовуються.

Так, для розглянутого варіанта формування структури загальна довжина транспортних шляхів становить:  $L_{\Sigma} = 22,39$  км, а виконувана сумарна транспортна робота  $Q_w = 44,78$  т км. Якщо ж до складу кластера додати транспортний вузол  $M_0$  (рис. 3.9), то загальна довжина шляхів, які використовуються:  $L_{\Sigma}^* = 6$  км, а сумарна транспортна робота складе  $Q_{w^*} = 60$  т км.

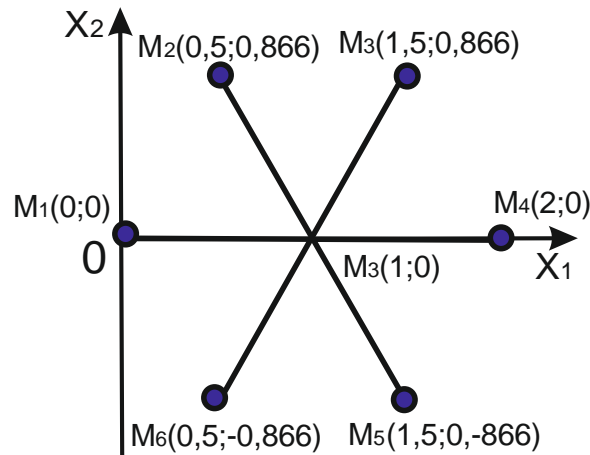


Рисунок 3.9 – Схема кластера, у складі якого є шість точкових елементів і транспортний вузол  $M_0$

Це означає, що використання транспортного центру приводить із однієї сторони до зменшення загальної довжини транспортної мережі (у розглянутому прикладі більш ніж в 3,7 рази), а з іншої сторони супроводжується деяким збільшенням виконуваної транспортної роботи (у цьому випадку приблизно на 25%). Враховуючи цю обставину, що будівництво інфраструктури транспортних шляхів і подальша їхня підтримка в працездатному стані є досить витратним з фінансової точки зору, то вимогу пов'язану із забезпеченням абсолютного мінімуму транспортної роботи, яка виконується, в межах знову створюваного територіально-виробничого кластера не можна визнати виправданою.

Найбільш прийнятними в цих умовах будуть вимоги по формуванню такої структури, яка здатна забезпечити мінімальний рівень транспортної роботи в комбінації з найменшою сумарною довжиною всіх задіяних транспортних шляхів.

Тоді цільову функцію, що визначає вимоги до структури системи на місцевому рівні слід формувати так:

$$I_z^* = Q_w \cdot L_\Sigma, \quad (3.14)$$

Стосовно до розглянутого випадку положення транспортного вузла на площині  $X_2O X_1$  визначається виходячи з умови мінімізації значення:  $I_z^* \rightarrow \min$ . Нескладно показати, що при формуванні кластера без єдиного транспортного вузла (рис. 3.8) значення цільової функції:  $I_z = 1002,8$  т км<sup>2</sup>.

Якщо ж до складу кластера ввести транспортний вузол  $M_0(x_1, 1)$ , положення якого може мінятися уздовж осі  $O X_1$  (рис. 3.9), то мінятися буде й величина  $I_z^*(x_1)$ . При цьому, як показують результати розрахунків, мінімальне значення цільової функції  $I_z^* = 360$  т км<sup>2</sup> приймає в тому випадку, якщо  $x_1 = 1$  (рис. 3.10).

У підсумку можна укласти, що для розглянутих умов функціонування кластера введення до його складу транспортного вузла  $M_0(1;0)$  приводить до зниження значень цільової функції (3.14) приблизно в 2,8 рази в порівнянні з випадком формування кластера без загального вузла.

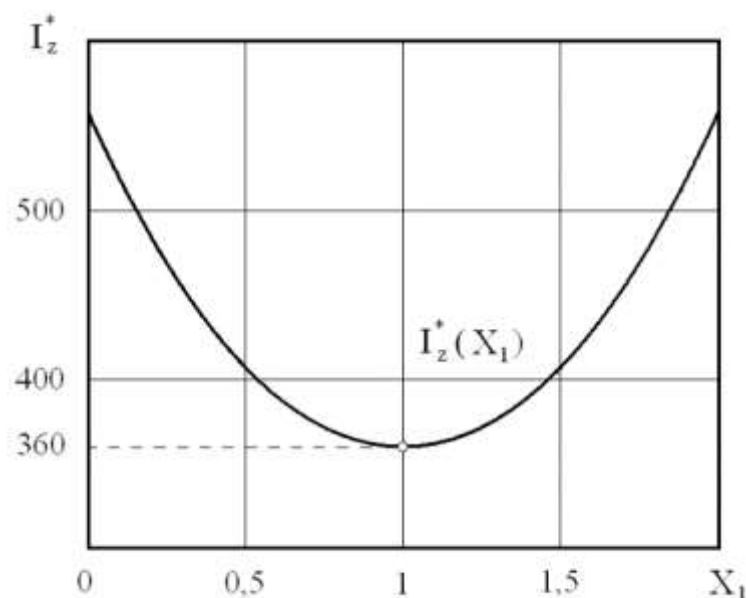


Рисунок 3.10 – Залежність цільової функції  $I_z^*$  від положення на площині  $X_2O X_1$  транспортного вузла  $M_0$

Таким чином, розглянутий приклад показує, що процес формування структури кластера, на базі знову створюваної інфраструктури зв'язаний як з необхідністю використання відповідної до цільової функції (3.14), так і з визначенням положення транспортного вузла, якщо його включення до складу кластера виявляється доцільним. При цьому визначення координат вузла  $M_0$  являє собою самостійне завдання, яке повинно бути розглянуто й вирішено окремо.

У цьому зв'язку розглянемо завдання визначення положення транспортного вузла кластера, сформованого із чотирьох точкових елементів (рис. 3.11). Відповідні координати цих елементів у системі  $Y0X$  представлені в табл. 3.9.

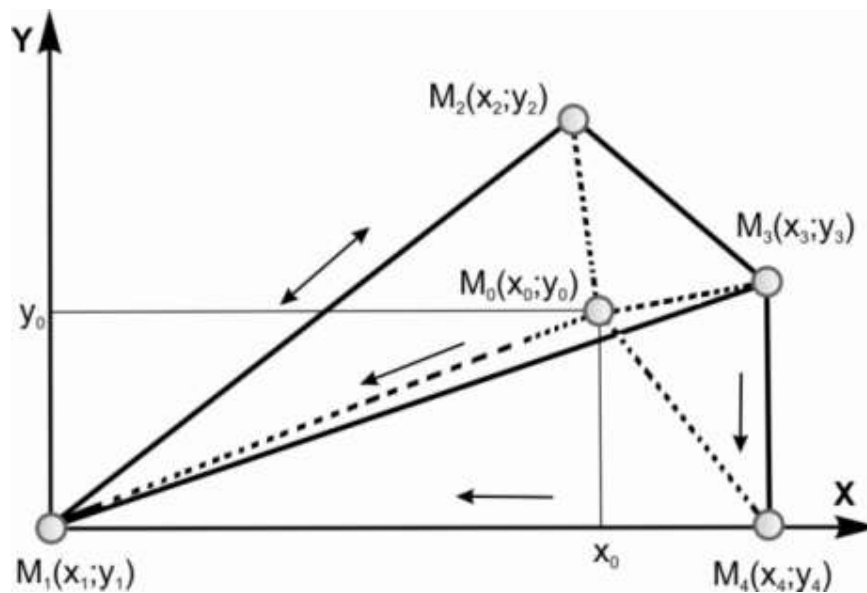


Рисунок 3.11 – Схема взаємного розташування окремих структурних елементів кластера й напрямку здійснюваних вантажних перевезень

Таблиця 3.9 – Координати точкових елементів виробничого кластера

Координати елементів кластера $m_i$	Значення індексу $i$			
	1	2	3	4
$x_i$ , км	0	16	22	22
$y_i$ , км	0	15	8	0

Матриця зв'язків для кластера зі структурою, показаної на рис. 3.11 має вигляд:

$$\| M \| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.15)$$

Обсяги перевезень між окремими точками задаються матрицею  $\| Q \|$  з елементами  $q_{i,j}$ , тис. т / діб:

$$\| Q \| = \begin{vmatrix} 0 & 1,6 & 0 & 0 \\ 0,2 & 0 & 1,8 & 0 \\ 1,52 & 0 & 0 & 1,2 \\ 0,7 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.16)$$

Відстані між точками кластера характеризуються матрицею  $\| L \|$  з елементами  $l_{i,j}$ , км:

$$\| L \| = \begin{vmatrix} 0 & l_{1,2} & l_{1,3} & l_{1,4} \\ l_{2,1} & 0 & l_{2,3} & l_{2,4} \\ l_{3,1} & l_{3,2} & 0 & l_{3,4} \\ l_{4,1} & l_{4,2} & l_{4,3} & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.17)$$

При цьому відстані між точками  $M_i(x_i; y_i)$  й  $M_j(x_j; y_j)$  визначається так:

$$l_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (3.18)$$

Тепер припустимо, що до складу кластера включений додатковий елемент  $M_0$ , що виконує роль транспортного вузла (рис. 3.14). Оскільки всі транспортні шляхи в межах кластера будуть проходити через вузол  $M_0(x_0; y_0)$ , то це приведе до появи об'їзних маршрутів і зміні елементів матриці відстаней.

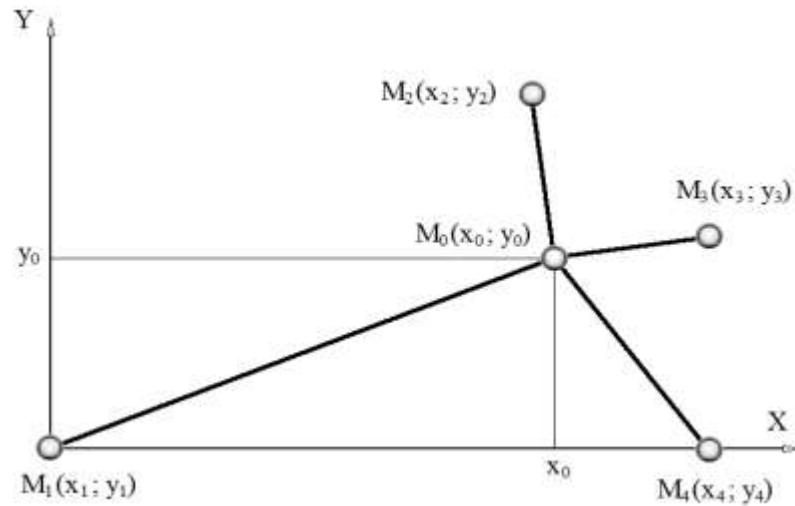


Рисунок 3.14 – Схема взаємного розташування елементів кластера із транспортним вузлом  $M_0$

Для кластера із транспортним вузлом  $M_0$  (рис. 3.14) матриця відстаней  $\|L^*\|$  має вигляд:

$$\|L^*\| = \begin{vmatrix} 0 & l_{1,0} + l_{2,0} & l_{1,0} + l_{3,0} & l_{1,0} + l_{4,0} \\ l_{2,0} + l_{1,0} & 0 & l_{2,0} + l_{3,0} & l_{2,0} + l_{4,0} \\ l_{3,0} + l_{1,0} & l_{3,0} + l_{2,0} & 0 & l_{3,0} + l_{4,0} \\ l_{4,0} + l_{1,0} & l_{4,0} + l_{2,0} & l_{4,0} + l_{3,0} & 0 \end{vmatrix}, \quad (3.19)$$

Елементи цієї матриці  $l^*_{i,j}$  визначаються з використанням залежності (3.18) у такий спосіб:

$$l^*_{i,j} = l_{i,0} + l_{j,0}, \quad (3.20)$$

Тоді загальна довжина транспортних шляхів для кластера із загальним вузлом визначається так:

$$L^*_\Sigma = \sum_{i=1}^n l_{i,0}, \quad (3.21)$$

Транспортна робота, виконувана в межах кластера з вузлом  $M_0$ :

$$Q_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{i,j} \cdot m_{i,j} \cdot l_{i,j}^* = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{i,j} \cdot m_{i,j} \cdot (l_{i,0} + l_{j,0}) \quad , \quad (3.22)$$

Цільова функція  $I_Z$ :

$$I_Z = \sum_{i=1}^n l_{i,0} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{i,j} \cdot m_{i,j} \cdot [l_{i,0} + l_{j,0}] \right\} \quad , \quad (3.23)$$

Величина  $I_Z$  є функцією координат точки  $M_0(x_0; y_0)$ :

$$I_Z(x_0; y_0) = \left\{ \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \right\} \times \quad , \quad (3.24)$$

$$\times \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{i,j} \cdot m_{i,j} \cdot \left( \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} + \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2} \right) \right\} \quad ,$$

Положення точки  $M_0$  на площині  $Y_0X$  визначається з умови:

$$I_Z(x_0; y_0) \rightarrow \min \quad , \quad (3.25)$$

Для цього необхідно вирішити наступну систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial y} = 0 \end{array} \right. \quad , \quad (3.26)$$

Рішенням системи (3.26) будуть координати транспортного вузла

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 = x_0^* = 19,2 \text{ км} \\ y_0 = y_0^* = 7,5 \text{ км} \end{array} \right.$$

які визначають його положення на площині і які забезпечують досягнення мінімуму цільової функції  $I_z$ . Практична реалізація розглянутого алгоритму визначення координат транспортного вузла виконувалася з використанням обчислювальної системи Mathcad.

Лістинг програми для прийнятої системи вихідних даних і результати виконаних розрахунків показані на рис. 3.12.

Таким чином, можна укласти, що для прийнятої системи вихідних даних координати вузла  $M_0$  на площині  $YOX$ :

$$\begin{cases} x_0^* = 19,2 \text{ км} \\ y_0^* = 7,5 \text{ км} \end{cases} .$$

Загальна довжина транспортних шляхів у границях кластера з вузлом  $M_0(19,2 ; 7,5)$  становить:  $L_{\Sigma}^* = 39,6$  км, а виконувана транспортна робота:  $Q_T^* = 140,3$  тис. т км / діб.

Якщо ж кластер не має єдиного вузла, то загальна довжина транспортних шляхів для заданого варіанта розташування елементів  $M_1, \dots, M_4$ :  $L_{\Sigma} = 84,6$  км, а виконувана в межах кластера транспортна робота складе:  $Q_T = 116,7$  тис. т км / діб. Отже й витрати збільшаться приблизно в 2 рази.

Таким чином, отримані результати дозволяють зробити висновок, що включення до складу розглянутого кластера додаткового елемента  $M_0$  приводить до збільшення обсягу виконуваної транспортної роботи приблизно на 20% і до одночасного зниження загальної довжини транспортних шляхів більш ніж в 2 рази.

У цілому, розроблений метод і комп'ютерна програма дозволяють встановити положення на площині додаткового структурного елемента  $M_0$ . Однак при цьому слід зазначити й деякі особливості, пов'язані з рішенням такого роду завдань (додаток Б).



### ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

Исходные данные для расчетов:

Количество точечных элементов кластера:  $n := 4$

Координаты точечных элементов кластера:

$x_1 := 0$        $x_2 := 16$        $x_3 := 22$        $x_4 := 22$

$y_1 := 0$        $y_2 := 15$        $y_3 := 8$        $y_4 := 0$

Элементы матрицы связей:

$m_{1,1} := 0$        $m_{1,2} := 1$        $m_{1,3} := 0$        $m_{1,4} := 0$

$m_{2,1} := 1$        $m_{2,2} := 0$        $m_{2,3} := 1$        $m_{2,4} := 0$

$m_{3,1} := 1$        $m_{3,2} := 0$        $m_{3,3} := 0$        $m_{3,4} := 1$

$m_{4,1} := 1$        $m_{4,2} := 0$        $m_{4,3} := 0$        $m_{4,4} := 0$

Элементы матрицы грузопотоков:

$q_{1,1} := 0$        $q_{1,2} := 1.6$        $q_{1,3} := 0$        $q_{1,4} := 0$

$q_{2,1} := 0.2$        $q_{2,2} := 0$        $q_{2,3} := 1.8$        $q_{2,4} := 0$

$q_{3,1} := 1.52$        $q_{3,2} := 0$        $q_{3,3} := 0$        $q_{3,4} := 1.2$

$q_{4,1} := 0.7$        $q_{4,2} := 0$        $q_{4,3} := 0$        $q_{4,4} := 0$

Расчетная часть программы:

$$l(i, xx, yy) := \sqrt{(x_i - xx)^2 + (y_i - yy)^2} \quad ll(i, j, xx, yy) := l(i, xx, yy) + l(j, xx, yy)$$

$$LS(xx, yy) := \sum_{i=1}^n l(i, xx, yy) \quad IZ(xx, yy) := LS(xx, yy) \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (m_{i,j} \cdot q_{i,j} \cdot ll(i, j, xx, yy))$$

$$xx := 1 \quad yy := 1$$

Given

$$\frac{d}{dxx} IZ(xx, yy) = 0 \quad \frac{d}{dyy} IZ(xx, yy) = 0 \quad zz := (\text{Find}(xx, yy)) \quad zz = \begin{pmatrix} 19.197 \\ 7.542 \end{pmatrix}$$

Результаты расчетов:

$$\text{Координаты транспортного узла:} \quad zz_{0,0} = 19.197 \quad zz_{1,0} = 7.542$$

$$\text{Расчетное значение целевой функции:} \quad IZ(zz_{0,0}, zz_{1,0}) = 5.558 \times 10^3$$

$$LS(zz_{0,0}, zz_{1,0}) = 39.626 \quad \frac{IZ(zz_{0,0}, zz_{1,0})}{LS(zz_{0,0}, zz_{1,0})} = 140.25 \quad L(i, j) := \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

$$L(1,2) \cdot (q_{2,1} + q_{1,2}) + L(2,3) \cdot q_{2,3} + L(3,1) \cdot q_{3,1} + L(3,4) \cdot q_{3,4} + L(4,1) \cdot q_{4,1} = 116.655$$

$$L(1,2) + L(2,3) + L(3,1) + L(3,4) + L(4,1) = 84.561$$

Рисунок 3.12 – Лістинг програми визначення координат транспортного вузла

### 3.3. Структурна оптимізація регіонального рівня складної виробничої системи

Регіональний рівень складної виробничої системи формується на базі сукупності кластерів і забезпечує цілісність усієї системи. Основним принципом формування цього рівня, як відзначалося в п. 3.1.2, є мінімізація загальної довжини всіх транспортних шляхів. Його реалізація дозволяє знизити витрати як на створення єдиної транспортної інфраструктури так і на підтримку її в працездатному стані протягом усього періоду експлуатації.

Оскільки транспортні вузли кластерів є елементами, які можуть одночасно належати як місцевому, так і регіональному рівню (рис. 3.3), а можливі варіанти їх з'єднання виявляються самими різними, те сама процедура об'єднання кластерів через такі вузли повинна бути розглянута детально.

Відзначимо, що поєднувані на регіональному рівні транспортні вузли кластерів можуть бути активними або пасивними. У той же час у деяких кластерів, формованих на місцевому рівні, транспортні вузли можуть бути відсутніми зовсім. Із цієї причини процедуру послідовного об'єднання окремих кластерів у єдину транспортну мережу слід виконувати на основі порівняльного аналізу різних варіантів, з урахуванням відзначеного раніше основного принципу. При цьому необхідно докладно розглянути можливі варіанти об'єднання груп прилеглих кластерів, що мають як активні, так і пасивні транспортні вузли. Слід також вирішити, яким же чином у загальну мережу можуть бути включені кластери, що характеризуються відсутністю транспортних вузлів.

Для рішення всіх перерахованих завдань розглянемо більш детально різні варіанти формування окремих фрагментів регіональної виробничої системи.

### 3.3.1. Формування фрагмента системи, що включає кластери з активними транспортними вузлами

Процедура формування фрагмента системи, що включає прилеглі кластери з активними транспортними вузлами, залежить як від їхньої загальної кількості, так і взаємного розташування. Оскільки на регіональному рівні зв'язок між кластерами забезпечується, насамперед, за рахунок наявності транспортних шляхів між окремими вузлами, то надалі активні вузли кластерів  $M_A$  схематично зображуються так, як це показано на рис. 3.13.

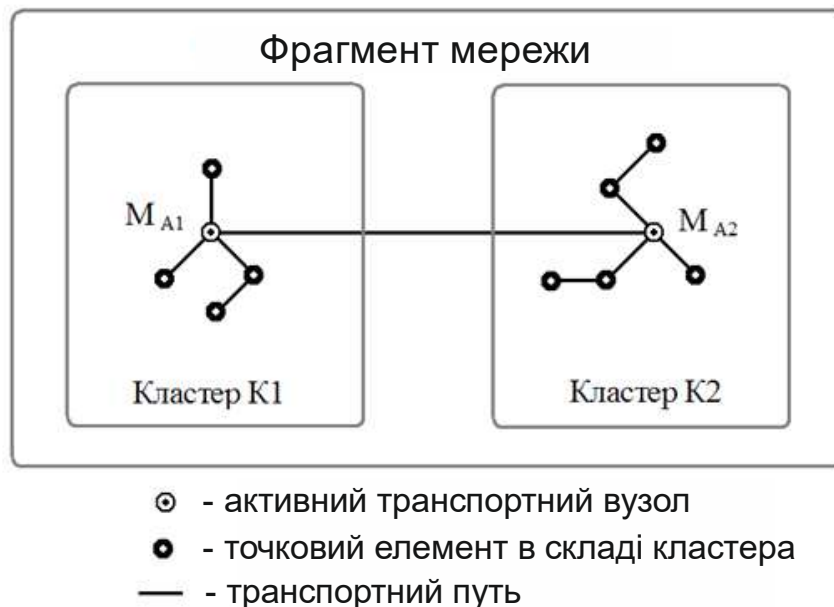


Рисунок 3.13 – Взаємне розташування й схема з'єднання двох кластерів з активними вузлами  $M_{A1}$  і  $M_{A2}$

Очевидно, що при наявності двох прилеглих кластерів їх з'єднання виконується через вузли  $M_{A1}$  і  $M_{A2}$  (рис. 3.13). Якщо ж кластерів три або більш, то їхнє об'єднання приводить до необхідності створення регіонального транспортного центру, схематичне уявлення якого й прийняте графічне зображення показані на рис. 3.14.

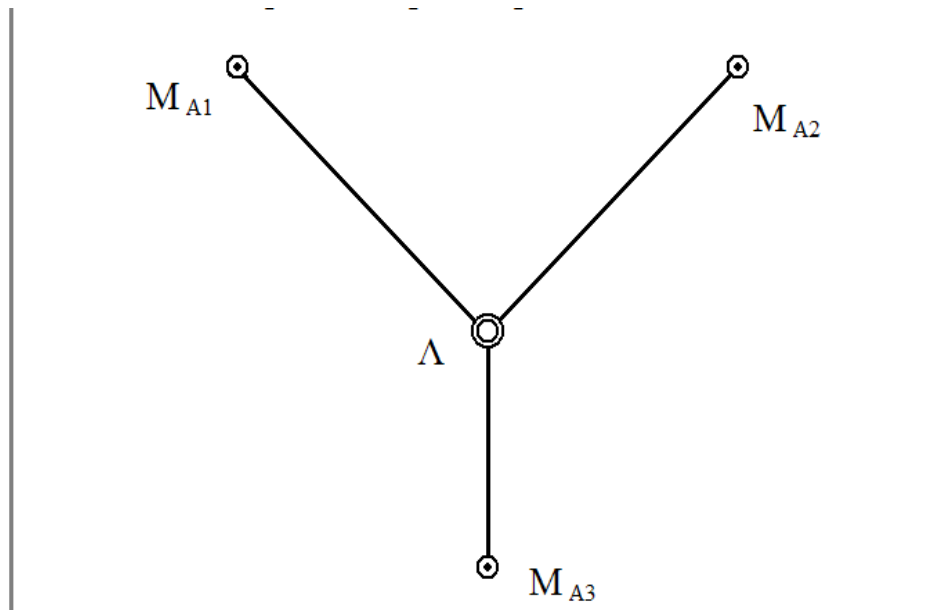


Рисунок 3.14 – Взаємне розташування трьох активних вузлів і схема утворення регіонального транспортного центру  $\Lambda$

Положення регіонального транспортного центру  $\Lambda$  може бути встановлене з умови мінімізації добутку загальної довжини транспортних шляхів на сумарну транспортну роботу, виконану в рамках розглянутого фрагмента системи. Для вирішення цього завдання необхідно мати дані щодо координат і характеристик активності всіх транспортних вузлів. Так, для фрагмента із чотирьох активних вузлів, координати яких представлені в табл. 3.10 встановлене положення регіонального транспортного центру показане на рис. 3.15.

Таблиця 3.10 – Координати активних транспортних вузлів

Позначення вузла і його координати	$M_{A1}$	$M_{A2}$	$M_{A3}$	$M_{A4}$
х, км	50	120	45	132
у, км	110	110	30	52

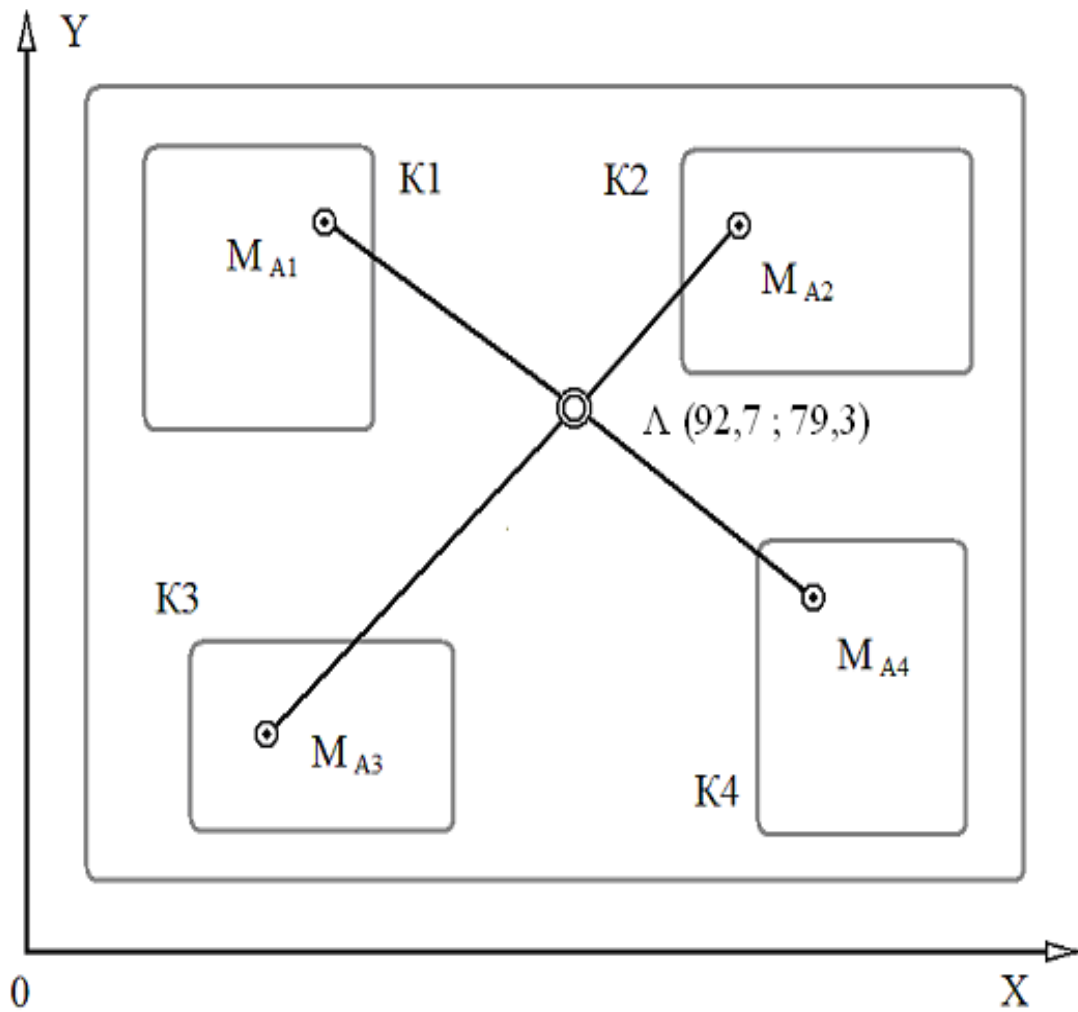
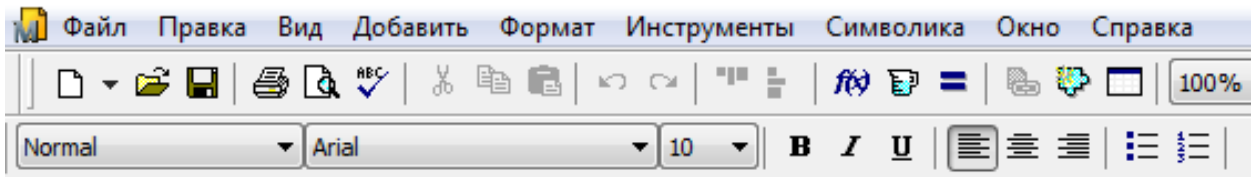


Рисунок 3.15 – Схема з'єднання активних вузлів кластера з утворенням транспортного центру  $\Lambda$

Усі необхідні розрахунки, пов'язані з визначенням координат центру виконувалися за допомогою комп'ютерної програми, лістинг якої показаний на рис. 3.16.



## ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ АКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЦЕНТРА

Исходные данные для расчетов:

Количество точечных элементов кластера:  $n := 4$

Координаты активных узлов кластеров:

$x_1 := 50$        $x_2 := 120$        $x_3 := 45$        $x_4 := 132$   
 $y_1 := 110$        $y_2 := 110$        $y_3 := 30$        $y_4 := 52$

Показатели активности каждого узла:

$QQ_1 := 0.8$        $QQ_2 := 4.7$        $QQ_3 := 4.8$        $QQ_4 := 1.13$

Расчетная часть программы:

$$l(i, xx, yy) := \sqrt{(x_i - xx)^2 + (y_i - yy)^2}$$

$$LS(xx, yy) := \sum_{i=1}^n l(i, xx, yy) \quad QD(xx, yy) := \sum_{i=1}^n [l(i, xx, yy) \cdot (QQ_i)]$$

$$IZ(xx, yy) := LS(xx, yy) \cdot QD(xx, yy)$$

$xx := 10$      $yy := 10$

Given

$$\frac{d}{dxx} IZ(xx, yy) = 0 \quad \frac{d}{dyy} IZ(xx, yy) = 0 \quad zz := (\text{Find}(xx, yy)) \quad zz = \begin{pmatrix} 92.718 \\ 79.339 \end{pmatrix}$$

Результаты расчетов:

Координаты транспортного центра:  $zz_{0,0} = 92.718$        $zz_{1,0} = 79.339$

Расчетное значение целевой функции:  $IZ(zz_{0,0}, zz_{1,0}) = 1.3 \times 10^5$

Рисунок 3.16 – Лістинг програми визначення положення регіонального транспортного центру

### 3.3.2. Формування фрагмента системи, що включає кластери з пасивними транспортними вузлами

Фрагмент системи, що включає чотири прилеглі кластери з пасивними вузлами  $M_{П1}, \dots, M_{П4}$  показаний як приклад на рис. 3.17.

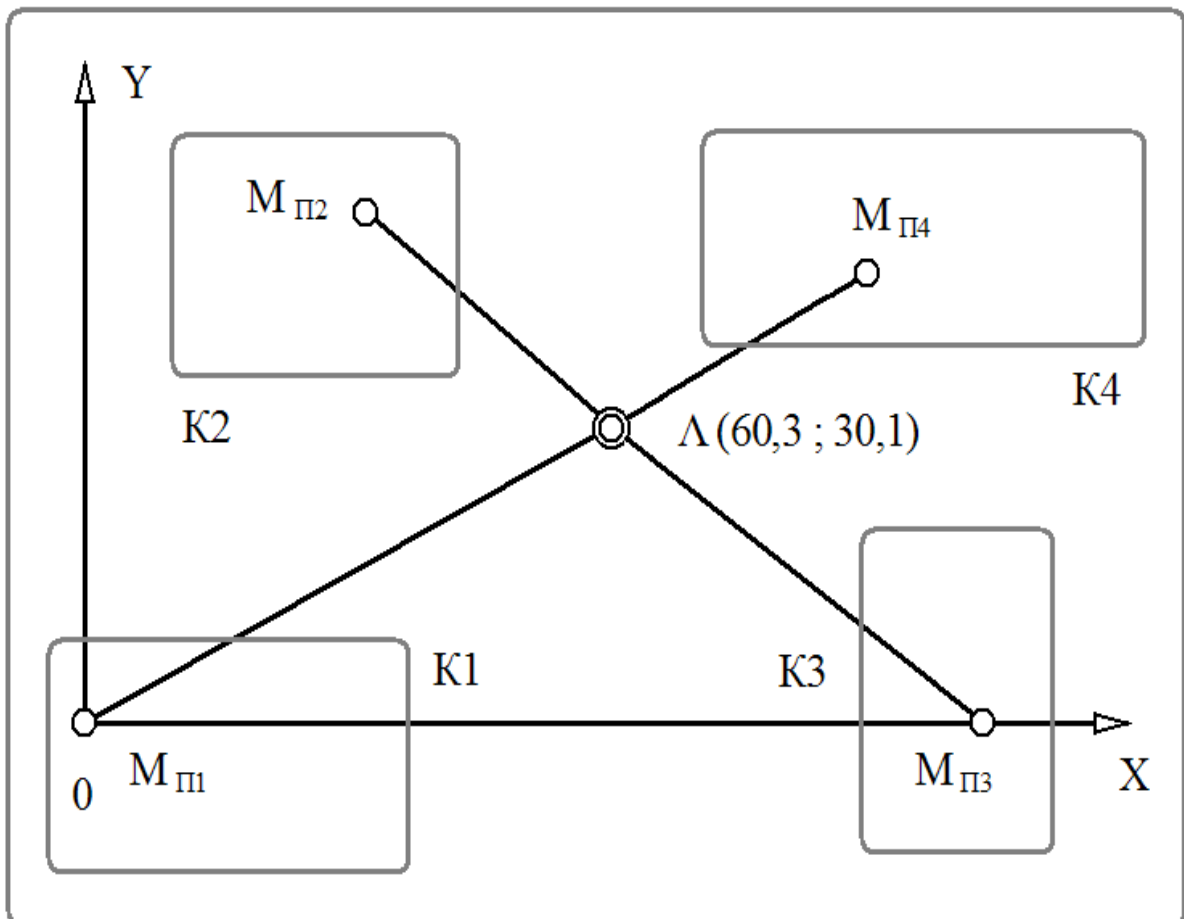


Рисунок 3.17 – Схема взаємного розташування чотирьох кластерів з пасивними вузлами й положення транспортного центру  $\Lambda$

Координати пасивних вузлів, необхідні для визначення положення на площині регіонального транспортного центру наведені в табл. 3.14.

Лістинг розрахункової програми, що дозволяє визначити положення регіонального транспортного центру для прийнятої схеми вихідних даних, показаний на рис. 3.18.

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТРАНСПОРТНОГО ЦЕНТРА

-----

Исходные данные для расчетов:

-----

Количество точечных элементов кластера:  $n := 4$

Координаты точечных элементов кластера:

$x_1 := 0$        $x_2 := 30$        $x_3 := 102$        $x_4 := 90$

$y_1 := 0$        $y_2 := 52$        $y_3 := 0$        $y_4 := 45$

-----

Расчетная часть программы:

-----

$$l(i,xx,yy) := \left[ \sqrt{(x_i - xx)^2 + (y_i - yy)^2} \right]$$

$$LS(xx,yy) := \sum_{i=1}^n l(i,xx,yy)$$

$xx := 1$        $yy := 1$

Given

$$\frac{d}{dxx} LS(xx,yy) = 0 \qquad \frac{d}{dyy} LS(xx,yy) = 0$$

$zz := (\text{Find}(xx,yy))$        $zz = \begin{pmatrix} 60.273 \\ 30.136 \end{pmatrix}$

-----

Результаты расчетов:

-----

Координаты транспортного центра:       $zz_0 = 60.273$        $zz_1 = 30.136$

Расчетное значение целевой функции:       $LS(zz_0,zz_1) = 189.437$

Рисунок 3.18 – Лістинг програми визначення положення регіонального транспортного центру

Таблица 3.11 – Координаты пассивных транспортных узлов

Позначення вузла і його координати	$M_{П1}$	$M_{П2}$	$M_{П3}$	$M_{П4}$
x, км	0	30	102	90
y, км	0	52	0	45

### **3.3.3. Формування фрагмента системи, що включає кластери з декількома активними вузлами й одним пасивним**

Якщо аналізований фрагмент системи містить кілька кластерів з активними вузлами й один з пасивним, то формування регіонального рівня необхідно здійснювати в кілька етапів.

Спочатку потрібно визначити положення регіонального транспортного центру тільки для групи кластерів з активними вузлами. Для цього може бути використаний метод, розроблений у п. 3.3.1 і відповідна комп'ютерна програма.

Далі слід розглянути можливі варіанти з'єднання пасивного вузла з регіональним транспортним центром і прилеглими активними вузлами. В остаточному підсумку повинен бути прийнятий такий варіант, при якому довжина обраного транспортного шляху виявляється найменшою.

Так, на рис. 3.19а показаний фрагмент системи із чотирьох кластерів, три з яких характеризуються наявністю активних вузлів, а один має пасивний вузол.

Для формування регіонального рівня спочатку необхідно встановити положення транспортного центру  $\Lambda$ , відповідно до методу, викладеного в п. 3.3.1 за допомогою розробленого програмного забезпечення (рис. 3.26). Після цього слід знайти відстань від пасивного вузла МП, до найближчого активного (рис. 3.19б), а також до регіонального центру  $\Lambda$  (рис. 3.19в).

Остаточний вибір транспортного шляху й відповідно варіанта формування структури буде залежати від того, який з розглянутих шляхів виявиться коротше.

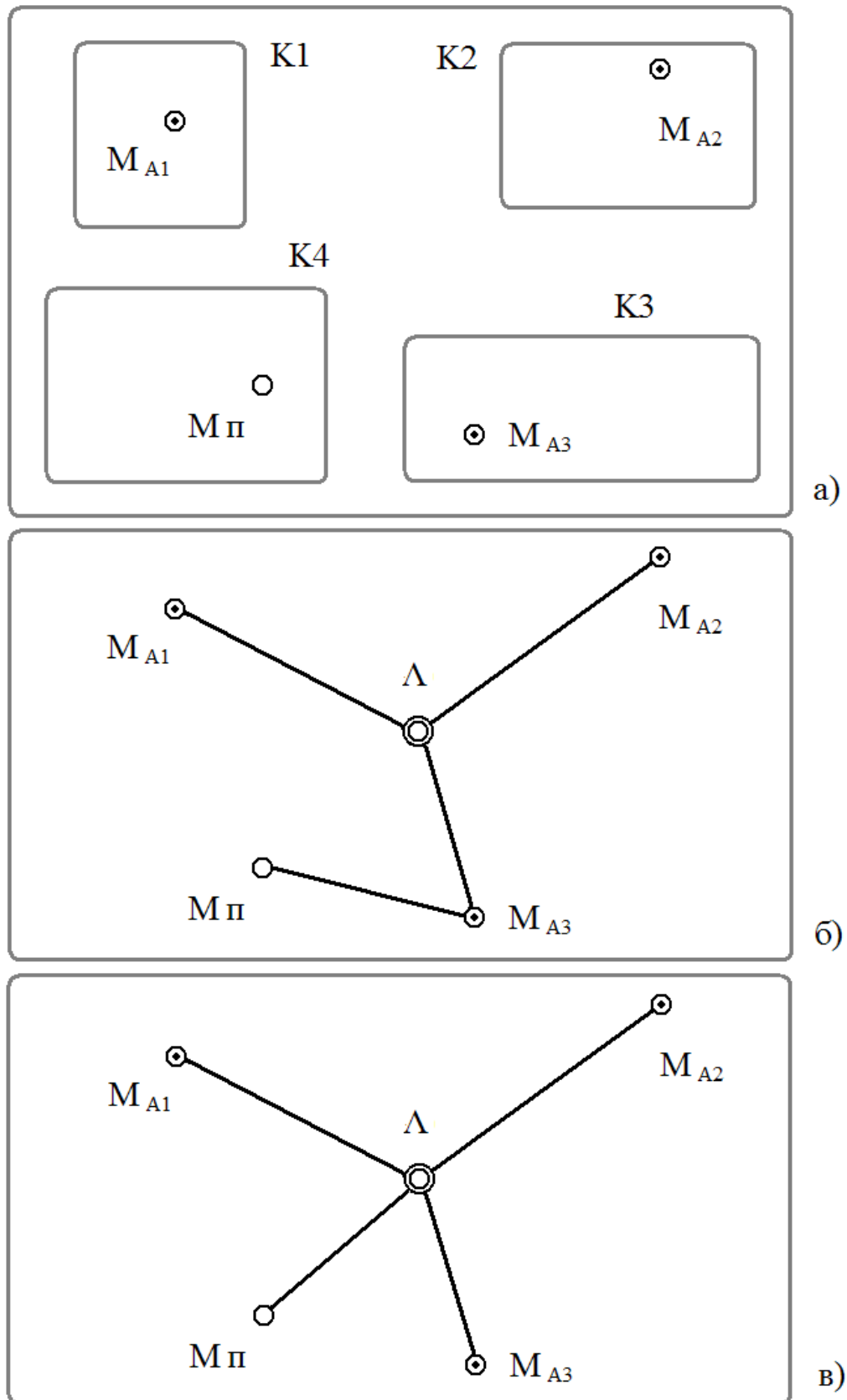


Рисунок 3.19 – Фрагмент системи, що містить кластери із трьома активними й одним пасивним вузлом (а), а також варіант з'єднання пасивного вузла з активним (б) і пасивного вузла з регіональним центром  $\Lambda$  (в)

Таким чином, для аналізованої сукупності вихідних даних формування регіонального рівня виробничої системи проводиться на основі об'єднання кластерів з активними вузлами й визначені положення транспортного центру  $\Lambda$ . У цих умовах транспортний шлях, що з'єднує кластер з пасивним вузлом і регіональний рівень системи виконує по суті об'єднуючу роль, тобто забезпечує цілісність усієї системи.

### 3.3.4. Формування фрагмента системи, що включає кластери з активними й пасивними вузлами.

Розглянемо фрагмент виробничої системи, що включає кластери, як з активними, так і з пасивними транспортними вузлами. Приклад такого фрагмента, що містить шість прилеглих кластерів  $K_1, \dots, K_6$  показаний на рис. 3.20.

При формуванні регіонального рівня системи, слід спочатку з'єднати між собою кластери з активними вузлами й визначити положення регіонального центру  $\Lambda_A$ .

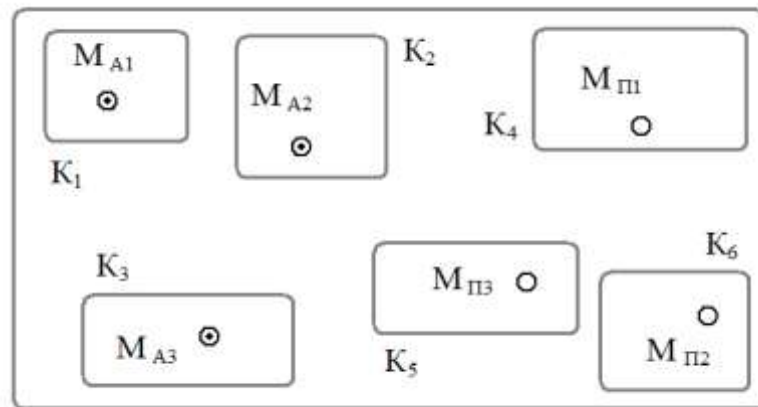


Рисунок 3.20 – Фрагмент системи із шести кластерів, три з яких характеризується наявністю активних вузлів, а три – пасивних

Далі необхідно об'єднати кластери з пасивними вузлами, установивши попереднє положення регіонального центру  $\Lambda_{\Pi}$  (рис.3.21а). Наступний процес

формування регіонального рівня зводиться до з'єднання цих двох центрів за допомогою транспортного шляху (рис. 3.21б).

Таким чином, процедура формування регіонального рівня виробничої системи для фрагмента, що включає кілька груп кластерів з активними й пасивними вузлами, зводиться до наступної послідовності.

1. Прилеглі кластери, що характеризуються наявністю активних вузлів, з'єднуються сукупністю транспортних шляхів з регіональним центром, положення якого встановлюють за допомогою розробленого програмного забезпечення (рис. 3.16). При цьому повинні бути відомі всі характеристики активності й координати поєднаних транспортних вузлів.

2. Прилеглі кластери, що характеризуються наявністю пасивних вузлів, з'єднуються з регіональним центром сукупністю транспортних шляхів, положення якого встановлюється з використанням комп'ютерної програми, лістинг якої показаний на рис. 3.18.

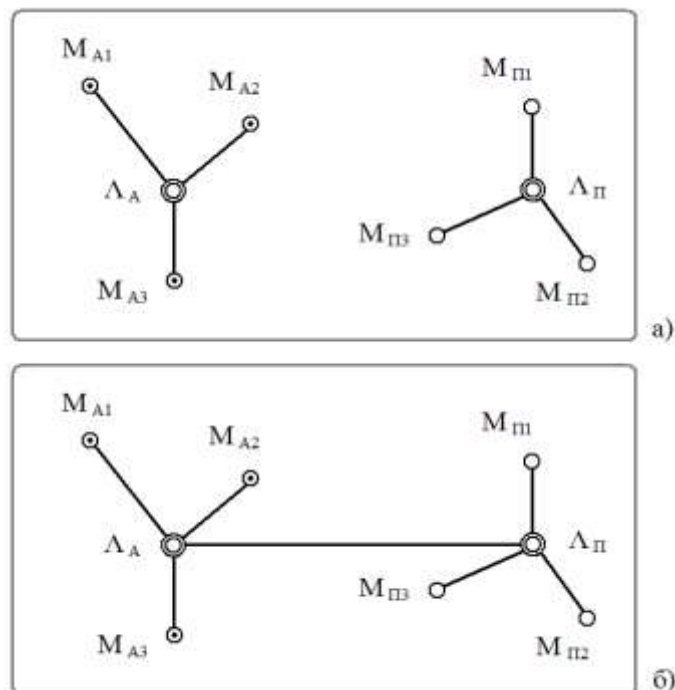


Рисунок 3.21 – Схема взаємного розташування транспортних центрів (а) і їх наступне з'єднання при формуванні регіонального рівня територіальної системи (б)

3. Окремі регіональні центри, залежно від їхнього взаємного розташування з'єднуються між собою прямо, або ж через додатковий транспортний центр, якщо його використання дозволяє знизити загальну довжину всіх шляхів на регіональному рівні системи.

### **3.3.5. Поділ множини транспортних шляхів на окремі групи з урахуванням їх ролі в процесі функціонування всієї системи**

Розроблений метод формування регіонального рівня дозволяє на етапі проектування розділити множини усіх транспортних шляхів на ряд підмножин, елементи яких відрізняються своїм функціональним призначенням у рамках діючої системи. Склад і характеристики таких елементів для підмножин з позначеннями П1, ... П6 наведені в табл. 3.12. Наявність і кількість відповідних елементів у складі регіонального рівня дозволяє скласти уявлення про структуру, властивості й можливостях виробничої системи як цілісного об'єкта.


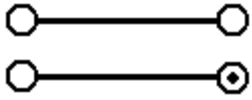



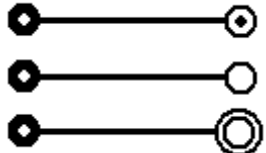
Аналізуючи дані, представлені в табл. 3.12 можна укласти, що при функціонуванні системи роль елементів кожного з підмножин П1, ... П6 виявляється різною. Із цієї причини й відношення до елементів різних підгруп, що перебувають у складі, повинне бути різним як у процесі проектування, будівництва, введення в експлуатацію, так і при виконанні ремонту, оснащення устаткуванням, реконструкції й т.п. Таким чином, завдання структурування виробничої системи зв'язана не тільки з необхідністю формування її оптимальної структури, але й з уточненням ролі окремих елементів у процесі функціонування.

У цілому ж, характеризуючи елементи підмножин П1, ... П6 можна сформулювати наступний ряд рекомендацій практичного характеру.

1. Підмножина лінійних елементів П1 характеризується найбільшими обсягами вантажних перевезень на регіональному рівні. Саме ці транспортні шляхи повинні забезпечувати можливість ефективного просування вантажопотоків із застосуванням самих передових технологій. Для цього на етапі проектування

системи слід передбачити можливість створення й використання відповідної транспортної й іншої інфраструктури.

Таблиця 3.12 – Позначення й характеристики транспортних шляхів як елементів системи

Позначення підмножини	Схематичне зображення окремого елемента	Загальна характеристика елементів підмножини
П1		Шляхи, що з'єднують між собою окремі вузли кластерів
П2		Шляхи, що з'єднують між собою пасивні вузли кластерів або ж активний і пасивний вузол
П3		Шляхи, що з'єднують між собою активні вузли кластерів з регіональними транспортними центрами
П4		Шляхи, що з'єднують між собою пасивні вузли кластерів з регіональними транспортними центрами
П5		Шляхи, що з'єднують між собою регіональні транспортні центри
П6		Шляхи, що з'єднують елементи кластерів без транспортного вузла з вузлами інших кластерів або з регіональними транспортними центрами

2. Елементи підмножини П2 на регіональному рівні виконують в основному сполучну роль. Обсяги вантажних перевезень, характеризують їхнє функціонування не великі, у порівнянні з елементами підмножини П1.

3. Елементи приналежні підмножинам П3 і П4 виконують сполучну роль, забезпечуючи можливість просування вантажопотоків через регіональні вузли й формування цілісної системи.

4. Елементи, що належать підмножині П5, з'єднують окремі вузли й транспортні центри, забезпечуючи можливість взаємодії периферійних ділянок системи.

5. Елементи підмножини П6 при функціонуванні регіонального рівня виконують допоміжну роль, забезпечуючи переважну можливість зв'язку окремих точкових об'єктів у межах кластерів з іншими структурними складовими системи.

Процедура структурного синтезу регіонального рівня системи являє собою багатоетапний процес, пов'язаний з послідовним об'єднанням у єдину транспортну мережу вузлів і точкових елементів окремих кластерів. Приклад реалізації такого роду процедури показаний на рис. 3.22.

На першому етапі проводиться відображення на площині в обраному масштабі всієї сукупності активних і пасивних вузлів окремих кластерів з використанням прийнятих у табл. 3.12 позначень структурних елементів (рис. 3.22а). Такого роду графічне зображення дозволяє скласти уявлення про взаємне розташування окремих фрагментів виробничої системи.

На наступному етапі вирішується завдання визначення положення на площині транспортних центрів, окремо для груп кластерів з активними й пасивними транспортними вузлами (рис. 3.22б).

Останній етап синтезу пов'язаний з необхідністю з'єднання між собою окремих регіональних транспортних центрів і остаточним формуванням структури регіонального рівня системи (рис. 3.22в).

При цьому можливі варіанти формування структури повинні бути проаналізовані з погляду мінімізації сумарної довжини всіх елементів підмножини П5 у складі регіонального рівня системи.

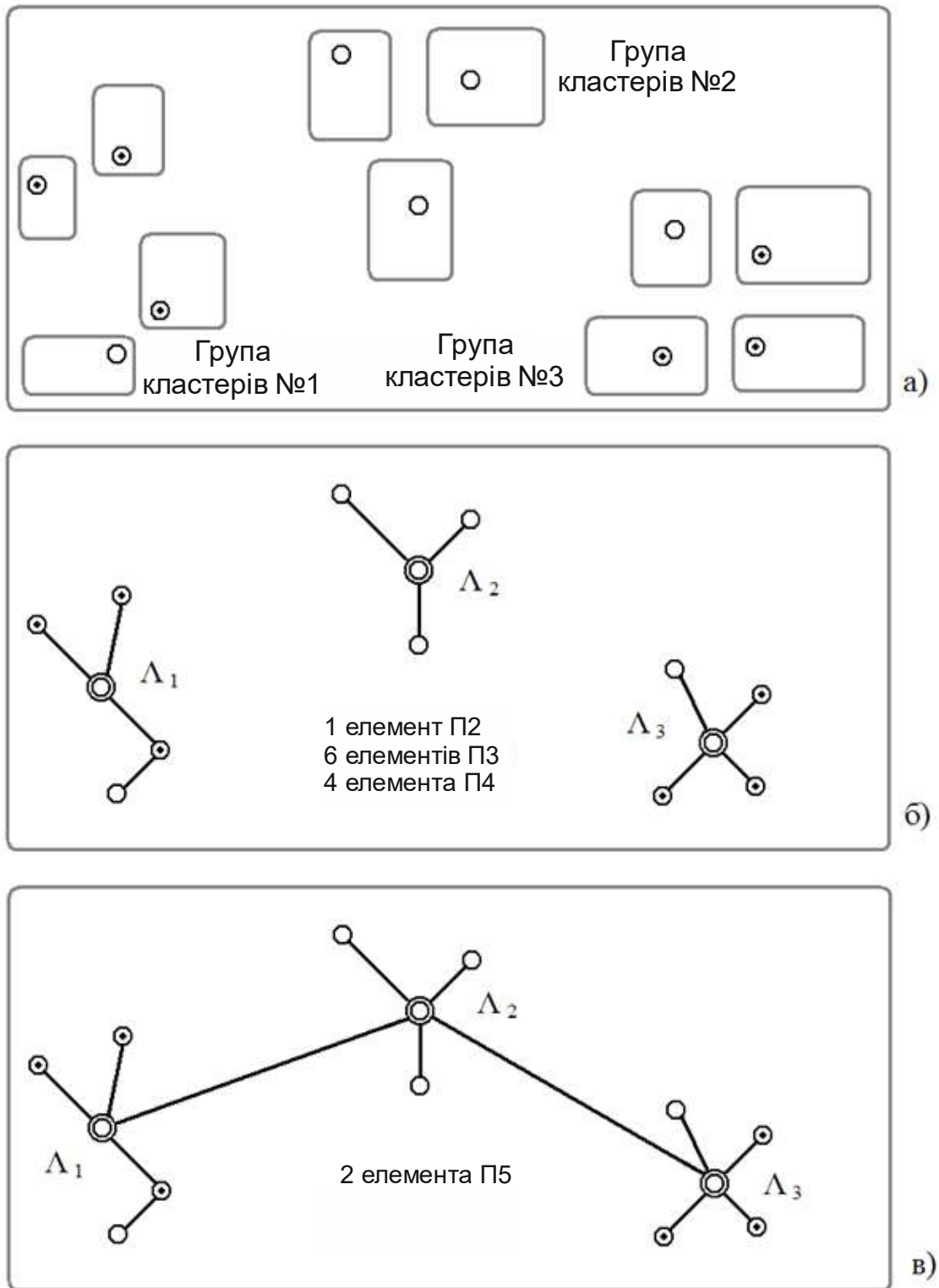


Рисунок 3.22 – Схема формування регіонального рівня системи на основі груп прилеглих кластерів (а), шляхом визначення положення транспортних центрів (б) і їх наступного об'єднання (в)

### 3.4. Структурна оптимізація міжрегіонального рівня

Міжрегіональний рівень системи формується на базі транспортних шляхів, що забезпечують просування вантажопотоків уздовж транспортного коридору. При цьому слід зазначити, що сам по собі коридор визначає лише загальний напрямок просування вантажопотоків, а орієнтація окремих ділянок (лінійних елементів) міжрегіонального рівня може й не збігатися із загальним напрямком коридору.

Очевидно, що міжрегіональний рівень системи доцільно формувати на базі існуючих структурних елементів регіонального рівня. Для цих цілей найбільшою мірою придатні елементи підмножини П5. Хоча при цьому не виключається й можливість використання елементів приналежних іншим підмножинам, наприклад П1 і П2.

Зв'язане це з тим, що елементи підмножини П5 у цілому виконують сполучну роль між групами кластерів і забезпечують можливість взаємодії між вилученими фрагментами всієї системи. Такі транспортні шляхи при наявності відповідного технічного оснащення, елементів інфраструктури й здатності пропускати необхідні обсяги транзитних вантажів можуть успішно виконувати роль елементів міжрегіонального рівня.

Оскільки вирішення питання про включення того або іншого елемента до складу міжрегіонального рівня пов'язане з оцінкою середнього часу проходження вантажів (п. 3.1.3), то такого роду оцінку слід виконувати для кожного із шляхів, які передбачається включити до складу формованого рівня системи. У той же час, у ряді випадків, формування міжрегіонального рівня може бути зв'язане й з необхідністю створення нових транспортних шляхів.

Так, на рис. 3.23 показаний фрагмент системи, що включає елементи підмножини П5 і можливі транспортні шляхи, які можуть бути створені й включені до складу міжрегіонального рівня.

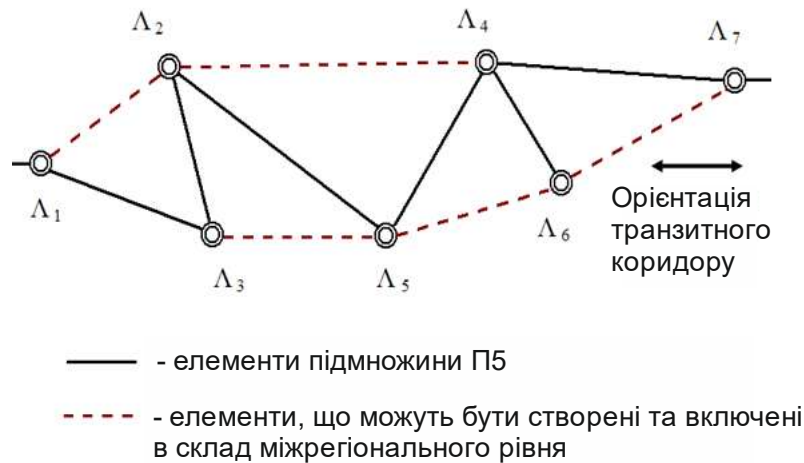


Рисунок 3.23 – Схема формування міжрегіонального рівня системи на базі елементів, що належать підмножині П5

Для ухвалення рішення про те, які ж конкретно шляхи можуть бути включені до складу міжрегіонального рівня, оцінюється середній час проходження транспортних засобів по кожному з ділянок. Дані за значеннями середнього часу проходження вантажопотоків для кожного з елементів, включення яких до складу міжрегіонального рівня виявляється можливим, наведені в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Оцінка середнього часу проходження транзитних вантажів на окремих ділянках виробничої системи

Позначення ділянки $\Lambda_i - \Lambda_j$ як транспортного шляху між точками $\Lambda_i$ і $\Lambda_j$	$\Lambda_1 - \Lambda_2$	$\Lambda_1 - \Lambda_3$	$\Lambda_2 - \Lambda_3$	$\Lambda_3 - \Lambda_5$	$\Lambda_2 - \Lambda_5$	$\Lambda_2 - \Lambda_4$	$\Lambda_4 - \Lambda_5$	$\Lambda_4 - \Lambda_7$	$\Lambda_4 - \Lambda_6$	$\Lambda_5 - \Lambda_6$	$\Lambda_6 - \Lambda_7$
Середній час $t_{ij}$ (хв) проходження вантажів, на ділянці $\Lambda_i - \Lambda_j$	26	32	18	42	40	46	20	64	36	26	32

Аналіз представлених у таблиці даних дозволяє укласти, що проходження транзитних вантажів між точками  $\Lambda_1$  і  $\Lambda_7$  (рис. 3.24) можливо по маршрутах  $\Lambda_1 - \Lambda_2$

–  $\Lambda_4 - \Lambda_7$  або  $\Lambda_1 - \Lambda_2 - \Lambda_5 - \Lambda_6 - \Lambda_7$  із середнім часом  $t_{1,7}$  складовим 136 хв і 124 хв відповідно.

У цьому плані саме другий із зазначених маршрутів виявляється кращим. Відзначимо, що для цього до складу міжрегіонального рівня слід ввести два додаткові елементи, а саме ділянки  $\Lambda_5 - \Lambda_6$  і  $\Lambda_6 - \Lambda_7$ .

Тоді синтезований фрагмент системи, що включає структурні елементи як регіонального, так і міжрегіонального рівнів буде мати вигляд, показаний на рис. 3.24.

Очевидно, що процес формування міжрегіонального рівня виробничої системи може бути зв'язаний як з необхідністю введення додаткових структурних елементів (наприклад ділянок  $\Lambda_5 - \Lambda_6$  або  $\Lambda_6 - \Lambda_7$  показаних на рис. 3.23), так і переводом деяких структурних елементів регіонального рівня до складу міжрегіонального.

Так, ділянку  $\Lambda_2 - \Lambda_5$  регіонального рівня системи показаної на рис. 3.23 після формування міжрегіонального рівня відповідно до даних рис. 3.24 необхідно включити до складу останнього. Це означає, що вимоги до таких структурних елементів у процесі розв'язку завдання синтезу будуть мінятися. У цьому випадку для ділянки  $\Lambda_2 - \Lambda_5$  основною проектною вимогою буде необхідність забезпечення середнього часу проходження вантажопотоків на рівні 40 хв, відповідно до даних наведених у табл. 3.13.

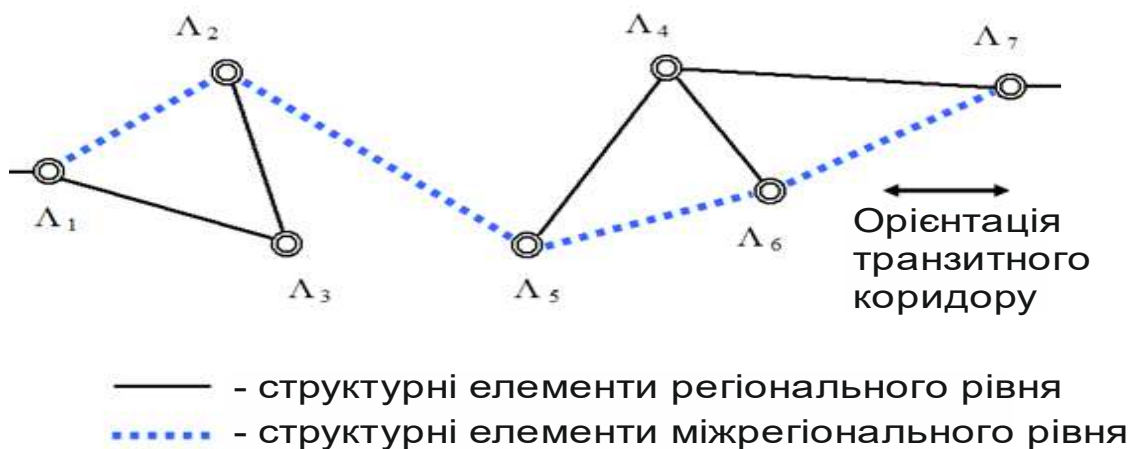


Рисунок 3.24 – Фрагмент виробничої системи, з елементами регіонального й міжрегіонального рівня

### **3.5. Формулювання вимог до елементів територіальної виробничої системи на основі вирішення завдання структурної оптимізації**

Підсумковий результат вирішення завдання структурної оптимізації й синтезу виробничої системи в загальному випадку зводиться до наступного.

1. Встановлюється багаторівнева структура, що відповідає вимогам, пов'язаним із багатопараметричною оптимізацією й урахуванням додаткових умов, пов'язаних з особливостями функціонування системи.

2. Окремі транспортні шляхи системи діляться на групи, що належать різним підмножинам.

3. Встановлюються положення, і визначаються експлуатаційні характеристики транспортних вузлів і центрів, що забезпечують можливість функціонування системи як цілісного об'єкта.

Перший з перерахованих результатів являє собою підсумок пошуку оптимальної структури й уточнення складу багаторівневої системи.

Другий результат дозволяє систематизувати й згрупувати всі лінійні елементи (транспортні шляхи) з урахуванням експлуатаційних вимог і забезпечити, таким чином, можливість прийняття обґрунтованих розв'язків при введенні їх в експлуатацію.

Останній результат дозволяє сформулювати проектні вимоги, у тому числі й відносно точкових елементів територіальної виробничої системи.

Таким чином, результатом рішення завдання структурної оптимізації є формування такої структури, яка б відповідала встановленим вимогам до оптимальності на кожному з рівнів територіальної виробничої системи.

Так, для системи, схема якої представлена на рис. 3.25, синтезованої відповідно до викладених процедур встановлена приналежність усіх транспортних шляхів до того або іншому структурному рівню й сформульовані вимоги до окремих лінійних елементів (табл. 3.14).

Крім того, проектні вимоги можуть бути сформульовані й відносно точкових елементів пов'язаних з їхнім взаємним розташуванням та необхідністю забезпечення можливості проходження вантажопотоків (табл. 3.15).

У цілому, результат вирішення завдання структурно-параметричного синтезу може бути представлений у вигляді структурної схеми системи (аналогічно показаної на рис. 3.25), а також у формі таблиць із експлуатаційними характеристиками й установленими вимогами у відношенні лінійних і точкових елементів (аналогічно тому, як це показано в таблицях 3.14 і 3.15).

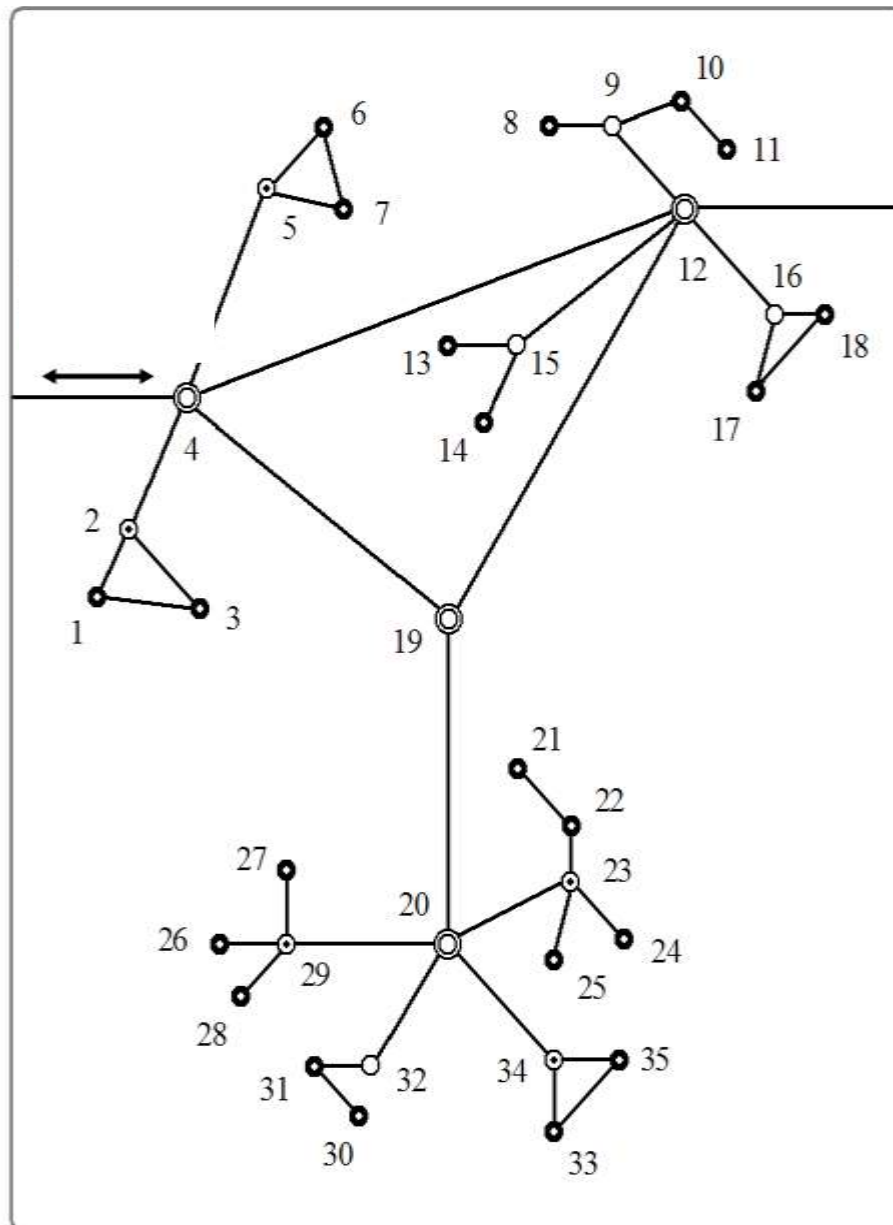


Рисунок 3.25 – Фрагмент територіальної виробничої системи, що включає три групи виробничих кластерів

Таблиця 3.14 – Характеристики й вимоги до лінійних елементів виробничої системи

Позначення лінійного елемента відповідно до даних рис. 3.25	Приналежність до структурного рівня системи	Приналежність до однієї з підмножин	Характеристики елемента			Проектно-експлуатаційні вимоги до лінійного елемента	
			$l_{i,j}$ км	$q_{i,j}$ тис. т / діб	$q_{j,i}$ тис. т / діб	*	**
4-12	Межрегион.	П5	$l_{4,12}$	$q_{4,12}$	$q_{12,4}$	*	* - Забезпечення заданої середньої швидкості просування транспортного потоку ** - Забезпечення можливості проходження вантажопотоків заданої величини по даному шляхові
4-19	Регіонал.	П5	$l_{4,19}$	$q_{4,19}$	$q_{19,4}$	**	
12-19	Регіонал.	П5	$l_{12,19}$	$q_{12,19}$	$q_{19,12}$	**	
19-20	Регіонал.	П5	$l_{19,20}$	$q_{19,20}$	$q_{20,19}$	**	
20-29	Регіонал.	П3	$l_{20,29}$	$q_{20,29}$	$q_{20,29}$	**	
20-23	Регіонал.	П3	$l_{20,23}$	$q_{20,23}$	$q_{23,20}$	**	
20-34	Регіонал.	П3	$l_{20,34}$	$q_{20,34}$	$q_{34,20}$	**	
20-32	Регіонал.	П4	$l_{20,32}$	$q_{20,32}$	$q_{32,20}$	**	
2-4	Регіонал.	П3	$l_{2,4}$	$q_{2,4}$	$q_{4,2}$	**	
4-5	Регіонал.	П3	$l_{4,5}$	$q_{4,5}$	$q_{5,4}$	**	
9-12	Регіонал.	П4	$l_{9,12}$	$q_{9,12}$	$q_{12,9}$	**	
12-15	Регіонал.	П4	$l_{12,15}$	$q_{12,15}$	$q_{15,12}$	**	
12-16	Регіонал.	П4	$l_{12,16}$	$q_{12,16}$	$q_{16,12}$	**	
5-6	Місцевий	П6	$l_{5,6}$	$q_{5,6}$	$q_{6,5}$	**	
6-7	Місцевий	-	$l_{6,7}$	$q_{6,7}$	$q_{7,6}$	**	
5-7	Місцевий	П6	$l_{5,7}$	$q_{5,7}$	$q_{7,5}$	**	
8-9	Місцевий	П6	$l_{8,9}$	$q_{8,9}$	$q_{9,8}$	**	
9-10	Місцевий	П6	$l_{9,10}$	$q_{9,10}$	$q_{10,9}$	**	
10-11	Місцевий	-	$l_{10,11}$	$q_{10,11}$	$q_{10,11}$	**	
1-2	Місцевий	П6	$l_{1,2}$	$q_{1,2}$	$q_{1,2}$	**	
2-3	Місцевий	П6	$l_{2,3}$	$q_{2,3}$	$q_{3,2}$	**	
1-3	Місцевий	-	$l_{1,3}$	$q_{1,3}$	$q_{3,1}$	**	
13-15	Місцевий	П6	$l_{13,15}$	$q_{13,15}$	$q_{15,13}$	**	
14-15	Місцевий	П6	$l_{14,15}$	$q_{14,15}$	$q_{15,14}$	**	
16-17	Місцевий	П6	$l_{16,17}$	$q_{16,17}$	$q_{17,16}$	**	
16-18	Місцевий	П6	$l_{16,18}$	$q_{16,18}$	$q_{18,16}$	**	
17-18	Місцевий	-	$l_{17,18}$	$q_{17,18}$	$q_{18,17}$	**	
26-29	Місцевий	П6	$l_{26,29}$	$q_{26,29}$	$q_{29,26}$	**	
27-29	Місцевий	П6	$l_{27,29}$	$q_{27,29}$	$q_{29,27}$	**	
28-29	Місцевий	П6	$l_{28,29}$	$q_{28,29}$	$q_{29,28}$	**	
30-31	Місцевий	-	$l_{30,31}$	$q_{30,31}$	$q_{31,30}$	**	
31-32	Місцевий	П6	$l_{31,32}$	$q_{31,32}$	$q_{32,31}$	**	
33-34	Місцевий	П6	$l_{33,34}$	$q_{33,34}$	$q_{34,33}$	**	
34-35	Місцевий	П6	$l_{34,35}$	$q_{34,35}$	$q_{35,34}$	**	
21-22	Місцевий	-	$l_{21,22}$	$q_{21,22}$	$q_{22,21}$	**	
22-23	Місцевий	П6	$l_{22,23}$	$q_{22,23}$	$q_{23,22}$	**	
23-24	Місцевий	П6	$l_{23,24}$	$q_{23,24}$	$q_{24,23}$	**	
23-25	Місцевий	П6	$l_{24,25}$	$q_{24,25}$	$q_{25,24}$	**	

Таблиця 3.15 – Характеристики й вимоги до точкових елементів виробничої системи

Позначення точкового елемента відповідно до даних рис. 3.25	Роль, елемента в структурі системи	Характеристики елемента			Експлуатаційні вимоги
		Координати на площині YOX, км	Параметри вхідних грузопотоків, тис. т / діб	Параметри вихідних грузопотоків, тис. т / діб	
19	Регіональний центр	x <sub>19</sub> ; y <sub>19</sub>	q <sub>20,19</sub> , q <sub>4,19</sub> , q <sub>12,19</sub>	q <sub>19,4</sub> , q <sub>19,12</sub> , q <sub>19,20</sub>	Забезпечення можливості просування й переробки заданих обсягів вантажних потоків
4	Регіональний центр	x <sub>4</sub> ; y <sub>4</sub>	q <sub>19,4</sub> , q <sub>2,4</sub> , q <sub>5,4</sub> , q <sub>12,4</sub>	q <sub>4,19</sub> , q <sub>4,2</sub> , q <sub>4,5</sub> , q <sub>4,12</sub>	
12	Регіональний центр	x <sub>12</sub> ; y <sub>12</sub>	q <sub>15,12</sub> , q <sub>16,12</sub> , q <sub>9,12</sub>	q <sub>12,15</sub> , q <sub>12,16</sub> , q <sub>12,9</sub>	
20	Регіональний центр	x <sub>20</sub> ; y <sub>20</sub>	q <sub>29,20</sub> , q <sub>23,20</sub> , q <sub>32,20</sub> , q <sub>34,20</sub>	q <sub>20,29</sub> , q <sub>20,33</sub> , q <sub>20,32</sub> , q <sub>20,34</sub>	
5	Активний вузол	x <sub>5</sub> ; y <sub>5</sub>	q <sub>6,5</sub> , q <sub>7,5</sub> , q <sub>4,5</sub>	q <sub>5,6</sub> , q <sub>5,7</sub> , q <sub>5,4</sub>	
2	Активний вузол	x <sub>2</sub> ; y <sub>2</sub>	q <sub>1,2</sub> , q <sub>3,2</sub> , q <sub>4,2</sub>	q <sub>2,1</sub> , q <sub>2,3</sub> , q <sub>2,4</sub>	
9	Пасивний вузол	x <sub>9</sub> ; y <sub>9</sub>	q <sub>8,9</sub> , q <sub>10,9</sub> , q <sub>12,9</sub>	q <sub>9,8</sub> , q <sub>9,10</sub> , q <sub>9,12</sub>	
15	Пасивний вузол	x <sub>15</sub> ; y <sub>15</sub>	q <sub>13,15</sub> , q <sub>14,15</sub> , q <sub>12,15</sub>	q <sub>15,13</sub> , q <sub>15,14</sub> , q <sub>15,12</sub>	
16	Пасивний вузол	x <sub>16</sub> ; y <sub>16</sub>	q <sub>17,16</sub> , q <sub>18,16</sub> , q <sub>12,16</sub>	q <sub>16,17</sub> , q <sub>16,18</sub> , q <sub>16,12</sub>	
29	Активний вузол	x <sub>29</sub> ; y <sub>29</sub>	q <sub>28,29</sub> , q <sub>27,29</sub> , q <sub>26,29</sub> , q <sub>20,29</sub>	q <sub>29,28</sub> , q <sub>29,27</sub> , q <sub>29,26</sub> , q <sub>29,20</sub>	
23	Активний вузол	x <sub>23</sub> ; y <sub>23</sub>	q <sub>20,23</sub> , q <sub>22,23</sub> , q <sub>24,23</sub> , q <sub>25,23</sub>	q <sub>23,20</sub> , q <sub>23,22</sub> , q <sub>23,24</sub> , q <sub>23,25</sub>	
32	Пасивний вузол	x <sub>32</sub> ; y <sub>32</sub>	q <sub>31,32</sub> , q <sub>20,32</sub>	q <sub>32,31</sub> , q <sub>32,20</sub>	
34	Активний вузол	x <sub>34</sub> ; y <sub>34</sub>	q <sub>33,34</sub> , q <sub>35,34</sub> , q <sub>20,34</sub>	q <sub>34,33</sub> , q <sub>34,35</sub> , q <sub>34,20</sub>	

### **3.6. Формування територіальної виробничої системи на прикладі об'єднання й структурування груп виробничих кластерів**

Розглянемо процес послідовного формування структури територіальної виробничої системи з використанням розроблених методів і обчислювальних алгоритмів на конкретному прикладі. Припустимо, необхідно виконати структурний синтез системи шляхом об'єднання дев'яти виробничих кластерів, у складі яких є взаємодіючі точкові елементи, а також формування сукупності ділянок, що забезпечують гарантоване просування транзитних вантажопотоків у заданому напрямку.

Практичне вирішення такого роду завдання пов'язано з необхідністю:

- формування багаторівневої структури територіальної виробничої системи на основі принципів оптимальності;
- визначення приналежності окремих елементів системи до конкретних структурних рівнів;
- формулювання проектних вимог до окремих структурних елементів, з урахуванням їх функціонального призначення й особливостей функціонування в рамках діючої системи.

#### **3.6.1. Структурний синтез багаторівневої виробничої системи**

Відповідно до умов поставленого завдання всі наявні точкові елементи повинні бути включені до складу єдиної системи з урахуванням їх приналежності до кластерів  $K_1, \dots, K_9$ . Схема взаємного розташування перерахованих кластерів, а також заданий напрямок просування транзитних вантажопотоків у границях розглянутої системи показані на рис. 3.26.

Координати точкових елементів, які входять до складу розглянутих кластерів наведені в табл. 3.16. Використовувана для цих цілей система прямокутних координат  $Y^*OX^*$  розташовується таким чином, щоб вісь абсцис була орієнтована уздовж напрямку транзиту вантажних потоків (рис. 3.27).



Таблиця 3.16 – Координати точкових елементів місцевого рівня в складі територіальної виробничої системи

Умовна позначка кластера	Перелік точкових елементів у складі кластера і їх позначення	Координати точкових структурних елементів	
		x*, км	y*, км
К1	M <sub>1</sub>	40	220
	M <sub>2</sub>	45,8	228
	M <sub>3</sub>	64,2	225,6
	M <sub>4</sub>	71,1	236,8
К2	M <sub>1</sub>	30	140
	M <sub>2</sub>	35,2	156,6
	M <sub>3</sub>	45,3	142,1
	M <sub>4</sub>	49,6	145
К3	M <sub>1</sub>	220	320
	M <sub>2</sub>	232	345
	M <sub>3</sub>	247	333
К4	M <sub>1</sub>	140	260
	M <sub>2</sub>	156	263,5
	M <sub>3</sub>	169	277,3
	M <sub>4</sub>	140	270
К5	M <sub>1</sub>	300	240
	M <sub>2</sub>	323,2	259,2
	M <sub>3</sub>	329,2	246,2
	M <sub>4</sub>	344,8	261,1
К6	M <sub>1</sub>	170	130
	M <sub>2</sub>	189,3	157,7
	M <sub>3</sub>	196,1	145,2
	M <sub>4</sub>	199,4	133,3
К7	M <sub>1</sub>	270	120
	M <sub>2</sub>	276,2	143
	M <sub>3</sub>	291,2	127,1
	M <sub>4</sub>	313,4	123,3
К8	M <sub>1</sub>	230	40
	M <sub>2</sub>	233,2	52,2
	M <sub>3</sub>	245,1	64,7
	M <sub>4</sub>	254,4	45,2
	M <sub>5</sub>	276	56
К9	M <sub>1</sub>	450	160
	M <sub>2</sub>	459,2	173,3
	M <sub>3</sub>	468,1	205,6
	M <sub>4</sub>	476,8	188,7
	M <sub>5</sub>	483,1	166,3

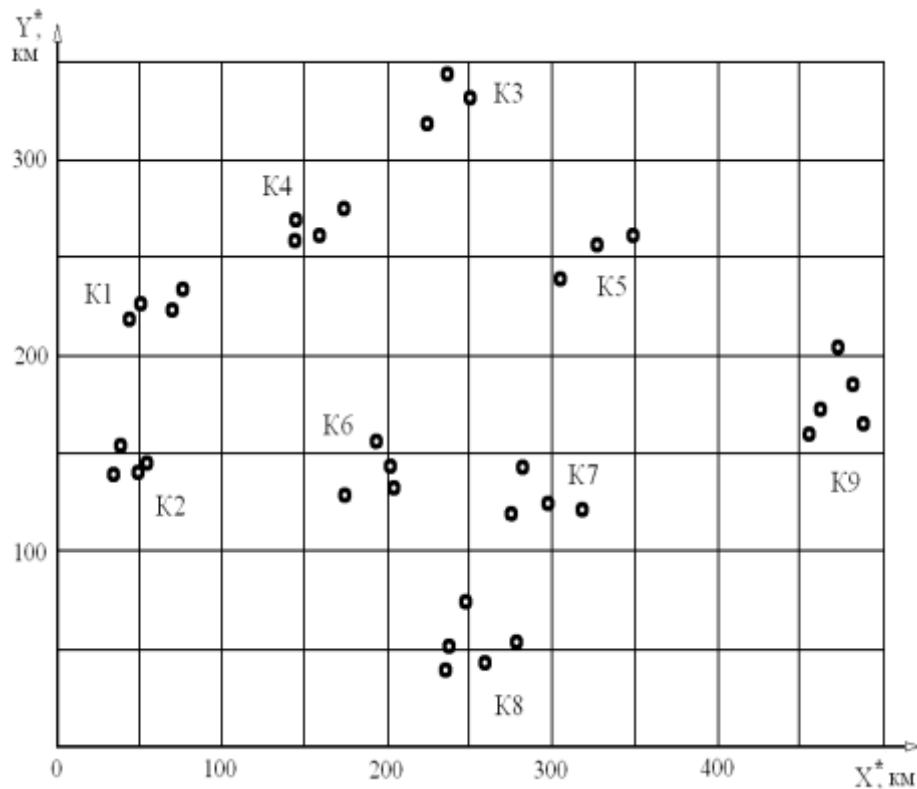


Рисунок 3.27 – Схема розташування на площині  $Y^*OX^*$  точкових структурних елементів приналежних кластерам  $K1, \dots, K9$

У цьому випадку зазначений вузол буде виконувати одночасно й функцію транспортного центру, визначаючи тим самим положення транзитного коридору, що збігається з віссю абсцис нової прямокутної системи координат  $Y0X$ . Для досягнення цієї мети необхідно здійснити паралельний перенос вихідної системи координат  $Y^*OX^*$  таким чином, щоб вісь абсцис проходила через пасивний транспортний вузол МП<sub>9</sub> (рис. 3.28).

Очевидно, що в цьому випадку перетворення координат окремих точок при переході до системи  $Y0X$  здійснюється так:

$$\begin{cases} Y = Y^* - 184,993 \\ X = X^* \end{cases}, \quad (3.27)$$

У прямокутній системі координат  $Y0X$  положення транспортних вузлів кластерів  $K1, \dots, K9$  характеризується значеннями, які наведені в табл. 3.18.

Таблиця 3.17 – Дані для розрахунків і координати транспортних вузлів кластерів

Кластер	Матриця зв'язків $\  M \ $	Матриця вантажопотоків $\  Q \ $	Позначення й характеристики активності вузла, тис т / діб	Координати точкових структурних елементів	
				$x^*$ , км	$y^*$ , км
K1	$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 19,7 & 17,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 14,4 & 0 \end{vmatrix}$	$M_{П1}$ , пасивний	48,221	226,286
K2	$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 42,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 53,6 & 27,3 & 0 & 0 \\ 0 & 35,7 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$M_{П2}$ , пасивний	41,378	144,934
K3	$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 8,6 & 6,6 \\ 0 & 0 & 4,1 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$M_{A3}$ , $q_{0,1} = 2,22$ ; $q_{1,0} = 3,78$ ; $q_{0,3} = 2,22$	233,393	333,862
K4	$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 8,7 & 7,7 & 3,2 \\ 0 & 0 & 2,6 & 1,7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$M_{A4}$ , $q_{0,2} = 0,96$ ; $q_{2,0} = 0,78$ ; $q_{0,4} = 0,62$	150,531	264,905
K5	$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 7,7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,1 & 6,6 \\ 2,2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6,2 & 0 \end{vmatrix}$	$M_{A5}$ , $q_{0,1} = 5,3$ ; $q_{1,0} = 4,4$ ; $q_{0,3} = 3,6$	325,35	252,842
K6	$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 12,4 & 1,2 \\ 12,2 & 0 & 1,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	$M_{A6}$ , $q_{0,1} = 10,3$ ; $q_{1,0} = 2,4$ ; $q_{0,4} = 2,3$	190,014	142,511
K7	$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 0 & 10,7 & 8,2 & 0 \\ 0 & 0 & 4,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 1,4 & 0 \end{vmatrix}$	$M_{A7}$ , $q_{0,3} = 5,4$ ; $q_{2,0} = 6,4$	285,914	129,137

Продовження табл. 3.17.

Кластер	Матриця зв'язків    M	Матриця вантажопотоків    Q	Позначення й характеристики активності вузла, тис т / діб	Координати точкових структурних елементів	
				x*, км	y*, км
K8	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 8,2 & 7,7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 \end{pmatrix}$	$M_{A8},$ $q_{0,5} = 4,6;$ $q_{5,0} = 3,8;$ $q_{0,4} = 3,6$	279,453	51,394
K9	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 3,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6,2 & 4,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7,3 \\ 0 & 2,2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$M_{П9},$ пасивний	472,306	184,993

Таблиця 3.18 – Характеристики положення транспортних вузлів кластерів у системі координат Y0X

Координати вузла кластера	Умовна позначка виробничого кластера								
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
x <sub>0</sub> , км	48,221	41,378	233,39 3	150,53 1	325,35	190,01 4	285,91 4	249,45 3	472,30 6
y <sub>0</sub> , км	41,239	-40,059	148,86 9	79,912	67,849	-42,482	-55,856	- 133,59 9	0

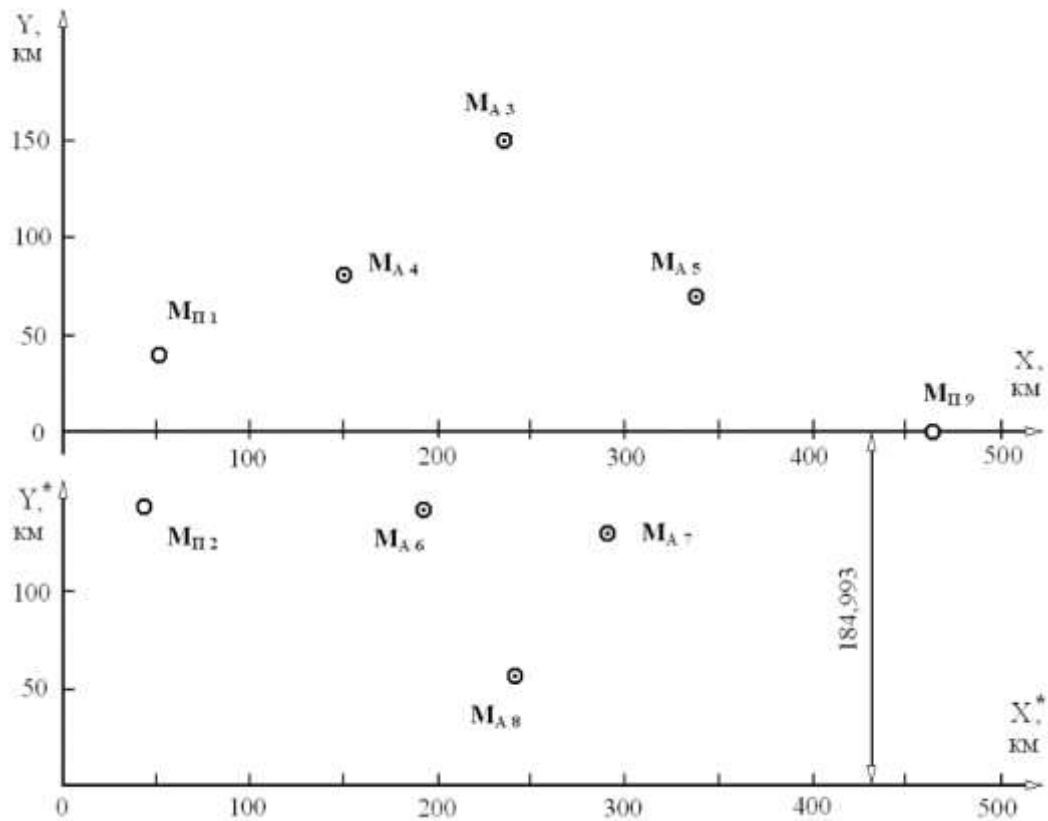


Рисунок 3.28 – Схема взаємного розташування на площині систем прямокутних координат  $Y^*OX^*$  і  $YOX$

Подальші заходи пов'язані з формуванням регіонального рівня територіальної системи також з необхідністю визначення положення транспортних центрів для груп кластерів К1, К2 а також К3, К4, К5 і К6, К7, К8.

Оскільки транспортні вузли кластерів К1 і К2 (табл. 3.17) є пасивними, то їх слід з'єднати відрізком прямої лінії, який і буде являти собою структурний елемент регіонального рівня системи. Перетинання цим відрізком осі абсцис дозволяє встановити положення транспортного центру  $\Lambda_1$ , що належить у цьому випадку до міжрегіонального рівня системи (рис. 3.29). Вузли кластерів К3, К4 і К5 є активними (табл. 3.17), що слід урахувувати при визначенні положення транспортного центру  $\Lambda_2$  (рис. 3.29).

Лістинг комп'ютерної програми, використаної для визначення координат зазначеного центру з урахуванням характеристик активності транспортних вузлів  $M_{A3}$ ,  $M_{A4}$  і  $M_{A5}$  наведений на рис. 3.30.

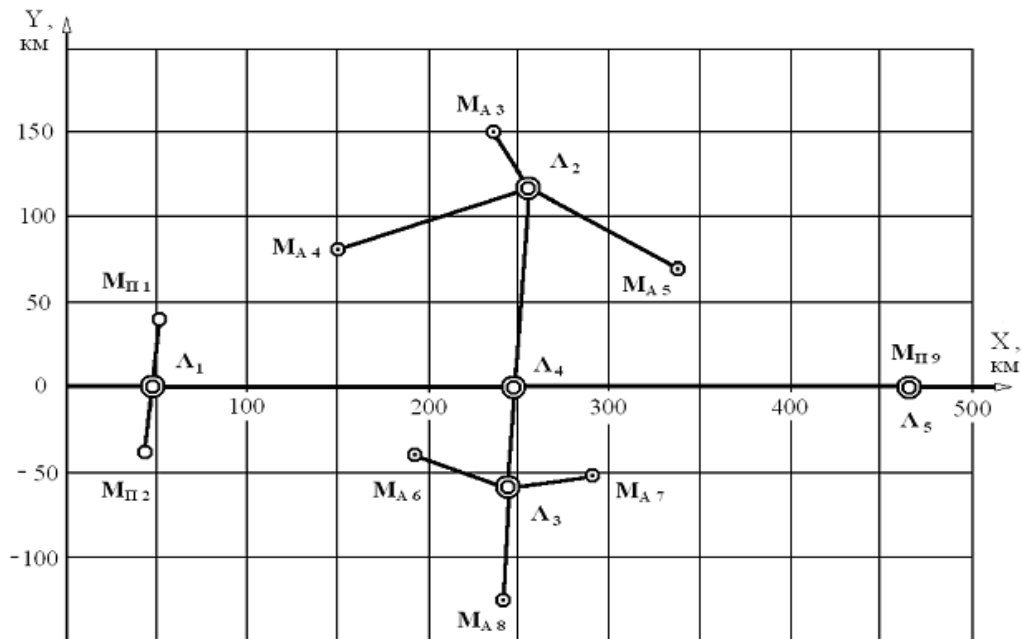
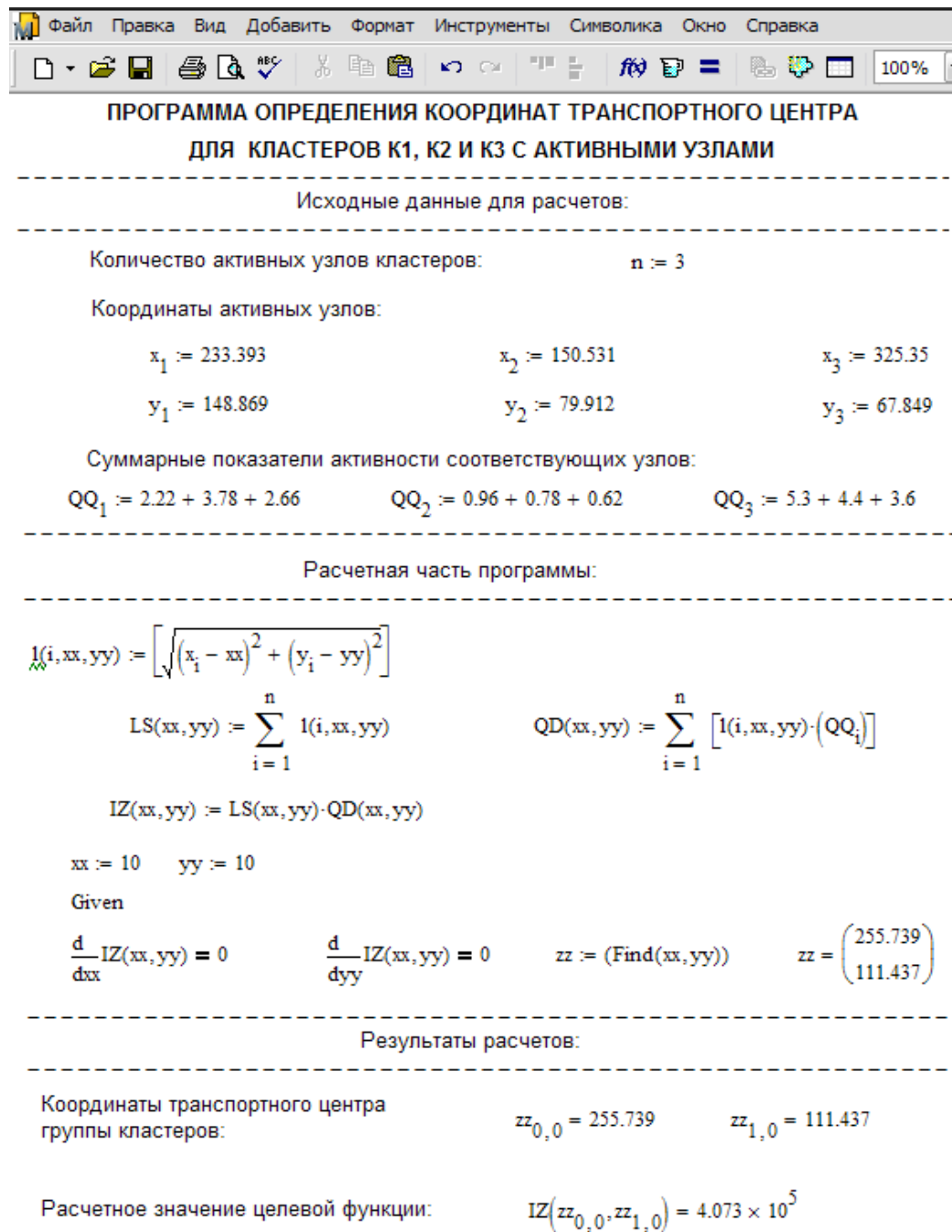


Рисунок 3.29 – Схема з'єднання точкових елементів регіонального й міжрегіонального рівня територіальної виробничої системи

З використанням зазначеної програми визначалися й координати транспортного центру  $\Lambda_3$  для групи кластерів К6, К7 і К8 з активними вузлами (рис. 3.29). З'єднавши відрізком прямої лінії транспортні центри  $\Lambda_2$  й  $\Lambda_3$  нескладно встановити положення центру  $\Lambda_4$  (рис. 3.29). Транспортний центр  $\Lambda_4$  розташовано на осі  $OX$  і також належить міжрегіональному рівню територіальної системи, оскільки прямолінійні ділянки транзитного коридору в цьому випадку збігаються з віссю абсцис.

Розглядаючи процедуру подальшого формування міжрегіонального рівня, відзначимо, що положення транспортного центру  $\Lambda_5$  збігається з положенням пасивного вузла  $M_{П9}$ , що дозволяє розглядати цей точковий елемент як приналежний одночасно регіональному й міжрегіональному рівню системи.

Встановлені в результаті розрахунків значення координат транспортних вузлів і центрів, що характеризують регіональний і міжрегіональний рівень територіальної системи, наведені в табл. 3.19.



```

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТРАНСПОРТНОГО ЦЕНТРА
ДЛЯ КЛАСТЕРОВ K1, K2 И K3 С АКТИВНЫМИ УЗЛАМИ
-----
Исходные данные для расчетов:
-----
Количество активных узлов кластеров:           n := 3
Координаты активных узлов:
      x1 := 233.393           x2 := 150.531           x3 := 325.35
      y1 := 148.869           y2 := 79.912           y3 := 67.849
Суммарные показатели активности соответствующих узлов:
      QQ1 := 2.22 + 3.78 + 2.66      QQ2 := 0.96 + 0.78 + 0.62      QQ3 := 5.3 + 4.4 + 3.6
-----
Расчетная часть программы:
-----
      l(i, xx, yy) :=  $\sqrt{(x_i - xx)^2 + (y_i - yy)^2}$ 
      LS(xx, yy) :=  $\sum_{i=1}^n l(i, xx, yy)$ 
      QD(xx, yy) :=  $\sum_{i=1}^n [l(i, xx, yy) \cdot (QQ_i)]$ 
      IZ(xx, yy) := LS(xx, yy) \cdot QD(xx, yy)
      xx := 10    yy := 10
Given
       $\frac{d}{dxx} IZ(xx, yy) = 0$        $\frac{d}{dyy} IZ(xx, yy) = 0$       zz := (Find(xx, yy))      zz =  $\begin{pmatrix} 255.739 \\ 111.437 \end{pmatrix}$ 
-----
Результаты расчетов:
-----
Координаты транспортного центра группы кластеров:      zz0,0 = 255.739      zz1,0 = 111.437
Расчетное значение целевой функции:      IZ(zz0,0, zz1,0) = 4.073 × 105

```

Рисунок 3.30 – Лістинг програми визначення координат транспортного центру для групи кластерів з активними вузлами

Відзначимо, що відповідно до викладеної процедури формування міжрегіонального рівня пов'язане із включенням до його складу ділянок  $\Lambda_1 - \Lambda_4$  і  $\Lambda_4 - \Lambda_5$ , розташованих на осі абсцис, що й забезпечують із однієї сторони якнайшвидше просування транспортних вантажних потоків, а з іншого сторони цілісність усієї територіальної системи. При цьому рух транзитних вантажів буде

відбуватися по прямолінійному маршруту. Очевидно, що в цьому випадку будуть створені найбільш сприятливі умови для їхнього якнайшвидшого просування на розглянутій ділянці транзитного коридору.

Таким чином, поставлене завдання структурного синтезу розглянутої територіальної виробничої системи вирішено в частині визначення положення додаткових точкових структурних елементів і складу окремих структурних рівнів.

Таблиця 3.19 – Координати транспортних вузлів і центрів територіальної виробничої системи

Позначення точкового елемента	Функція, виконуван ав рамках системи	Приналеж ність до структурн ого рівня	Показники активності вузла, тыс. т / діб	Координати елемента в системі УОХ	
				х, км	у, км
М <sub>П1</sub>	Пасив. вузол	Регіонал.	-	48,221	41,293
М <sub>П2</sub>	Пасив. вузол	Регіонал.	-	41,378	- 40,059
М <sub>П9</sub> ( $\Lambda_5$ )	Пас. вузол і тр. центр	Регіонал. і межрегіон.	-	472,306	0
М <sub>А3</sub>	Актив. вузол	Регіонал.	$q_{0,1} + q_{0,1} + q_{0,3} = 8,66$	233,393	148,869
М <sub>А4</sub>	Актив. вузол	Регіонал.	$q_{0,2} + q_{2,0} + q_{0,4} = 2,36$	150,531	79,912
М <sub>А5</sub>	Актив. вузол	Регіонал.	$q_{0,1} + q_{1,0} + q_{0,3} = 13,3$	325,35	67,849
М <sub>А6</sub>	Актив. вузол	Регіонал.	$q_{0,1} + q_{1,0} + q_{0,4} = 15$	190,014	- 42,482
М <sub>А7</sub>	Актив. вузол	Регіонал.	$q_{0,3} + q_{2,0} = 11,8$	285,914	-55,856
М <sub>А8</sub>	Актив. вузол	Регіонал.	$q_{0,5} + q_{5,0} + q_{0,4} = 12$	249,453	- 133,599
$\Lambda_1$	Трансп. центр	Межрегіона льний	-	44,750	0
$\Lambda_2$	Трансп. центр	Регіонал.	-	255,739	111,437
$\Lambda_3$	Трансп. центр	Регіонал.	-	245,421	- 75,224
$\Lambda_4$	Трансп. центр	Межрегіона льний	-	249,579	0

### **3.6.2. Формулювання вимог до структурних елементів складних виробничих виробничих систем**

Отримані раніше результати рішення завдання структурного синтезу на прикладі об'єднання дев'яти виробничих кластерів дозволяють укласти, що сформована територіальна виробнича система є тривірневою, при цьому в складі кожного рівня присутні як точкові, так і лінійні елементи. Із цієї причини подальша систематизація структурних елементів і формулювання відповідних проектних вимог повинна виконуватися окремо для місцевого, регіонального й міжрегіонального рівня.

Точковий елемент місцевого рівня, як ми вже відзначали раніше, може являти собою підприємство, складський комплекс, логістичний центр або інший об'єкт у складі виробничого кластера зв'язаний транспортним сполученням і взаємодіючий у процесі функціонування з аналогічними об'єктами.

Пари прилеглих точкових об'єктів між якими є шляхи сполучення й здійснюються вантажні перевезення утворює лінійний елемент, що характеризується приналежністю до однієї з підмножин П1, ... П6, а також фактичною довжиною й номінальними значеннями вантажопотоків.

Стосовно до розглянутого випадку місцевий рівень системи включає 37 точкових і лінійних елементів у складі дев'яти кластерів (табл. 3.16 і табл. 3.18). Транспортні вузли як елементи, що належать одночасно як місцевому, так і регіональному рівню територіальної системи в табл. 3.16 не зазначені. Перелік лінійних елементів у складі місцевого рівня розглянутої системи і їх характеристики представлені в табл. 3.20.

Відзначимо при цьому, що всі перераховані лінійні елементи входять до складу підмножини П6, відповідно до даних табл. 3.12.

Таблиця 3.20 – Характеристики лінійних елементів місцевого рівня системи

Позначення елемента	Приналежність до кластера	Довжина, км	Вхідні й вихідні з вузла кластера вантажопотоки, тис. т / діб	
M <sub>1</sub> - M <sub>II1</sub>	K1	10,349	36,9	0
M <sub>2</sub> - M <sub>II1</sub>		2,966	0	19,7
M <sub>3</sub> - M <sub>II1</sub>		15,994	0	28,6
M <sub>4</sub> - M <sub>II1</sub>		25,179	11,4	0
M <sub>1</sub> - M <sub>II2</sub>	K2	12,402	42,2	53,6
M <sub>2</sub> - M <sub>II2</sub>		13,201	0	105,2
M <sub>3</sub> - M <sub>II2</sub>		4,839	80,9	0
M <sub>4</sub> - M <sub>II2</sub>		8,222	35,7	0
M <sub>1</sub> - M <sub>A3</sub>	K3	19,275	18,98	2,22
M <sub>2</sub> - M <sub>A3</sub>		11,225	4,1	8,6
M <sub>3</sub> - M <sub>A3</sub>		13,634	0	13,36
M <sub>1</sub> - M <sub>A4</sub>	K4	11,618	19,6	0
M <sub>2</sub> - M <sub>A4</sub>		5,646	5,08	9,66
M <sub>3</sub> - M <sub>A4</sub>		22,242	0	10,3
M <sub>4</sub> - M <sub>A4</sub>		11,699	0	15,18
M <sub>1</sub> - M <sub>A5</sub>	K5	28,417	12,1	7,5
M <sub>2</sub> - M <sub>A5</sub>		6,712	10,7	7,7
M <sub>3</sub> - M <sub>A5</sub>		7,677	2,2	13,9
M <sub>4</sub> - M <sub>A5</sub>		21,131	6,2	6,6
M <sub>1</sub> - M <sub>A6</sub>	K6	23,603	16	22,5
M <sub>2</sub> - M <sub>A6</sub>		15,206	13,8	0
M <sub>3</sub> - M <sub>A6</sub>		6,653	1,2	14
M <sub>4</sub> - M <sub>A6</sub>		13,151	0	4,7
M <sub>1</sub> - M <sub>A7</sub>	K7	18,351	18,9	0
M <sub>2</sub> - M <sub>A7</sub>		16,928	10,5	15,7
M <sub>3</sub> - M <sub>A7</sub>		5,664	0	19,1
M <sub>4</sub> - M <sub>A7</sub>		28,098	6,4	0
M <sub>1</sub> - M <sub>A8</sub>	K8	22,545	0	2
M <sub>2</sub> - M <sub>A8</sub>		16,273	17,9	0
M <sub>3</sub> - M <sub>A8</sub>		14	5	8,2
M <sub>4</sub> - M <sub>A8</sub>		7,927	0	18,3
M <sub>5</sub> - M <sub>A8</sub>		26,943	10,8	9,6
M <sub>1</sub> - M <sub>II9</sub>	K9	33,499	3,3	0
M <sub>2</sub> - M <sub>II9</sub>		17,564	10,8	5,5
M <sub>3</sub> - M <sub>II9</sub>		21,032	9,2	6,2
M <sub>4</sub> - M <sub>II9</sub>		5,826	7,3	13,8
M <sub>5</sub> - M <sub>II9</sub>		21,586	2,2	7,3

Регіональний рівень розглянутої територіальної виробничої системи включає 10 лінійних елементів, позначення й характеристики яких представлені в табл. 3.21.

Таблиця 3.21 – Характеристики лінійних елементів регіонального рівня системи

Позначення елемента	Приналежність до одного з підмножин	Довжина елемента, км	Величина вантажопотоку, тис. т / діб	
			Прямого	Зворотного
М <sub>П1</sub> – Л <sub>1</sub>	П4	41,939	-	-
М <sub>П2</sub> – Л <sub>1</sub>	П4	40,201	-	-
М <sub>А3</sub> – Л <sub>2</sub>	П3	43,595	3,78	4,88
М <sub>А4</sub> – Л <sub>2</sub>	П3	109,83	0,78	1,58
М <sub>А5</sub> – Л <sub>2</sub>	П3	82,132	4,4	8,9
М <sub>А6</sub> – Л <sub>3</sub>	П3	64,358	2,4	12,6
М <sub>А7</sub> – Л <sub>3</sub>	П3	44,887	6,4	5,4
М <sub>А8</sub> – Л <sub>3</sub>	П3	58,514	3,8	8,2
Л <sub>2</sub> – Л <sub>4</sub>	П5	117,607	8,96	15,36
Л <sub>3</sub> – Л <sub>4</sub>	П5	75,339	12,6	26,2

Очевидно, що в складі міжрегіонального рівня розглянутої системи є два лінійні елементи, характеристики яких показані в табл. 3.22. Представлені в таблицях 3.20, 3.21, 3.22 дані дозволяють не тільки систематизувати лінійні елементи, але скласти уявлення щодо режимів їх номінального функціонування в рамках діючої системи.

Таблиця 3.22 – Характеристики лінійних елементів регіонального рівня системи

Позначення елемента	Приналежність до одного з підмножин	Довжина елемента, км	Величина вантажопотоку, тис. т / діб	
			Прямого	Зворотного
Л <sub>1</sub> – Л <sub>4</sub>	П5	204,829	127,24	115
Л <sub>4</sub> – Л <sub>5</sub>	П5	222,727	110	117,76

Такого роду інформація необхідна для формулювання проектних вимог до всіх елементів і уточнення структури системи, у тому числі й з урахуванням можливого використання декількох видів транспорту.

Так, найбільшими обсягами перевезень характеризуються елементи місцевого рівня в складі кластера К2:  $M_1 - M_{П2}$ ,  $M_2 - M_{П2}$ ,  $M_3 - M_{П2}$ , а також ділянки міжрегіонального рівня  $\Lambda_1 - \Lambda_4$  і  $\Lambda_4 - \Lambda_5$ . Для всіх перерахованих лінійних елементів сумарні обсяги перевезень у двох протилежних напрямках перевищують 80 тис. т/діб. Організацію перевізного процесу в цих умовах доцільно здійснювати залізничним або залізничним і автомобільним транспортом. На ділянках з меншими обсягами перевезень достатнім буде використання автотранспорту.

Очевидно, що всі лінійні елементи із залізничним сполученням для забезпечення перевізного процесу повинні бути зв'язані між собою, утворюючи транспортну мережу. Ця умова дозволяє сформувати склад підсистеми залізничного транспорту в рамках розглянутої територіальної системи.

Для забезпечення єдності всієї виробничої системи з'єднуватися між собою повинні й усі автомобільні дороги, сукупність яких і буде представляти підсистему автомобільних сполучень. Дані, що характеризують лінійні елементи розглянутої територіальної системи з урахуванням їх приналежності до підсистем автомобільного й залізничного транспорту наведені в табл. 3.23.

Таблиця 3.23 – Склад підсистем залізничного й автомобільного транспорту територіальної виробничої системи

Структурний рівень територіальної системи	Перелік лінійних елементів підсистеми транспорту	
	Залізничного	Автомобільного
Місцевий	Елементи кластера К2: $M_1 - M_{П2}$ , $M_2 - M_{П2}$ , $M_3 - M_{П2}$ .	Усі елементи кластерів: К1, ... К9.
Регіональний	$M_{П2} - \Lambda_1$ .	$M_{П1} - \Lambda_1$ , $M_{П2} - \Lambda_1$ , $M_{А3} - \Lambda_2$ , $M_{А4} - \Lambda_2$ , $M_{А5} - \Lambda_2$ , $M_{А6} - \Lambda_3$ , $M_{А7} - \Lambda_3$ , $M_{А8} - \Lambda_3$ , $\Lambda_2 - \Lambda_4$ , $\Lambda_3 - \Lambda_4$ .
Міжрегіональний	$\Lambda_1 - \Lambda_4$ , $\Lambda_4 - \Lambda_5$ .	$\Lambda_1 - \Lambda_4$ , $\Lambda_4 - \Lambda_5$ .

Видно, що той самий лінійний елемент може ставитися як до підсистеми залізничного, так і автомобільного транспорту. Це означає, що розглянутий елемент характеризується наявністю залізничного й автомобільного сполучення, а також відповідними обсягами перевезень. При цьому співвідношення обсягів перевезень між видами транспорту визначається характером вантажів, структурою вантажопотоків, очікуваними витратами на доставку й т.п.

Що стосується вимог до окремих точкових елементів системи, то для їхнього формулювання необхідно мати додаткову інформацію, пов'язану з конкретними характеристиками вантажів, їх різновидом, характером і обсягами переробки, особливостям зберігання, складування, транспортування, дотримання заходів безпеки й т.п.

### **Висновки до розділу 3**

1. Розроблений метод структурно-параметричного синтезу багаторівневих виробничих систем на базі кластерного підходу за критерієм економічної ефективності, що враховує існуючі на розглянутий період часу регіональні потреби у вантажних перевезеннях.

2. Запропоновані способи й методи формування й процеси функціонування виробничих кластерів як основних елементів різного рівня виробничої системи з використанням існуючої й знову створюваної інфраструктури, встановлені відмінності в методах формування багаторівневих систем на базі виробничих кластерів.

3. Розроблено метод визначення положення транспортного вузла залежно від його активності (пасивний або активний) у межах кластера й обсягу транспортної роботи.

4. Запропоновано метод формування виробничої системи з визначенням загального транспортного центру об'єднуючого кілька кластерів з вузлами різної активності.

5. Проведені дослідження синтезованих виробничих систем з різними кластерами й з різним розташуванням транспортного центру й запропоновані способи оптимізації з'єднання транспортних центрів, що забезпечують зниження загальної довжини всіх шляхів на регіональному рівні системи. Доведено, що раціональний вибір положення окремих елементів виробничої системи дозволяє знизити загальну довжину транспортних шляхів приблизно в 2-2,5 рази й мінімізувати обсяги виконуваної транспортної роботи в системі.

6. Розроблений метод формування регіонального рівня дозволяє на етапі проектування розділити множину усіх транспортних шляхів на ряд підмножин, елементи яких відрізняються своєю роллю й призначенням при функціонуванні системи і тому відношення до них і витрати на підтримку в працездатному стані будуть різні.

7. Запропоновано розглядати завдання структурної оптимізації багаторівневої виробничої системи, як завдання що складається з оптимізаційних підзавдань місцевого, регіонального й міжрегіонального рівнів. При цьому синтез структури на кожному з рівнів пов'язаний з використанням різних цільових функцій. Використання запропонованого методу на практиці дозволяє знизити обсяги транспортної роботи, яка виконується в системі на місцевому рівні приблизно на 15-85%, загальну довжину транспортних шляхів на регіональному рівні приблизно в 1,5–2,5 рази а час просування вантажопотоків на міжрегіональному рівні знизити на 10-20%.

8. Запропоновано метод структурної оптимізації міжрегіонального рівня виробничої системи на базі транспортних шляхів, які забезпечують просування вантажопотоків уздовж транспортних коридорів.

## Розділ 4.

### Урахування витрат на експлуатацію засобів транспорту при формуванні транспортного коридору

#### 4.1. Загальна постановка завдання формування транспортного коридору.

Постановка проблеми. В умовах міжнародного співробітництва, що інтенсивно розбудовується, і поглиблення інтеграційних процесів у світовій економіці збільшення товарообміну й кооперації товаропродукуючих та сировинних підприємств розвиток транспортно-логістичних систем має величезне значення. Основне призначення таких систем – це обслуговування як транзитних, міжрегіональних потоків, так і вантажопотоків місцевого формування, які вливаються в транзитні, збільшуючи їх обсяг. Для просування таких інтегрованих потоків і організують транспортні коридори.

Формування транспортних коридорів переслідує кілька цілей і, зокрема, технічні, економічні, соціально-політичні й екологічні [162].

Економічна мета полягає в одержанні й збільшенні національного доходу від експлуатації транспортних коридорів, з одного боку, і зниженні транспортних витрат у постачальників та споживачів транспортних послуг і тих, хто їх надає – транспортних підприємств.

Технічна мета полягає в розвитку інфраструктури й облаштованості транспортних магістралей, задіяних для просування вантажів через певні території. Удосконалювання й розвиток транспортних засобів продовження строку їх використання є також великою підмогою в активізації й удосконалюванні технології матеріалоруку.

Соціально-політична мета полягає в залученні транзитних транспортних напрямків суміжних держав, що сприяє підвищенню інтенсивності використання транспортних коридорів, а також створенні нових робочих місць для обслуговування транспортних потоків, економічного розвитку прикордонних територій, культурних зв'язків і інших елементів індустрії взаємних відносин.

Екологічна мета полягає в зниженні можливих шкідливих викидів та впливів транспортних і інших технічних засобів на навколишнє середовище. Крім того, важливим у досягненні економічних цілей є утилізація відпрацьованих матеріалів, що супроводжують процеси транспортування, і в тому числі в логопарках і розподільчих центрах транспортних коридорів, а також в структурах промислового транспорту.

Кожна з перерахованих цілей досягається різними шляхами, використовуючи різні методи теорії й практики.

Розглянемо результати дослідження досягнення технічної мети, тому що вона вимагає значних витрат на розвиток, утримання і обслуговування виробничої системи й елементів її інфраструктури, що входять у структуру транспортного коридору.

Представимо транзитний коридор автомобільних перевезень, який проходить через певну територію  $Y$ .

Схема транспортної мережі (рис. 4.1) являє собою постачальників і можливих споживачів 1-6 і точки переходу через межу територій А и Б, з'єднаних між собою ділянками доріг.

У якості постачальників можуть виступати окремі територіально-виробничі об'єднання різних форм власності. Наприклад, вуглевидобувні шахти, що перебувають в одному районі, і збагачувальна фабрика, що поєднує їх, або сільгоспприємства, що перебувають на прилеглих територіях, об'єднаних переробними підприємствами й накопичувально-розподільними центрами для певних видів продукції. Кожний постачальник має певні обсяги ресурсів  $Q_{Mi}$ , які повинні бути вивезені з даної території в певний час. Тобто вантажопотік буде мати певну інтенсивність  $\lambda_i$  і додатково наповнювати транспортний коридор, по якому вже переміщується вантажопотік  $Q$  з інтенсивністю  $\lambda$ .

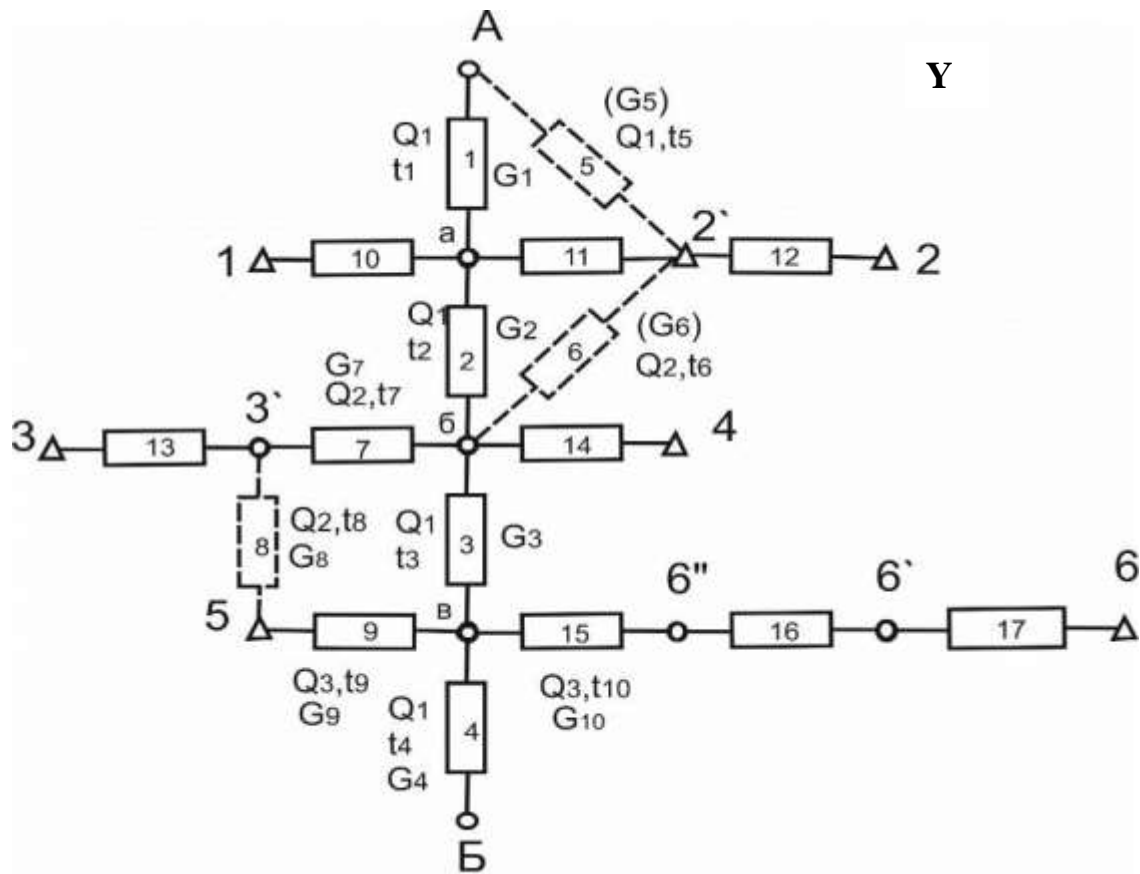


Рисунок 4.1 – Схема транспортної мережі території У

Слід зазначити, що транспортна мережа розглянутої території У вже має сформовану транспортну структуру з певними ділянками доріг, спочатку визначених як транспортний коридор.

Залежно від стану інфраструктури й ряду інших характеристик кожна ділянка дороги має певну пропускну здатність. Поліпшуючи ці характеристики, можна збільшити пропускну спроможність доріг.

Слід зазначити також, що транспортний коридор створюється насамперед для того, щоб шлях перетинання території транспортними засобами був як можна коротше, а швидкість їх була якнайбільша, у межах припустимих швидкостей. Для цього необхідно підтримувати стан доріг і їх інфраструктуру на належному рівні, що, природно, вимагає певних витрат.

Однак, транспортна мережа розглянутої території, як правило, має альтернативу ділянкам транспортного коридору, і тому необхідно розглядати можливість пропуску транзитних вантажопотоків Q як по ділянках споконвічно

визначеного транспортного коридору, так і по альтернативних ділянках разом з вантажопотоками місцевого формування  $Q_M$ . На схемі (рис. 4.1) альтернативні ділянки показані пунктирними лініями.

Сумарна величина транзитного й місцевого вантажопотоків може суттєво впливати на розвиток інфраструктури й утримання різних ділянок транспортної мережі розглянутої території. Для цього необхідно насамперед зробити структурний аналіз виробничої системи, що дозволяє розділити транспортну систему розглянутої території на певні елементи з наступним формуванням раціональної політики й послідовності контролю й ремонту або підтримки необхідного стану елементів транспортних комунікацій і їх інфраструктури виходячи з діючих стандартів.

Метою цих досліджень є розробка критерію, що дозволяє формувати певні групи ділянок виробничої системи для наступного формування ефективної системи контролю технічного стану інфраструктури системи в процесі її формування функціонування й розвитку.

#### **4.2. Розробка критерію оцінки ефективності функціонування транспортного коридору з урахуванням експлуатаційних витрат.**

Розглянемо і проаналізуємо функціонування виробничої системи, яка полягає, наприклад, з 14 основних функціонуючих ділянок і трьох альтернативних – А-2', 2'-б і 3'-5 (рис. 4.1), які можуть бути задіяні за певних умов. Виберемо критерій ефективності функціонування системи.

У цьому випадку, можна розглядати кілька критеріїв. Перший – це сумарний обсяг перевезених вантажів  $\sum Q_{Mi} + Q$  між пунктами А і Б. До недоліків цього критерію слід віднести те, що він не враховує інтенсивності переміщення потоку  $\lambda$ .

Другим, традиційним критерієм, можна вважати сумарний обсяг транспортної роботи  $G$  у ткм, виконаної в розглянутій системі. Але при цьому не враховується один з важливих факторів, що впливають на ефективність експлуатації засобів транспорту, – це час  $T$  виконання роботи.

Інтенсивність завантаження системи  $\lambda$  також не може служити самостійним критерієм ефективності її функціонування, тому що він показує скоріше потенційну можливість або фактичну вантажонапруженість певних ділянок системи або основного напрямку транспортного коридору. Нам же потрібен інтегрований показник (критерій), який би задовольняв поставленим цілям і завданням ефективної експлуатації засобів транспорту, а його використання давало можливість обґрунтувати залучення транзитних і формування місцевих вантажопотоків для пропуску їх по розглянутій території  $Y$ . Таким найбільш ефективним критерієм можуть бути витрати на перевезення [163]. Кожна ділянка виробничої системи, яка має певну пропускну здатність, що залежить від його технічної характеристики, тобто від категорії дороги, її плану й профілю дорожнього покриття і його стану й ін. факторів.

Такий критерій ефективності можна представити у вигляді функціонала

$$\sum_{i=1}^n C_i = F(U; \lambda; Q; G; I; M) \quad , \quad (4.1)$$

де  $U$  – витрати, пов'язані з експлуатацією транспортних засобів у різних дорожніх умовах і транспортної інфраструктури системи. Причому  $U = C_1 + U_2$ , де  $C_1$  – витрати, пов'язані з експлуатацією транспортних засобів у різних дорожніх умовах,  $U_2$  – витрати, пов'язані з експлуатацією дорожньої інфраструктури;

$\lambda$  – інтенсивність завантаження виробничої системи;

$Q$  – обсяг перевезених вантажів окремих клієнтів (споживачів, постачальників);

$G$  – обсяг транспортної роботи системи (потужність споживача, постачальника);

$I$  – технічні характеристики транспортних засобів (режим, рухи);

$M$  – втрати від забруднення навколишнього середовища на переміщення транспортного засобу.

### 4.3. Моделі оптимізації витрат і режимів руху, пов'язаних з експлуатацією транспортної інфраструктури.

#### 4.3.1. Модель оптимізації витрат залежних від профілю шляху.

У загальному виді витрати на переміщення транспортного засобу по ділянках транспортної мережі з різним профілем можна представити як:

$$C_1 = F(U) = F \left\{ \sum_i Z_i \right\} \quad (4.2)$$

де  $Z_i$  – функція переходу або керування рухом транспортного засобу по ділянках з різним профілем. Ця функція являє собою витрати палива або інших енергоресурсів, які можна перевести у вартісні показники, на пересування транспортного засобу по  $i$ -тій ділянці залежно від завантаження транспортного засобу, опору руху і т.д.

Значення функції  $C_1 = F \{ \sum Z_i \}$  може бути визначене з використанням принципу оптимальності Беллмана для завдання динамічного програмування [163]:

$$F \left\{ \sum_{i=0}^{n-1} Z_i \right\} = \sum_{i=0}^{n-1} Z_i \{ x(i); x(i+1) \} \rightarrow \min, \quad (4.3)$$

Для мінімізації цієї функції необхідно виконати умови:

$$x(i+1) = \int \{ x(i), v(i) \}, \quad (4.4)$$

$$x(i) \in X_i, \quad (4.5)$$

$$v_i \in \mathfrak{D}_i, \quad (4.6)$$

$$X = 0, 1 \dots n-1, \quad (4.7)$$

де  $n$  – число ділянок дороги з постійним поздовжнім профілем;

$X_i$  – множина припустимих станів транспортного засобу (режим руху);

$\int \{x(i), v(i)\}$  – функція, що задає правила переходу зі стану  $x_i$  в стан  $x(i+1)$  (з одного режиму руху в іншій);

$\mathcal{U}_i$  – множина припустимих керувань.

Таким чином, використовуючи метод динамічного програмування, визначаються оптимальні витрати на пересування по ділянках дороги з урахуванням поздовжнього профілю траси.

#### 4.3.2. Модель оптимізації витрат залежних від обсягів транспортної роботи.

Транспортна інфраструктура, її стан і пропускна здатність визначає і забезпечує виконання певного обсягу транспортної роботи на кожній ділянці дороги й системі в цілому.

Для визначення витрат  $U_2$  введемо наступні позначення:

$G$  – транспортна робота,  $G = Q \cdot l$ , ткм;

$P$  – продуктивність ділянки транспортної системи,  $P = \frac{Q \cdot l}{t}$ , ткм/год;

$Q$  – обсяг перевезеного вантажу, т;

$q$  – пропускна здатність ділянки виробничої системи  $q = \frac{Q}{t}$ , т/год.

Звернемося до схеми транспортної мережі умовної території  $Y$  (рис. 4.1). Ділянки 1, 2, 3, 4 між точками А и Б належать транспортному коридору. Транспортна робота, яка виконується на цих ділянках при проходженні транзитного вантажопотоку, визначається як:

$$G_1^i + G_2^i + G_3^i + G_4^i = \sum_{\nu} \sum_n \sum_a G_n^i, \quad (4.8)$$

де  $i$  – ділянки виробничої системи, що входять у транспортний коридор;  
 $n$  – кількість ділянок, що входять у транспортний коридор або маршрут;  
 $a$  – число видів транспортних засобів, що працюють на даному маршруті;  
 $b$  – число перевезень у розглянутому періоді одним видом транспорту.

Транспортна робота, виконана на альтернативному транспортному маршруті, який може виявитися прийнятним у певних умовах (наприклад, при обслуговуванні попутних клієнтів, по погодних умовах і ін.), визначається як:

$$G_5^{j1} + G_6^{j1} + G_7^{j1} + G_8^{j1} + G_9^{j1} + G_{10}^{j1} = \sum_{\nu} \sum_n \sum_a G_n^{j1}, \quad (4.9)$$

де  $j1$  – ділянки, що входять у перший альтернативний маршрут.

Транспортна робота другого можливого альтернативного маршруту визначається як:

$$G_1^{j2} + G_2^{j2} + G_7^{j2} + G_8^{j2} + G_9^{j2} + G_{10}^{j2} = \sum_{\nu} \sum_n \sum_a G_n^{j2}, \quad (4.10)$$

Для будь-якого іншого альтернативного маршруту:

$$G^{jk} = \sum_b \sum_n \sum_a G_n^{jk}, \quad (4.11)$$

де  $k$  – номер альтернативного маршруту.

Для інших перевезень ділянкою виробничої системи (від 1 до 17) транспортна робота складе:

$$G_n = \sum_n q_n^{\pm}, \quad (4.12)$$

де  $q_n^\pm$  – сумарний обсяг транспортної роботи на кожній n-ій ділянці системи в умовно прямому й зворотному напрямках.

Ефективний показник витрат на 1т перевезеного вантажу залежно від його роду та типу рухомого складу є величиною (будемо вважати) на розглянутий період часу постійною й компромісною, що забезпечує покриття витрат перевізника з урахуванням рентабельності підприємства й інших супутніх нарахувань.

Під час перевезення вантажів по «n»-ій ділянці позначимо цей показник через  $C_n$ .

Тоді вартість перевезень по кожному з можливих маршрутів за умови, що вартість перевезення 1т вантажу по кожній ділянці розглянутого маршруту приблизно однакова, складе:

- по ділянці транспортного коридору

$$U_i = \sum_{\epsilon} \sum_n \sum_a G_n^i \cdot C_n^i, \quad (4.13)$$

- по альтернативних маршрутах

$$U_{j1} = \sum_{\epsilon} \sum_{j1} \sum_a G_n^{j1} \cdot C_n^{j1}, \quad (4.14)$$

$$U_{j2} = \sum_{\epsilon} \sum_{j2} \sum_a G_n^{j2} \cdot C_n^{j2}, \quad (4.15)$$

$$U_{j3} = \sum_{\epsilon} \sum_{j3} \sum_a G_n^{j3} \cdot C_n^{j3}. \quad (4.16)$$

По кожній ділянці системи, що не входить у маршрути

$$U_n = \sum_n \sum_a q_n^\pm \cdot C_n, \quad (4.17)$$

Якщо до якогось з розглянутих маршрутів примикають ділянки, по яких проводяться перевезення, наповнюючи тим самим маршрут, вартість перевезень по ньому складе:

- для маршруту по транспортному коридору,

$$U_{mk} = U_i + \sum_n U_n, \quad (4.18)$$

- для будь-якого іншого маршруту

$$U_m = U_{jk} + \sum_n U_n, \quad (4.19)$$

Таким чином, знаючи вартість перевезень по кожному з можливих маршрутів і по кожній його ділянці, можна визначити витрати на обслуговування вантажопотоку з урахуванням витрат на обслуговування інфраструктури маршруту, доходу власника дороги й витрат на підтримку екологічних показників.

#### 4.3.3. Модель режиму руху транспортного засобу в кривих ділянках траси.

На режим руху певний вплив виявляє й кривизна траси в плані [162]. Вплив цього фактора можна врахувати за допомогою коефіцієнта кривизни  $K_e$ , що представляє собою відношення усередненого сумарного кута кривих ділянок дороги до загальної довжини дороги:

$$K_e = \sum_{i=1}^n \varphi_i / \sum_{i=1}^n l_i, \quad (4.20)$$

де  $\sum_{i=1}^n \varphi_i$  – сума кутів кругових і перехідних ділянок траси;

$l_i$  – довжина ділянки траси.

Практично цей коефіцієнт показує на рівень зниження швидкості на розглянутій ділянці дороги або дороги в цілому стосовно припустимої швидкості на прямій ділянці. Однак фактична швидкість або її зниження й, відповідно, збільшення часу руху й витрати палива буде залежати від характеристик стійкості транспортного засобу, порожнього або навантаженого.

Змоделюємо стан стійкості транспортного засобу й припустиму швидкість руху в кривій або по дорозі із криволінійними ділянками. Схема сил діючих на транспортний засіб представлена на рис. 4.2.

Гарантована стійкість навантаженого або порожнього транспортного засобу забезпечується за умови [12,163]:

$$\frac{(P_y^k + P_e^k)}{P_c} \leq 0,5, \quad (4.21)$$

де  $P_y^k + P_e^k$  – додаткове вертикальне навантаження на колесо від дії відцентрових сил і сил вітру;

$P_c$  – статичне навантаження, передане на опорну поверхню (дорогу).

Рівняння поперечної стійкості транспортного засобу може бути записане в такий спосіб:

$$\sum M_{on} \leq M_{y\delta} \cdot k_3, \quad (4.22)$$

де  $\sum M_{on}$  – сума перекидаючих моментів;

$M_{y\delta}$  – утримуючий момент;

$k_3$  – коефіцієнт запасу поперечної стійкості.

$$\sum M_{on} = P_{\psi} \cdot H_{\psi m} + P_{\psi} \cdot h_{\psi}, \quad (4.23)$$

$$M_{y\delta} = Q \left( \frac{B}{2} - \Delta B \right), \quad (4.24)$$

де  $\Delta B$  – зсув центру ваги транспортного засобу щодо вертикальної площини, що проходить через його поздовжню вісь;

$Q = Q_{m.c.} + Q_{gp}$  – сумарна вага завантаженого транспортного засобу;

$B$  – ширина опорного контуру;

$H_{\psi m}$  – висота загального центру ваги транспортного засобу над опорною поверхнею;

$h$  – висота прикладення вітрового навантаження;

$Q_{m.c.}$  – вага транспортного засобу;

$Q_{gp}$  – вага вантажу.

Величина  $\Delta B$  залежить від жорсткості пневмоколес  $C_1$  і жорсткості ресорного підвішування кузова  $C_2$  щодо осьових балок, величини відцентрової сили  $P_{\psi}$  і вітрового навантаження  $P_{\psi}$ .

Для визначення величини  $\Delta B$ , розглядаючи схему рис. 4.2, можна зробити деякі пояснення й допущення.

Пряма  $O_2y_1$  перпендикулярна похилої осі  $XX$  і утворює кут  $\alpha_1$  з вертикальною віссю автомобіля. Таким чином  $\alpha_1$  – кут нахилу осі колісної пари до поверхні дороги за умови, що вісь повертається у вертикальній площині навколо точки  $O_2$  осі, що перебуває на перетинанні, колісної пари з вертикальною віссю симетрії автомобіля.

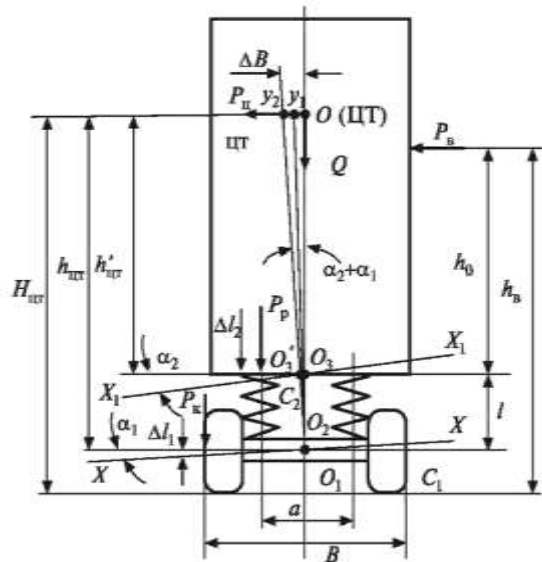


Рисунок 4.2 – Схема навантаження транспортного засобу при русі

Пряма  $O'_3y_2$  перпендикулярна лінії  $X_1X_1$  і з лінією  $O'_3y_1$  утворюють кут  $\alpha_2$ . Тобто  $\alpha_2$  – кут нахилу площини підлоги кузова автомобіля щодо його вихідного горизонтального положення, що утворюється від дії тих же сил деформації ресорного підвішування.

Додаткове навантаження від горизонтальних динамічних сил, оскільки їх важко достатньо точно спрогнозувати або визначити і вплив цих сил можна врахувати динамічним коефіцієнтом  $k_d$ , який можна, на основі експериментальних даних, прийняти при частковому завантаженні автотранспортного засобу до 50%, вантажопідйомності – 1,2, а при більшому завантаженні – до 1,5.

Відцентрову силу  $P_u$  можна визначити з вираження

$$P_u = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (4.25)$$

$\omega$  – кутова швидкість транспортного засобу при вписуванні його в криву;

$R$  – радіус кривої.

Відомо також, що лінійна  $V$  і кутова  $\omega$  швидкості зв'язані залежністю

$$V = \omega \cdot R, \quad (4.26)$$

або

$$\omega = \frac{V}{R}, \quad (4.27)$$

отже,

$$P_u = Q \frac{V^2}{R^2} \cdot R = \frac{QV^2}{R}, \quad (4.28)$$

Використовуючи (4.20), вираження для перекидаючого моменту з урахуванням коефіцієнта горизонтальної динаміки  $k_d$  прийме вид:

$$\sum M_{on} = \frac{QV^2}{R} \cdot H_{um} \cdot k_d + P_e \cdot h_e, \quad (4.29)$$

Використовуючи вираження (4.19), (4.21) і (4.25), коефіцієнт стійкості  $k_3$  можна виразити через перекидаючий  $M_{on}$  і утримуючий  $M_{y\delta}$  моменти:

$$k_3 = \frac{\sum M_{on}}{\sum M_{y\delta}} \leq 0,5, \quad (4.30)$$

або

$$\frac{\left( \frac{QV^2}{R} \cdot H_{um} \cdot k_d + P_e \cdot h_e \right)}{Q \left( \frac{B}{2} - \Delta B \right)} \leq 0,5, \quad (4.31)$$

звідки

$$\frac{QV^2}{R} \cdot H_{um} \cdot k_{\delta} = Q \left( \frac{B}{2} - \Delta B \right) \cdot 0,5 - P_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon}, \quad (4.32)$$

i

$$\frac{QV^2}{R} = \frac{\left[ Q \left( \frac{B}{2} - \Delta B \right) \cdot 0,5 - P_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon} \right]}{H_{um} \cdot k_{\delta}}, \quad (4.33)$$

Тоді

$$V^2 = \frac{\left[ Q \left( \frac{B}{2} - \Delta B \right) \cdot 0,5 - P_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon} \right] \cdot R}{H_{um} \cdot k_{\delta} \cdot Q}. \quad (4.34)$$

Отже, припустима швидкість транспортного засобу в кривій ділянці шляху буде рівна:

$$V = \sqrt{\frac{\left[ Q \left( \frac{B}{2} - \Delta B \right) \cdot 0,5 - P_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon} \right] \cdot R}{H_{um} \cdot k_{\delta} \cdot Q}} \cdot k_p, \quad (4.35)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт, що характеризує зниження швидкостей руху від інтенсивності наростання поперечної інерційної сили, при входженні в криву, що залежить від ваги автомобіля й радіуса кривій. Цей коефіцієнт може бути визначений по графіках (рис. 4.3), отриманим експериментально.

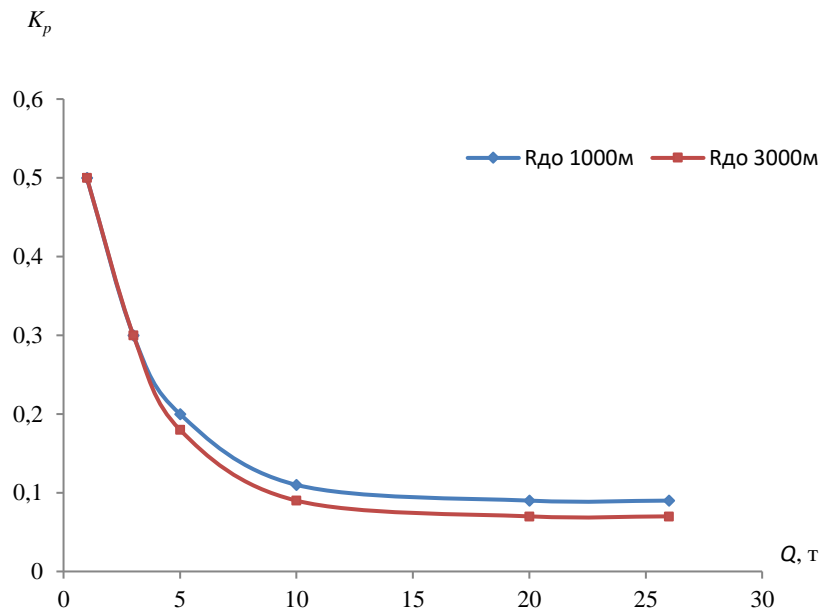


Рисунок 4.3 – Графік залежності коефіцієнта наростання поперечної інерційної сили від ваги автомобіля і радіуса кривої

В (4.31) змінними величинами залишаються  $\Delta B$  і  $P_{\epsilon}$ . Величина  $\Delta B$  у свою чергу залежить від жорсткості першої й другої ступені прикладення ресорного підвішування  $C_1$  і  $C_2$  і складається з величини  $y_1$  і  $y_2$  відхилення точки додатка сили  $P_{\psi}$  від вертикальної поздовжньої площини (рис. 4.3), від сил  $P_{\kappa}$  і  $P_p$ , що діють на колесо й ресорне підвішування відповідно, а також від поперечного профілю дороги.

При русі по дорозі з горизонтальним поперечним профілем величина  $P_{\kappa}$  визначається з умови стійкості:

$$P_{\psi} \cdot H_{\psi m} + P_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon} = Q \frac{B}{2}, \quad (4.36)$$

або

$$P_{\psi} \cdot H_{\psi m} = Q \frac{B}{2} - P_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon}, \quad (4.37)$$

звідки

$$P_{\text{ц}} = \frac{Q \frac{B}{2} - P_{\text{г}} \cdot h_{\text{г}}}{H_{\text{цт}}}, \quad (4.38)$$

У той же час справедлива й рівність моментів

$$P_{\text{ц}} \cdot H_{\text{цт}} = P_{\text{к}} \frac{B}{2}, \quad (4.39)$$

звідки

$$P_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{к}} \frac{B}{2}}{H_{\text{цт}}}, \quad (4.40)$$

отже,

$$\frac{P_{\text{к}} \frac{B}{2}}{H_{\text{цт}}} = \frac{Q \frac{B}{2} - P_{\text{г}} \cdot h_{\text{г}}}{H_{\text{цт}}}, \quad (4.41)$$

звідки

$$P_{\text{к}} = \frac{2 \left( Q \frac{B}{2} - P_{\text{г}} \cdot h_{\text{г}} \right)}{B}. \quad (4.42)$$

Зі схеми сил (рис. 4.2), що діють на колесо транспортного засобу, прогин ската колеса на ширині  $B$  складе:

$$\Delta l_1 = \frac{P_{\text{к}}}{C_1} = \frac{2 \left( Q \frac{B}{2} - P_{\text{г}} \cdot h_{\text{г}} \right)}{C_1 B}. \quad (4.43)$$

Тоді зсув центру ваги  $y_1$  у горизонтальній площині з деяким наближенням можна визначити зі співвідношення

$$\frac{y_1}{h_{\text{цм}}} = \frac{\Delta l_1}{\frac{B}{2}}, \quad (4.44)$$

звідки

$$y_1 = \frac{\Delta l_1 \cdot h_{\text{цм}}}{\frac{B}{2}}. \quad (4.45)$$

Аналогічно (4.43)-( 4.45) можна визначити зсув центру ваги вантажу  $y_2$  від твердості  $C_2$  ресорного підвішування і його деформації.

Сила, що діє на ресору  $P_p$  при повороті кузова навколо точки  $O_3$ :

$$P_p = \frac{2 \left( Q \frac{a}{2} - P_e \cdot h_o \right)}{a}. \quad (4.46)$$

А зсув підстави (підлоги) кузова по ширині установки пружних елементів ресорного підвішування  $\Delta l_2$  на ширині « $a$ » складе:

$$\Delta l_2 = \frac{P_p}{C_2} = \frac{2 \left( Q \frac{a}{2} - P_e \cdot h_o \right)}{C_2 a}. \quad (4.47)$$

Тоді зсув центру ваги (точки « $O$ »)  $y_2$  за рахунок деформації пружних елементів ресорного підвішування з деяким наближенням складе:

$$\frac{y_2}{h'_{\text{цм}}} = \frac{\Delta l_2}{\frac{a}{2}}, \quad (4.48)$$

або

$$y_2 = \frac{\Delta l_2 \cdot h'_{ум}}{\frac{a}{2}}. \quad (4.49)$$

Сумарне відхилення центру ваги від вертикальної осі становить:

$$\Delta B = y_1 + y_2 = \frac{\Delta l_1 \cdot h_{ум}}{\frac{B}{2}} + \frac{\Delta l_2 \cdot h'_{ум}}{\frac{a}{2}} = \frac{2\Delta l_1 \cdot h_{ум}}{B} + \frac{2\Delta l_2 \cdot h'_{ум}}{a}. \quad (4.50)$$

Підставивши в (4.50) значення  $\Delta l_1$  і  $\Delta l_2$  з (45) і (48), одержимо:

$$\Delta B = \frac{4 \left( Q \frac{B}{2} - P_{\epsilon} \cdot h_{\epsilon} \right) h_{ум}}{C_1 B^2} + \frac{4 \left( Q \frac{a}{2} - P_{\epsilon} \cdot h_o \right) h'_{ум}}{C_2 a^2}. \quad (4.51)$$

Вітрове навантаження  $P_{\epsilon}$  приймається перпендикулярним до бічної поверхні вантажу або кузова транспортного засобу, і її можна визначити як

$$P_{\epsilon} = 50 \cdot S_{\epsilon} \cdot k_{\epsilon}, \quad (4.52)$$

де  $50 \text{ кг/м}^2$  – питоме вітрове навантаження;

$S_{\epsilon}$  – площа проекції бічної поверхні вантажу, підданої дії вітру;

$k_{\epsilon}$  – коефіцієнт форми поверхні. Для плоских поверхонь ухвалюється 1, для циліндричних – 0,5.

#### 4.3.4. Визначення часу проходження транспортного засобу по виробничій системі.

Ефективність використання виробничої системи будь-якого регіону і її підвищення є актуальним завданням, оскільки дозволяє розбудувати економіку регіону за рахунок залучення й обслуговування транзитних вантажопотоків і потоків місцевого формування.

Важливим завданням у питаннях оцінки ефективності є розробка критерію її оцінки. До складових цього інтегрованого критерію можна віднести швидкість просування вантажопотоку по системі й інтенсивності її завантаження  $\lambda$  [164].

Розглянемо транспортну систему рис 4.1 території  $Y$  як систему масового обслуговування. Ця система складається з декількох елементів транспортної мережі, забезпечених різними обслуговуючими засобами (митницею, прикордонним переходом, карантинною службою, заправками, пунктами харчування й обслуговування транспортних засобів, переїздами й іншими елементами), що впливають на пропускну здатність ділянки дороги. Тому кожна ділянка дороги, виділена певним чином по яким-небудь ознакам, її можна вважати обслуговуючим обладнанням.

Від швидкості руху й часу проходження окремих ділянок траси залежить інтенсивність завантаження й пропускну здатність траси. Локальним (приватним) критерієм ефективності завантаження виробничої системи об'єктивно є швидкість просування транспортних засобів, від якої прямо пропорційно будуть залежати розмір пропущеного по системі вантажопотоку й потоку транспортних засобів, а також економічні показники обслуговування вантажопотоку.

Загальний час на проходження транспортним засобом обраного шляху по виробничій системі або по транспортному коридору, що проходить через цю систему, буде становити [164]:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i + \sum_n \sum_i t_{ni}, \quad (4.53)$$

де  $T_i$  – час пересування по  $i$ -ій ділянці дороги без зупинок з обраною або встановленою швидкістю;

$n$  – число ділянок дороги;

$t_{ni}$  – час обслуговування транспортного засобу на  $i$ -ом пункті  $n$ -ї ділянки дороги.

Розглянемо загальний випадок, коли на ділянці дороги перебувають кілька пунктів обслуговування на певній відстані послідовно й по ходу руху. Таку ділянку можна розглядати як багатоканальну систему масового обслуговування (СМО) з послідовним розміщенням обслуговуючих апаратів, наприклад, заправка, пункт ТО, шиномонтаж і пункт харчування. Це різновид багатоканальної системи – багатофазна система. Крім того, заправку у свою чергу можна розглядати як багатоканальну неповнодоступну СМО, коли автомобіль чекає звільнення під'їзду до заправлення й звільнення певного заправного стовпчика.

Якщо при русі по ділянці виникає необхідність зупинки або затримки тільки на одному з пунктів обслуговування, таку ситуацію можна розглядати як одноканальну СМО, і час затримки (обслуговування) транспортного засобу (ТЗ) буде залежати від закону розподілу вхідного потоку й закону розподілу часу обслуговування. У виробничих системах час обслуговування клієнтів найчастіше підкоряється нормальному, показовому або ерланговському законам розподілу [165,166], а в СМО з декількома обслуговуючими обладнаннями, установленими послідовно, вважається, що потік ближче до пуассоновському, а час обслуговування – до експонентного [165]. При пуассоновском вхідному потоці й довільному часі обслуговування, що найчастіше має місце в транспортних потоках, середній час очікування обслуговування в системі можна визначити по формулі Поллчека-Хинчина:

$$W_q = \frac{a^2}{2\lambda(1-a)} \left(1 + v_{об}^2\right), \quad (4.54)$$

де  $a$  – коефіцієнт завантаження системи:

$$a = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (4.55)$$

$\lambda$  – інтенсивність вхідного потоку транспортних засобів;

$\mu$  – інтенсивність обслуговування транспортних засобів;

$v_{об}$  – коефіцієнт варіації часу обслуговування транспортного потоку.

$$v_{об} = \frac{\sigma_{об}}{M_{об}}, \quad (4.56)$$

$\sigma_{об}$  – середньоквадратичне відхилення;

$M_{об}$  – математичне очікування.

Загальний час обслуговування визначається по формулі:

$$t_i = \frac{a^2}{2\lambda(1-a)} \left(1 + v_{об}^2\right) + \frac{1}{\mu}. \quad (4.57)$$

Прикладом багатофазних, неповнодоступних систем можуть служити митні переходи, заправні станції, пункти перевантаження вантажів з одного виду транспорту на іншій. У цьому випадку, враховуючи багатоваріантність законів розподілу вхідного потоку ТЗ і законів розподілу часу обслуговування, найбільш підходящим для їхнього опису й визначення числових характеристик підходить розподіл Ерланг. Тоді час обслуговування (або затримки на пункті обслуговування) визначиться по вираженню:

$$t_i = \frac{a_S^2 \cdot \varphi_S (v_{exS}^2 + v_{obS}^2)}{2S_{\mu_S} (1 - a_S) [1 - (1 - a_S) v_{exS}^2]} + \frac{1}{\mu_S} + \frac{a_K^2 (v_{exK}^2 + v_{obK}^2)}{2\mu_K (1 - a_K) [1 - (1 - a_K) v_{exK}^2]} + \frac{1}{\mu_K}, \quad (4.58)$$

де  $\mu_K$  і  $\mu_S$  – інтенсивності обслуговування одним каналом, при повній його зайнятості й апаратом обслуговування відповідно;

$$a_K – \text{коефіцієнт завантаження каналу } a_K = \frac{\lambda}{m\mu_K};$$

$m$  – число обслуговуючих каналів;

$a_S$  – коефіцієнт завантаження обслуговуючого апарата;

$v_{ex}$  і  $v_{ob}$  – коефіцієнти варіації інтервалів вхідного потоку (прибуття) і часу обслуговування відповідних клієнтів.

$\varphi_S$  – коефіцієнт, який для СМО такого типу, при числі обслуговуючих апаратів  $1 \leq S \leq 4$ , можна визначити з використанням залежності [165,167]:

$$\varphi_S = \frac{S^2 \cdot a^2}{(S-1)(S-2) + a(2S + Sa - 2)}. \quad (4.59)$$

Значні витрати часу в дорозі проходження можуть припадати на вантажно-розвантажувальні й перевантажувальні операції у попутних клієнтів. Затримки на ці операції можна так само, як і в попередніх розглянутих випадках, визначити, використовуючи апарат теорії масового обслуговування.

Припустимо, що для обслуговування транзитного клієнта на складі є, як гірший варіант, один вантажно-розвантажувальний засіб, тобто маємо одноканальну розімкнуту СМО. Закон розподілу вхідного потоку на склад найчастіше «показовий», закон розподілу часу обслуговування «довільний».

Виходячи із цього й враховуючи дослідження наведені в роботах [168,169] час очікування обслуговування можна визначити по формулі

$$\bar{W} = \frac{a}{2\mu(1-a)}(1 + \nu_{\sigma\sigma}^2). \quad (4.60)$$

Тоді час обслуговування клієнта, що перебуває в системі можна виразити як:

$$t_c = \frac{a}{2\mu(1-a)}(1 + \nu_{\sigma\sigma}^2) + \frac{1}{\mu} + \sum t_{\delta}, \quad (4.61)$$

де  $t_{\delta}$  – час на додаткові операції по складанню перевізних документів, пломбуванню ТЗ і ін. у транзитного клієнта.

Таким чином, знаючи час руху ТЗ по кожній ділянці й сумарний час по розглянутій виробничій системі або транспортному коридору й обсяг перевезеного по них вантажів у тоннах, завжди можна визначити завантаження системи в ткм в одиницю часу тобто її продуктивність.

Слід зазначити, що при плануванні перевезень по певним напрямках і маршрутам виробничої системи можна заздалегідь визначити час на рух по основному й альтернативним маршрутам з урахуванням можливого або необхідного обслуговування. Немаловажним у такій організації перевізного процесу є можливість обліку й контролю операцій, які виконуються у шляху проходження і їх обґрунтованість.

При ситуаціях, коли в процесі руху виникає необхідність зупинки ТЗ у декількох пунктах обслуговування, систему просування потрібно розглядати як багатофазну неповнодоступну.

Час затримки на обслуговування в такому випадку можна визначити як  $\sum_i t_i$  з урахуванням законів розподілу відповідних характеристик, якщо вони будуть різко відрізнятися від розглянутих.

#### 4.3.5. Модель прямої взаємодії залізниці при перевантаженні судна в логістичному парку транспортного коридору

При побудові логістичної системи поставки вантажів через транспортні коридори з використанням морського транспорту важливе значення має такий показник перевізного процесу як час простою судна під вантажно-розвантажувальними операціями. Просування вантажів по транспортним коридорам є більш ефективним за рахунок скорочення перевалочних операцій у складських терміналах [170]. Тому надзвичайно важливою є розробка моделі технології взаємодії морського й залізничного транспорту при оперативному плануванні.

Головним у цьому процесі є своєчасне забезпечення (подача) порожніх вагонів під завантаження або навпаки завантажених під вивантаження при завантаженні судна й у встановлений строк [171]. При цьому пробіг вагонів, оскільки вони будуть подаватися з різних ділянок залізниці, повинен бути мінімальним. Оперативність необхідна також при постачанні рефрижераторними вагонами для завантаження заморожених рибопродуктів, морепродуктів, фруктів, продуктів сільськогосподарського виробництва і т.ін.

У якості вихідних даних для моделювання процесів взаємодії залізниці в порту слід вважати час запланованого простою судна в порту, кількість вантажу, який треба вивантажити. Відомі також прогнози прибуття порожніх вагонів у зазначений строк, а також час їх переміщення з тих або інших ділянок залізниці.

Виходячи із установленого економічно обґрунтованого строку простою судна  $F$  необхідно розробити таку технологію подачі вагонів під завантаження, яка забезпечила б вивантаження судна при мінімальних витратах на пересування порожніх вагонів у порт.

Завдання моделювання процесів взаємодії залізничного транспорту із промисловим і морським транспортом розглядалися в роботах Нечаєва Г.І. [28] [171]., Постанова М.Я. [172], Акулінічева В.М. [51]. Але при побудові транспортно-логістичних систем за участю морського транспорту залишається величезна кількість завдань оптимізації різних параметрів транспорту на різних ділянках

системи. Однієї з таких найважливіших задач є мінімізація витрат на подачу досить великої кількості порожніх вагонів під пряме розвантаження судна в порту, або навпаки завантажених однойменним вантажем для завантаження судна[5].

Припустимо, що:

$a$  - ділянки (станції), які поставляють порожні вагони;

$v$  – клієнти, які використовують порожні вагони (вантажні фронти навантаження порту);

$f_1, f_2$  – залишок порожніх вагонів у порту після здвоєних операцій за першу добу, другу добу і т.ін.;

$Q_{af_1}$  – обсяг завантаження вагонів (сумарний обсяг вантажу, який перевозиться);

$N_{vf_1}$  – необхідна кількість вагонів у користувача « $v$ » прогнозоване на час  $f_2$ ;

$C_{av}$  – вартість переміщення порожніх вагонів між ділянками « $a$ » і « $v$ »

$\tau_{av}$  – час пересування вагонів між « $a$ » і « $v$ »

$Z_v$  – збитки через затримки одного вагона у користувача « $v$ ».

Якщо для завантаження використовуються вагони з-під здвоєних операцій за добу  $f_1$ , то вони повинні надійти з пункту « $a$ » у пункт « $v$ » для забезпечення запланованого завантаження не пізніше  $f_2$  і це позначимо як  $Y_{af_1, vf_2}$ .

Сформулюємо обмеження:

$$\sum_{a, f_2} Y_{af_1, vf_2} + \sum_{vf_2=1}^F N_{vf_2} \leq \sum_a \sum_{f_1=1}^F Q_{af_1} / q_i, \quad (4.62)$$

тобто необхідна кількість вагонів не повинна перевищувати їхню наявність.

$q_i$  – технічна норма завантаження вагона.

$$\sum_{a, f_1} Y_{af_1, vf_2} = Q_{af_2} \text{ для всіх «}v\text{» і «}f_2\text{»,} \quad (4.63)$$

це вимоги задоволення потреб.

Для виконання цих умов (обмежень) треба забезпечити мінімум сумарних витрат на переміщення вагонів.

$$I_1 = \sum_a \sum_{f_1, f_2} C_{av} \cdot n_{af_1, ef_2} \rightarrow \min. \quad (4.64)$$

Ще однією важливою умовою є необхідність прибуття порожніх вагонів до вантажних пунктів порту в заданий період часу, тобто

$$n_{af_1, ef_2} > 0, \text{ при } f_2 - f_1, \quad (4.65)$$

де  $n_{af_1, ef_2}$  – число порожніх вагонів, які направляються з окремих станцій «а» до пункту навантаження «в» за добу  $f_1$  з метою забезпечення добового навантаження в наступну добу  $f_2$ .

Оскільки навантаження або вивантаження вагонів відбувається кілька діб в межах заданого періоду, то можливо, незважаючи на виконання умов забезпечення необхідної загальної кількості вагонів, нерівномірне їх поставка має свої негативні наслідки. Одним з таких може бути неможливість використання вагонів під кінець періоду через їхнє надмірне нагромадження наприкінці запланованого періоду.

У такому випадку повинно бути виконане наступне обмеження:

$$\sum_a \sum_v n_{af_1, ef_2} = \sum_{f_2} N_{ef_2} \quad (4.66)$$

на кожен наступну добу.

Цільова функція завдання з урахуванням додаткових витрат від затримки навантаження або розвантаження судна через недопоставку вагонів з різних ділянок щодоби певного періоду, який розглядається, має такий вигляд:

$$I_2 = I_1 + \sum_{\epsilon} Z_{\epsilon} \sum_{t=1}^T \left[ \max \left( 0; \sum N_{\epsilon f_2} - \sum_a \sum_{t=1}^T n_{a f_1, \epsilon f_2} \right) \right] \quad (4.67)$$

де  $N_{\epsilon f_2}$  – потреба у вагонах на вантажному фронті порту  $j$  доби  $f_2$ . ( $f_2 = 1, 2 \dots T$ ). Ця потреба для планового навантаження за мінусом вагонів, які надходять під навантаження після здвоєних операцій, тобто після вивантаження в порту;

$T$  – час, який розглядається ( час навантажування або вивантаження судна). Якщо підставити у формулу (4.67) значення  $I_1$  будемо мати:

$$I_2 = \sum_{a, \epsilon} \sum_{f_1, f_2} C_{a\epsilon} \cdot n_{a f_1, \epsilon f_2} + \sum_{\epsilon} Z_{\epsilon} \sum_{t=1}^T \left[ \max \left( 0; \sum N_{\epsilon f_2} - \sum_a \sum_{t=1}^T n_{a f_1, \epsilon f_2} \right) \right], \quad (4.68)$$

Якщо у квадратних дужках маємо різницю зі знаком «-», тобто недопоставки вагонів немає, приймаємо «0».

У такій постановці це завдання може бути вирішено з використанням методу «транспортної задачі» матричним способом.

Таким чином, запропонована математична модель для оптимізації витрат на подачу порожніх вагонів у порт для вивантаження судна по «прямому» варіанту в запланований період з різних залізничних станцій або для завантаження судна, передбачає й облік збільшення витрат на обробку вантажопотоку в порту за рахунок недопоставку вагонів і на різні строки.

#### **4.3.6. Потенціал транспортних коридорів України з ділянками морських перевезень і шляхи його реалізації**

Постановка проблеми. За свідченням провідних світових експертів, Україна має найбільший у Європі показник транзитності – коефіцієнт 3,75 (для порівняння, у Польщі – 2,92). Вітчизняні фахівці – морські агенти й транспортні експедитори –

надають значний обсяг послуг перевізникам і вантажовласникам, які досягають 60% для експортно-імпортних і 75% для транзитних перевезень від загальних витрат на обробку вантажопотоків [173], [174].

Однак цю колосальну перевагу ми не використовуємо сповна. Частина транзиту, що ще недавно представляла близько 50% загального обсягу перевезень України (кожна друга тонна – вантажі третіх країн), скоротилася в 2 рази. У ситуації системної кризи весь ринок зовнішньоторговельних вантажопотоків, транзитних і вітчизняних, виявився схильним до спаду, хоча й у менших темпах, чим все вітчизняне господарство. Головна причина, як показує проведений нами аналіз, у суугобо українських проблемах: нестійкості й непослідовності влади, у розбалансованості власного промислового виробництва й споживання, відсутності цілеспрямованої й ресурсно-забезпеченої стратегії виробничої системи країни, у занедбаності й нерозвиненості зовнішньоторговельних зв'язків, у гнітючій роботі кордонно-митних пунктів пропуску вантажів [175].

Крім того слід зазначити, що незалежно від політичної обстановки, економічного стану держави або території на розглянутий момент часу й стану інфраструктури існуючих виробничих систем, шляхи транспортування, як ріка природнім шляхом знаходить своє русло мінімізуючи енергетичні витрати, знайдуть оптимальний маршрут мінімізуючий витрати на їхню обробку.

Для прискорення процесів оптимізації маршрутів формування транспортних коридорів і одержання економічних вигід від їхньої експлуатації необхідний всебічний аналіз вантажів і їх параметрів і на основі нових методів і методик необхідна розробка випереджальних рішень по використанню потенціалу транспортних коридорів і систем у цілому [124,176,177].

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що Україна має дуже вигідне географічне розташування, перебуваючи на перетинанні багатьох міжнародних вантажопотоків. Через Україну проходять три, офіційно включених у міжнародний перелік, автомобільних транспортних коридорів [121,122,125,126,129] [123,178,124][179-181]:

МТК № 3 Берлін/Дрезден – Вроцлав – Краковець – Львів – Рівне – Житомир – Київ;

МТК №5 Трієст – Любляна – Братислава – Чоп – Ужгород – Львів;

МТК №9 Гельсінкі – Київ/Москва – Одеса/Кишинів/Бухарест – Горностаєвка – Александрополис із відгалуженнями: Любашевка – Платоново; Любашевка – Одеса; Конти – Бачевськ.

Крім того, пропонується й має сенс включити, з метою розвитку їх інфраструктури, вже функціонуючі транспортні коридори, які з'єднують північні й південні моря[127,128].

Це коридор, який з'єднує Балтійське й Чорне моря (Гданьск – Яготин – Ковель – Луцьк – Тернопіль – Хмельницький – Вінниця – Умань – Порти Чорного моря).

Євро-Азіатський (ЄАТК) (Іллічевськ – поромна переправа – Одеса – Миколаїв – Херсон – Джанкой – Керч – Грузія – Азербайджан – пором Туркменістан).

Європа – Азія (Краковець – Львів – Рівне – Житомир – Київ – Полтава – Харків – Волгоград – Магат – Чарджоу й далі на схід).

Існують також МТК уздовж Чорного моря, який створюють причорноморські країни (ЧЕС) і проходить він через Рені – Ізмаїл – Одесу – Миколаїв – Херсон – Мелітополь – Бердянськ – Маріуполь – Новоазовськ і далі на схід [182].

Значними по обсягах перевезень є залізничні МТК, по яких границі України перетинають майже 37% загального обсягу вантажів.

Це Критський коридор №3, який перетинає Україну із заходу на схід (Берлін/Дрезден – Мостися – Катовіце – Львів – Червоне – Тернопіль – Жмеринка – Фастів – Дарниця – Гребінка – Полтава – Харків – Тополі – Валуйки) з відгалуженням на Конотоп – Зернове – Суземка – Москва й далі по напрямку транзиту.

Критський коридор №9 (Александрополис – Пловдив – Бухарест – Кишинів – Кучурган – Роздільна – Жмеринка – Київ – Ніжин – Чернігів – Горностаєвка – Жлобін – Вітебськ – Санкт-Петербург – Гельсінкі) з відгалуженнями на Роздільна – Одеса й Ніжин – Москва.

Крім того, Україною й Польщею створені МТК: Гданьск – Одеса, від Балтійського до Чорного моря, а також МТК (TRACECA) Європа – Кавказ – Азія, які з'єднують прибалтійські й Скандинавські країни з портами Чорного моря найкоротшими шляхами.

Суттєво скорочує маршрути перевезень у Туркменістані і Уралі МТК Європа-Азія, який використовує частково МТК №3 і №5 і МТК №8 (Фастів – Знаменка – Нижнеднепровськ – Вузол – Червона Могила – Гуково й далі на Волгоград – Астрахань – Макат – Бейнеу). Скорочення становить від 750 до 1350 км у зрівнянні з північними маршрутами через Оренбург.

Реалізація транзитного потенціалу є рятівним варіантом не тільки для транспортного сектору економіки. Як в умовах кризи використовувати унікальне географічне положення України для забезпечення й обслуговування зовнішньоторговельних зв'язків більш успішних економік наших сусідів, їх експортерів-імпортерів? Адже всупереч усім проблемам зовнішні контракти покупки-продажу будуть здійснюватися, торгівля буде рости.

Створити сприятливі й конкурентні умови для експортно-імпортних і транзитних вантажопотоків – першочергове й пріоритетне завдання. Для цього потрібне вдосконалювання національної транспортної мережи, її інфраструктури, магістралей і транспортно-експедиційного й інформаційного забезпечення перевезень. Це сотні тисяч робочих місць.

Однак сьогодні немає ні слова про транспорт в антикризових заходах різних рівнів; торговельне судноплавство й морські порти в країні розбудовуються не за допомогою законодавчої бази, а всупереч їй; з позбавленням права митного перевізника Укрзалізниця в 2 рази скоротила перевезення підакцизних вантажів. Сьогодні один лист або наказ Держмитслужби України може скасувати норми Закону; вводяться складні схеми фінансових гарантій для окремих структур. Жорсткий фіскальний режим, тривале митне оформлення ліквідують успішну комерційну роботу флоту під українським прапором. Є й флот, що працює під іноземним прапором, але під контролем українських бізнесменів з обмеженими надходженнями в український бюджет.

Контролюючі органи (ветеринарної, екологічної, карантинної інспекції) на прикордонних переходах перетворили перетинання кордону в непереборний процес. І тут криється головна причина небувалого простою транзитних контейнерів у портах, де різного роду інспекції вводять більше 30 процедур контролю, більше десятка резолюцій і підписів, щоб оформити дозвіл на перевантаження транзитних вантажів з контейнера однієї судноплавної лінії в контейнер іншої лінії. На це витрачається два тижні – замість спрощених і прискорених процедур затвердженої Законом програми "Україна – транзитна держава". Про це добре відомо нашим партнерам і потенційним клієнтам за кордоном.

Розглядаючи потенційні можливості транспортних коридорів України слід вирішити наступні завдання:

- визначення проблем і шляхів розвитку логістики в виробничих системах;
- підвищення конкурентоспроможності роботи всіх видів транспорту;
- виявлення й освоєння нових вантажних технологій при обробці вантажопотоків;
- скорочення зовнішньої транспортної залежності країни;
- включення України в міжнародні транспортні коридори.

Вплив фінансової кризи перевезення за участю морського транспорту, як найбільш потужного, світовий фрахтовий ринок в останню чергу відчув у секторі судів-сухогрузов : його обвал почався в жовтні в 2008 р. як наслідок світового спаду в металургійній, хімічній і вугільній промисловості. Однак уже на 2019-2020рр. у світі замовлено будівництво тоннажу більше чим на 400 млн т. Це приведе практично до подвоєння дедвейту балкерного й усього світового флоту. На фоні такого розвитку торговельного судноплавства участь України у світовій морській торгівлі незначне – менш 5 млн т вантажів, або 0,05% від 7415,5 млн т світового вантажообігу морем (по даним ЮНКТАД/UNCTAD на 1 січня в 2020 р.).

При цьому структура перевезень і сам товарообіг України не збалансовані: основний обсяг імпорту прибуває в контейнерах, основний експорт вивозиться балкерами. Частина морського транспорту у вітчизняному ВВП ледь перевищує 2% (при потенційно можливій 15%). За 20 років частина вітчизняних перевізників

експортно-імпортних вантажів скоротилася в 10 разів (з 75 до 7,5%). Втрату Україною конкурентоспроможності флоту на світовому фрахтовому ринку підтверджують темпи нарощування в 1,5 рази імпорту вантажоперевезень і падіння їх експорту.

Скорочення тоннажу під Державним прапором України трапилося одночасно зі значним збільшенням кількості судноплавних компаній. Так, сьогодні, по даним Британського Ллойд, в Україні зареєстровано 82 компанії, які володіють флотом під Державним прапором (з них тільки 7 володіють флотом більше 5 од., а 51 компанія має по 1 судні), і 110 компаній, які володіють флотом також і під прапорами інших країн [173]. Флот українських компаній під прапорами країн відкритої реєстрації час від часу збільшується залежно від позицій наших експортерів (насамперед металопродукції) на світових товарних ринках. Завдяки цьому Україна займала 33 місце в переліку 35 морських держав миру. Однак з ослабленням позицій експортерів металу на ринках ПС Азії українські судновласники стали позбуватися від тоннажу. Виявилось неможливим ефективно експлуатувати флот на світовому фрахтовому ринку через відсутність у країні інститутів фрахтової справи й згорання незалежного агентства, сюрвея й транспортної експедиції вантажів. Відправники прагнуть організувати власні сервісні компанії й не допускають до перевезень незалежних операторів, хоча в умовах кризи ліквідуються в першу чергу саме несталі доморослі підрозділи.

У країнах ЄС основний акцент робиться на перевезення екологічно чистими видами транспорту – залізничним і водним. Західна Європа стоїть перед тим, щоб взагалі заборонити довгі автовантажоперевезення. В Україні, навпаки, логістичні центри частіше будують тільки під автотранспорт, удалечині від водних і залізничних магістралей.

З ростом вантажопотоків кілька років назад почався бум у розвитку портів, стрімко росте кількість нових інвестиційних проектів по розвитку портового господарства. Тепер за цим не встигає залізниця: старі механізми діють усе гірше; старі принципи галузевого керування, які зжили себе, вимагають реформування. Законопроектом про порти вводиться нове визначення: "порт" – не як юридична

особа, а "транспортний комплекс", як матеріально-географічне поняття. Це, у свою чергу, вимагає усунення виниклих невідповідностей діючому Кодексу торговельного мореплавання (КТМ України)[183].

Це пов'язане з тим, що основні вантажопотоки йдуть сухопутним шляхом. Слід зазначити, що вченими Східноукраїнського університету з питань розвитку виробничих систем розроблено кілька концепцій розвитку транспортної інфраструктури для збалансованого транспортного обслуговування транспортних коридорів для різних видів транспорту [12,127,161,164,175,180,127].

Згідно зі Стратегією розвитку морських портів України на період до 2025 р., за держадміністраціями портів закріплюються підхідні канали, акваторія, причали, гідротехнічні спорудження, навігаційне устаткування, комунікації, під'їзні колії. Об'єкти, безпосередньо пов'язані із вантажоперевалкою (піднімальні механізми, термінали, складські приміщення й території), можуть продаватися або передаватися в оренду, лізинг або концесію приватним підприємцям і компаніям. При цьому ніяка логіка, отже, і ніяка логістика не витримають спокуси рентного натиску різного роду контролерів. У такому випадку цей алогічний і чисто ментальний феномен буде нагадувати "особливості національного полювання" на все, що рухається, включаючи чартерний флот і транспорт загального користування.

Відтворенню вітчизняного торговельного флоту й розвитку судноплавства перешкоджають штучно створені умови, коли не формується попит вантажовласників на морські перевезення, коли українським експортерам не вигідно відправляти вантажі на умовах CIF (стаючи фрахтівниками й одержуючи кратне збільшення ціни товару за рахунок його доставки й страхування). В результаті цього не мають розвитку інститути фрахтової справи, а національний перевізник втрачає потенційну вантажну базу. Прямі втрати економіки України від цього за роки незалежності представляли не один десяток мільярдів доларів. З урахуванням міграції кваліфікованих кадрів і відтоку транзитних вантажоперевезень (з падінням коефіцієнта транзитності до 2,7) загальні втрати ростуть на кілька порядків[174].

Для стимулювання внутрішнього попиту на тоннаж необхідно вивести фрахтові платежі з подвійного оподаткування, забрати ПДВ на послуги

українських фрахтівників, створити умови для комбінованих перевезень на принципах "part cargo" і єдиного договірної перевізника-експедитора, з об'єднаним коносаментом і наскрізною тарифною ставкою. Імпортерам, експортерам, автомобільно-залізничним перевізникам і портовикам слід активніше впроваджувати на базі INCOTERMS договірні відносини з вітчизняними експедиторами – членами FIATA, будувати логістику по інтермодальній схемі. Навіть такі прості заходи не затримаються відбитися на збільшенні вантажної бази всіх видів транспорту. Тільки при збільшеному попиті самих вантажовласників вітчизняні експедитори зможуть вирости до операторів мультимодальних перевезень і договірних перевізників.

Істотним резервом у розвитку й активізації вантажоперевезень взагалі й зокрема в транспортних коридорах є вдосконалювання інформаційних технологій як одного з найважливіших елементів логістики виробничих систем. Так, впровадження електронного документообігу на основі нового алгоритму електронному підпису [64, 184] організації перевезень аукціонним способом [184], що може виявитися дуже ефективним при наповненні транспортних коридорів місцевими вантажопотоками, а також використанням аутсорсинга [57].

Багато країн світу успішно випробували механізм створення другого (міжнародного) реєстру судів, входження в який допускає пільгову й спрощену систему оподаткування. Наприклад, заміну всіх податків єдиним і невисоким разовим реєстраційним збором і фіксованими ставками залежно від тоннажу суду, які платяться раз у році. Оподаткування судноплавного бізнесу у світі має свої особливості. Прибуток судів, зареєстрованих у країнах відкритої реєстрації й офшорних зонах, обкладається податком на рівні приблизно 2%, а судів, внесених в інші міжнародні реєстри, – на рівні 7%. Податок на прибуток судів, внесених в основні реєстри, встановлюється в інтервалі від 5% (Греція) до 50% (Італія). Саме високі податки основних реєстрів обумовили деякий час "відтік" тоннажу до "зручних" або "дешевих" партнерів, що давало більші економічні переваги судновласникам [174, 185].

Перевірка показала, що реальна кількість судів і тоннажу під українським прапором є ледве чи не комерційною таємницею. Це суперечить численним заявам чиновників про необхідність зробити український прапор привабливим і максимально зручним для судновласників. Процедура реєстрації флоту є саме невід'ємною частиною таких зручностей.

Цілеспрямована політика Євросоюзу в цьому напрямку припинила відтік флоту в країни відкритої реєстрації й намітила тенденцію повернення флоту під національні прапори. Як і в усьому світі, основною метою створення реєстру є не одержання прибутків від реєстрації судів, а мультиплікативний ефект для економіки в цілому, включаючи захист зовнішньої торгівлі від різких коливань фрахтового ринку, забезпечення економічної безпеки експортно-імпортних операцій, поживлення пов'язаних із судноплавством галузей економіки (металургії, суднобудування, приладобудування).

Однією з умов розвитку ринку реєстрів "зручних" прапорів є наявність морських фахівців. Для підготовки плавскладу й кадрового забезпечення флоту громадянами країни приписки судів потрібні:

- навчальні заклади, що готують фахівців, що вміють створювати й розбудовувати виробничі системи за участю морфлоту, оптимізувати їхні параметри при участі в перевезеннях різних видів транспорту;
- надмірний тоннаж національного або підпрапорного флоту.

При цьому вітчизняний торговельний флот повинен бути повною мірою укомплектований при відтворенні трудових відносин в умовах України. У системі світового ринку праці й експорту робочої сили суда під "зручними" прапорами стають найважливішою формою залучення незатребуваних морських професій для великої кількості українських моряків [186].

У цілому, для реалізації й розвитку Морської доктрини України потрібний комплекс нових нормативних актів по торговельному мореплаванию й серед основних – закон "Про міжнародний реєстр судів України". Кошти, вкладені в судноплавство й інші сфери морської діяльності, принесуть багаторазову віддачу в цілому по всіх галузях національної економіки. Мультиплікативний ефект, який

очікується від створення другого реєстру, по-справжньому повинен виявитися не тільки в моряків, але в першу чергу в тих, хто буде й ремонтує флот. Саме там відкриваються нові робочі місця, туди підуть найбільші прибутки, звідти повинні йти відрахування в бюджет. З активним поповненням з новобуду вітчизняного флоту з'явиться реальна можливість протистояти тиску на наших експортерів перевозити проданий товар стороною покупця (на Fob'e). Можуть сприяти цьому спеціальні процедури, передбачені для членів СОТ, але ними потрібно вміло користуватися [183].

Таким чином можна зробити деякі висновки. Потенційна місткість логістичного ринку України оцінюється нами в 30 млрд USD. Однак логістичні центри в країні створюються найчастіше без урахування світових тенденцій розвитку транспортної інфраструктури. Портова інфраструктура контролю ввозу-вивозу не справляється зі своєчасним оформленням вантажів і приводить до простоїв. Концепція логістики, яка розробляється в Україні, розважливо передбачає перенесення митного оформлення вантажів з морських портів углиб країни. На перетинанні водних і залізничних магістралей вірніше зводити саме логістичні центри. Автотранспортом повинен робитися тільки розвіз вантажів на відстань до 200 км, від складу виробника (продавця) до дверей клієнта (покупця).

Майже половина міжнародних реєстрів судів належить до офшору, вони утворені на острівних територіях держав. Для України із цією метою реально використовувати одеський мегаполіс і, нарешті, Зміїний.

В умовах більш швидкого виходу із кризи світових експортно-орієнтованих економік ми повинні запропонувати їм транзитний потенціал України з конкурентними строками транзиту, сучасним рівнем логістики, транспортної експедиції, розмірним сервісом і тарифами. Держава зобов'язана забрати на шляху руху транзитних вантажів корпоративні бар'єри контролюючих структур. Керівним органам реально на справді здійснити передбачену законодавством державну підтримку транспортного комплексу. Це можна віднести до бюджетних витрат на будівництво доріг, терміналів, нових судів, локомотивів, вагонів, – за рахунок ревізії нормативної бази міжнародних перевезень. Коли флот під українським прапором

буде перевозити не 5-8% вантажів, як сьогодні, а 30-40%, країна знову стане морською державою й суттєво підвищить свій реальний коефіцієнт транзитності.

#### **Висновки до розділу 4.**

1. Розроблено метод визначення економічного критерію ефективності функціонування засобів транспорту в виробничих системах, що ґрунтується на показниках декількох видів транспорту та дозволяє врахувати технічні характеристики транспортних засобів і параметри транспортної інфраструктури. Це дозволило отримати формалізований кількісний показник для об'єктивного порівняння ефективності експлуатації засобів транспорту в умовах складних виробничих систем.

2. Запропоновано метод структурної оптимізації міжрегіонального рівня системи вантажопотоків на базі транспортних шляхів, що забезпечують просування вантажопотоків по транспортних коридорах. Його відмінність полягає у тому, що на основі теорії масового обслуговування виконується вибір і оцінка параметрів руху автотранспортних засобів залежно від їх технічних характеристик, завантаження, параметрів траси й маршруту руху з урахуванням можливих затримок на різне обслуговування транспортного засобу. Це дозволяє обґрунтувати технічні характеристики і параметри транспортних засобів, що експлуатуються в умовах різних транспортних коридорів.

3. Дістала подальшого розвитку модель стійкості автомобільного транспортного засобу. Її відмінність полягає у визначенні припустимої швидкості транспортного засобу в кривих ділянках шляху в залежності від коефіцієнту зниження швидкості від інтенсивності нарощування поперечної інерційної сили при проходженні кривих. Це дозволило обґрунтувати раціональну швидкість руху для різних типів транспортних засобів, яка, з одного боку обмежується стійкістю транспортного засобу;

4. Розроблено математичну модель взаємодії залізниці з морським портом при прямому перевантаженні судна, відмінність якої полягає у врахуванні роботи в умовах логопарку. Вона дозволяє скоротити витрати до 7% на подачу вагонів у порт з різних залізничних станцій у запланований період при врахуванні збільшення експлуатаційних витрат при недопоставці вагонів.

5. Досліджено потенціал транспортних коридорів України з урахуванням морських перевезень і запропоновані шляхи його реалізації.

## Розділ 5.

### Моделювання параметрів верхньої будови залізничних колій

#### 5.1. Перевірка параметрів залізничних під'їзних колій для пропуску транспортерів з великогабаритним і великоваговим вантажем.

Відомо, що організація перевезень у транспортних коридорах спрямована насамперед для прискорення просування вантажів від постачальника до споживача. При цьому, з погляду логістики необхідно скоротити час обробки вантажопотоку на вантажних станціях, забезпечити по можливості безупинне пропускання вагонів. Під час перевезення негабаритних, великогабаритних, великовагових і довгомірних вантажів, крім того до шляхового розвитку й верхній будові колії пред'являються додаткові вимоги, виконання яких забезпечує безпеку руху.

Для перевезення вищевказаних вантажів досить часто використовуються транспортери різних типів і конструкцій, вантажопідйомністю 500т і вище, довжиною до 65 м. Деякі види існуючих транспортерів наведені на рис. 5.1 – 5.5 [171].

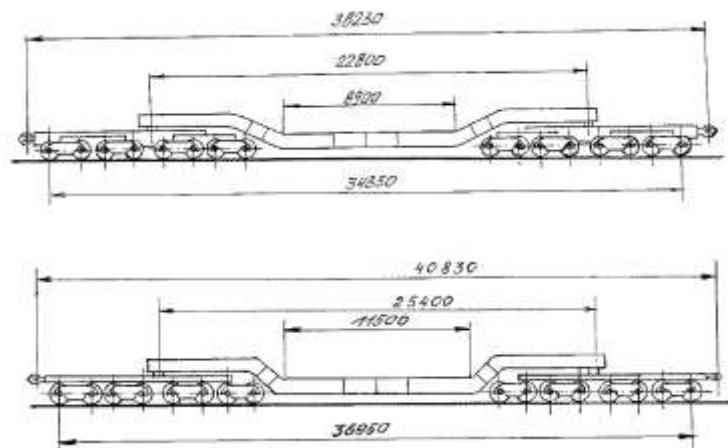


Рисунок 5.1 – Транспортер майданчикового типу: а – модель 14-6063; б- модель 14-6066; в – модель 14-6067; г - модель 14-6071

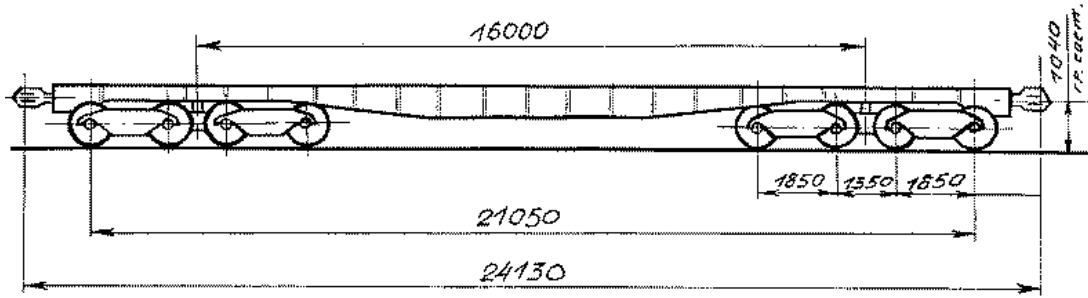


Рисунок 5.2 – Транспортер платформного типу

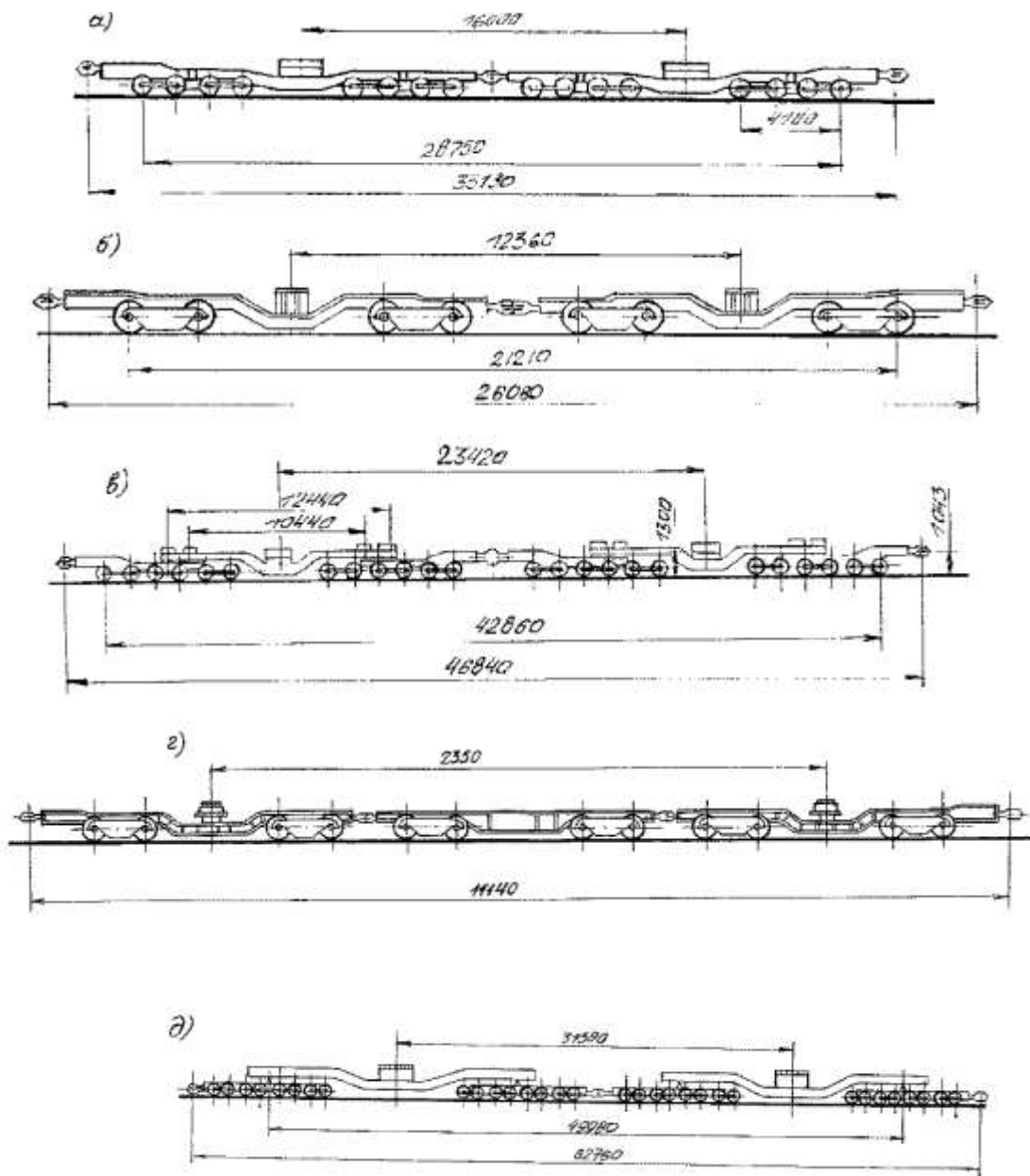


Рисунок 5.3 – Транспортери зчпного типу: а – модель 14-6049; б-модель 14-6054; в – модель 14-061; г – модель 14-126; д – модель 14-138

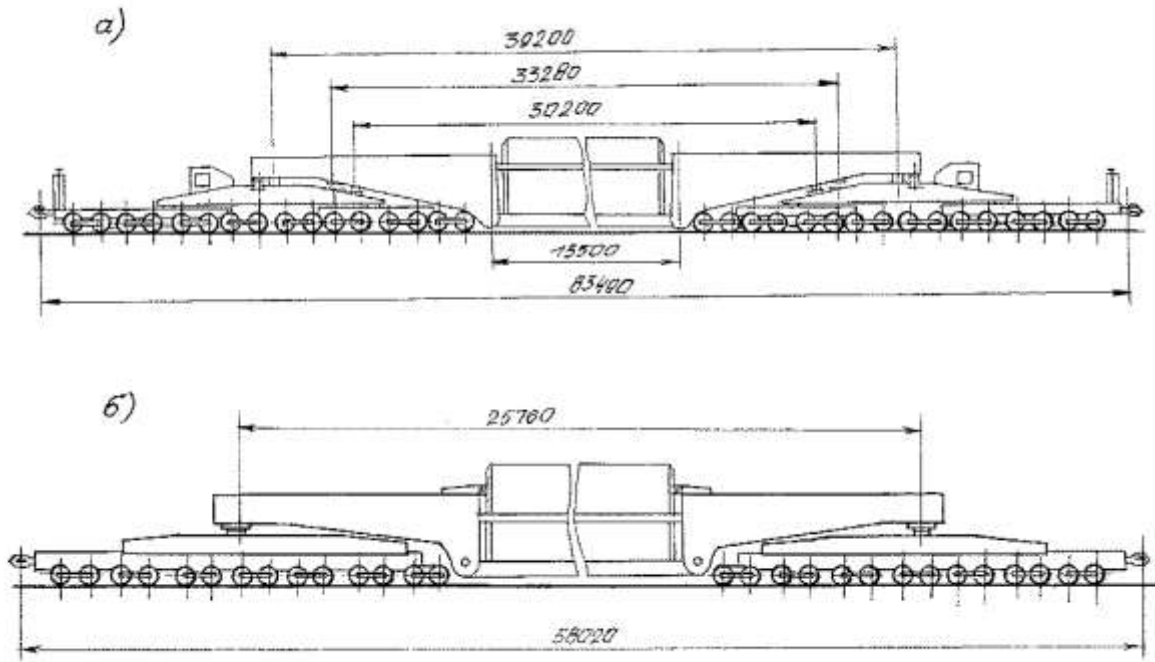


Рисунок 5.4 – Транспортёры зчленованого тыпу: а – модель 14-139; б – модель 14-135

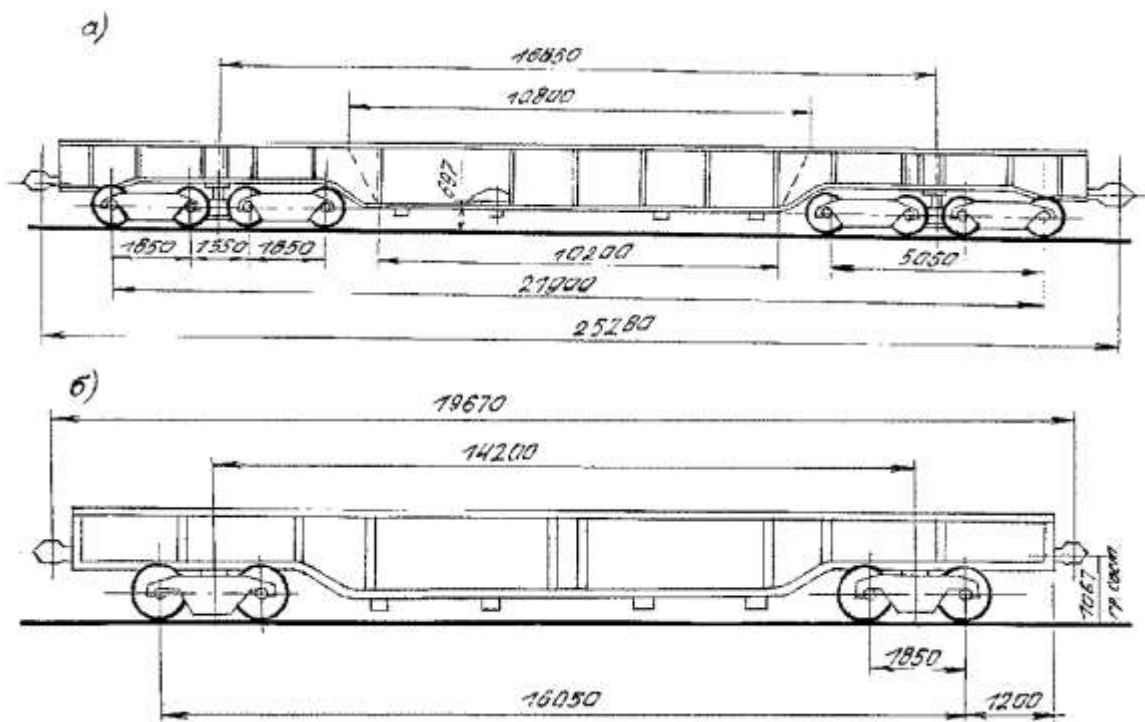


Рисунок 5.5 – Транспортёры колодцеобразного тыпу: а – модель 14-6056; б – модель 14 – 6062

Враховуючи вагу, довжину й габарити навантаження рухомого складу для пропуску поїзда із транспортерами, параметри яких відрізняються від параметрів габаритного рухомого складу, тобто 4-х, 6-ти й 8-місних вагонів, необхідно попередньо підібрати маршрут руху. Цього вимагають і «правила» перевезень вантажів. Але якщо для перевезення використовується транспортний коридор, то для обробки й пропуску такого складу задіяні залізничні станції, що вже перебувають у ньому. Це можуть бути станції, у яких тільки головні шляхи мають верхню будову, по типу рейок, шпал, стрілочних переводів, таке ж як перегони між станціями. Слід урахувати й ту обставину, що не завжди графік руху дозволяє пропустити поїзд по головному шляху. У цьому випадку приймання й обробку поїзда доводиться проводити на приймально-відправних або інших шляхах. Для безпечного пропуску через ці шляхи необхідно перевірити габарити навантаження, технічні характеристики цих шляхів і станції в цілому.

Габаритним вважається вантаж, якщо він, будучи завантаженим на відкритий рухомий склад не виходить за межі габаритів на прямій горизонтальній ділянці шляху й вважається умовно габаритним, якщо в межах кривих не виходить за межі розширень габариту наближення будов і кривих ділянок шляху, в інших випадках вантаж вважається негабаритним.

Розрахункова негабаритність визначається для зовнішніх і внутрішніх частин вантажу в межах бази.

Вантажі, завантажені на рухомий склад у межах його бази, при проходженні в кривих, відхиляються усередину кривій. Величина відхилення вантажів на платформах і транспортерах, що мають не більш шести осей, визначається по формулі [71]:

$$C_{BH} = \frac{l^2}{8R} - \frac{(2q_{BH})^2}{8R}, \quad (5.1)$$

Величина розрахункового зсуву усередину кривій будь-якої точки вантажу, що перебуває в межах бази рухомого складу, при навантаженні на одиночну платформу або транспортер числом осей не більш шести буде рівна:

$$f_B = \frac{l^2}{8R} - \frac{(2q_{BH})^2}{8R} - b_{BH}, \quad (5.2)$$

Для вантажів, навантажених на зчепа платформ, а так само на транспортери багатовізкові й зчіпного типу, величина розрахункового зсуву усередину кривій будь-якої точки вантажу, що перебуває в межах бази, визначається по формулі:

$$f_B = \frac{l_{cu}^2}{8R} - \frac{l_l^2}{8R} - \frac{(2q_{BH})^2}{8R} - b_{BH}, \quad (5.3)$$

Довгомірні вантажі відхиляються від осі шляху як усередину, так і назовні кривій. Величина відхилення назовні кривій кінців вантажу на платформах і транспортерах, що мають не більш шести осей, визначається по формулі:

$$CH = \frac{L^2}{8R} - \frac{l^2}{8R}, \quad (5.4)$$

Величина розрахункового зсуву назовні кривій будь-якої точки вантажу, що перебуває за межами бази рухомого складу, при навантаженні вантажу на одиночну платформу або транспортер із числом осей не більш шести буде рівна:

$$f_H = \frac{(2q_{нар})^2}{8R} - \frac{l^2}{8R} + k - b_{нар}, \quad (5.5)$$

Розрахунковий зсув будь-якої точки вантажу, що перебуває за межами бази, при навантаженні його на зчеп платформ с опорою на дві платформи, на зчпний або багатовізковий транспортер визначається по формулі:

$$f_H = \frac{(2q_{нар})^2}{8R} - \frac{l^2}{8R} - \frac{l_1^2}{8R} + k - b_{нар}, \quad (5.6)$$

де у формулах (5.1 – 5.6):

$L$  – довжина вантажу;

$R$  – радіус кривої;

$f_B, f_H$  – зсув вантажу усередину кривій і назовні відповідно;

$l$  – база платформи або транспортера із числом осей не більш шести;

$l_{цч}$  – база зчепу платформ або багатовізкового транспортера;

$l_1$  – база групи візків транспортера або платформи, що несе вантаж який входить у зчеп;

$q_{вн}, q_{нар}$  – відстань від розглянутої точки до поперечної осі вагона (транспортера) або зчепу в межах бази зчепу й за межами відповідно;

$b_{вн}, b_{нар}$  – збільшення горизонтальних відстаней між віссю шляху й габаритами споруджень і шляхових обладнань, що перебувають із внутрішньої й зовнішньої сторони кривій відповідно;

$k$  – величина горизонтальних зсувів кінців довгомірного вантажу, що залежить від допусків і зносів окремих елементів вагона й розширення шляху в кривих.

При проходженні в кривих, що мають піднесення зовнішньої рейки, вантаж відхиляється у внутрішню сторону кривої. Величина відхилення визначається по вираженню:

$$d = \frac{H}{S} h + \Delta n, \quad (5.7)$$

де  $H$  – висота точки, що відхиляється, над рівнем головки рейки, мм;

$S$  – відстань між осями голівок рейок, приймається рівною 1600 мм;

$h$  – підвищення зовнішньої рейки в мм.;

$\Delta$  – радіальний зазор у шворні балансира;

$n$  – число балансирів по висоті.

Під технічною характеристикою шляхового розвитку слід розуміти його здатність пропускати певний рухомий склад, у тому числі й спеціальний, що має певну довжину й осьове навантаження. При цьому навантаження на елементи верхньої будови колії не повинні перевищувати припустимі для відповідних матеріалів.

Величина напруг в елементах верхньої будови колії (рейках, шпалах, балках) залежить, насамперед від їхніх конструкцій і діючих статичних і динамічних сил від рухомого складу, числа осей у візках, швидкості руху та ін.

Для розрахунків напруг у зазначених елементах при проходженні транспортних агрегатів з 2-х і 3-х-осними візками в першому наближенні можна скористатися формулами [187]. При динамічному розрахунку шляху на міцність вираження для визначення згинальних моментів, поперечних сил і прогинів мають такий вигляд:

$$M_{\text{ДИН}} = \frac{1}{4k} P_{1\text{ЭКВ}} = \frac{1}{4k} (P_{\text{РАСЧ}} + \sum \bar{P} \cdot \mu_i), \quad (5.8)$$

$$Q_{\text{ДИН}} = \frac{k1}{2} P_{2\text{ЭКВ}} = \frac{k1}{2} (P_{\text{РАСЧ}} + \sum \bar{P} \cdot \eta_i), \quad (5.9)$$

$$Z_{\text{ДИН}} = \frac{k}{2U_z} P_{2\text{ЭКВ}} = \frac{k}{2U_z} (P_{\text{РАСЧ}} + \sum \bar{P} \cdot \eta_i), \quad (5.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт відносної твердості підстави й рейки;

$P_{1\text{ЭКВ}}$  – величина еквівалентних динамічних навантажень при розрахунках моментів і напруг у рейках;

$P_{2ЭKB}$  – величина еквівалентних динамічних вантажів при розрахунках тисків на шпалу й баласт;

$P_{РАСЧ}$  – розрахункове навантаження на вісь;

$\sum \bar{P} \cdot \mu_i$  і  $\sum \bar{P} \cdot \eta_i$  – сили, прийнято називати еквівалентними вантажами, що замінюють задану систему вантажів еквівалентним одиночним вантажем, рівним  $\sum \bar{P} \cdot \mu_i$  – для визначення моментів  $M$ , і рівним  $\sum \bar{P} \cdot \eta_i$  – для визначення прогибів  $Z$  і поперечних сил  $Q$ .

$l$  – відстань між осями шпал;

$U_Z$  – коефіцієнт пропорційності, який називається модулем пружності підстави балки (рейки).

По величині згинального моменту визначаються напруги в рейках ( від вигину під впливом вертикального навантаження). Напруги по осі підшви й головки рейки визначаються по формулі:

$$\sigma_{n-o} = \frac{M_{ДИН}}{W_n}, \sigma_{r-o} = \frac{M_{ДИН}}{W_n}, \quad (5.11)$$

де  $W_n$  – момент опору по осі рейки.

Метод визначення напруг у зазначених раніше елементах верхньої будови колії при проходженні транспортерів із багатовісними екіпажами відсутній, тому що транспортери, як правило, проектують і виготовляються в одиничних екземплярах, під певний вид вантажу.

Складність визначення полягає в тому, що важко визначити найбільш навантажену вісь через невідомий розподіл миттєвих статичних і динамічних навантажень між осями екіпажа. Тому для визначення напруг, у першому наближенні можна скористатися тими ж формулами, але трохи зміненими. Введемо в ці формули коефіцієнт  $k_6$ , який ураховує перерозподіл навантаження між осями в балансирних системах залежно від швидкості руху транспортера.

$$M_{\text{дин}} = \frac{1}{4\kappa} (P_{\text{расч}} + \sum \bar{P} \cdot \mu_i) k_{\delta}, \quad (5.12)$$

$$Q_{\text{дин}} = \frac{k1}{2} (P_{\text{расч}} + \sum \bar{P} \cdot \eta_i) k_{\delta}, \quad (5.13)$$

$$Z_{\text{дин}} = \frac{k}{2U_z} (P_{\text{расч}} + \sum \bar{P} \cdot \eta_i) k_{\delta}, \quad (5.14)$$

де  $k_{\delta}$  – коефіцієнт балансної системи,  $k_{\delta} = (1 + 0,01V \cdot n)$ ;

$n$  – число ярусів балансної системи (рис. 5.6);

$V$  – швидкість руху.

## 5.2. Математична модель деформації рейко-шпальної решітки із ступінчастою зміною жорсткості на пружнім Вінклеровом підставі постійної жорсткості

Ефективне й довгочасне використання устаткування інфраструктури виробничих систем і особливо залізничного транспорту, дозволяє суттєво знизити витрати на обслуговування вантажів, що переміщуються по цих системах [20,181].

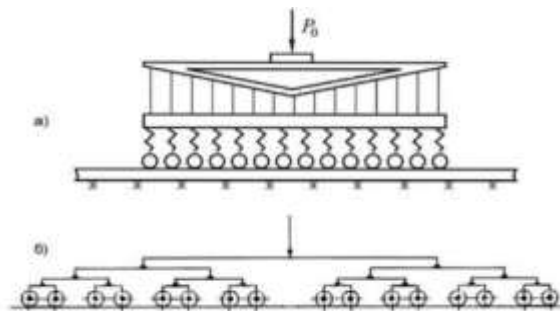


Рисунок 5.6 – Схема візка: а – безбалансирного; б – балансирного багатовісного агрегату

Одним з таких способів зниження витрат є продовження терміну служби рейок за рахунок постійної їхньої перестановки в міру зношування з більш завантажених шляхів на менш завантажені [188,189]. Але, у кожному разі, таке переміщення

пов'язане з необхідністю стикування рейок різних марок, що приводить до різкої зміни лінійної жорсткості рейкової нитки в місці стику. Це у свою чергу викликає виникнення значних вертикальних динамічних сил і, відповідно, зниження припустимої швидкості руху рухомого складу. Для виключення цього явища необхідно визначати параметри деформування рейки в місці стику й вибір жорсткості підрейкової основи.

Дослідження полягає у визначенні взаємодії між колесами рухомого складу залізничного транспорту й рейковим шляхом, зі ступінчато мінливою жорсткістю, що лежить на Винклеровій підставі.

Для спрощення побудови моделі будемо розглядати тільки одну рейкову нитку, що складається з рейок різних типів і відповідно різної лінійній жорсткості. Навантаження від коліс рухомого складу передається на рейку й через шпали на баластовий шар, який можна представити у вигляді Винклерової підстави.

Для опису поведінки рейкової нитки як балки змінної лінійної жорсткості, що лежить на Винклеровій підставі можна використовувати диференціальне рівняння, яке має вигляд [190-195]

$$EI_2 \frac{d^4 U^2(x)}{dx^4} + [C_{21} + (C_{22} - C_{21}) \cdot \delta(x - x_k)] \cdot U^2(x) = - \sum_{i=0}^{n+1} R_i \delta(x - x_i). \quad (5.15)$$

Рішення рівняння (5.15) при класичному підході ґрунтується на розсіченні балки в точці  $x_k$  (точці з'єднання двох частин балки різної жорсткості) і подальшому розрахунку двох напівнескінчених балок, що лежать на пружній основі постійної жорсткості (рис. 5.7).

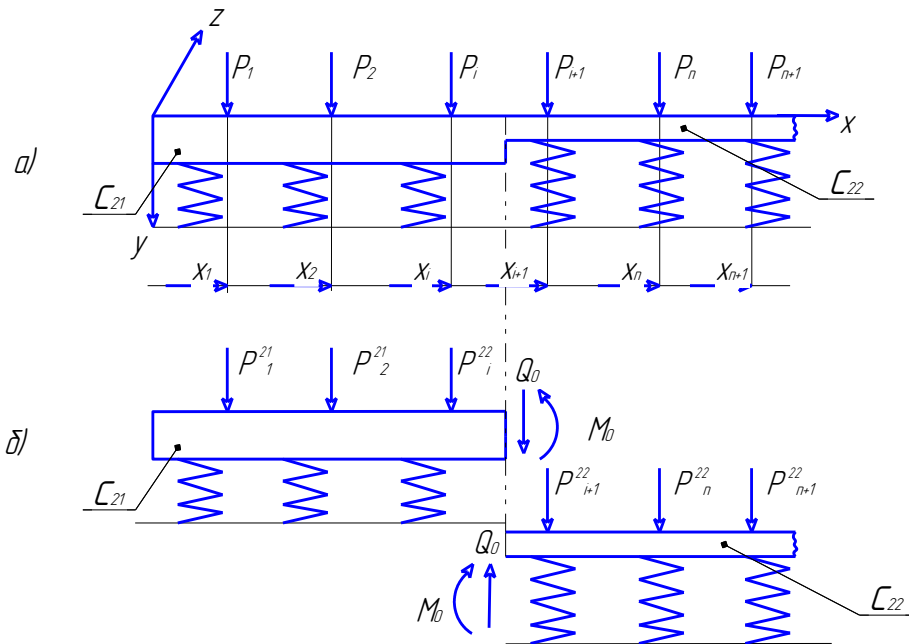


Рисунок 5.7 – Схема балки змінного перетину на пружній основі:  
 а – розрахункова схема балки зі ступінчатою зміною лінійної жорсткості  $C_{21}$ ,  $C_{22}$  на пружній основі;  
 б – розрахункові схеми балок постійної лінійної жорсткості на пружній основі  $C_{21}$ ,  $C_{22}$

Наступне стикування здійснюється в тому ж перетині  $x = x_k$ . При стикуванні двох ділянок балок повинні дотримуватися умови сумісності переміщень і кутів повороту балок у місці стикування, у перетині  $x_k$  тобто виконання умов

$$\left. \begin{aligned} U_{21}(x_k) &= U_{22}(x_k); \\ \frac{dU_{21}}{dx}(x_k) &= \frac{dU_{22}}{dx}(x_k). \end{aligned} \right\} \quad (5.16)$$

Для одержання рівняння вигину балки (рейки), що лежить на пружній основі (баласті) для кожної її ділянки використовуємо рівняння початкових параметрів.

Для одержання рішення рівняння для кожної ділянки балки скористаємося методом інтегрального перетворення рівняння Лапласа [191,193-195]

$$\frac{d^4 U}{dx^4} + 4\alpha^4 U = \frac{P_i}{E_1 I_1} \cdot \delta(x - x_i), \quad (5.17)$$

$$\frac{d^4 U}{dx_4^4} + 4\alpha^4 U = \frac{P_i}{E_2 I_2} \cdot \delta(x_i - x), \quad (5.18)$$

$$\text{де } \alpha^4 = \frac{1}{4} \frac{K_2}{EI_2};$$

$K_2$  – жорсткість пружної основи, Н/м<sup>2</sup>;

$E$  – модуль пружності Н/м<sup>2</sup>;

$U$  – прогин балки;

$EI_{(1,2)}$  – жорсткість ділянок 1 і 2 рейкової балки Н/м<sup>2</sup>;

$\delta(x_i - x)$  – функція Дірака, визначена в точці  $x_i$ .

Із двох напівнескінченних балок (двох частин рейки різної жорсткості), якщо система координат проходить через перетин у точці  $x$ , можна розглядати тільки одну балку, у якої жорсткість  $EI$  менша. Таке спрощення можливе тому, що в остаточному підсумку необхідно знати переміщення саме цієї частини рейкової нитки (балки) для того, щоб підібрати епюру рейко-шпальної решітки, яка забезпечить необхідну жорсткість баластового шару й рівний прогин обох частин балки, виключить появу додаткових динамічних навантажень від колеса на рейку. Згідно рис. 5.7, це частина балки із твердістю  $C_{22}$ . Тому досить розглядати тільки рівняння (5.18).

Застосувавши до нього пряме перетворення Лапласа [194]

$$F(x) = \int_0^{\infty} e^{-st} U(t) dt, \quad (5.19)$$

Одержимо

$$S^4 F(s) - U(0)S^3 - U'(0)S^2 - U''(0)S - 4\alpha^4 F(s) = \sum_i \frac{P_i}{EI} e^{-sx_i}. \quad (5.20)$$

Після деяких перетворень

$$\begin{aligned}
 F(s) = & U(0) \frac{S^3}{S^4 + 4\alpha^4} + U'(0) \frac{S^2}{S^4 + 4\alpha^4} + \\
 & + U''(0) \frac{S^2}{S^4 + 4\alpha^4} + U'''(0) \frac{1}{S^4 + 4\alpha^4} + \sum_i \frac{P_i}{EI} e^{-sx_i}.
 \end{aligned}
 \tag{5.21}$$

Для одержання рівняння вигину балки  $U(x)$ , що лежить на пружній Винклеровій підставі необхідно провести зворотне перетворення Лапласа по формулі

$$U(x) = \lim_{a \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi i} \cdot \int_{a-ib}^{a+ib} e^{xs} F(s) ds.
 \tag{5.22}$$

Тоді одержимо

$$\begin{aligned}
 U(x) = & U(0) \cos \alpha x \cdot \operatorname{ch} \alpha x + U'(0) \frac{1}{2\alpha} [\operatorname{sh} \alpha x \cdot \cos \alpha x + \operatorname{ch} \alpha x \cdot \sin \alpha x] + \\
 & U''(0) \frac{1}{2\alpha^2} \operatorname{sh} \alpha x \cdot \sin \alpha x + U'''(0) \frac{1}{4\alpha^3} [\operatorname{ch} \alpha x \cdot \sin \alpha x + \operatorname{sh} \alpha x \cdot \cos \alpha x] + \\
 & \frac{1}{4\alpha^3 EI} \sum_i P_i [\operatorname{ch} \alpha(x_i - x) \cdot \sin \alpha(x_i - x) - \operatorname{sh} \alpha(x_i - x) \cdot \cos \alpha(x_i - x)]
 \end{aligned}
 \tag{5.23}$$

Для спрощення функції (5.23) зробимо наступну заміну

$$\left. \begin{aligned}
 \operatorname{ch} \alpha x \cdot \cos \alpha x &= B_1(x) \\
 \frac{1}{2\alpha} (\operatorname{ch} \alpha x \cdot \sin \alpha x + \operatorname{sh} \alpha x \cdot \cos \alpha x) &= B_2(x) \\
 \frac{1}{2\alpha^2} (\operatorname{sh} \alpha x \cdot \sin \alpha x) &= B_3(x) \\
 \frac{1}{4\alpha^3} (\operatorname{ch} \alpha x \cdot \sin \alpha x - \operatorname{sh} \alpha x \cdot \cos \alpha x) &= B_4(x)
 \end{aligned} \right\}.
 \tag{5.24}$$

Тоді її можна записати в наступному виді

$$U(x) = U(0) \cdot B_1(x) + U'(0) \cdot B_2(x) + U''(0) \cdot B_3(x) + U'''(0) \cdot B_4(x) + \frac{1}{EI} \sum_i P_i B_4(x_i - x), \quad (5.25)$$

при чому

$$B_4(x_i - x) = \begin{cases} B_4(x_i - x) & \text{при } x_i \geq x \\ 0 & \text{при } x_i \leq x \end{cases}. \quad (5.26)$$

Використання взаємних зв'язків між силами і моментами, що перетинаються в точці з'єднання балок (рейок) різної жорсткості, а також похідними від переміщення балки дозволяє визначити згадані вище моменти й сили.

$$M(x) = -EI \frac{d^2 U(x)}{dx^2} \rightarrow M(0) = -EI \cdot U''(0), \quad (5.27)$$

$$Q(x) = -EI \frac{d^3 U(x)}{dx^3} \rightarrow Q(0) = -EI \cdot U'''(0).$$

Використовуючи рівняння (5.27) вираження для вигину балки (5.25) можна перетворити до виду

$$U(x) = U(0) \cdot B_1(x) + U'(0) \cdot B_2(x) + \frac{1}{EI} \left[ -M(0) \cdot B_3(x) - Q(0) \cdot B_4(x) + \sum_i P_i B_4(x_i - x) \right]. \quad (5.28)$$

Довільні постійні  $U(0)$ ,  $U'(0)$ ,  $M(0)$ ,  $Q(0)$ , які входять в рівняння (5.28) можна визначити із граничних умов.

Як вказувалося раніше, якщо розсікти балку змінної жорсткості в точці з'єднання напівнескінчених частин різної жорсткості  $C_{21}$  й  $C_{22}$ , тобто в перетині  $x = x_k$  (рис. 5.7) і лежачих на пружній основі постійної жорсткості, то для розрахунків кожної із цих балок можна використовувати рівняння (5.28). Для цього помістимо початок координат у місці стику балок і введемо нові змінні уздовж осей

балок  $x_1$  і  $x_2$ , пов'язані з початковою ( базовою) системою координат наступними співвідношеннями

$$x_1 = x_k - x; \quad x_2 = x - x_k. \quad (5.29)$$

Для напівнескінченної балки меншої жорсткості  $C_{22}$  (рис. 5.7) рівняння (5.28) прийме вид

$$U_{22}(x_2) = U(0) \cdot B_1(x_2) + U'(0) \cdot B_2(x_2) + \frac{1}{EI_2} \left[ -M(0) \cdot B_3(x_2) - Q(0) \cdot B_4(x_2) + \sum_i P_i^{22} B_4(x_2 - x_i^i) \right]. \quad (5.30)$$

Для другої напівнескінченної балки (рейки) рис. 5.7 більшої жорсткості  $C_{21}$  рівняння (5.28) буде мати вигляд

$$U_{21}(x_2) = U(0) \cdot B_1(x_1) + U'(0) \cdot B_2(x_1) + \frac{1}{EI_1} \left[ -M(0) \cdot B_3(x_1) - Q(0) \cdot B_4(x_2) + \sum_i P_i^{21} B_4(x - x_i^i) \right]. \quad (5.31)$$

Довільні постійні  $U(0)$ ,  $U'(0)$  для напівнескінченної балки визначаються з умови, що при більших значеннях  $x$ , похідними якої вони є, переміщення повинні звертатися в нуль [196]. При  $x \rightarrow \infty$ ,  $ch\alpha x \rightarrow sh\alpha x \rightarrow \frac{1}{2} e^{\alpha x}$ .

Використовуючи рівняння (5.24) після перетворення одержимо

$$\left\{ \begin{array}{l}
 B_3(x) \rightarrow \frac{1}{2} e^{\alpha x} (\cos \alpha x); \\
 B_2(x) \rightarrow \frac{1}{4\alpha} e^{\alpha x} (\sin \alpha x + \cos \alpha x); \\
 B_3(x) \rightarrow \frac{1}{4\alpha^2} e^{\alpha x} (\sin \alpha x); \\
 B_4(x) \rightarrow \frac{1}{8\alpha^3} e^{\alpha x} (\sin \alpha x - \cos \alpha x); \\
 \text{and if } x = (x - x^i); \\
 B_4(x)(x - x^i) \rightarrow \frac{1}{8\alpha^3} e^{\alpha(x-x^i)} [\sin \alpha (x - x^i) - \cos \alpha (x - x^i)].
 \end{array} \right. \quad (5.32)$$

Використовуючи (5.32) рівняння прогину балки (5.28) приведемо до виду

$$\begin{aligned}
 U(x \rightarrow \infty) &= \frac{1}{2} e^{\alpha x} \left\{ \left\{ \cos \alpha x \cdot \left\{ U(0) + U'(0) \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{EI} \times \right. \right. \right. \\
 &\times \left[ \frac{Q(0)}{4\alpha^3} - \sum_i \frac{P_i e^{-\alpha x^i}}{4\alpha^3} (\sin \alpha x^i + \cos \alpha x^i) \right] \left. \right\} + \sin \alpha x \times \\
 &\times \left\{ U'(0) \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{EI} \cdot \left[ \frac{Q(0)}{4\alpha^3} - \frac{M(0)}{2\alpha^2} \times \right. \right. \\
 &\left. \left. \times \sum_i \frac{P_i e^{-\alpha x^i}}{4\alpha^3} (\cos \alpha x^i + \sin \alpha x^i) \right] \right\} \left. \right\} \rightarrow 0.
 \end{aligned} \quad (5.33)$$

Переміщення  $U(x \rightarrow \infty)$  буде рівнятися нулю, якщо коефіцієнти функцій  $\sin \alpha x$  і  $\cos \alpha x$  в (5.33) будуть рівнятися нулю.

Для забезпечення цієї умови з рівняння (5.33) необхідно виділити й дорівняти нулю наступні два рівняння:

$$\begin{cases} U(0) + U'(0) \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{EI} \times \\ \times \left[ \frac{Q(0)}{4\alpha^3} - \sum_i \frac{P_i e^{-\alpha x^i}}{4\alpha^3} (\sin \alpha x^i + \cos \alpha x^i) \right] = 0; \\ U'(0) + U''(0) \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{EI} \times \\ \times \left[ -\frac{Q(0)}{4\alpha^3} - \frac{M(0)}{2\alpha^2} - \sum_i \frac{P_i e^{-\alpha x^i}}{4\alpha^3} (\cos \alpha x^i + \sin \alpha x^i) \right] = 0. \end{cases} \quad (5.34)$$

Розв'язавши систему рівнянь (34), одержимо вираження для визначення шуканих початкових параметрів  $U(0)$  і  $U'(0)$  в загальному виді:

$$\begin{cases} U(0) = \frac{1}{EI} \cdot \left[ \frac{Q(0)}{2\alpha^3} - \frac{M(0)}{2\alpha^2} + \sum_i \frac{P_i e^{-\alpha x^i}}{2\alpha^3} \cos \alpha x^i \right]; \\ U'(0) = \frac{1}{EI} \cdot \left[ -\frac{Q(0)}{2\alpha^2} - \frac{M(0)}{\alpha} - \sum_i \frac{P_i}{2\alpha^2} (\cos \alpha x^i + \sin \alpha x^i) \right]. \end{cases} \quad (5.35)$$

Використовуючи рівняння (5.35) і дані схеми (рис. 5.7) одержимо для балки з меншою лінійною жорсткістю  $C_{22}$

$$\begin{cases} U_{22}(0) = \frac{1}{EI_2} \cdot \left[ -\frac{Q(0)}{2\alpha_{22}^3} - \frac{M(0)}{2\alpha_{22}^2} + \sum_i \frac{P_i^{22} e^{-\alpha_{22} x_2^i}}{2\alpha_{22}^3} \cos \alpha_{22} x_2^i \right] \\ U'_{22}(0) = \frac{1}{EI_2} \cdot \left[ \frac{Q(0)}{2\alpha_{22}^2} + \frac{M(0)}{2\alpha_{22}} - \sum_i \frac{P_i^{22} e^{-\alpha_{22} x_2^i}}{2\alpha_{22}^2} (\cos \alpha_{22} x_2^i - \sin \alpha_{22} x_2^i) \right]. \end{cases} \quad (5.36)$$

Для балки з більшою лінійною жорсткістю  $C_{21}$  рівняння аналогічне буде мати

вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} U_{21}(0) &= \frac{1}{EI_1} \cdot \left[ -\frac{Q(0)}{2\alpha_{21}^3} - \frac{M(0)}{2\alpha_{21}^2} + \sum_i \frac{P_i^{21} e^{-\alpha_{21}x_1^i}}{2\alpha_{21}^3} \cos \alpha_{21}x_1^i \right] \\ -U'_{21}(0) &= \frac{1}{EI_1} \cdot \left[ \frac{Q(0)}{2\alpha_{21}^2} + \frac{M(0)}{2\alpha_{21}} - \sum_i \frac{P_i^{21} e^{-\alpha_{21}x_1^i}}{2\alpha_{21}^2} (\cos \alpha_{21}x_1^i - \sin \alpha_{22}x_1^i) \right] \end{aligned} \right\}. \quad (5.37)$$

Провівши деякі заміни, одержимо

$$\left. \begin{aligned} \phi_{21}^i &= \frac{1}{\alpha_{21}^3} e^{-\alpha_{21}x_1^i} \cos \alpha_{21}x_1^i; \\ q_{21}^i &= \frac{1}{\alpha_{21}^2} e^{-\alpha_{21}x_1^i} (\cos \alpha_{21}x_1^i - \sin \alpha_{21}x_1^i); \\ \phi_{22}^i &= \frac{1}{\alpha_{22}^3} e^{-\alpha_{22}x_2^i} \cos \alpha_{22}x_2^i; \\ q_{22}^i &= \frac{1}{\alpha_{22}^2} e^{-\alpha_{22}x_2^i} (\cos \alpha_{22}x_2^i - \sin \alpha_{22}x_2^i) \end{aligned} \right\}. \quad (5.38)$$

Спростимо вираження (5.36) і (5.37)

$$\left\{ \begin{aligned} U_{22}(0) &= \frac{1}{EI_2} \cdot \left[ -\frac{Q(0)}{2\alpha_{22}^3} - \frac{M(0)}{2\alpha_{22}^2} - \sum_i \frac{1}{2} P_i^{22} \cdot \phi_{22}^i \right]; \\ U'_{22}(0) &= \frac{1}{EI_2} \cdot \left[ \frac{Q(0)}{2\alpha_{22}^2} + \frac{M(0)}{2\alpha_{22}} + \sum_i \frac{1}{2} P_i^{22} \cdot \phi_{22}^i \right] \end{aligned} \right\}, \quad (5.39)$$

$$\left\{ \begin{aligned} U_{21}(0) &= \frac{1}{EI_1} \cdot \left[ -\frac{Q(0)}{2\alpha_{21}^3} - \frac{M(0)}{2\alpha_{21}^2} - \sum_i \frac{1}{2} P_i^{21} \cdot \phi_{21}^i \right]; \\ -U'_{21}(0) &= \frac{1}{EI_1} \cdot \left[ \frac{Q(0)}{2\alpha_{21}^2} + \frac{M(0)}{2\alpha_{21}} + \sum_i \frac{1}{2} P_i^{21} \cdot \phi_{21}^i \right] \end{aligned} \right\}, \quad (5.40)$$

Тут  $U_{21}(0)$ ,  $U'_{21}(0)$ ,  $U_{22}(0)$ ,  $U'_{22}(0)$  – переміщення й кути повороту як похідні від  $U_{ij}$  обох частин балок (рис. 5.7) у місцях їх з'єднання.

Виходячи з умов рівності переміщень  $U(0)$  і кутів повороту  $U'(0)$  в місці з'єднання двох напівнескінченних балок, можна визначити початкові параметри  $Q(0)$  й  $M(0)$ , що входять в (5.36) і (5.37).

З умов сумісності в прийнятих системах координат:

$$\begin{cases} U_{21}(0) = U_{22}(0); \\ -U'_{21}(0) = U'_{22}(0). \end{cases} \quad (5.41)$$

Замінивши величини  $U_{21}(0)$ ,  $U_{22}(0)$ , а також  $U'_{21}(0)$ ,  $U'_{22}(0)$  на вираження з (5.39), (5.40) і підставивши в (5.41), одержимо:

$$\begin{cases} Q(0) \left( \frac{1}{\alpha_{21}^3} + \frac{1}{\alpha_{22}^3} \right) - M(0) \left( \frac{1}{\alpha_{21}^2} + \frac{1}{\alpha_{22}^2} \right) = \sum_{i=0}^S P_i^{21} \cdot \Phi_{21}^i - \sum_{i=S+x}^{n+1} P_i^{22} \cdot \Phi_{22}^i; \\ Q(0) \left( \frac{1}{\alpha_{21}^2} + \frac{1}{\alpha_{22}^2} \right) - M(0) \left( \frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{1}{\alpha_{22}} \right) = \sum_{i=0}^S P_i^{21} \cdot q_{21}^i - \sum_{i=S+x}^{n+1} P_i^{22} \cdot q_{22}^i. \end{cases} \quad (5.42)$$

Зробивши додаткову заміну

$$\begin{aligned} \left( \frac{1}{\alpha_{21}^3} + \frac{1}{\alpha_{22}^3} \right) &= G_{11}; \quad \left( \frac{1}{\alpha_{21}^2} + \frac{1}{\alpha_{22}^2} \right) = G_{12}; \quad \left( \frac{1}{\alpha_{21}} + \frac{1}{\alpha_{22}} \right) = G_{22}, \\ G_{11} \cdot G_{22} - G_{12}^2 &= \Delta, \end{aligned} \quad (5.43)$$

і вирішивши систему рівнянь (5.42) з урахуванням заміни (5.43) відносно  $Q(0)$  й  $M(0)$  одержимо початкові параметри виражені в явному виді через зосереджені сили  $P_i^{21}$  й  $P_i^{22}$ :

$$\begin{cases} Q(0) = \frac{1}{\Delta} \cdot \left[ \sum_{i=0}^S P_i^{21} (G_{22} \phi_{21}^i - G_{12} g_{21}^i) - \sum_{i=S+x}^{n+1} P_i^{22} (G_{22} \phi_{22}^i - G_{12} g_{22}^i) \right] \\ M(0) = \frac{1}{\Delta} \cdot \left[ \sum_{i=0}^S P_i^{21} (G_{12} \phi_{21}^i - G_{11} g_{21}^i) - \sum_{i=S+x}^{n+1} P_i^{22} (G_{12} \phi_{22}^i - G_{11} g_{22}^i) \right] \end{cases} \quad (5.44)$$

Підставивши початкові параметри  $Q(0)$  й  $M(0)$  з (5.44) в (5.39) і (5.40) і виконавши деякі перетворення одержимо:

$$\begin{aligned} U_{22}(0) = \frac{1}{2EI_2\Delta} \cdot \left\{ \sum P_i^{21} \left[ -\phi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{22}^3} + \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^3} \right) + q_{22}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{22}^3} \right) \right] + \right. \\ \left. + \sum P_i^{22} \left[ \phi_{22}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{22}^3} + \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^3} - \Delta \right) + q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{22}^3} \right) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (5.45)$$

$$\begin{aligned} U'_{22}(0) = \frac{1}{2EI_2\Delta} \left\{ \sum P_i^{21} \left[ \phi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{22}^2} + \frac{2G_{12}}{\alpha_{22}} \right) - q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^2} + \frac{2G_{11}}{\alpha_{22}} \right) \right] + \right. \\ \left. \sum P_i^{22} \left[ -\phi_{22}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{22}^2} + \frac{2G_{12}}{\alpha_{22}} - \Delta \right) - q_{22}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^2} + \frac{2G_{11}}{\alpha_{22}} - \Delta \right) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (5.46)$$

$$\begin{aligned} U_{21}(0) = \frac{1}{2EI_1\Delta} \cdot \left\{ \sum P_i^{21} \left[ \phi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{21}^3} - \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} - \Delta \right) - q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{22}^3} \right) \right] - \right. \\ \left. - \sum P_i^{22} \left[ \phi_{22}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{21}^3} - \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} \right) + q_{22}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{21}^3} \right) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (5.47)$$

$$\begin{aligned} U'_{21}(0) = \frac{1}{2EI_1\Delta} \left\{ \sum P_i^{21} \left[ -\phi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{21}^2} - \frac{2G_{12}}{\alpha_{21}} \right) + q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^2} - \frac{2G_{11}}{\alpha_{21}} + \Delta \right) \right] + \right. \\ \left. \sum P_i^{22} \left[ \phi_{22}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{21}^2} - \frac{2G_{12}}{\alpha_{21}} \right) - q_{22}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} - \frac{2G_{11}}{\alpha_{21}} \right) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (5.48)$$

Для спрощення, уведемо заміну

$$\begin{cases} U_{21,1}^i = \frac{1}{2\Delta} \left[ \varphi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{21}^3} - \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} - \Delta \right) - q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{21}^2} \right) \right]; \\ U_{21,2}' = \frac{1}{2\Delta} \left[ -\varphi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{21}^3} - \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} \right) - q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{21}^2} \right) \right]. \end{cases} \quad (5.49)$$

$$\begin{cases} U_{22,2}^i = \frac{1}{2\Delta} \left[ -\varphi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{22}^3} + \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^2} \right) + q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{22}^2} \right) \right]; \\ U_{22,2}' = \frac{1}{2\Delta} \left[ -\varphi_{22}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{22}^3} - \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^2} - \Delta \right) + q_{22}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{22}^3} + \frac{G_{11}}{\alpha_{22}^2} \right) \right]. \end{cases} \quad (5.50)$$

$$\begin{cases} U_{21,1}^i = \frac{1}{2\Delta} \left[ -\varphi_{21}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{22}^2} + \frac{G_{12}}{\alpha_{22}} \right) + q_{21}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} - \frac{2G_{11}}{\alpha_{21}} + \Delta \right) \right]; \\ U_{21,2}' = \frac{1}{2\Delta} \left[ \varphi_{22}^i \left( \frac{G_{22}}{\alpha_{21}^2} - \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} \right) - q_{22}^i \left( \frac{G_{12}}{\alpha_{21}^2} + \frac{2G_{11}}{\alpha_{21}} \right) \right]. \end{cases} \quad (5.51)$$

А також у формулах (5.44)

$$Q_{21}^i = \frac{1}{\Delta} (G_{22}\varphi_{21}^i - G_{12}\varphi_{21}^i); \quad Q_{22}^i = \frac{1}{\Delta} (-G_{22}\varphi_{22}^i - G_{12}\varphi_{22}^i), \quad (5.52)$$

$$M_{21}^i = \frac{1}{\Delta} (G_{12}\varphi_{21}^i - G_{11}\varphi_{21}^i); \quad M_{22}^i = \frac{1}{\Delta} (-G_{12}\varphi_{22}^i - G_{11}\varphi_{22}^i). \quad (5.53)$$

Підставивши в (5.44) отримані спрощені вираження з (5.52) і (5.53) позначення для початкових параметрів  $U(0), U'(0), Q(0), M(0)$

$$\begin{aligned} Q(0) &= \sum_{i=0}^S P_i^{21} Q_{21}^i + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} Q_{22}^i, \\ M(0) &= \sum_{i=0}^S P_i^{21} Q_{21}^i + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} M_{22}^i. \end{aligned} \quad (5.54)$$

Аналогічно перетворимо (5.39) і (5.40), використовуючи (5.49-5.53) і одержимо

$$\begin{cases} U_{21}(0) = \frac{1}{EI_1} \left[ \sum_{i=0}^S P_i^{21} U_{21,1}^i + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} U_{21,2}^i \right]; \\ U_{22}(0) = \frac{1}{EI_2} \left[ \sum_{i=0}^S P_i^{21} U_{22,1}^i + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} U_{22,2}^i \right]. \end{cases} \quad (5.55)$$

$$\begin{cases} U'_{21}(0) = \frac{1}{EI_1} \left[ \sum_{i=0}^S P_i^{21} U_{21,1}^{i'} + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} U_{21,2}^{i'} \right]; \\ U'_{22}(0) = \frac{1}{EI_2} \left[ \sum_{i=0}^S P_i^{21} U_{22,1}^{i'} + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} U_{22,2}^{i'} \right]. \end{cases} \quad (5.56)$$

Отримані в результаті перетворень вираження (5.54-5.56) дозволяють представити всі початкові параметри двох напівнескінчених жорстко з'єднаних різної жорсткості балок, що лежать на пружній основі, через зосереджені сили  $P_i^{21}$ ,  $P_i^{22}$ , що діють від рухомого складу.

З умови сумісності переміщень (5.41) має місце вираження  $U_{21}(0) = U_{22}(0)$ ;  $-U'_{21} = U'_{22}$ , що й використовується в подальших розрахунках.

Використовуючи шукані вираження (5.30, 5.31) для переміщень двох жорстко з'єднаних напівнескінчених балок різної жорсткості в розгорнутому виді, з урахуванням (5.54-5.56) одержимо:

$$\begin{aligned} U_{21}(x_1) = & \frac{1}{EI_1} \left\{ \sum_{i=0}^S P_i^{21} \left[ \left( U_{21,1}^i \cdot B_1(x_1) - U_{21,1}^{i'} \cdot B_2(x_1) - M_{21}^{i'} \cdot B_3(x_1) + Q_{21}^i \cdot B_4(x_1) \right) \right]_{-} \right|_{-} \\ & (x_1 - 0) - B_4(x_1 - x_1^i) \right|_{-} (x_1 - x_i) + \\ & + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} \left[ \left( U_{21,2}^i \cdot B_1(x_1) - U_{21,2}^{i'} \cdot B_2(x_1) - M_{22}^{i'} \cdot B_3(x_1) + Q_{22}^i \cdot B_4(x_1) \right) \right]_{-} \right|_{-} (x_1 - 0) \left. \right\}. \end{aligned} \quad (5.57)$$

$$\begin{aligned}
U_{22}(x_2) = & \frac{1}{EI_2} \left\{ \sum_{i=0}^S P_i^{21} \left[ \left( U_{22,1}^i \cdot B_1(x_2) - U_{22,1}^{i'} \cdot B_2(x_2) - M_{21}^{i'} \cdot B_3(x_2) + Q_{21}^{i'} \cdot B_4(x_2) \right) \right] - \right. \\
& (x_2 - 0) + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} \left[ \left( U_{22,2}^i \cdot B_1(x_2) - U_{22,2}^{i'} \cdot B_2(x_2) - M_{22}^{i'} \cdot B_3(x_2) + Q_{22}^{i'} \cdot B_4(x_2) \right) \right] \\
& \left. - \left[ (x_2 - 0) - B_4(x_2 - x_2^i) \right] - (x_2 - x_2^i) \right\}. \quad (5.58)
\end{aligned}$$

При переході від локальної системи координат до глобальної в записі східчастих функцій Хевисайда зробимо зміни скориставшись вираженням  $x_1 = x_k - x$ ;  $x_2 = x - x_k$  і правилами

$$\begin{aligned}
- \left[ (x_k - x) \right] &= \begin{cases} 1, & \text{at } x \leq x_k; \\ 0, & \text{at } x \geq x_k; \end{cases} \\
- \left[ (x^i - x) \right] &= \begin{cases} 1, & \text{at } x \leq x^i; \\ 0, & \text{at } x \geq x^i. \end{cases} \quad (5.59)
\end{aligned}$$

Переклад рівняння (5.57), (5.58) у глобальну систему координат  $x$  зробимо з урахуванням уявлень в [197]

$$\begin{aligned}
U_{21}(x_1) = & \frac{1}{EI_1} \left\{ \sum_{i=0}^S P_i^{21} \left[ \left( U_{21,1}^i \cdot B_1(x_k - x) - U_{21,1}^{i'} \cdot B_2(x_k - x) - M_{21}^{i'} \cdot B_3(x_k - x) + Q_{21}^{i'} \cdot B_4(x_k - x) \right) \right] \right. \\
& - \left[ (x_k - x) - B_4(x^i - x) \right] - (x^i - x) + \\
& \left. \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} \left[ \left( U_{21,2}^i \cdot B_1(x^i - x) - U_{21,2}^{i'} \cdot B_2(x^i - x) - M_{22}^{i'} \cdot B_3(x^i - x) + Q_{22}^{i'} \cdot B_4(x^i - x) \right) \right] - \left[ (x^i - x) \right] \right\}. \quad (5.60)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_{22}(x_2) = & \frac{1}{EI_2} \left\{ \sum_{i=0}^S P_i^{21} \left[ \left( U_{22,1}^i \cdot B_1(x - x_k) - U_{22,1}^{i'} \cdot B_2(x - x_k) - M_{21}^{i'} \cdot B_3(x - x_k) + Q_{21}^{i'} \cdot B_4(x - x_k) \right) \right] \right. \\
& - \left[ (x - x_k) + \sum_{i=S+1}^{n+1} P_i^{22} \left[ \left( U_{22,2}^i \cdot B_1(x - x_k) - U_{22,2}^{i'} \cdot B_2(x - x_k) - M_{22}^{i'} \cdot B_3(x - x_k) + Q_{22}^{i'} \cdot B_4(x - x_k) \right) \right] \right. \\
& \left. \left. - \left[ (x - x_k) - B_4(x - x^i) \right] - (x - x^i) \right] \right\}. \quad (5.61)
\end{aligned}$$

При переміщенні сили  $P$  по рейці (балці) змінної жорсткості, що лежить на пружній основі (тобто перекочуванні колеса рухомого складу), з ділянки напівнескінченної балки з більшою жорсткістю на ділянку з меншою жорсткістю, після стрибка навантаження відбувається загасання збудовань у міру видалення від розглянутого перетину в точці  $x_k$  в нескінченність.

При цьому у рівняннях (5.59) і (5.60) функції  $B_1(x)$ ..... $B_4(x)$  з урахуванням загасання будуть мати такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} B_1(x) \rightarrow \frac{1}{2} e^{-\alpha x} (\cos \alpha x); \\ B_2(x) \rightarrow \frac{1}{4\alpha} e^{-\alpha x} (\sin \alpha x - \cos \alpha x); \\ B_3(x) \rightarrow \frac{1}{4\alpha^2} e^{-\alpha x} (\sin \alpha x); \\ B_4(x) \rightarrow \frac{1}{8\alpha^3} e^{-\alpha x} (\sin \alpha x + \cos \alpha x) \text{ or} \\ B_4(x - x_k) \rightarrow \frac{1}{8\alpha^3} e^{-\alpha(x-x_k)} [\sin \alpha(x - x_k) + \cos \alpha x - x_k]. \end{array} \right. \quad (5.62)$$

Використовуючи функції Кривола одержимо рівняння параметрів деформації балки при загасаючих коливаннях, з урахуванням [198]

$$\begin{aligned} U(x) = & U(0) ch\alpha x \cdot \cos \alpha x + U'(0) \frac{1}{2\alpha} [ch\alpha x \cdot \sin \alpha x + sh\alpha x \cdot \cos \alpha x] + \\ & + U''(0) \frac{1}{2\alpha^2} sh\alpha x \cdot \sin \alpha x + U'''(0) \frac{1}{4\alpha^3} [ch\alpha x \cdot \sin \alpha x - sh\alpha x \cdot \cos \alpha x] + \\ & + \frac{P_i}{EI_2} \frac{1}{4\alpha^3} [ch\alpha(x - x_i) \cdot \sin \alpha(x - x_i) - sh\alpha(x - x_i) \cdot \cos \alpha(x - x_i)]. \end{aligned} \quad (5.63)$$

А з урахуванням того, що  $ch\alpha x = \frac{1}{2}(e^{\alpha x} + e^{-\alpha x})$ ;  $sh\alpha x = \frac{1}{2}(e^{\alpha x} - e^{-\alpha x})$  воно може бути приведено до виду з меншою жорсткістю для напівнескінченної балки

$$\begin{aligned}
U(x) = & \frac{1}{2} e^{\alpha x} \left\{ U(0) \cos \alpha x + U'(0) \frac{1}{2\alpha} (\sin \alpha x + \cos \alpha x) + U''(0) \frac{1}{2\alpha^2} \sin \alpha x + \right. \\
& \left. + U'''(0) \frac{1}{4\alpha^3} (\sin \alpha x - \cos \alpha x) + \frac{P_i}{EI_2} \frac{1}{4\alpha^3} \left[ e^{-\alpha x} (\sin \alpha x \cdot \cos \alpha x_i - \cos \alpha x \cdot \sin \alpha x_i) - \right. \right. \\
& \left. \left. e^{-\alpha x_i} (\cos \alpha x \cdot \sin \alpha x_i + \sin \alpha x \cdot \cos \alpha x_i) \right] \right\} + \quad (5.64) \\
& \frac{1}{2} e^{\alpha x} \left\{ U(0) \cos \alpha x + U'(0) \frac{1}{2\alpha} (\sin \alpha x - \cos \alpha x) + U''(0) \frac{1}{2\alpha^2} \sin \alpha x + U'''(0) \frac{1}{4\alpha^3} (\sin \alpha x + \cos \alpha x) + \right. \\
& \left. + \frac{P_i}{EI_2} \frac{1}{4\alpha^3} \left[ e^{-\alpha x_i} (\sin \alpha x \cdot \cos \alpha x_i - \cos \alpha x \cdot \sin \alpha x_i) + e^{-\alpha x} (\cos \alpha x \cdot \cos \alpha x_i + \cos \alpha x \cdot \cos \alpha x_i) \right] \right\}
\end{aligned}$$

При більших значеннях  $x$ , при загасанні амплітуд переміщень вираженнями у фігурних дужках (із множником  $e^{\alpha x}$ ) можна зневажити, тому що вони при загальних множниках  $\sin \alpha x$  і  $\cos \alpha x$ . Ця умова врахована при одержанні вираження для  $U(0)$  й  $U'(0)$ .

Вираження, що містить множник  $e^{\alpha x}$ , визначає функції  $B_1(x) \dots B_4(x)$  і  $B_4(x - x_i)$ , як співмножники при початкових параметрах  $U(0) \dots U'''(0)$  і  $\frac{P_i}{EI_{1,2}}$ .

Таким чином, рівняння (5.62), (5.63) дозволяють визначати переміщення балки змінної жорсткості, що лежить на пружній основі, яка змінюється за східчастим законом (рис. 5.8), а також дані рівняння для напівнескінченних балок забезпечують виконання умов сумісності переміщень (лінійних і кутових) у місці їх стику, де відбувається стрибкоподібна зміна їх жорсткості; у рівняннях (5.63), (5.64), отриманих після перетворень, у явному виді містяться лише зовнішні зосереджені сили  $P_i$ , які діють із боку рухомого складу.

Отримані вище вираження для переміщення напівнескінченних балок, що лежать на пружній основі, є справедливими для довільних значень жорсткості  $C$  пружної основи.

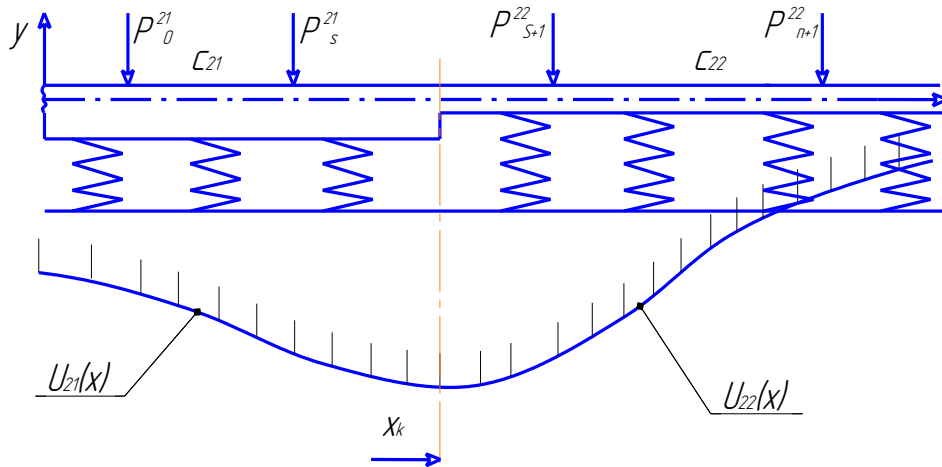


Рисунок 5.8 – Схема навантаження й переміщення балки змінної твердості  $C_{21}$  і  $C_{22}$  на пружній основі

У випадку, якщо величина балки (рейки)  $\Delta C$  відносно невелика, то зручне застосування методу малого параметра [199-202], що дозволяє зменшити число обчислень при визначенні переміщень балки, що лежить на пружній основі. Диференціальне рівняння, що описує напружено-деформований стан балки меншої жорсткості при стрибкоподібній її зміні, що лежить на пружній основі має вигляд:

$$EI_2 \frac{d^4 U^2}{dx^4} + c_{22} \left[ 1 + \varepsilon - \left| -(x - x_k) \right| \right] \cdot U^2(x) = -\sum P_i \delta(x - x_i) \quad (5.65)$$

$$\text{де } \varepsilon = \frac{c_{21} - c_{22}}{c_{22}}.$$

Розклавши  $U^2(x)$  в ряд по малому параметру  $\varepsilon$  [202]

$$U^2(x) = U_0^2(x) + \varepsilon U_1^2(x) + \varepsilon^2 U_2^2(x) + \dots, \quad (5.66)$$

І підставивши рішення (5.66) у рівняння (5.65) одержимо

$$EI_2 \frac{d^4 U^2}{dx^4} \left[ U^2(x) = U_0^2(x) + \varepsilon U_1^2(x) + \varepsilon^2 U_2^2(x) + \dots \right] + c_2 \left[ 1 + \varepsilon \left|^{-}(x - x_k) \right| \right] \left[ U^2(x) = U_0^2(x) + \varepsilon U_1^2(x) + \varepsilon^2 U_2^2(x) + \dots \right] = \sum P_i \delta(x - x_k). \quad (5.67)$$

Групуючи рівняння, що складаються (5.67) по ступеню  $\varepsilon^j$ ,  $j$  одержимо

$$\begin{aligned} & \varepsilon^0 \left[ EI_2 \frac{d^4 U_0^2}{dx^4} c_2 U_0^2(x) + \sum_{i=0}^{n+1} P_i \delta(x - x_k) \right] + \\ & + \varepsilon^1 \left[ EI_2 \frac{d^4 U_1^2}{dx^4} + c_2 U_1^2(x) + c_2 \left|^{-}(x - x_k) \right| \right] + \\ & + \varepsilon^2 \left[ EI_2 \frac{d^4 U_2^2}{dx^4} c_2 U_2^2(x) + c_2 \left|^{-}(x - x_k) U_1^2(x) \right| + \dots \right] = 0. \end{aligned} \quad (5.68)$$

Вирази, що стоять при  $\varepsilon^j$  різних ступенях, звертаються в нуль. У результаті одержимо систему диференціальних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^4 U_0^2}{dx^4} + 4\alpha^4 U_0^2(x) &= -\frac{1}{EI_2} \sum P_i \delta(x - x_k) = 0; \\ \frac{d^4 U_1^2}{dx^4} + 4\alpha^4 U_1^2(x) &= -4\alpha^4 \left|^{-}(x - x_k) U_0^2(x) \right|; \\ \frac{d^4 U_2^2}{dx^4} + 4\alpha^4 U_2^2(x) &= -4\alpha^4 \left|^{-}(x - x_k) U_1^2(x) \right|, \end{aligned} \right\}, \quad (5.69)$$

де  $\alpha^4$  для ділянки балки з меншою твердістю

$$\alpha^4 = \frac{1}{4} \frac{c_2}{EI_2}. \quad (5.70)$$

Система диференціальних рівнянь (5.69) вирішується послідовно, починаючи з першого рівняння системи. При цьому вирішення попереднього рівняння входить у праву частину наступного рівняння і т.д. [203].

Використовуючи вираження (5.60, 5.61) або (5.66) можна розв'язати комплексне завдання про взаємодію рухомого складу з рейкошпальною решіткою, укомплектованою рейками різних марок (тобто різної лінійної жорсткості), що лежить на пружній основі.

### 5.3. Спрощений метод визначення технічних параметрів деформації рейкошпальної решітки

Крім класичного підходу вирішення поставленого завдання визначення технічних параметрів деформації рейкошпальної решітки, що лежить на пружній основі при малих величинах стрибкоподібної зміни жорсткості рейкової нитки може бути застосований метод «малого» параметру.

Ціль цього розрахунку (такого підходу) підтвердження (перевірка) при аналітичному підході до вирішення завдання Винклерової моделі як достатньо простий, що й забезпечує в багатьох випадках гарну збіжність із практикою.

Слід зазначити, що точність визначення параметрів верхньої будови колії визначається методикою розрахунків наведеної вище й суттєво залежить від типу шпал як проміжних опор між рейкою й підрейковим простором (баластовим шаром)[181].

Тому при розрахунках необхідно робити певні допущення. Наприклад, якщо припустити, що навантаження на рейку від колеса рухомого складу дорівнює навантаженню переданим на пружний простір, то переміщення кордону цього півпростору можна визначити по формулі

$$U_3(x_1, x_2, 0) = \frac{1-\nu}{2\pi G_n} \frac{p^j}{r}, \quad (5.71)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;

$G_n$  – модуль зсуву півпростору;

$p^j$  – навантаження на пружний півпростір від рейкового шляху.

$$r^2 = x_1^2 + x_2^2, \quad (5.72)$$

$r(x_1, x_2)$  – відстань між точкою прикладення сили  $p^j$  й точкою визначення переміщення.

Для підвищення точності вирішення завдання необхідно враховувати взаємодію опори рейкового шляху з підрейковим кордоном пружного півпростору. У цьому випадку необхідно переходити до розподіленого навантаження  $g_3(\xi_1, \xi_2)$ . Переміщення кордону пружного півпростору можна визначити по наступній залежності:

$$U_3(x_1, x_2, 0) = \frac{1-\nu}{2\pi G_n} \int \int \frac{g_3^i(\xi_1, \xi_2) d\xi_1, d\xi_2}{r_1}, \quad (5.73)$$

де  $\xi_1, \xi_2$  – координати різних точок на ділянці з розподіленим навантаженням  $g_3^j(\xi_1, \xi_2)$ ;

$$r_1^2 = (x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2, \text{ причому}$$

$r_1$  – (змінна) відстань між різними точками  $(\xi_1, \xi_2)$  завантаженої ділянки до точки, переміщення якої визначається  $(x_1, x_2, x_3 = 0)$ .

Формули наведеного методу дозволяють із різним ступенем точності описувати найпростіші (але такі, що мають місце на практиці) типи з'єднань рейкових ниток з підрейковою системою тривимірного простору. Незважаючи на обпирання рейки на пружну основу й відмінність аналітичних форм їх опису, загальна схема їх розрахунків залишається незмінною й дозволяє визначати

переміщення рейкового шляху від дії системи зосереджених сил  $p_3^j$  від коліс транспортного засобу, а також є складовою частиною загального сполученого завдання й вимагає додаткового урахування вертикального переміщення коліс рухомого складу.

## Висновки до розділу 5

1. Запропоновано метод моделювання й математичні моделі визначення параметрів верхньої будови залізничних колій для пропуску великовагових і великогабаритних вантажів у транспортних коридорах.

2. Розроблена узагальнена модель системи в сполученій постановці рейкового шляху й пружної основи з навантаженням від коліс рухомого складу, що дозволяє визначати напружено-деформований стан у складових частинах складної системи. Узагальнена модель може застосовуватися для різних конструкцій рухомого складу, рейкового шляху й різних типів пружної підрейкової основи (яке моделюється Винклеровою основою), отримана система алгебраїчних рівнянь, складена щодо невідомих сил взаємодії колесо-рейка.

3. На основі постановки загального завдання розроблена спрощена модель, що дозволяє (при дії на рейкове полотно системи зосереджених сил) визначати напруги, деформації й переміщення рейкової нитки (яка моделюється нескінченною балкою) з мінливою жорсткістю, на Винклеровій основі, причому у двох варіантах рішень.

Перший – будується на основі «сполучення» двох напівнескінчених балок (рейок) зі східчастою зміною жорсткості на пружній основі. Таке рішення завдання є «точним» і дозволяє враховувати різні значення жорсткості з'єднаних рейок.

В основі другого – використання методу «малого» параметра. Підхід, що приводиться, є ефективним, коли жорсткісні характеристики двох суміжних ділянок незначно відрізняються один від іншого.

4. Для оцінки припустимого застосування узагальненої Винклерової основи отримані аналітичні вираження переміщень для тих варіантів, що й для пружного півпростору.

5. Запропонована узагальнена модель вінклерової підстави дозволяє ефективно вирішувати наступні практичні завдання: визначення деформації рейки із пружним півпростором, вибирати його властивості жорсткості для збільшення швидкості руху на величину від 2,5 до 6 км/год; зменшення вертикальної динамічної складової сили, що виникає при переході колеса з рейки однієї твердості на рейку з іншою твердістю; продовження терміну служби рейок на величину до 7%.

## Розділ 6.

### Розробка засобів транспорту та формування інфраструктури для реалізації ефективної експлуатації

#### 6.1. Постановка завдання ефективного розвитку транспортної інфраструктури.

Україна має добре розвинену інфраструктуру всіх видів транспорту, але рік у рік учасники логістичного процесу відзначають ті самі проблемні ситуації, з якими їм доводиться справлятися під час перевезення вантажів і пасажирів різними видами транспорту.

Особлива роль інфраструктури для України визначається тим, що економіка країни вкрай транспортно-витратна. Так, щоб заробити 1 умовний долар ВВП, в Україні в середньому потрібно перевезти 6 тонно-км вантажів. У той же час, у Євросоюзі даний показник становив 0,3 тонно-км, тобто в 20 разів менше [204,205]. В Україні таке співвідношення визначає залежність економіки від поставок продукції в основному низького ступеня обробки («commodities»): таких, як метали, руди, зернові. Крім цього, частка транспорту й зв'язку у ВВП країни становить 13%.

Економічна криза торкнулась всіх галузей національної економіки, розвиток шляхово-транспортного комплексу призупинився, знизилися обсяги перевезень пасажирів і вантажів, що призвело до неякісного обслуговування потреб населення й господарського комплексу України.

Реформування соціально-економічних відносин в Україні, структурна перебудова всіх механізмів життєдіяльності суспільства створює передумови для прискорення територіального розвитку кожного з регіонів, насамперед за рахунок вигідності географічного розташування й технологічної доступності транспортно-логістичних послуг.

У східних регіонах України зосереджено потужний промисловий комплекс. Для збільшення обсягів експортної діяльності кожного комплексу необхідна різногалузева виробнича система, яка здатна забезпечити збільшення обсягу

транзитних перевезень. Найкоротший МТК Європа – Азія пролягає через території центру України і її західних і східних областей.

Створення й інтеграція транспортно-логістичної системи прикордонних регіонів повинно стати одним з найбільш важливих способів здійснення державної регіональної політики, спрямованої на підвищення рівня життя громадян прикордонних територій, забезпечення конкурентоспроможності господарського комплексу, впровадження інноваційно-інвестиційної моделі розвитку, гармонізацію нормативно-правових і соціально-економічних умов для розвитку промислового, сільськогосподарського виробництва, кооперації, науково-технічного, інших видів прикордонної взаємодії, особливо в сфері бізнесу, надання послуг і трансферу технологій.

Вирішення цих проблем має важливе значення, не тільки для транспортної галузі, але й для держави в цілому, ефективного функціонування її виробничої й соціальної сфер, значною мірою забезпечується стабільною й надійною роботою транспорту.

Враховуючи резерви провізної й пропускної здатності, Україна має всі технічні й технологічні можливості, щоб залучити додаткові обсяги транзитних вантажопотоків і завдяки цьому одержати такі необхідні валютні надходження в державний бюджет.

### **6.1.1. Аналіз транспортних потоків**

В умовах складних світових економічних процесів Україні необхідна ефективна державна транспортна політика, яка враховувала б геополітичні аспекти в державі, особливості галузі і її роль у процесах економічних і соціальних перетворень і надала б можливість розвитку галузі, забезпечила її конкурентоспроможність.

Транспорт – одна з найважливіших галузей національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою стабілізації, структурних перетворень економіки, розвитку зовнішньоекономічної діяльності, задоволення потреб

населення й суспільного виробництва в перевезеннях, захисту економічних інтересів України.

Проведені дослідження виявили значний потенціал розвитку зовнішньоекономічних зв'язків України із країнами ЄС, СНД, Азії, Америки й іншими країнами світу для оптимізації перевезень по виробничій системі України.

Незважаючи на складну політичну й економічну обстановку на Південному Сході України її дохідну складову від виробництв різної спрямованості й форм власності, доходи від перевезень місцевих і транзитних вантажів є найбільш стабільними й становлять 10-15% ВВП. Тому потрібна активізація перевізного процесу, особливо транзиту, тому що в перспективі він буде збільшуватися, шукати й знаходити більш вигідні шляхи.

Маючи розгалужену транспортну інфраструктуру й перебуваючи на перехресті найважливіших транспортних шляхів між Європою, Азією й іншими континентами, Україна має всі передумови для сталого розвитку зовнішньоекономічних і транспортних зв'язків у рамках зваженої державної політики [175].

Постачальниками й споживачами, які формують транспортні потоки по території України й транзит, є країни різних регіонів і частин світу. Майже третина всього експорту й половина імпорту України припадають на країни колишнього СРСР. Серед інших європейських країн більш за все експортно-імпортних операцій здійснюється з Німеччиною, Італією, Польщею й Угорщиною, а серед країн інших регіонів миру – з Туреччиною, Китаєм і США.

Погіршення міжнародної й внутрішньополітичної обстановки, спад у промисловості різко знизили випуск і взаємний обмін продукцією України із країнами-партнерами, але не знизили суттєво її промисловий, транспортний і транзитний потенціал. Тому нарощування цього потенціалу завжди актуально, його реалізація за рахунок використання нових, прогресивних методів оптимізації параметрів виробничих систем при обробці транспортних потоків рано або пізно дасть економічний ефект.

Україна на сьогоднішній день не повністю використовує свій зовнішній транспортний потенціал. Фактор інтенсивного розвитку експорту майже вичерпаний. Потрібні якісні зміни: збільшення частки кінцевої продукції в загальному обсязі експорту; підвищення ефективності експортних операцій; відновлення присутності на традиційних ринках і розширення торговельних плацдармів на нових напрямках; нарешті, удосконалення державного регулювання зовнішньоторговельної діяльності.

Збільшення обсягів імпорту не сприяло технологічній модернізації виробництва, хоча й вплинуло на структуру споживання. Розвитку товарообігу перешкоджало: невизначеність законодавства в сфері регулювання зовнішньоторговельної діяльності; надання необґрунтованих пільг експортерам; численні зміни ставок ввізних мит. Така ситуація у вітчизняній економіці привела до зниження обсягів вантажообігу.

Враховуючи, що по географічному положенню саме через територію України проходять найкоротші напрямки транзитних вантажопотоків, а також при наявності розвиненої транспортної мережі й незамерзаючих портів, існують потенційні можливості для збільшення обсягів міжнародного транзиту вантажів [180].

Наявні транспортні потоки обходять Україну на користь більш сприятливих умов перетинання кордонів і митного оформлення вантажів. Виграє той, хто проводить активну транзитну політику, яка спрямована на розвиток потужностей інфраструктури транзиту, модернізацію рухомого складу, упорядкування процедури переміщення вантажів через кордони, впровадження сучасних технологій перевезень і інформаційного забезпечення.

Враховуючи великий транзитний потенціал нашої країни, на сьогодні найбільш актуальним питанням є розвиток спільної в контексті технічного й нормативно-правового забезпечення загальноєвропейської транспортної мережи.

Підвищення ефективності і якості роботи будь-якого транспорту вимагає широкого використання досягнень науково-технічного прогресу, впровадження

передових і вишукування нових, більш прогресивних форм і методів організації транспортного процесу й розробки інформаційних систем керування транспортом.

Отже, за умови ефективного управління на транспорті зовнішньоекономічні, транзитні можливості нашої держави можуть забезпечити як економічний, так і соціальний рівень розвитку, тому що транспортний комплекс України – це потужний потенціал, який повинен використовуватися в повному обсязі для добробуту нашого народу.

Враховуючи вищевикладене, для підвищення ефективності вантажоперевезень і оптимізації розвитку транспортної мережі України, удосконалювання роботи транспортних коридорів і їх наповнення потоками місцевого формування, розвитку інфраструктури митних переходів необхідні детальні дослідження зовнішніх і внутрішніх вантажопотоків України й розробка методу керування ними.

### **6.1.2. Підвищення ефективності розвитку транспортної інфраструктури пов'язаною із транспортним коридором**

Міжнародні транспортні коридори (МТК) являють собою складну технологічну систему, яка концентрує на міжнародних напрямках різні види транспорту (залізничний, автомобільний, морський, трубопровідний). Європейським Союзом одним з перших був запропонований проект створення міжнародних транспортних коридорів, що поєднують Західну й Східну Європу. У таблиці 6.1 представлений огляд загальноєвропейських транспортних коридорів.[206]

При вигідному транспортно-географічному положенні в європейському регіоні й розвинених зовнішньоекономічних зв'язках підприємств, частка транспорту України в перевезеннях експортно-імпортних вантажів не велика [179].

Таблиця 6.1 – Транспортні коридори

Коридор	Протяжність Авто: 22930 ЖД: 25310	Напрямок	Пункти	Відгалуження	Зацікавлені країни	Голова	Секретаріат	Підпис МоВ
I	1630 1655	Північ - Південь	Гельсінкі Таллінн Клуна Каунас Варшава	Калінінград- Гданськ	Фінляндія Естонія Латвія Литва Польща	Нац. керуванн я авто. транспор ту	Авто- мінтранс Литви МОТ Зал-Латвія, Литва Відгалуж.- Росія	3.07.96
II	2200 2213	Захід - Схід	Берлін Варшава- Мінськ Москва Ніж. Новгород		Білорусь Германія Польща	Мін- Транс Германії	Германія	23.01.95 12.09.00
III	1700 1650	Захід - Схід	Берлін- Дрезден Вроцлав- Катовіце- Львів-Київ	з Берліна	Германія Польща Україна	Мін- Транс Германії	Германія	3.10.96
IV	3640 4379	ПН-Захід/ ПВ-Схід	Дрезден- Прага- Братислава- Відень- Будапешт- Арад	Нюрнберг Констанца Стамбул Салонкі	Австрія Болгарія Чеш.Респ Германія Греція Угорщина Румунія Словаччина Туреччина	Мін- транс Австрії	Германія	Травень 97
V	2850 3000	ПВ-Захід/ ПН-Схід	Венеція Трієст Копер Любляна Будапешт Ужгород Львів	Братислава Львів Рієка Домбовар Плоце Будапешт	Боснія Хорватія Італія Угорщина Україна Словаччина Словенія	Мін- транс Італії	Центр- Європ. Ініціатива Італія	16.12.96
VI	1880 1800	Північ - Південь	Гданськ Грудзядзь Варшава Катовіце Жиліна	у Познань у Брно	Чеш. Респ. Польща Словаччина	Мін- транс Польщі	ТЕА Пост. коорд. орган	14.10.99
VII	960 1270	Захід - Схід	Рейн Майн Дунай	ріки	Австрія Хорватія Болгарія Германія Угорщина Молдова Румунія Словаччина Україна Сербія	ТИНА Австрія	Греція	6.09.01

Продовження таблиці 6.1

Кори дор	Протяжність Авто: 22930 ЖД: 25310	Напрямок	Пункти	Відгалуження	Зацікавленіс ть країни	Голова	Секретаріат	Підпис MoB
VIII	5820 6500	Захід - Схід	Дуррес Тирана Скоп'є- Софія Варна- Бургас		Албанія Болгарія бывш. югосл. Респ. Македонія Греція Італія Туреччина	Мін- транс Італії	Італія	9.09.02
IX	5820 6500	Північ - Південь	Гельсінкі Санкт- Петербурґ- Псков Москва Київ Любаші Кишинів Бухарест Димитровгр ад Олександрія	З Клайпеди з Калінінґраду в Одесу	Білорусь Болгарія Фінляндія Грузія Литва Молдова Румунія Росія Україна	Півн. Фінлянді я, Середов ищ.- Литва Півд. Румунія		Березень 95
X	2300 2529	ПН-Захід/ ПВ-Схід	Зальцбург Любляна Загреб Белград Ніцца Скоп'є Велес Салоніки	із Грара з Будап. у Софію у Флоренцію	Австрія Болгарія Хорватія бывш. югосл. Респ. Македонія Греція Угорщина Словенія Сербія	Мін- транс Греції	Греція	15.03.01

Особливу увагу ЄС приділяє формуванню нової (реальної) європейської східної осі замість МТК 9, що проходить по території Росії, Білорусії й України. Фактично прокладається новий шлях через країни нових членів ЄС. Він з'єднає балтійські порти Гельсінкі й Гданьск із чорноморськими портами Констанца й

Стамбул. Констанца стане однієї з головних вершин транспортного трикутника, створюваного європейськими транспортними коридорами [206].



----- Транспортний коридор через Україну

Рисунок 6.1 – Міжнародний транспортний коридор Північ – Південь.[207]

У результаті відбувається трансформація існуючих МТК. Східна вісь формується із МТК 1 (ділянка Гельсінкі – Таллінн – Рига – Варшава), МТК 6 (Гданськ – Варшава – Краків – Жильна) і далі з'єднується із МТК 4 (ділянка Будапешт – Констанца) [206].

МТК 9, що йде через Росію, Білорусію й Україну ніхто не скасовував, але значення його для ЄС мінімізоване після вступу Румунії в ЄС і створення в єдиних митних і економічних границях транспортного коридору між Балтикою й Чорномор'ям. Тоді як створення зони вільної торгівлі, митного й економічного союзу трьох «братніх» східнослов'янські держав перебуває під великим сумнівом.

Реформування соціально-економічних відносин в Україні, структурна перебудова всіх механізмів життєдіяльності суспільства створює передумови для прискорення територіального розвитку кожного з регіонів насамперед за рахунок

вигідності географічного розташування й технологічної доступності транспортно-логістичних послуг [208].

Схід України її, транзитні ворота тісно взаємозалежні з найбільш промислово розвиненими областями країни, а транспортні комунікації по всьому периметру границі є зручними й доступними для власників іноземних транзитних вантажів, що прямують по системі Європа – Азія – Європа. По території цього регіону проходить міжнародний транспортний коридор Європа – Азія із численними відгалуженнями транспортних магістралей [209].

Як показують дослідження, дуже ефективним є обробка й пропуск транзитних вантажів. Одна тонна дає приблизно 174 грн. чистому прибутку. Ввіз і вивіз дають приблизно 75 грн. за 1 т. Тому очевидним є створення умов для залучення транзитних вантажопотоків і формування місцевих, для їхнього пропуску через обладнані відповідним чином територіально-виробничі утворення на прикордонних територіях у вигляді логопарків, де є всі необхідні державні структури по обидва боки границі (митниці, прикордонники, банки, страхові компанії, карантинні служби і т.д.) [128].

Наскільки важливий й ефективний розвиток цієї діяльності на Сході України, і яка перспектива з погляду фінансових інвестицій?

Україні важливо будувати й розбудовувати свою транспортну систему так, щоб міжнародний транспортний коридор Європа – Азія з виходом на Транссибірську магістраль проходив саме через одну зі Східних областей на Волгоград. Цей напрямок дає можливість найкоротшого виходу й на коридор Північ–Південь, скорочуючи довжину обох коридорів приблизно на 900-1000 км. [208] Це вигідно для всіх учасників перевезень.

Щоб забезпечити розвиток транспортної інфраструктури прикордонних областей згідно соціально-економічним потребам, використання вигідного їхнього транспортного положення й затребуваності, як найбільшого транспортно-розподільного вузла України, реалізації її транзитного потенціалу необхідно вирішити ряд завдань:

1. Насамперед, розробити методи розвитку виробничої системи й інфраструктури прикордонних територій з урахуванням мінливої виробничої спрямованості підприємств регіону;
2. Розвиток автомобільних шляхів з метою забезпечення обласних, міжрегіональних, міжнародних перевезень із метою посилення ролі України як транзитної держави з урахуванням зміни зовнішньоекономічних зв'язків і виробничого потенціалу підприємств;
3. Розвиток інфраструктури залізничного транспорту в зонах активного економічного розвитку території із транспортними коридорами;
4. Розвиток сучасних термінальних, складських і контейнерних комплексів на прикордонних територіях і в місцях зміни видів транспорту, в тому числі створення умов для залучення додаткових вантажопотоків;
5. Забезпечення підвищення рівня безпеки на транспорті;
6. Збільшення обсягу наповнюваності транзитних транспортних потоків і їх рівномірний розподіл з урахуванням місцезнаходження вантажоодержувачів і відправників вантажу;
7. Створення умов для включення в транскордонну взаємодію нових учасників зовнішньоекономічної діяльності із числа місцевих виробників, торгово-комерційних фірм, організацій і окремих підприємств;
8. Удосконалювання прикордонної й митної інфраструктури, створення умов для її ефективного використання;
9. Створення умов, що забезпечують спрощене перетинання державного кордону місцевими жителями на прикордонних пунктах пропуску;
10. Швидка реакція органів влади й бізнес структур на вимоги споживачів по обидві сторони кордону, особливо споживачів малодоступних, віддалених від адміністративних центрів сільських районів.

Реалізація перерахованих завдань дозволить сформувати умови для залучення додаткових вантажопасажирських потоків у напрямку прикордонних пунктів пропуску, як західних так і східних областей України, розширить можливості інфраструктури МТК Європа–Азія, сфери транспортно-логістичних послуг,

створення нових робочих місць, поліпшить прикордонну взаємодію, що додасть новий імпульс соціально-економічному розвитку прикордоння, дозволить одержати додаткові фінансові надходження в державні й місцеві бюджети.

У такий спосіб створення й інтеграції транспортно-логістичної системи прикордонних регіонів повинно стати одним з найбільш важливих способів здійснення державної регіональної політики, спрямованої на підвищення рівня життя громадян прикордонних територій, забезпечення конкурентоспроможності господарського комплексу, впровадження інноваційно-інвестиційної моделі розвитку, гармонізацію нормативно-правових і соціально-економічних умов для розвитку промислового, сільськогосподарського виробництва, кооперації, науково-технічного й інших видів прикордонної взаємодії, особливо в сфері бізнесу, надання послуг і трансферту технологій.

Для реалізації проектів міжнародних транспортних коридорів необхідні не тільки капітали, але й політична воля. Ефект функціонування МТК досягається в єдиному митному й економічному просторі. Крім того, країна, що виступає з ініціативою створення МТК повинна мати певну геополітичну міць, Україна може виступити в цій ролі.

Використання можливостей МТК Європа–Азія, міжнародних, міждержавних транспортно-комунікаційних ланок забезпечить розвиток відповідної інфраструктури, яка в рамках багатфункціональної системи прикордонних територій створить передумови наповнення їх новими додатковими вантажопотоками й пасажирськими маршрутами, що відповідає завданням підвищення конкурентоспроможності регіонів. Для цього необхідно розбудовувати транспортну інфраструктуру прикордоння.

## **6.2. Вибір виду, методу та алгоритму створення інтермодального логістичного парку.**

Ефективність експлуатації засобів транспорту в сучасних умовах залежить від технічного рівня, масштабів, організаційних форм обслуговування міжнародних

вантажопасажирських потоків. Якість і форми обслуговування повинні бути максимально адаптовані до нових вимог сучасного ринку транспортних послуг.

Порівняльний аналіз стану мережі МТК України, особливо на прикордонних територіях, свідчить, що виробнича система за кількісними показниками (зокрема, пропускна здатність) у цілому відповідає вимогам залучення транзиту на території України, у той час як по якісних характеристиках (швидкість, схоронність вантажів, інформаційне забезпечення, стан прикордонної інфраструктури, комфортність і сервіс на автодорогах, процедура перетинання кордону) не досягає рівня європейських стандартів [210]. Тому, як показують теоретичні й практичні розробки [210], на державному кордоні або поблизу його в місцях проходження міжнародних транспортних коридорів доцільне створення логопарків, до складу яких входять державні структури (митниця, прикордонна й ветеринарна служби, пошта, телеграф, а також банк, страхова компанія й ін.). Окремо на території логопарка організують зони сервісного обслуговування транспортних засобів і пасажирів, зони складів і складських терміналів для тимчасового зберігання й обробки транзитних вантажів і формування місцевих вантажопотоків [210].

Ці зони можуть містити в собі невеликі виробництва сільськогосподарського напрямку, складальні виробництва з комплектуючих вузлів деталей і матеріалів технічного призначення. Функціонування логопарків дозволить суттєво скоротити час проходження вантажопотоків через митний перехід, підвищить якість послуг і відповідно підвищить привабливість транспортного коридору, що проходить через територію України [211].

На сьогодні не існує єдиного підходу й розробленої методики створення такої територіально-виробничої структури як логопарк у прикордонній зоні. Тому в цій роботі запропонована метод й алгоритм створення інтермодального логістичного парку.

Методично розробку проекту логопарка можна розділити на кілька етапів[212].

**Перший етап** створення логопарка це добір і характеристика підприємств учасників проекту. Якщо логопарк планується розташувати усередині держави в

місцях перетинання транспортним коридором або одним з головних ділянок транспортної мережі регіону межі областей, основними учасниками виступають обласні адміністрації. Останні, вирішуючи принципові питання можливості створення логопарка делегують повноваження по визначенню й відводу земельних ділянок на суміжних територіях районним прикордонним адміністраціям, які одночасно визначають сфери діяльності цих територіально-економічних утворів [208] враховуючи перспективи розвитку [56,213].

Якщо логопарк планується розташувати на або поблизу державного кордону суміжних держав, то головним учасником виступають державні адміністрації прикордонних територій на підставі міждержавних угод. Вирішення інших організаційних питань здійснюють відповідні нижчестоящі державні структури [179].

**Другий етап** полягає у визначенні інвестиційної ідеї і її характеристики.

Ідея полягає в тому, щоб більш повно врахувати й точно оцінити потенційних учасників і користувачів послуг створюваного логопарка як по виду діяльності й масштабам, так і по інвестиційним можливостям.

Першим інвестором повинна виступати держава або прикордонна територіальна структура, у веденні якої перебуває територія майбутнього логопарка (область, федеральний округ та ін.) Такий підхід необхідний і повинен бути реалізований, тому що на виділеній території при формуванні територіальної виробничої структури в першу чергу повинні бути акредитовані й обладнані державні служби, управлінська (митна, прикордонна, карантинна, юридична, фінансова, інформаційна й ін.) На це й повинні бути виділені певні фінансові кошти для початку функціонування створюваної структури. Далі сформована структура в особі адміністрації розглядає й розробляє технологію функціонування логопарка з урахуванням його потенційних клієнтів (інвесторів) [179,208]. Останні під свої обсяги виробництва або послуг орендують у адміністративних органів земельні ділянки для розміщення виробництв, устаткування, складських терміналів і інших будов і інвестує будівництво цих об'єктів і пов'язаної з ними необхідної інфраструктури.

На частку інвесторів доводиться також участь у фінансуванні проектних розробок транспортної інфраструктури для просування й обслуговування їх вантажопотоків, що проходять через проектуємий логопарк.

Слід зазначити, що транспортно-складська обробка вантажопотоків як транзитних так і вантажопотоків місцевого формування є досить витратною й становить від 7 до 30%, а іноді й більш, від собівартості готової продукції ( від поставки сировини або вхідних матеріалів до готової продукції у споживача) [27,214], тому оптимізація параметрів технологічних процесів транспортно-складського обслуговування різних вантажопотоків є однією з головних завдань при розробці проектів логопарків.

У вирішенні цих завдань зацікавлені всі учасники й потенційні клієнти-користувачі послуг логопарка, оскільки в цьому випадку за рахунок удосконалювання технології можна без додаткових капітальних витрат і вкладень одержати істотне зниження собівартості продукції. Тому клієнти логопарка, а вони ж і інвестори можуть і повинні брати участь у фінансуванні цих робіт.

**Третій етапом** повинна бути оцінка ринкового середовища тобто потенційних клієнтів, які будуть користуватися послугами логопарка з аналізом їх географічного й фінансового становища з урахуванням перспективи. Тут же аналізуються їхні існуючі транспортні зв'язки й комунікації, які враховуються при розробці проекту [215]. На цьому етапі можлива побудова й оптимізація транспортної мережі регіонального й більш високого рівнів об'єднуючої території й виробництва в кластери для мінімізації обсягів транспортної роботи в процесі функціонування логопарка [216-218].

**Четвертий етап** становлять маркетингові дослідження й побудова маркетингового плану перспективного розвитку логопарка для забезпечення постійно мінливої сфери й обсягів виробничих і інших транспортно-складських послуг. Ці дослідження необхідні, тому що в процесі функціонування логопарка неминуче будуть мінятися клієнти, сфера й обсяги послуг, зміна видів транспорту, а відповідно й інфраструктура транспортно-комунікаційної мережі.

Крім того, на цьому етапі досліджується, аналізується й оцінюється можливість приєднання й входження в систему логопарка окремих територіально-виробничих структур і об'єктів для залучення додаткових вантажопотоків у розглянутий регіон і логопарк відповідно.

Важливим і, безумовно, перспективним буде оцінка можливості й прив'язка транспортної мережі регіону разом з логопарком до міжнародних транспортних коридорів, якщо він не входить у систему коридору [127,219].

**П'ятий етап** полягає в розробці виробничого плану реалізації інвестиційного проекту. На цьому етапі розглядаються проекти будівництва об'єктів загального користування, об'єктів потенційних клієнтів (виробничих цехів, складських терміналів і окремих складів), об'єктів інфраструктури, сервісних центрів та ін., з урахуванням обсягів надаваних послуг. Насамперед визначається вартість будівництва (вкладення коштів) основних об'єктів і об'єктів інфраструктури загального користування, що будуються за рахунок держави. Далі визначається вартість об'єктів приватних клієнтів, що брали участь у будівництві логопарка на момент початку реалізації проекту. Особлива увага приділяється створенню системи інформаційного обслуговування, супроводу вантажопотоків і інших видів діяльності логопарка, з використанням сучасних ІТ технологій. Це пояснюється тим, що логопарк за його функціональним призначенням є місцем зародження й розпилення вантажопотоків, у тому числі й транзитних. Тому об'єкти митного оформлення, стеження й пропуску повинні бути обладнані сучасними засобами з можливістю їх удосконалювання й розвитку, у тому числі використання електронному підпису, безперевантажувального й безконтактного контролю вантажу і т.п.

Проводиться загальна оцінка капіталовкладень на будівництво об'єктів на перші 12 місяців. Оцінюється плановий обсяг наданих послуг від різних видів діяльності й у тому числі: від навантаження й вивантаження, складування й підготовки вантажів до відправлення споживачам (підгруповування, комплектація, упакування й затарювання та ін.), обробка контейнерів, використання стоянок, перевезення вантажів і пасажирів, сервісні й інші послуги з декларування вантажів, обслуговуванню й ремонту рухомого складу та ін.

На цьому етапі розглядаються також витрати або вигоди від зміни транзитних вантажопотоків, що дуже важливо для їхнього залучення на обробку через проєктований логопарк.

**Шостий етап** передбачає складання (розробку) фінансового плану й програми інвестицій. Базуючись на результатах аналізу попередніх етапів, тобто в доборі потенційних клієнтів – учасників проєкту, аналізу інвестиційної ідеї й можливості інвесторів, оцінки ринкового середовища й маркетингових досліджень і обсягу інвестицій виконується економічна оцінка ефективності проєкту.

Для того, щоб визначити економічну ефективність проєкту визначається приріст чистих вигід від його реалізації, які порівнюються з чистими вигодами при відмові від проєкту. У випадку, якщо логопарк створюється як нова територіально-виробнича структура і до нього не входять існуючі об'єкти, що обробляють вантажопотоки, то тоді може йти мова тільки про строки окупності капітальних вкладень. Для кожного клієнта (інвестора) логопарку строк окупності його капіталовкладень буде свій, тому що він буде залежати від роду діяльності й обсягів виконаних робіт (послуг). Тому на цьому етапі доцільно оцінити (визначити) усереднений показник ефективності по логопарку в цілому з урахуванням капіталовкладень усіх учасників.

Крім того, до показників ефективності інвестицій, крім строку окупності, які доповнюють розглянутий показник, слід віднести:

1. Розмір інвестицій, USD;
2. Ставку дисконтування, %;
3. Дисконтований період окупності – DPB, місяць.;
4. Середня норма рентабельності ARR, %;
5. Чистий приведений дохід NPV, USD;
6. Дисконтований індекс прибутковості DPY;
7. Внутрішня норма рентабельності IRR, %;
8. Період розрахунків інтегральних показників.

Далі залежно від обсягу фінансування й установленого строку будівництва по проєкту, визначається строк окупності виходячи з потоку доходу від інвестицій у

кожному наступному році від початку реалізації проекту. Наприклад, якщо розрахунковий період реалізації проекту встановлено 5 років, а строк будівництва становить 12 місяців, то потік доходів почнеться тільки із другого року, тобто з моменту введення об'єктів логопарка в дію.

Після цього визначається дисконтований період окупності й дисконтований індекс прибутковості.

Виходячи з розрахунку економічної ефективності проекту логопарка робиться висновок про доцільність і перспективності будівництва об'єктів на його території.

### **Метод оцінки ефективності інвестиційного проекту.**

Міжнародна практика оцінки інвестиційних проектів використовує кілька показників, що дозволяють підготувати рішення про доцільність вкладення коштів [220].

Ці показники можна розділити на дві групи:

1. Показники, обумовлені на підставі використання концепції дисконтування (оцінка ефективності інвестиційних проектів):

- чиста поточна вартість;
- індекс прибутковості дисконтованих інвестицій;
- внутрішня норма прибутковості;
- строк окупності інвестицій з урахуванням дисконтування;
- максимальний грошовий відтік з урахуванням дисконтування.

2. Показники, що не припускають використання концепції дисконтування (оцінка ефективності інвестиційних проектів):

- простий строк окупності інвестицій;
- показники простої рентабельності інвестицій;
- чисті грошові надходження;
- індекс прибутковості інвестицій;
- максимальний грошовий відтік.

**Строк окупності** (Payback Period, PP) - це час, протягом якого доходи від інвестицій досягають величини рівної початковим вкладенням (тобто період, необхідний для того, щоб кошти вкладені в проект повністю повернулися).

Чиста поточна вартість (NPV) разом із внутрішньою нормою прибутковості (IRR) використовуються як інструмент оцінки інвестицій.

Строк окупності інвестицій – це показник, що надає інвесторові спрощений спосіб визначити скільки часу буде потрібно фірмі для відшкодування первісних витрат. Це має особливе значення для бізнесу, розташованого в країнах з нестійкою фінансовою системою, або бізнесу пов'язаного з передовою технологією, де стрімке старіння товару є нормою, що перетворює швидке відшкодування інвестиційних витрат у важливу проблему.

Загальна формула для розрахунків строку окупності інвестицій:

$$T_{ок} = n, \text{ при якому } \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k_t)} > I_0 \quad (6.1)$$

$T_{ок}$  – строк окупності інвестицій;

$n$  – число періодів;

$CF_t$  – надходження коштів у період  $t$ ;

$I_0$  – величина вихідних інвестицій у нульовий період;

$k_t$  – коефіцієнт інфляції в  $t$  - період

Залежно від поставленої мети можливе обчислення строку окупності інвестицій з різною точністю.

**Дисконтований період окупності (DPP, Discounted Payback Period)**, це строк окупності інвестицій в поточних цінах (окупність у термінах поточних цін).

Загальна формула для розрахунків DPP, у термінах поточних цін:

$$T_{окTC} = n, \text{ при якому } \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)} > I_0, \quad (6.2)$$

$T_{окTC}$  – строк окупності інвестицій у поточних цінах;

$r$  – бар'єрна ставка (ставка дисконтування);

$I_0$  – величина вихідних інвестицій у нульовий період.

Видозмінюючи поняття окупності, можна одержати два додаткові інструменти аналізу інвестицій. Так, показник окупності у термінах поточних цін (його будемо коротко називати ТС-окупністю (Discounted Payback Period, DPP)), також використовуваний при визначенні кількості тимчасових періодів, необхідних для відшкодування інвестиційних витрат, візьме до уваги тимчасову вартість грошей. У той час як при обчисленні окупності просто підсумуються щорічні грошові надходження, для визначення того року, у якому вони перевершать початкові витрати коштів, при обчисленні ТС-окупності підсумуються дисконтовані грошові надходження.

**Чиста поточна вартість (NPV, Net Present Value)** – це різниця між поточною вартістю грошових надходжень по проекту або інвестиції і поточною вартістю грошових виплат на одержання інвестиції, або на фінансування проекту, розрахована по фіксованій ставці дисконтування (інші переклади NPV, Net Present Value: Чиста приведена вартість, чистий дисконтований дохід, чистий приведений ефект).

Метод визначення чистої поточної вартості (NPV) полягає в наступному.

1. Визначається поточна величина витрат ( $I_0$ ), тобто вирішується питання, який обсяг інвестицій потрібно зарезервувати для проекту.

2. Розраховується поточний розмір майбутніх грошових надходжень від проекту, для чого доходи за кожний рік  $CF$  (грошовий потік) приводяться до поточної дати.

Результати розрахунків показують, скільки коштів потрібно було б вкласти зараз для одержання запланованих доходів, якби ставка доходів була дорівнена бар'єрній ставці (для інвестора – ставці альтернативної прибутковості, для підприємства – ціні сукупного капіталу з урахуванням ризику). Підсумувавши поточний розмір доходів за всі роки, одержимо загальний поточний розмір доходів від проекту ( $PV$ ):

$$PV = \sum_{t=0}^n PV_t = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (6.3)$$

3. Поточна величина інвестиційних витрат ( $I_0$ ) порівнюється з поточним розміром доходів ( $PV$ ). Різниця між ними становить чисту поточну величину доходів (NPV):

$$NPV = PV - I_0, \quad (6.4)$$

NPV показує чисті доходи або чисті збитки інвестора від вкладення грошей у проект у порівнянні зі зберіганням грошей у банку. Якщо NPV більше 0, то можна вважати, що інвестиція примножить капітал підприємства й інвестицію слід здійснювати. Якщо NPV менше 0, то значить доходи від запропонованої інвестиції недостатньо високі, щоб компенсувати ризик, властивий даному проекту (або з погляду розміру капіталу, не вистачить грошей на виплату дивідендів і відсотків по кредитах) і інвестиційний меморандум повинен бути відхилений.

Чиста поточна вартість (NPV) це один з основних показників, використовуваних при інвестиційному аналізі, але він має кілька недоліків і не може бути єдиним засобом оцінки інвестиції. NPV визначає абсолютну величину віддачі від інвестиції, і, швидше за все, чим більше інвестиція, тим більше чиста поточна вартість. Звідси, порівняння декількох інвестицій різного розміру за допомогою цього показника неможливо. Крім цього, NPV не визначає період, через який інвестиція окупиться.

Якщо капітальні вкладення, пов'язані з майбутньою реалізацією проекту, здійснюються у кілька етапів (інтервалів), то розрахунки показника NPV роблять по наступній формулі:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}, \quad (6.5)$$

$I_t$  – сума інвестицій (витрати) в  $t$ -ом періоді;

$n$  – сумарне число періодів (інтервалів, кроків)  $t = 1, 2, \dots, n$  (або час дії інвестиції).

Звичайно для  $CF_t$  значення  $t$  розташовується в межах від 1 до  $n$ ; у випадку коли  $CF_0 > 0$  відносять до витратних інвестицій (приклад: кошти виділені на екологічну програму).

**Дисконтований індекс прибутковості (DPI, Profitability Index):** Одним з варіантів поняття окупності полягає в підсумовуванні всіх дисконтованих грошових потоків (доходів від інвестицій) з розподілом отриманої суми на дисконтовані інвестиції.

Формула для розрахунків дисконтованого індексу прибутковості:

$$DPI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}}, \quad (6.6)$$

Внутрішня норма прибутковості (IRR, Internal Rate of Return) – це норма прибутку (бар'єрна ставка, ставка дисконтування) при якій NPV Net Present Value (Чиста поточна вартість) інвестиції дорівнює нулю, або це та ставка дисконтування, при якій дисконтовані доходи від проекту дорівнюють інвестиційним витратам.

IRR визначає максимально прийнятну ставку дисконтування, при якій можна інвестувати кошти без яких-небудь втрат для власника.

$IRR = r$ , при якому  $NPV = f(r) = 0$ ,

Її значення знаходять із наступного рівняння:

$$NPV(IRR) = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t} = 0, \quad (6.7)$$

Економічний зміст даного показника полягає в тому, що він показує очікувану норму прибутковості (рентабельність інвестицій) або максимально припустимий рівень інвестиційних витрат в оцінюваний проект. IRR повинен бути вище середньозваженої ціни інвестиційних ресурсів

Якщо ця умова витримується, інвестор може прийняти проект, а якщо ні, то він повинен бути відхилений.

Гідності показника внутрішньої норми прибутковості (IRR) полягають у тому, що крім визначення рівня рентабельності інвестиції, є можливість зрівняти проекти різного масштабу й різної тривалості.

Показник ефективності інвестицій (IRR) має три основні недоліки:

1) За замовчуванням передбачається, що позитивні грошові потоки реінвестуються по ставці, рівній внутрішній нормі прибутковості. У випадку, якщо IRR близько до рівня реінвестицій фірми, то цієї проблеми не виникає; коли IRR, особливо привабливого інвестиційного проекту рівний, наприклад 80%, то мається на увазі, що всі грошові надходження повинні реінвестуватися при ставці 80%. Однак малоімовірно, що підприємство має щорічні інвестиційні можливості, які забезпечують рентабельність в 80%. У даній ситуації показник внутрішньої норми прибутковості (IRR) завищує ефект від інвестицій у показнику (MIRR, Modified Internal Rate of Return - Модифікована внутрішня норма прибутковості).

2) Немає можливості визначити який дохід принесе інвестиція в абсолютних значеннях (грошових одиницях).

3) У ситуації із знакозмінними грошовими потоками може розраховуватися кілька значень IRR або можливе визначення неправильного значення.

Для розрахунків також використовується метод послідовного наближення. Підбираємо бар'єрні ставки так, щоб знайти мінімальні значення NPV по модулю, і потім проводимо апроксимацію. Стандартним методом – не усувається проблема множинного визначення IRR і існує можливість неправильних розрахунків (при знакозмінних грошових потоках). Для усунення проблеми звичайно будується графік NPV(r) (рис. 6.2).

Визначення IRR методом добору.

Робиться припущення, що на ділянці від точки «а» до точки «b» функція NPV(r) прямолінійна і використовуємо формулу для апроксимації на ділянці прямої:

$$IRR = r_a + (r_b - r_a) * NPV_a / (NPV_a - NPV_b), \quad (6.8)$$

$$IRR = \frac{r_a + (r_b - r_a) * NPV}{NPV_a - NPV_b}, \quad (6.9)$$

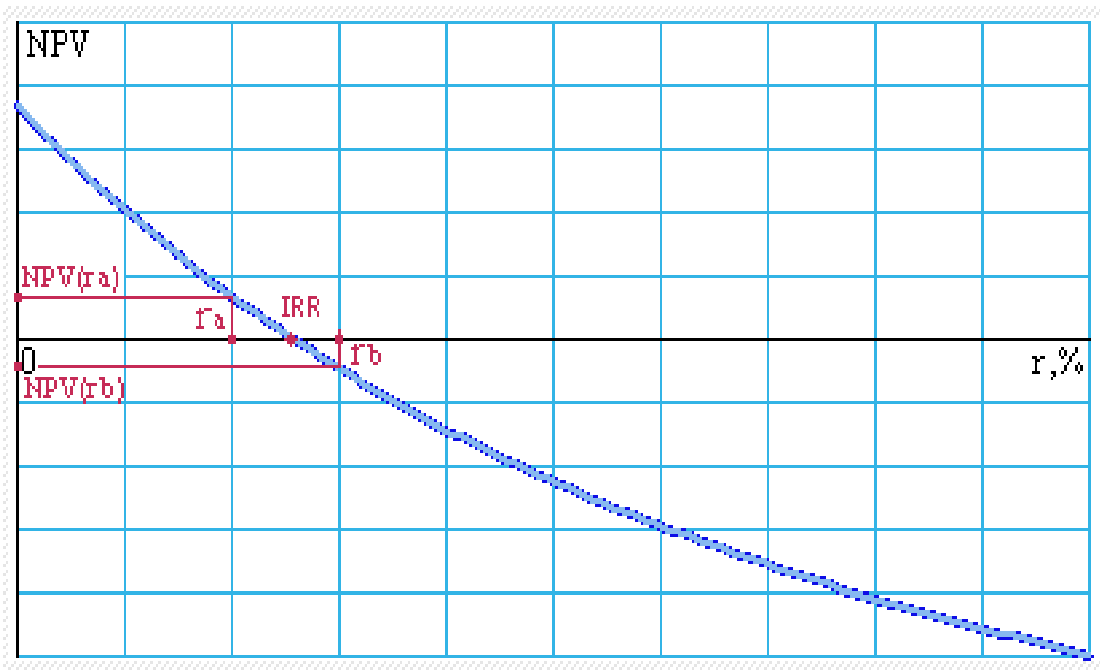


Рисунок 6.2 – Графік зміни NPV від ставки дисконтування r.

Середня норма рентабельності (ARR, Average rate of return) – являє собою прибутковість проекту як відношення між середньорічними надходженнями від його реалізаціями й величиною початкових інвестицій. Середня норма рентабельності розраховується по формулі:

$$ARR = \frac{\sum_{i=1}^N CF_i}{N \times I}, \quad (6.10)$$

де:

$I$  — початкові інвестиції;

$CF_i$  — чистий грошовий потік періоду  $i$ ;

$N$  — тривалість проекту.

Економічний зміст середньої норми рентабельності – середній річний дохід, який можна одержати при реалізації проекту.

Таким чином, з розрахунку економічної ефективності проекту інтермодального логістичного парку можемо робити висновок про доцільність і перспективності будівництва об'єкта на обраній або наданій території.

**Сьомий етап** це аналіз ризиків реалізації проекту. Найбільш значимі ризики проекту обумовлені загальною ситуацією в державі, пов'язаної з політичною й фінансовою нестабільністю, перспективою розвитку економіки в цілому, а також геополітичними змінами.

Політична нестабільність у державі визначає й впливає на стійкість пріоритетних напрямків розвитку економіки, одним з яких є активізація міжнародного економічного співробітництва й розвитку виробничих систем і їх інфраструктури. Зниження цього виду ризиків може бути досягнуте за рахунок підвищення стійкості економічних зв'язків за умови розвитку конкурентного середовища товарообміну й послуг.

Вплив фінансової нестабільності може бути знижено фінансовою привабливістю проекту, підтримкою різними стабілізаційними фондами т ін.

Інші види ризиків і їх можливий негативний вплив на етапах підготовки, інвестування й функціонування логопарка наведено в таблиці 6.2.

Зниження впливу цих факторів на ефективність функціонування логопарка може бути досягнуто за рахунок додаткових заходів, що розробляються у міру їх виникнення.

**На восьмому етапі** розглядаються соціально-економічні аспекти реалізації бізнес-плану. Приводиться коротка інформація про соціально-економічні аспекти інвестиційного проекту логопарка як підприємства [65,220].

Таблиця 6.2. – Види ризиків і їх можливий негативний вплив на етапах підготовки, інвестування й функціонування логопарка

Ризики	Негативний вплив
- нестійкість попиту;	- зниження попиту на товари й послуги, зниження прибутку;
- поява альтернативних підприємств;	- зниження попиту на товари й послуги, зниження прибутків;
- неплатоспроможність клієнтів;	- зниження обсягів послуг;
- залежність від клієнтів, відсутність альтернативних видів діяльності;	- зниження прибутків й у тому числі через ріст цін;
- кваліфікація кадрів;	- зниження якості наданих послуг;
- недостатній рівень мотивації працівників;	- плинність кадрів, зниження якості наданих послуг;
- вихід з ладу устаткування;	- зниження якості наданих послуг, збільшення часу обслуговування;
- жорсткість вимог до екологічності технологічних процесів	- збільшення витрат на заходи щодо захисту навколишнього середовища.

Суть даного аспекту полягає в тому, що будь-яке збільшення вантажо- й пасажиропотоку через логопарк сприяє збільшенню числа робочих місць. Це дуже

важливо для депресивних районів і особливо для прикордонних територій. Це сприяє розвитку виробництв різного призначення, різних видів транспорту й інфраструктури прилеглих територій. Крім того, економічний розвиток територій, прилягаючих до логопарку неминуче буде сприяти розвитку культурних зв'язків між окремими територіями й державами, що так само буде мати позитивний ефект.

### **Висновки до розділу 6**

1. На основі аналізу зовнішніх і внутрішніх вантажопотоків України а також їх джерел і напрямків запропоновані варіанти розвитку виробничих систем і коридорів, які проходять через Україну.

2. Удосконалена концепція створення та інтеграції мереж прикордонних територій складних виробничих систем, роблячи їх більш інвестиційно привабливими, а використання можливостей міжнародного коридору Європа-Азія та міждержавних транспортно-комунікаційних ланок забезпечить прискорення розвитку відповідної інфраструктури до 15%.

3. Використання можливостей МТК Європа–Азія, міжнародних, міждержавних транспортно-комунікаційних ланок забезпечить розвиток відповідної інфраструктури, яка в рамках багатфункціональної системи прикордонних територій створює передумови наповнення МТК новими додатковими вантажопотоками й пасажирськими маршрутами, що відповідає завданням підвищення ефективності виробничих систем регіонів.

4. Розроблено метод та алгоритм створення інтермодального логістичного парку, як основної ланки транспортної обробки міжнародних вантажних і пасажирських потоків. Це дозволяє за рахунок підвищення якісних характеристик їх обробки залучити додаткові вантажопотоки.

## **Розділ 7.**

### **Методи зниження шкідливого впливу засобів транспорту на навколишнє середовище**

#### **7.1. Вплив тягово-швидкісних характеристик автотранспортних засобів на екологію.**

Розвиток інфраструктури й матеріальної бази виробничих систем у комбінації зі збільшенням автомобільних перевезень, розмірів і потужності автотранспортних засобів впливають на навколишнє середовище. Тому, однією з важливих завдань розвитку виробничих систем є зниження шкідливого впливу транспортної інфраструктури на навколишнє середовище [221].

При експлуатації автотранспорту основним фактором, що негативно впливає на навколишнє середовище слід вважати шкідливі викиди відпрацьованих газів в атмосферу, на дорогу й пришляхову смугу відводів. Розміри викидів зв'язані безпосередньо з обсягами спаленого у двигунах внутрішнього згоряння палива.

Тому при вирішенні завдань розвитку й оптимізації параметрів виробничих систем необхідно розглядати й враховувати три аспекти охорони навколишнього середовища.

Перший – це зниження витрат палива. Другий – забруднення повітря й прилягаючої до дороги території. Третій – це створення комфортного середовища проживання в населених пунктах і на всій довжині траси (шум, запиленість, вібрація, безпека й ін.).

Рішення завдань першого аспекту – зниження витрати палива може бути досягнуто декількома шляхами. Підвищенням ККД силових установок транспортних засобів, вибором траси й вибором режимів руху. При цьому керованим інструментарієм стосовними до функцій виробничих систем, є останні два аспекти, тобто вибір траси й режиму руху. Слід зазначити, що ці два фактори хоча й не

залежні друг від друга, але все-таки зв'язані між собою. І в цьому зв'язку проявляється ще один важливий, що впливає на екологічні показники, фактор – це повнота реалізації технічних характеристик транспортного засобу й зокрема швидкості руху й відповідно часу проходження ділянок траси.

Чим швидше й на більш високій передачі й швидкості транспортний засіб, при оптимальному режимі його роботи, проходить ділянку траси, тим менше шкідливих викидів на ньому залишиться.

Для реалізації цього фактора, тобто максимальної реалізації технічних характеристик транспортного засобу й мінімізації його шкідливих впливів на навколишнє середовище необхідні нові методи регулювання швидкості руху залежно від обраної траси, її стану й завантаження або інтенсивності руху.

У цей час швидкість руху транспортних засобів регулюються дорожніми знаками залежно від рельєфу місцевості, місця проходження ділянки траси (населений пункт, або міжмісто), категорії дороги, її плану й профілю, стану дорожнього покриття, погодних умов і інших факторів. Такий «статичний» адміністративний метод регулювання спрямований, практично, тільки на забезпечення безпеки руху й не враховує екологічного аспекту, крім того, обмеження швидкості на міжміських ділянках траси не дає можливості реалізувати оптимальні технічні параметри транспортного засобу й зокрема ті режими, які оптимізують витрати палива (швидкість руху автомобіля, крутний момент і потужність двигуна).

Аналіз швидкісних характеристик дизельних і бензинових двигунів різної потужності встановлених на вітчизняні й закордонні автомобілі показав, що найбільш економічний режим по витраті палива (рис. 7.1-7.12) перебуває практично в тому ж діапазоні обертів, що й максимальний крутний момент. Так для дизельного двигуна ЯМЗ-238Б максимальною потужністю 300 к.с. (рис. 7.1) це діапазон 1400-1500 об/хв, що становить  $\approx 70\%$  від максимальних. Для турбодизеля TD 122 FH (Вольво) потужністю 450 к.с. (рис. 7.2) – 1200÷1300 об/хв, що становить  $\approx 0,65$  від

максимальних. Два дизелі меншої потужності 130 і 150 к.с. (рис. 7.3 і 7.4) діапазон робочих обертів з мінімальною витратою палива й максимальним моментом становить 2200-2400 об/хв, що становить  $\approx 0,75$  від максимальних. У дизеля Рено, 1,5 dci потужністю  $\approx 82$  л.с. (рис. 7.5) цей діапазон 2500-2750 об/хв, тобто  $\approx 0,6$  від максимальних. Для дизельного двигуна ЗМЗ-514, автомобіля УАЗ Патріот цей діапазон становить 1800÷2800 об/хв (рис. 7.6), що становить  $\approx 0,67$  від максимальних. У бензинових атмосферних двигунів, наприклад, ЗМЗ-410.10 (рис. 7.7) і ЗМЗ-4101.10 (рис. 7.8) відношення обертів при мінімальній витраті палива до максимальних обертів становить 0,6 і 0,7 відповідно. У бензинових двигунів сімейства ВАЗ (ВАЗ-21124 і ВАЗ-21126) технічні характеристики яких наведено на (рис. 7.9) можна відзначити таке ж співвідношення обертів при максимальному крутному моменті й мінімальній витраті палива до максимальних обертів двигуна. Це відношення становить приблизно 0,75. У бензинових двигунів фірми Рено потужністю 135 і 106 к.с. (рис. 7.11) ці співвідношення становлять  $\approx 0,78$ .

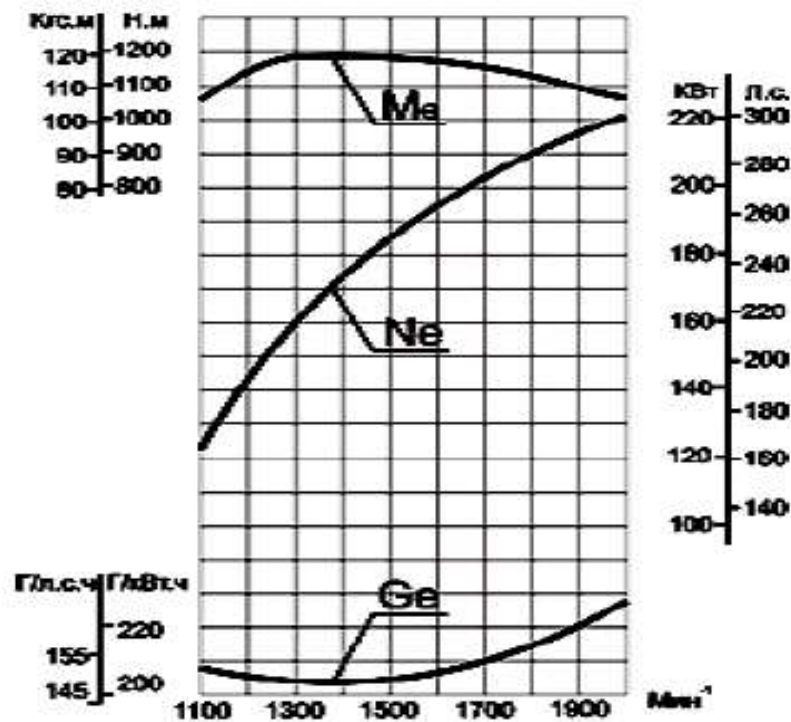


Рисунок 7.1 – Швидкісна характеристика двигуна ЯМЗ-238Б

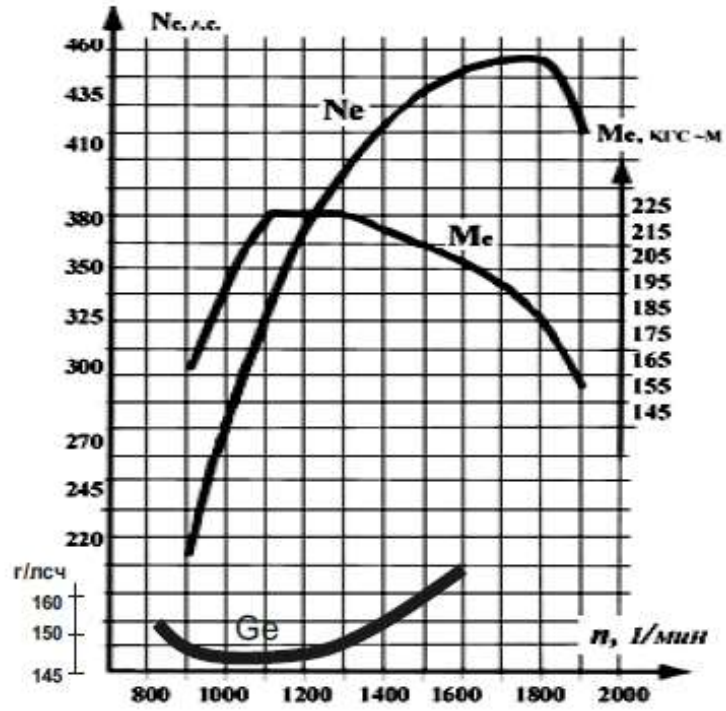


Рисунок 7.2 – Швидкісна характеристика двигуна TD 122 FH (VOLVO)

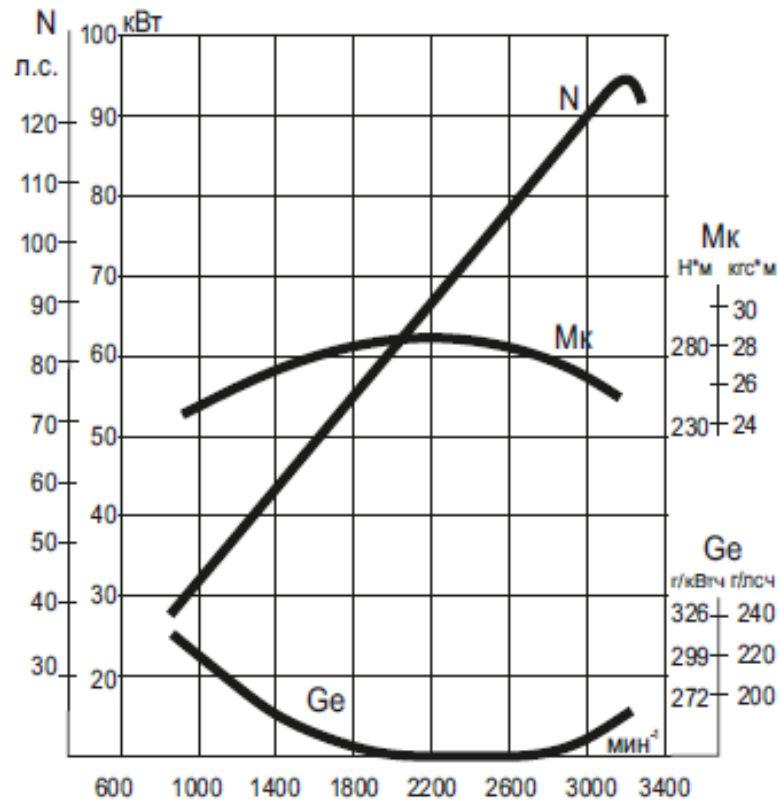


Рисунок 7.3 – Характеристика двигуна 130 л.с.

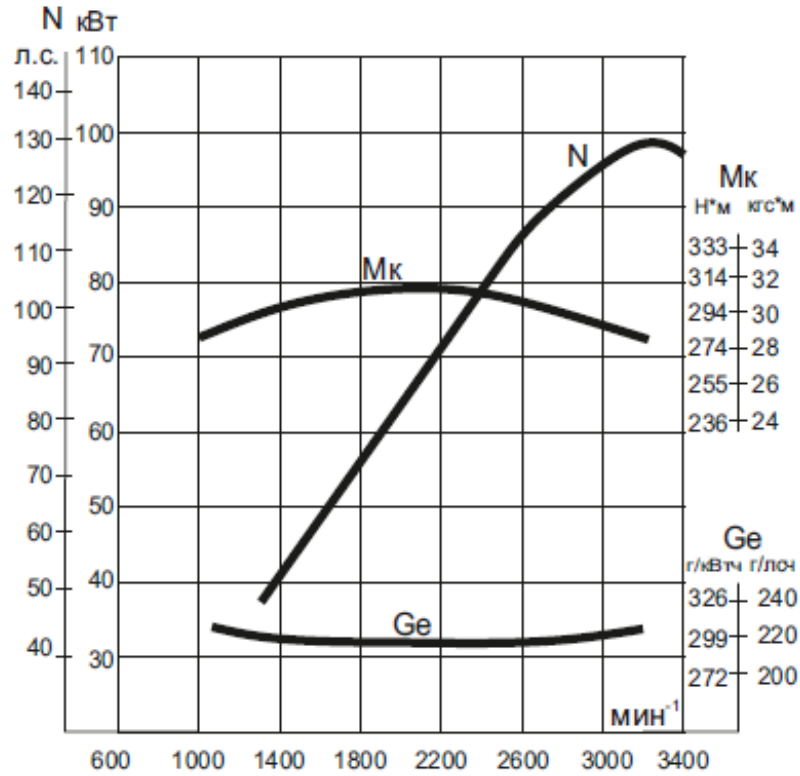


Рисунок 7.4 – Характеристика двигуна 150 к.с.

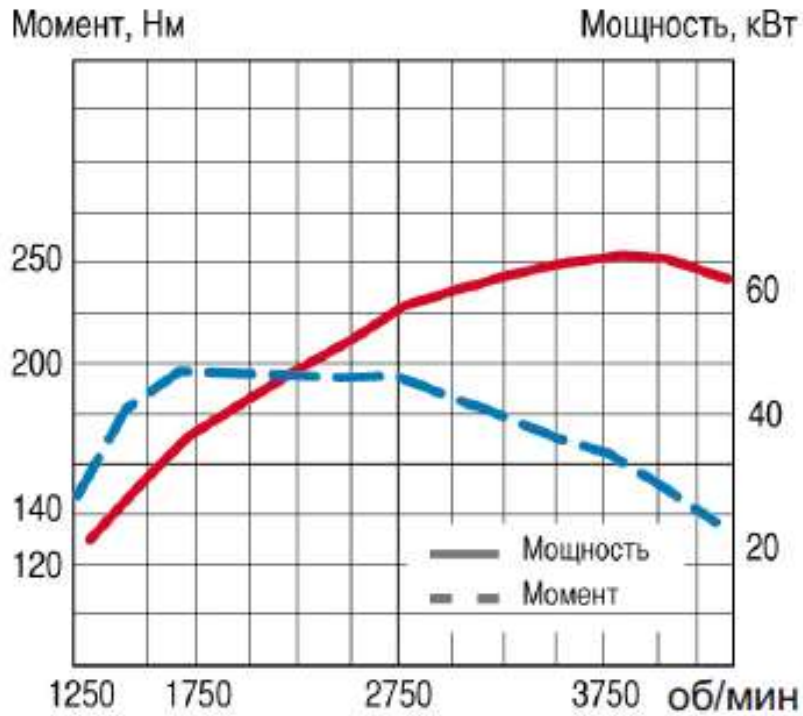


Рисунок 7.5 – Швидкісна характеристика дизельного двигуна Рено, 1,5 dci

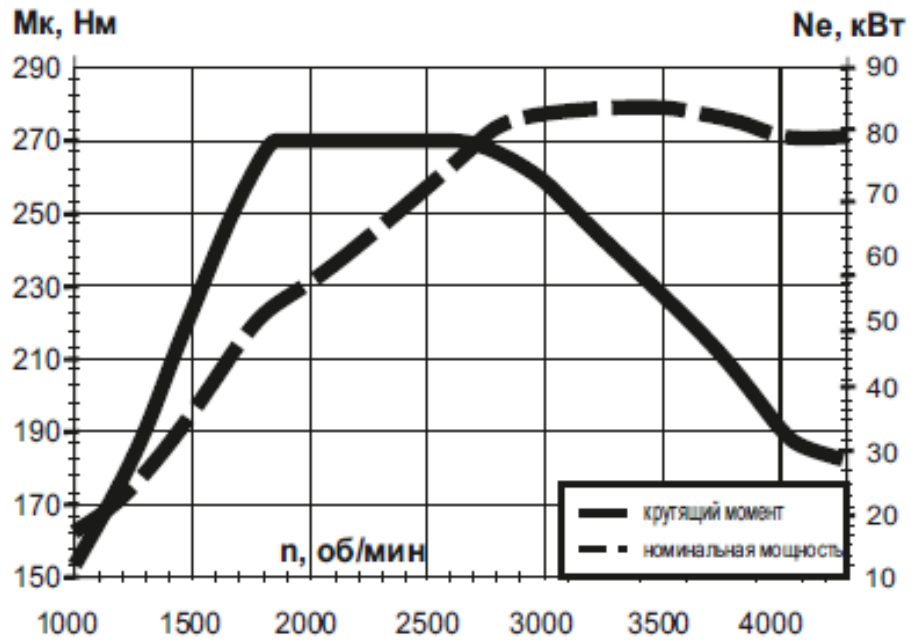


Рисунок 7.6 – Швидкісна характеристика дизельного двигуна ЗМЗ-514

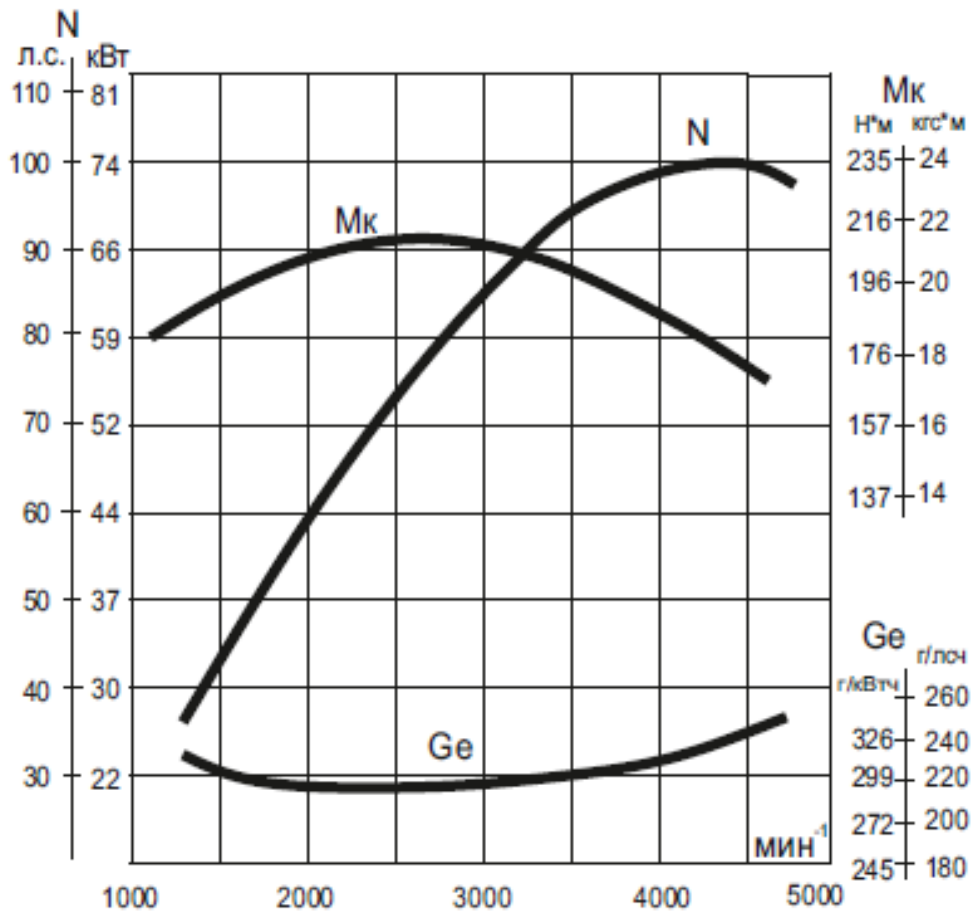


Рисунок 7.7 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна ЗМЗ-410.10

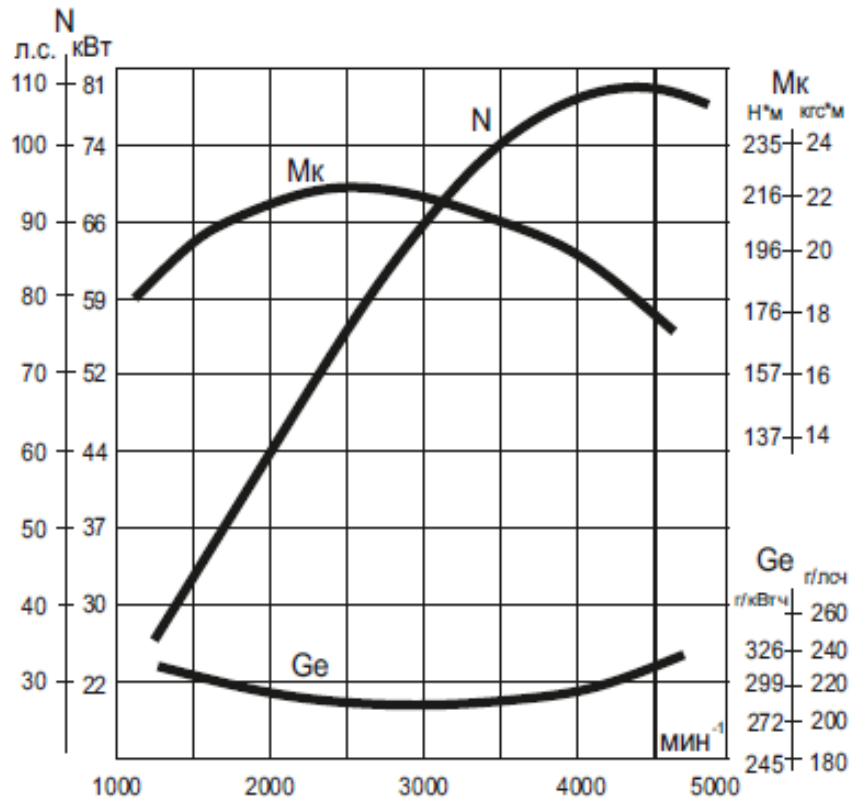


Рисунок 7.8 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна ЗМЗ-4101.10

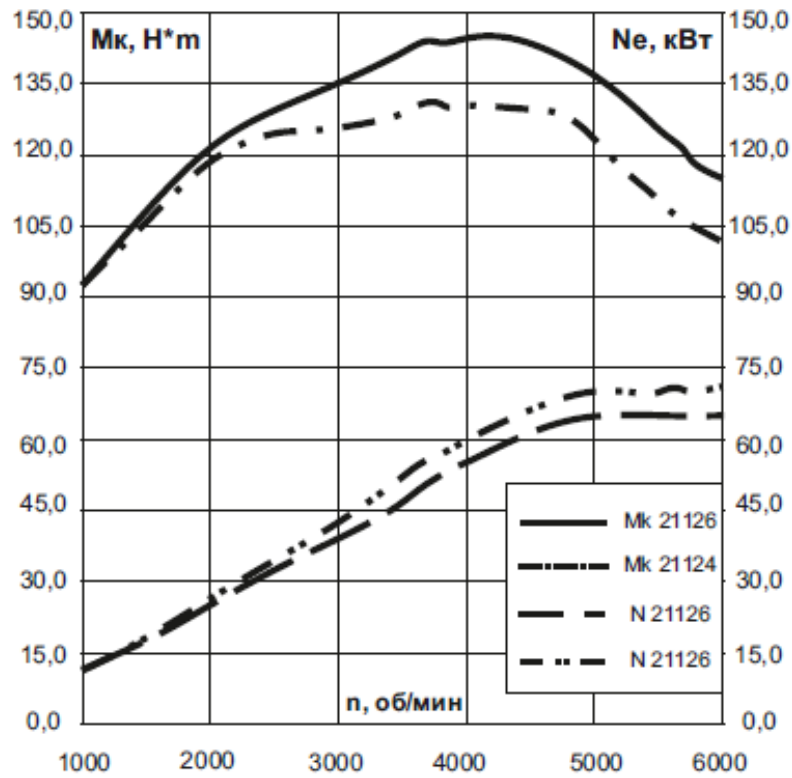


Рисунок 7.9 – Порівняння потужних показників двигунів ВАЗ-21124 і ВАЗ-21126

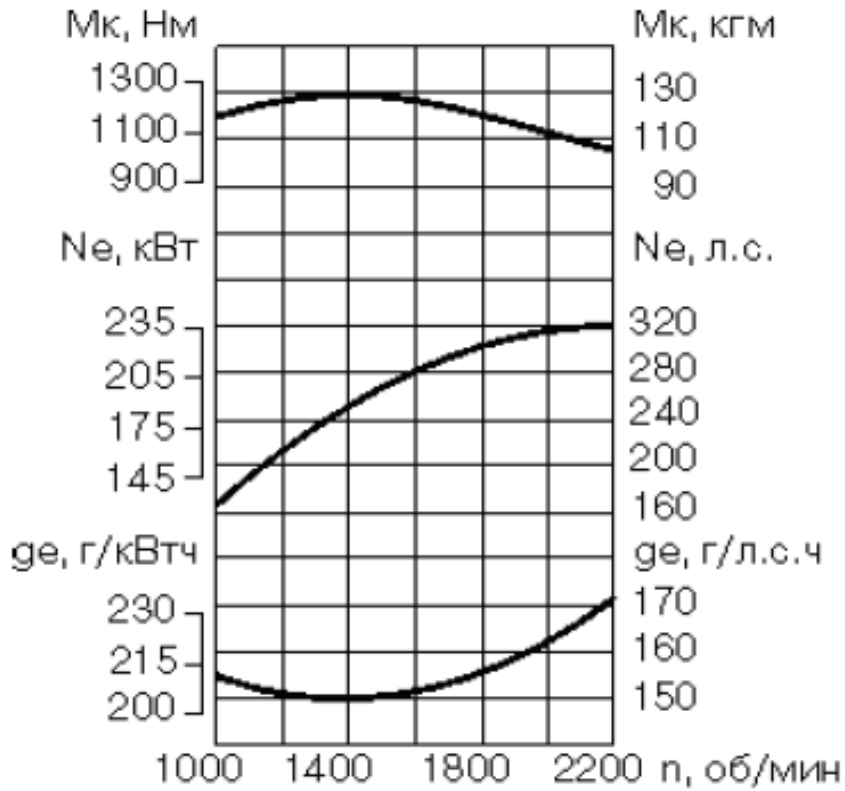


Рисунок 7.10 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна Камаз 740.51-1000-400/21 Євро-2

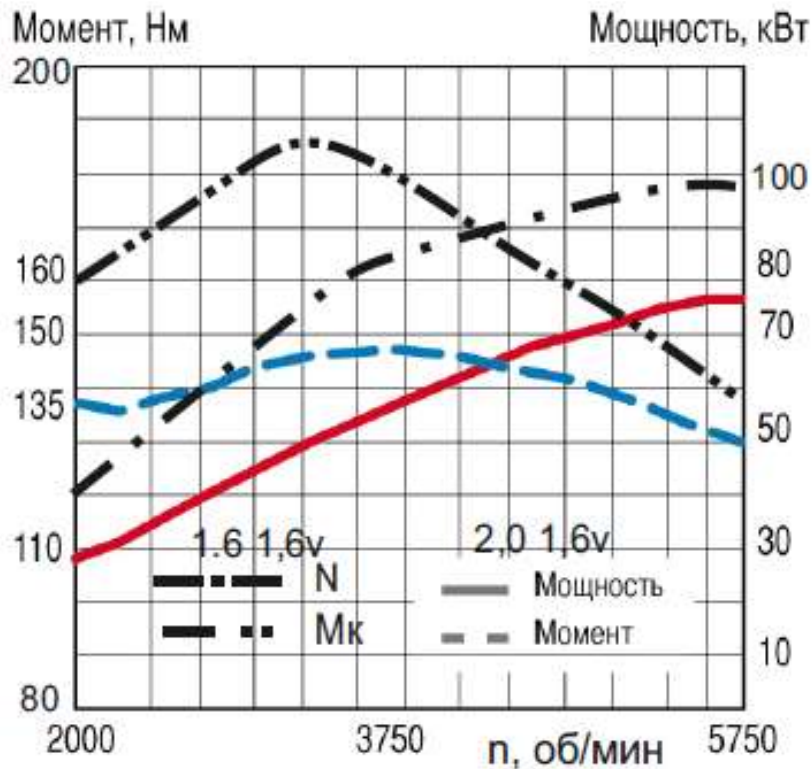


Рисунок 7.11 – Швидкісні характеристики бензинових двигунів Рено, 1,6 16v і 2,0 16v

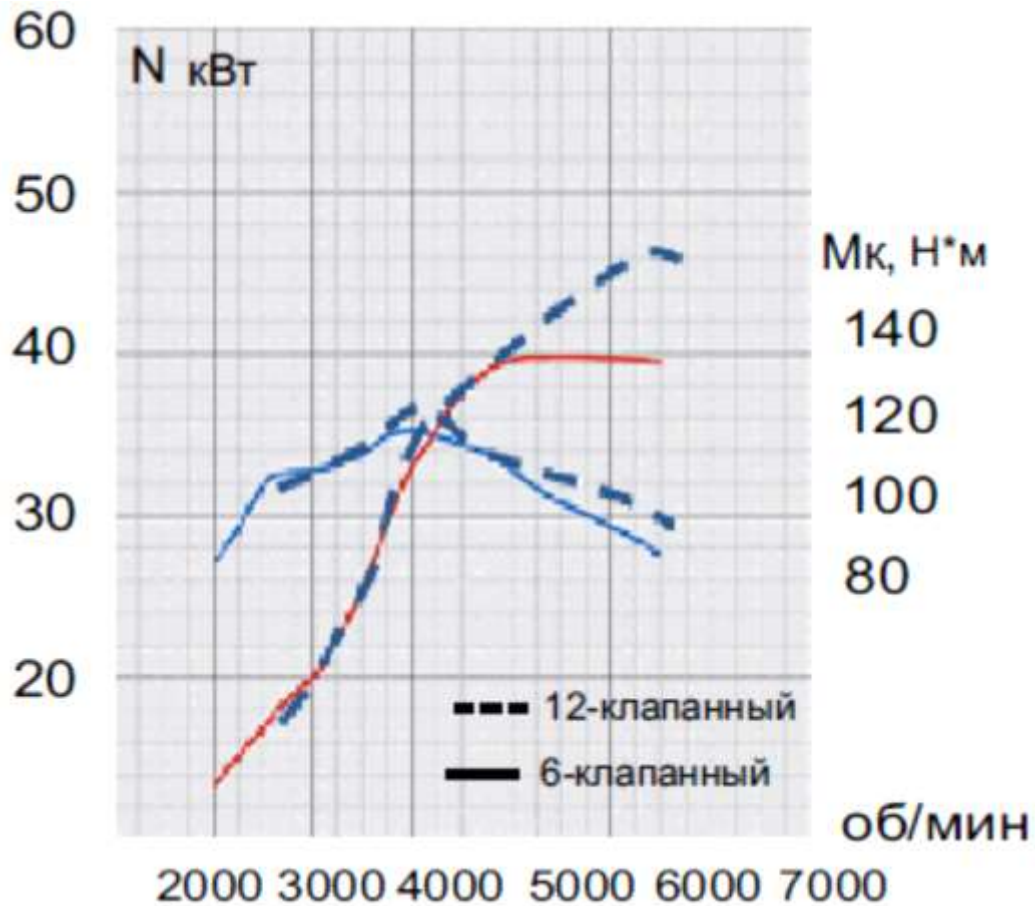


Рисунок 7.12 – Зовнішня швидкісна характеристика 6 і 12-клапанного двигуна з робочим обсягом 1,2 л

Для двигунів Фольцваген-Поло обсягом 1,2 л, шости- і дванадцятиклапанних технічні характеристики, яких наведені на рис. 7.12 – відношення обертів при максимальному крутному моменті до максимальних становить приблизно 0,5.

Із графіків, на яких наведена витрата палива, видно, що мінімальна витрата спостерігається, як правило, при максимальному крутному моменті. Можна припустити, і це відповідає дійсності, що даний факт має місце для переважної більшості як дизельних, так і бензинових двигунів. Тому, робота двигунів на цьому режимі забезпечує мінімум шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Продовжимо аналіз технічних характеристик дизельних і бензинових двигунів, а також швидкісних характеристик автомобілів, на яких вони встановлені. При жорсткому зв'язку обертів коленвала з обертами ведучих коліс максимальна конструктивна швидкість автомобіля прямо пропорційна максимальним обертам

двигуна. Отже, швидкість руху автомобіля при режимі мінімальної витрати палива  $V_{opt}$ , з урахуванням передатного відношення його трансмісії, складе

$$V_{opt} = V_{max} * K_{opt}, \quad (7.1)$$

де  $K_{opt}$  – коефіцієнт оптимізації (відношення обертів двигуна при максимальному крутному моменті до максимальних його обертів).

З аналізу технічних характеристик дизельних і бензинових двигунів, результати якого наведені в табл. 1, видно, що коефіцієнт  $K_{opt}$  для різних автомобілів різний і для розглянутих двигунів, наприклад, коливається в межах від 0,5 до 0,75.

Слід зазначити, що в автомобілів інших категорій і марок, у тому числі автобусів, мікроавтобусів, легкових автомобілів більш високих класів з конструктивними швидкостями руху до 250 км/год, навіть при найменших значеннях  $K_{opt} \approx 0,5 \div 0,6$  –  $V_{opt}$  складе 125÷150 км/ч.

Виходячи з отриманих результатів стає очевидним, що як з погляду шкідливих викидів, так і з погляду реалізації технічних можливостей автомобілів і оптимізації (збільшення) пропускної здатності шляхів і виробничих систем у цілому обмеження швидкості руху адміністративним (явочним) шляхом є недостатньо ефективним. Як видно з табл. 7.1 оптимальні швидкості руху, практично всіх автомобілів перевищують припустиму на більшості міжміських доріг – 90 км/ч. Тому, є так само очевидним необхідність динамічного регулювання швидкості, що дозволяє залежно від дорожніх обставин й завантаженості траси автотранспортною технікою змінювати максимально припустиму швидкість. Одним із способів такого динамічного регулювання може бути метод інтегральних показників. Принципова схема установки об'єктів і обладнань регулювання швидкості на ділянці траси наведена на рис. 7.13 [222].

Суть методу полягає в тому, що на ділянці головного шляху певної довжини, а також на дорогах, що примикають до нього, встановлюються датчики кількості транспортних засобів, що фіксують їхню кількість на ділянці дороги залежно від числа смуг або ширини дорожнього полотна й з урахуванням умов безпеки руху. По певній програмі інтегратор або інше аналогічне обладнання генерує керуючий сигнал, який передає на знаки-показчики, що світяться, припустимої швидкості дозволену на цій ділянці швидкість в одному або в обох напрямках. При цьому, якщо ділянка порівняно вільна, тобто на ділянці умовно «невелике» (певне) число транспортних засобів – допускається більш висока швидкість. Якщо ж на ділянці умовно «велике» число автомобілів – максимально припустима швидкість знижується. Залежність числа автомобілів і припустима швидкість на ділянці, а також межі цих параметрів встановлюються залежно від дорожніх умов, тобто плану, профілю, стану дорожнього покриття й інших факторів.

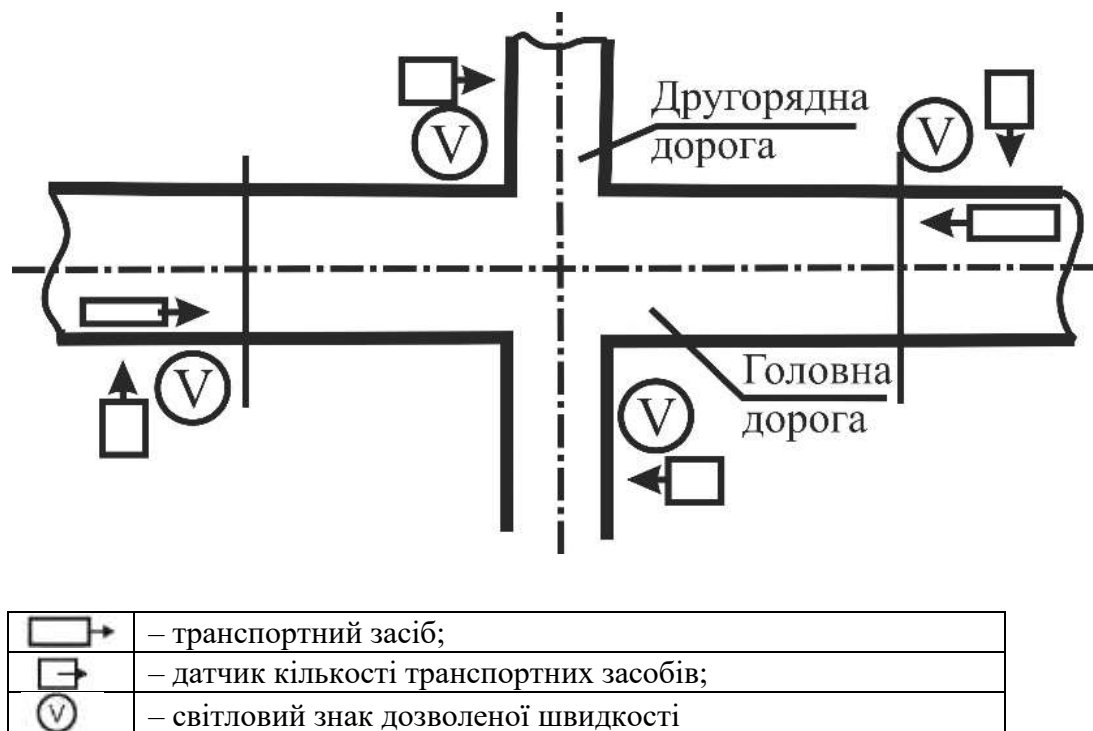


Рисунок 7.13 – Принципова схема системи, об'єктів і обладнань регулювання швидкості руху на ділянці траси:

У такий спосіб на основі аналізу причин забруднення навколишнього середовища від функціонування інфраструктури виробничих систем встановлено, що основними на сухопутному просторі й об'єктах є шкідливі викиди з вихлопними

газами двигунів внутрішнього згорання, розливи нафтопродуктів і їх відпрацьовувань, а на водному просторі й об'єктах виробничих систем це також розливи нафтопродуктів у море й продукти промивання танків нафтоналивних і інших судів.

Таблиця 7.1 – Результати аналізу технічних характеристик автомобілів з різними двигунами

Тип двигуна	Марка автомобіля	Максимальна потужність, к.с.	Максимальні обороти двигуна, об/хв	Обороти максимального крут. моменту, об/хв	Конструктивна швидкість автомобіля, км/год	$K_{opt}$	$V_{opt}$ , км/год
ЯМЗ-238Б	КАМАЗ	300	2000	1400-1500	130	0,7	90
TD 122 FH	VOLVO	450	1900	1200-1300	150	0,65	98
Дизель	Мікроавтобус Фольцваген LT-350	130	3200	2200-2400	150	0,75	115
Дизель	Мікроавтобус мерседес спринтер	10	3200	2300	150	0,75	115
Дизель 1,5 dci	Легковий автомобіль	82	4500	2500-2750	170	0,61	105
Дизель ЗМЗ-514	УАЗ Патріот	114	4200	1800-2800	150	0,67	100
ЗМЗ-410.10	ЗАЗ	100	5000	3000	170	0,6	105
ЗМЗ-4101.10	ЗАЗ	107	5000	3500	170	0,7	120
	ВАЗ 21124	87	6000	4500	170	0,75	128
	ВАЗ 21126	91	6000	4500	175	0,75	128
Бензин 6-клапанний	Фольцваген Поло	54	5600	3200	175	0,57	100
Бензин 12-клапанний	Фольцваген Поло	64	5600	3200	175	0,57	100
16-клапанний 2 л	Рено минивен	135	5750	3750	175	0,65	115
16-клапанний 1,6 л	Рено легковий	106	5750	3750	180	0,65	117

Однією з причин підвищеного викиду шкідливих речовин з вихлопними газами автомобілів є неоптимальна реалізація їх тягово-швидкісних характеристик через зниження швидкостей руху й особливо на міжміських трасах.

На основі аналізу швидкісних характеристик дизельних і бензинових двигунів деяких автомобілів і їх швидкісних характеристик встановлено, що для мінімізації витрати палива й зменшення шкідливих викидів, з урахуванням швидкісних характеристик самих автомобілів, як було вказано раніше доцільно ввести динамічне регулювання швидкостей руху автомобілів і допускати в деяких випадках збільшення максимально припустимої швидкості залежно від дорожньої ситуації й стану доріг.

Для регулювання швидкості руху автомобілів, а так само з метою максимальної реалізації їх технічних і конструктивних характеристик розроблений метод динамічного регулювання швидкості й принципова схема системи для його реалізації на основі інтегратора кількості транспортних засобів, що перебувають і що надходять на ділянку дороги.

## **7.2. Метод оцінки ефективності функціонування відновлюваних систем трубопровідного транспорту.**

Системи трубопровідного транспорту застосовуються в різних областях господарської діяльності й у багатьох випадках є частиною регіональних або міжрегіональних а іноді й внутрівиробничих виробничих систем. Призначені вони для надійної доставки споживачам цільового продукту. Однак із часом або в аварійних ситуаціях транспортні можливості таких систем знижуються внаслідок розвитку природніх процесів старіння або руйнування й відмов окремих структурних елементів, що приводить до порушення цілісності, розливів рідин, що транспортуються і забрудненню навколишнього середовища. Ефективність функціонування системи полягає не тільки в її здатності доставити цільовий продукт у потрібній кількості у встановлений термін, але й у зниженні експлуатаційних витрат. Останні прямо пов'язані з ліквідацією наслідків аварій і відновленням

трубопроводних систем. Тому правильний розподіл експлуатаційного навантаження на окремі елементи виробничих систем і оцінка періодів їх обслуговування як за часом так і по витратах є питаннями досить актуальними й потребують методичного забезпечення [223].

Розглянемо трубопроводну транспортну систему як деякий технічний об'єкт, у складі якого є окремі трубопроводи й трубопроводна арматури, з'єднані між собою й взаємодіючі певним чином. Оскільки в складі такої системи може бути велика кількість трубопроводів з різною довжиною, діаметром і товщиною стінки, то надалі під окремим лінійним елементом розуміється трубопровід або його ділянка, яка характеризується незмінними геометричними розмірами в різних поперечних перерізах.

Нехай за деякий період часу система в режимі безвідмовного функціонування всіх структурних елементів здатна доставити споживачам цільовий продукт в обсязі  $U$ . У реальних умовах експлуатації обсяг доставленого продукту  $U^*$  буде менше через спостережувані відмови й необхідності відновлення (ремонт) структурних елементів, що відмовили.

Тоді коефіцієнт використання [224]:

$$K_U = \frac{U^*}{U} \leq 1, \quad (7.2)$$

буде характеризувати ефективність функціонування реальної виробничої системи.

Припустимо, у складі системи є відновлювані лінійні елементи й безвідмовно функціонуючі елементи трубопроводної арматур. Тоді для такої схематизованої системи коефіцієнт використання визначається так:

$$F_s = \frac{U_0}{U}, \quad (7.3)$$

де:  $U_0$  - обсяг продукту, який система здатна доставити споживачам за аналізований період часу за умови безвідмовної роботи всіх елементів трубопровідної арматур.

Надалі коефіцієнт  $F_S$  розглядається як показник ефективності функціонування систем з відновлюваними лінійними елементами й безвідмовною арматурами, що дозволяє використовувати його при аналізі поведінки виробничих систем, зниження працездатності яких може бути пов'язане з відмовами трубопроводів.

У загальному випадку оцінка ефективності функціонування трубопровідних систем може бути виконана на основі відомих методів аналізу й зводиться до необхідності виконання наступної послідовності операцій.

1. Виконується схематизація, при якій усі елементи трубопровідної арматури розглядаються як функціонуючі безвідмовно, а відновлюваними вважаються тільки лінійні елементи системи.

2. Складається перелік можливих станів системи, пов'язаних з відмовами лінійних елементів і їх наступним відновленням.

3. Визначаються ймовірності перебування системи в кожному з можливих станів, з урахуванням відомих характеристик потоків відмов і відновлення.

4. Установлюється показник ефективності функціонування всієї системи, з урахуванням значень обсягів цільового продукту, які одержать споживачі протягом розглянутого періоду часу.

Практична реалізація зазначеної схеми визначення ефективності функціонування трубопровідних систем, можлива з використанням відомих методів теорії масового обслуговування й теорії надійності [225,226].

Розглянемо, як приклад, найпростішу трубопровідну систему, що полягає із трьох лінійних елементів, два з яких з'єднані паралельно, а один послідовно (рис. 7.14). При працездатному стані лінійних елементів А, В і С споживачі П1 і П2 одержують цільовий продукт у повному обсязі.

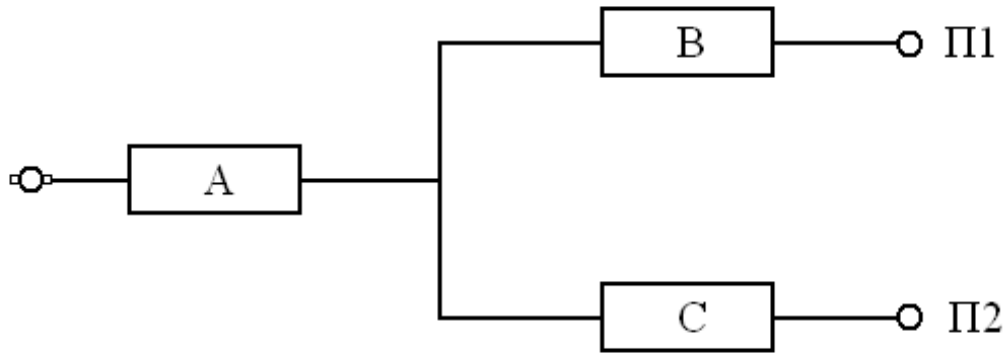


Рисунок 7.14 – Розрахункова схема трубопровідної системи

Припустимо, що режими функціонування кожного з елементів характеризуються потоками відмов і відновлень, які будуть визначати їхні переходи в непрацездатний стан і назад. Для аналізованої трубопровідної системи, що полягає із трьох лінійних елементів можна вказати вісім можливих станів, характеристики яких наведені в табл. 7.2 [141,223].

Працездатний стан елемента позначається верхнім індексом (+) у букви, що відповідає тому або іншому трубопроводу, а непрацездатний стан індексом (-). Наприклад, перший стан системи, при якому всі трубопроводи справні, позначається комбінацією  $A^+B^+C^+$ , а восьмий стан, коли всі трубопроводи несправні, має позначення  $A^-B^-C^-$ . На рис. 7.15 показаний розмічений граф станів системи, складений з використанням методів теорії масового обслуговування.

Таблиця 7.2 – Позначення ймовірностей можливих станів системи

Номер стану	1	2	3	4	5	6	7	8
Позначення стану	$A^+B^+C^+$	$A^+B^-C^+$	$A^+B^+C^-$	$A^+B^-C^-$	$A^-B^+C^+$	$A^-B^-C^+$	$A^-B^+C^-$	$A^-B^-C^-$
Ймовірність перебування в даному стані	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$

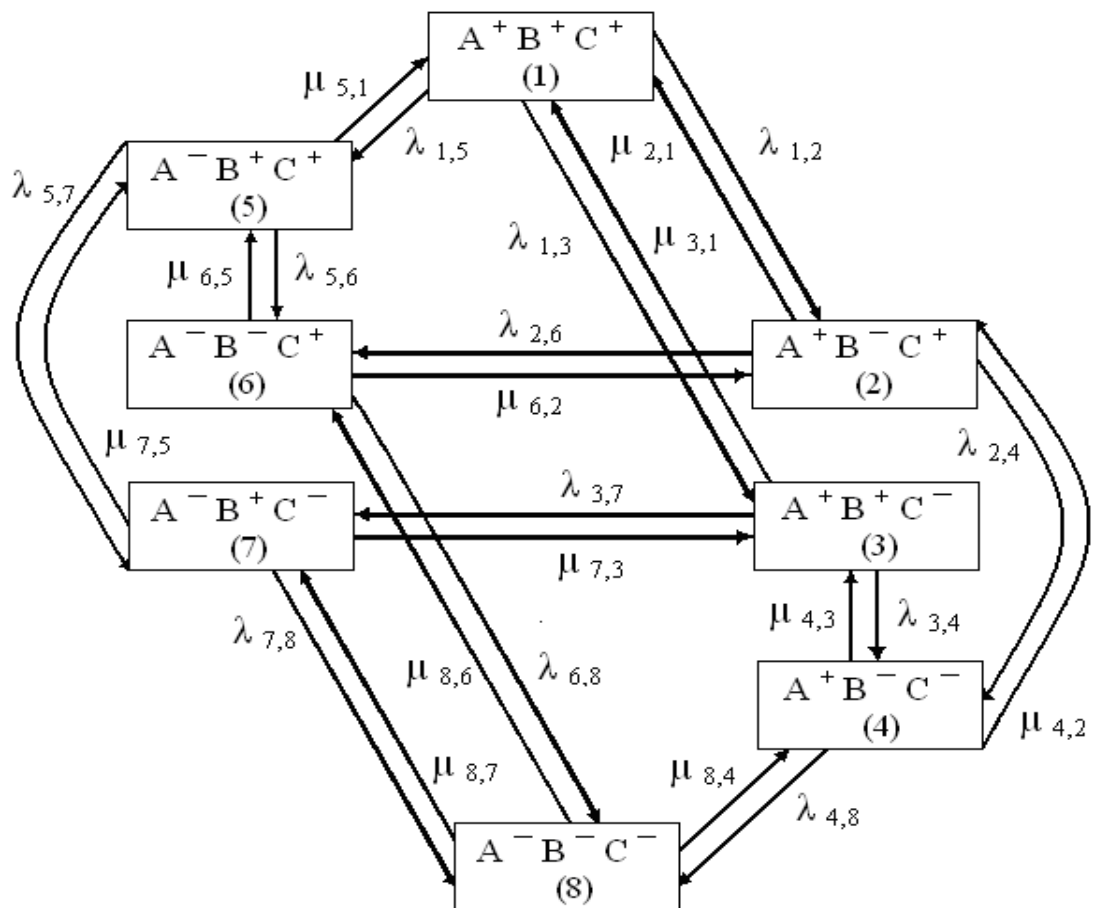


Рисунок 7.15 – Розмічений граф станів трубопровідної системи

Щільність потоку відмов, що переводить систему зі стану  $i$  у стан  $j$ , позначена  $\lambda_{i,j}$ , а щільність потоку відновлень, що переводить її зі стану  $j$  у стан  $i$ , має позначення  $\mu_{j,i}$ .

Тоді для визначення ймовірностей станів  $p_k(t)$  ( $k = 1, 2, \dots, 8$ ) необхідно розв'язати систему з восьми диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_1(t)}{dt} - [\mu_{5,1}p_5(t) + \mu_{3,1}p_3(t) + \mu_{2,1}p_2(t) - (\lambda_{1,5} + \lambda_{1,3} + \lambda_{1,2})p_1(t)] = 0 \\ \frac{dp_2(t)}{dt} - [\lambda_{1,2}p_1(t) + \mu_{6,2}p_6(t) + \mu_{4,2}p_4(t) - (\mu_{2,1} + \lambda_{2,6} + \lambda_{2,4})p_2(t)] = 0 \\ \frac{dp_3(t)}{dt} - [\lambda_{1,3}p_1(t) + \mu_{7,3}p_7(t) + \mu_{4,3}p_4(t) - (\mu_{3,1} + \lambda_{3,7} + \lambda_{3,4})p_3(t)] = 0 \\ \frac{dp_4(t)}{dt} - [\lambda_{2,4}p_2(t) + \lambda_{3,4}p_3(t) + \mu_{8,4}p_8(t) - (\mu_{4,2} + \mu_{4,3} + \lambda_{4,8})p_4(t)] = 0 \\ \frac{dp_5(t)}{dt} - [\lambda_{1,5}p_1(t) + \mu_{7,5}p_7(t) + \mu_{6,5}p_6(t) - (\mu_{5,1} + \lambda_{5,7} + \lambda_{5,6})p_5(t)] = 0 \\ \frac{dp_6(t)}{dt} - [\lambda_{5,6}p_5(t) + \lambda_{2,6}p_2(t) + \mu_{8,6}p_8(t) - (\mu_{6,5} + \mu_{6,2} + \lambda_{6,8})p_6(t)] = 0 \\ \frac{dp_7(t)}{dt} - [\mu_{8,7}p_8(t) + \lambda_{5,7}p_5(t) + \lambda_{3,7}p_3(t) - (\lambda_{7,8} + \mu_{7,5} + \mu_{7,3})p_7(t)] = 0 \\ \frac{dp_8(t)}{dt} - [\lambda_{7,8}p_7(t) + \lambda_{6,8}p_6(t) + \lambda_{4,8}p_4(t) - (\mu_{8,7} + \mu_{8,6} + \mu_{8,4})p_8(t)] = 0 \end{array} \right. \quad (7.4)$$

Цю систему необхідно доповнити умовою:

$$\sum_{k=1}^8 p_k(t) = 1. \quad (7.5)$$

Якщо в момент часу  $t=0$  усі елементи перебували в працездатному стані, то початкові умови для інтегрування формулюються так:

$$p_1(0) = 1, \quad p_i(0) = 0 \quad (i = 2, 3, \dots, 8). \quad (7.6)$$

На наступному етапі слід знайти граничний стан системи, при  $t \rightarrow \infty$ , яке характеризується набором імовірностей  $p_1, p_2, \dots, p_8$  (табл. 7.2).

Стосовно до розглянутого випадку виробничої системи, що полягає із трьох трубопроводів система лінійних рівнянь для визначення ймовірностей  $p_i$  буде мати такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{5,1}p_5 + \mu_{3,1}p_3 + \mu_{2,1}p_2 - (\lambda_{1,5} + \lambda_{1,3} + \lambda_{1,2})p_1 = 0 \\ \lambda_{1,2}p_1 + \mu_{6,2}p_6 + \mu_{4,2}p_4 - (\mu_{2,1} + \lambda_{2,6} + \lambda_{2,4})p_2 = 0 \\ \lambda_{1,3}p_1 + \mu_{7,3}p_7 + \mu_{4,3}p_4 - (\mu_{3,1} + \lambda_{3,7} + \lambda_{3,4})p_3 = 0 \\ \lambda_{2,4}p_2 + \lambda_{3,4}p_3 + \mu_{8,4}p_8 - (\mu_{4,2} + \mu_{4,3} + \lambda_{4,8})p_4 = 0 \\ \lambda_{1,5}p_1 + \mu_{7,5}p_7 + \mu_{6,5}p_6 - (\mu_{5,1} + \lambda_{5,7} + \lambda_{5,6})p_5 = 0 \\ \lambda_{5,6}p_5 + \lambda_{2,6}p_2 + \mu_{8,6}p_8 - (\mu_{6,5} + \mu_{6,2} + \lambda_{6,8})p_6 = 0 \\ \mu_{8,7}p_8 + \lambda_{5,7}p_5 + \lambda_{3,7}p_3 - (\lambda_{7,8} + \mu_{7,5} + \mu_{7,3})p_7 = 0 \\ \lambda_{7,8}p_7 + \lambda_{6,8}p_6 + \lambda_{4,8}p_4 - (\mu_{8,7} + \mu_{8,6} + \mu_{8,4})p_8 = 0 \end{array} \right. \quad (7.7)$$

У систему також слід додати рівняння:

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 - 1 = 0; \quad \sum_{i=1}^8 p_i - 1 = 0. \quad (7.8)$$

Після розв'язання системи рівнянь і визначення ймовірностей  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) можна встановити обсяги продукту, які будуть реально доставлені споживачам за аналізований період часу й у такий спосіб оцінити ефективність функціонування відновлюваної виробничої системи.

Очевидно, що викладений підхід до розв'язання завдання оцінки ефективності функціонування трубопровідних систем, має наступні недоліки.

1. Кількість можливих станів системи  $N$  пов'язана із числом трубопроводів  $s$  залежністю:  $N=2^s$ . Так, якщо число трубопроводів рівно десяти, то  $N = 1024$ , а якщо двадцяти, то кількість можливих станів (і відповідно кількість рівнянь у системі) перевищує мільйон ( $N = 1048576$ ).

2. Для розглянутого прикладу виробничої системи, що полягає із трьох трубопроводів, що й характеризується наявністю восьми станів, встановлено 24 можливих варіанта переходів між цими станами. Очевидно, що зі збільшенням

кількості трубопроводів у системі буде відбуватися й ріст числа можливих переходів між станами.

Усе це означає, що відомі підходи до оцінки поведінки й визначенню ефективності функціонування відновлюваних трубопровідних систем виявляються не придатними для практичного використання, якщо виробнича система містить більш 7 – 8 трубопроводів.

Оскільки системи трубопровідного транспорту можуть мати у своєму складі десятки трубопроводів, то необхідність розробки методів оцінки ефективності їх функціонування, що базуються на новій концептуальній основі, стає очевидною.

Розглянемо окремо взятий лінійний елемент, який експлуатується протягом тривалого періоду часу  $T$ , і в складі якого може бути присутнім трубопровідна арматура. Припустимо, що арматура функціонує безвідмовно, а спостережувані відключення трубопроводу пов'язані з необхідністю його ремонту або технічного обслуговування.

Надалі під експлуатаційною надійністю відновлюваного лінійного елемента трубопровідної системи розуміється ймовірність його перебування в працездатному стані протягом аналізованого періоду часу, за умови безвідмовного функціонування деталей трубопровідної арматури, що входять до його складу.

З використанням імовірнісних методів можна довести, що якщо окрема ланка системи містить  $n$  паралельно з'єднаних трубопроводів, то показник ефективності його функціонування:

$$F = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \phi_i, \quad (7.9)$$

де:  $p_i$  - експлуатаційна надійність елемента;

$\phi_i$  – транзитний потенціал, що представляє собою частку цільового продукту, яку передає  $i$ -й елемент у режимі безвідмовного функціонування розглянутої ланки.

Якщо ланка містить  $n$  послідовно з'єднаних елементів, то:

$$F = \prod_{i=1}^n p_i. \quad (7.10)$$

Трубопровідна арматури, як складова частина системи, також впливає на ефективність її функціонування. Урахувати вплив надійності арматури на ефективність функціонування систем, можливо з використанням розробленого методу.

Оскільки арматури з'єднується з лінійними елементами послідовно, той вплив її надійності на функціонування системи слід оцінювати, розглядаючи окремо ланки з послідовним і паралельним з'єднанням лінійних елементів.

Якщо  $n$  лінійних елементів з'єднані між собою послідовно, а в складі ланки є арматури (рис. 7.16), то коефіцієнт використання ланки встановлюється так:

$$K = \prod_{i=1}^n p_i \cdot \prod_j p_{i,j}, \quad (7.11)$$

де:  $p_{i,j}$  - надійність  $j$ -го елемента трубопровідної арматури, з'єданого послідовно з  $i$ -м лінійним елементом.

Якщо ланка являє собою  $n$  паралельно з'єднаних лінійних елементів, а в його складі є трубопровідна арматура (рис. 7.17), то коефіцієнт використання ланки визначається так:

$$K = \sum_{i=1}^n \phi_i \cdot p_i \cdot \prod_j p_{i,j}. \quad (7.12)$$

Залежності (7.11) і (7.12) дозволяють визначати коефіцієнт використання окремих ланок систем і в такий спосіб оцінювати ефективність їх функціонування з урахуванням надійності, як лінійних елементів, так і трубопровідної арматури.

Розглянемо приклад системи, що полягає із двох лінійних елементів з'єднаних паралельно й одного послідовно (рис. 7.18), яка забезпечує цільовим продуктом двох споживачів П1 і П2.

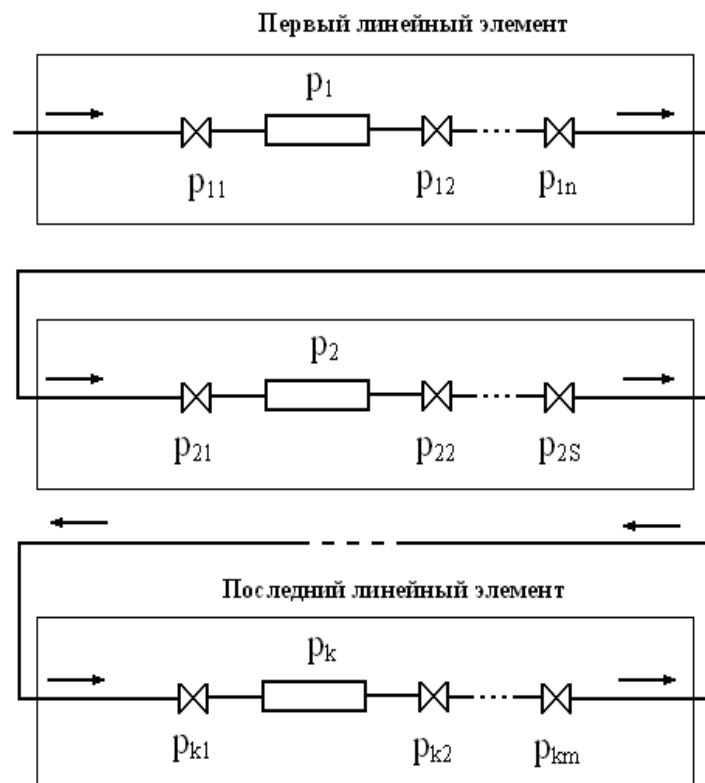


Рисунок 7.16 – Розрахункова схема ланки з послідовним з'єднанням лінійних елементів утримуючих трубопровідну арматури

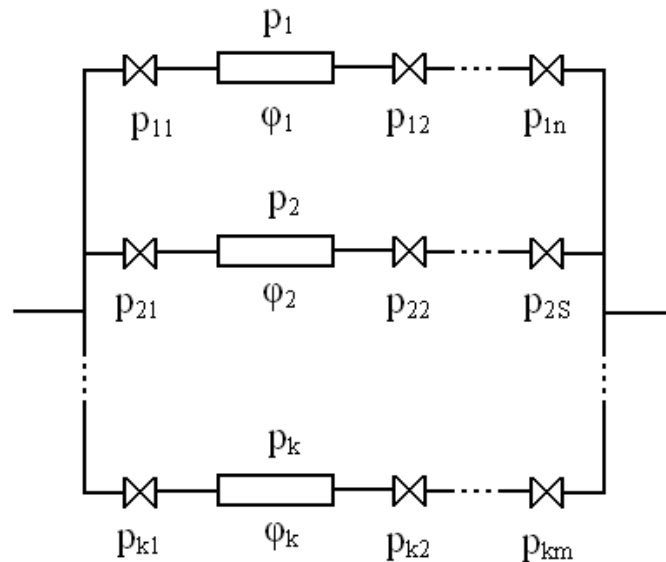


Рисунок 7.17 – Розрахункова схема ланки з паралельним з'єднанням лінійних елементів утримуючих трубопровідну арматуру

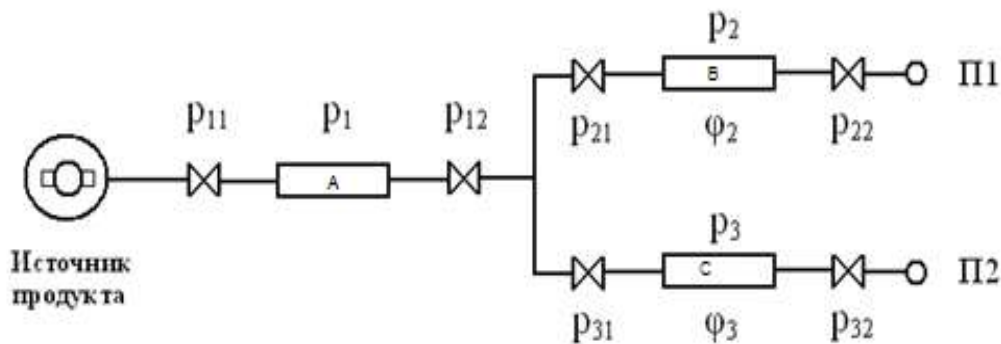


Рисунок 7.18 – Розрахункова схема трубопровідної системи

Кожний лінійний елемент системи з'єднаний послідовно із двома елементами трубопровідної арматури. Коефіцієнт використання такої системи й показник ефективності функціонування визначаються на основі викладеного підходу в такий спосіб:

$$K_U = p_1 \cdot p_{11} \cdot p_{12} \cdot \{ \phi_2 \cdot p_2 \cdot p_{21} \cdot p_{22} + \phi_3 \cdot p_3 \cdot p_{31} \cdot p_{32} \}. \quad (7.13)$$

$$F_S = p_1 \cdot \{ \phi_2 \cdot p_2 + \phi_3 \cdot p_3 \}. \quad (7.14)$$

Таким чином, можна зробити висновок, що основу розробленої концепції оцінки ефективності функціонування відновлюваних систем трубопровідного транспорту, становить послідовне використання методів схематизації, декомпозиції, оцінки ефективності функціонування окремих ланок, і їх наступної системної інтеграції на базі вихідної структурної схеми.

Запропонована нова концепція оцінки ефективності функціонування відновлюваних систем трубопровідного транспорту, основу якої становить послідовне використання методів схематизації, декомпозиції, оцінки ефективності функціонування окремих ланок, за допомогою запропонованого показника, що враховує надійність окремих елементів і характер розподілу транспортних потоків, з наступної системною інтеграцією ланок на базі вихідної структури, що дозволяє визначати показник ефективності функціонування всієї системи.

Розроблена концепція дозволяє не тільки оцінювати ефективність функціонування відновлюваних трубопровідних виробничих систем з великим числом структурних елементів, але й визначати коефіцієнт використання таких систем.

### **7.3 Оцінка економічного збитку від аварійної ситуації в засобах трубопровідного транспорту**

Трубопровідні транспортні системи при безаварійній роботі є найбільше екологічно чистими. Для зменшення ризику виникнення аварійних ситуацій і підвищення надійності трубопровідних систем розроблено чимало конструктивних і технологічних методів підтримки в робочому стані й відновлення їх окремих елементів, деякі з них наведені в роботах [223,227,228].

Однак аварії можуть мати наслідки, що далеко йдуть, з великими фінансовими витратами на їхню ліквідацію. Тому важливо мати метод оцінки збитку від виходу з ладу виробничої системи або її окремих ланок для того щоб закласти витрати на ліквідацію наслідків у витрати на експлуатацію, системи в певний період.

Розробка такого методу з урахуванням усіх факторів, що впливають на витрати по ліквідації наслідків аварії досить складна, тому для практичної діяльності й наближеної оцінки можливо використання спрощеного методу з використанням реально об'єктивних вихідних даних, які не складно одержати в ході попереднього аналізу наслідків аварії.

Загальний вид моделі сумарних витрат на ліквідацію шкідливих наслідків аварії може мати вигляд:

$$C_{\text{обци}} = \sum_{i=1}^n (1 - P_{\text{бі}}) \varphi_i C_o + FC_p k + f_y t C_{\text{пр}} + C_{\text{д}} \quad (7.15)$$

де:  $P_{\text{бі}}$  – імовірність безвідмовної роботи ділянки системи

$n$  – число ділянок системи, які вийшли з ладу

$$\varphi_i = \frac{Q_{\text{уч}}}{Q_c} \quad (7.16)$$

$Q_{\text{уч}}$  – обсяг продукту, що пропускається по ушкодженій ділянці

$Q_c$  – обсяг продукту, що пропускається по всій системі

$C_o$  – вартість системи на розглянутий період часу

$F$  – площа забрудненої території

$C_p$  – кадастрова вартість 1 м<sup>2</sup> забрудненої території

$$k = \frac{q_{\text{ост}}}{q_{\text{разл.}}} \quad (7.17)$$

$q_{\text{разл.}}$  - кількість розлитого на розглянутій території продукту

$q_{\text{ост.}}$  - кількість продукту, що залишився на території

$f_y$  – продуктивність розглянутої ділянки системи

$t$  – час розливу продукту

$C_{np}$  – вартість одиниці загубленого продукту

$C_d$  – додаткові витрати пов'язані із забрудненням водного басейну й тваринного миру.

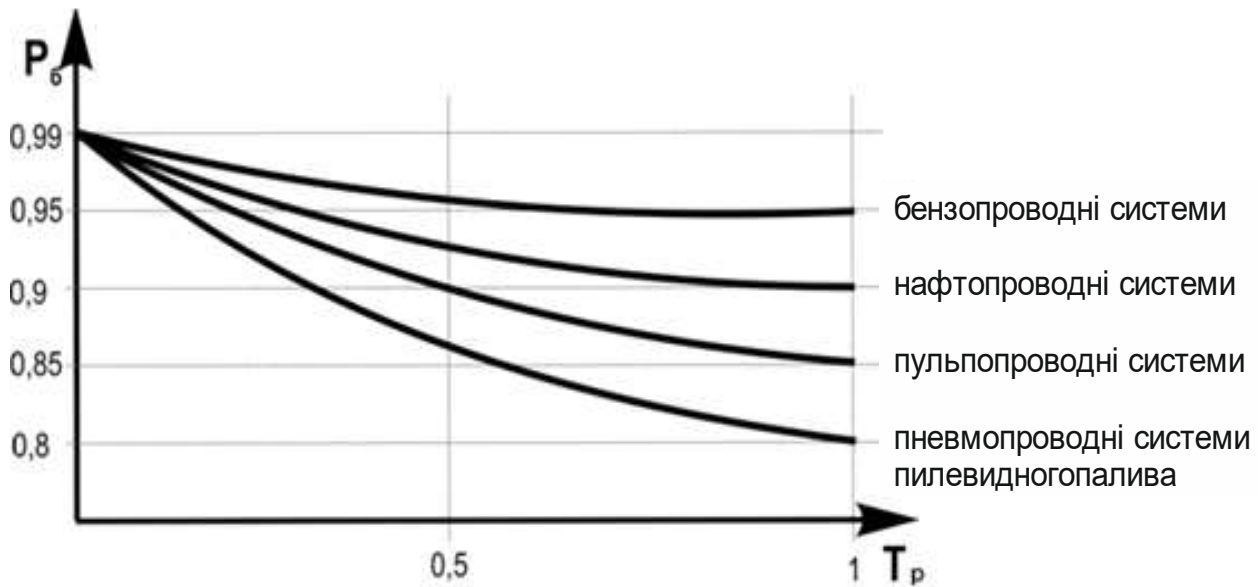
У запропонованій моделі особливе утруднення може викликати визначення параметра  $P_{bi}$ , значення якого залежить як від технічного стану системи і його окремих ділянок, так і від хімічного й фізичного складу продукту, що транспортується.

Істотний вплив на цей параметр виявляють режим і технологія експлуатації транспортної системи.

Аналіз відмов і аварійних ситуацій діючих трубопровідних систем, що транспортують різні матеріали, дозволили одержати наближені значення їх безвідмовної роботи в межах їх розрахункового терміну служби.

Для одержання даних по пульпопроводам досліджувалася робота вуглепровода Белово-Новосибірськ, довжиною  $\approx 240$  км, діаметром труби 500мм 2 нитки й робочим тиском 100атм., а так само системи скидання «хвостів» з вуглезбагачувальних фабрик і золоскидальних систем теплових електростанцій. Для одержання даних по пневмопроводам досліджувалася робота пневмосистем працюючих на такому паливі.

Результати досліджень по оцінці безвідмовної роботи трубопровідних систем наведені на графіку.



$T_p$  – розрахунковий (проектний) термін служби трубопроводу

$P_6$  – ймовірність безвідмовної роботи системи

Рисунок 7.19 – Графіки залежності ймовірностей безвідмовної роботи систем від терміну служби.

У такий спосіб проведений аналіз роботи трубопровідних виробничих систем, що переміщують різні матеріали й отримані графічні залежності ймовірностей їх безвідмовної роботи в межах розрахункового (проектного) терміну служби системи й розроблена математична модель для спрощеної оцінки економічного збитку при виникненні аварійної ситуації в трубопровідних виробничих системах, яка дає можливість приблизно визначити реальні або можливі, з достатньої для практичних цілей точністю, витрати на ліквідацію наслідків аварійних ситуацій, які необхідно закласти в експлуатаційні витрати на певний період, експлуатації системи.

В додатку В наведено експериментально-теоретичні дослідження очищення стічних вод і нафтосумішей у засобах трубопровідного транспорту. Загальними результатами цих досліджень є такі:

- очищена методом активації вода по своїх параметрах годиться для повторного використання в якості технічної. Використання кавітаційного

теплогенератора значно прискорює сорбцію СВ. Активація СВ кавітацією в процесі сорбції дозволяє зменшити твердість води;

- дослідження показали, що кавітаційний насос-теплогенератор може з успіхом застосовуватися в готуванні водно-мазутних емульсій без додавання дорогих емульгаторів. Цим знижується собівартість готової продукції;

- теплогенератор здатний замінити енергоємні парогенератори в процесі розігріву котельних палив.

### **Висновки до розділу 7**

1. На основі аналізу причин забруднення навколишнього середовища від функціонування інфраструктури виробничих систем встановлено, що основними на сухопутному просторі й об'єктах є шкідливі викиди з вихлопними газами транспортних засобів, обладнаних двигунами внутрішнього згоряння, розливи нафтопродуктів і їх відпрацьовувань, а на водному просторі й об'єктах виробничих систем це також розливи нафтопродуктів і продукти промивання танків нафтоналивних і інших судів.

2. Встановлено, що через існуюче обмеження швидкостей руху автотранспортних засобів більшість їх працюють не в оптимальному режимі, тобто на оборотах не відповідних максимальному крутному моменту та мінімальній витраті палива, що призводить до додаткової витрати палива й надмірним шкідливим викидам в атмосферу. Доопрацьовано теоретичні основи технології зниження шкідливого впливу на оточуюче середовище від експлуатації автомобільних транспортних засобів, що дозволяє зменшити їх шкідливі викиди та підвищити паливну економічність.

3. Запропонована технологія й обладнання для динамічного регулювання швидкості, що дозволяє підвищити швидкість руху й більш повно реалізувати технічні характеристики автотранспортних засобів.

4. В межах завдання зниження ризиків забруднення навколишнього середовища удосконалено метод оцінки ефективності функціонування трубопровідного транспорту, що на відміну від існуючих, враховує процеси старіння і руйнування елементів з екологічними наслідками. Це дозволило реалізувати новий підхід до оцінки ефективності функціонування відновлюваних систем трубопровідного транспорту.

5. Доопрацьовано метод підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту за рахунок зниження експлуатаційних витрат, який відрізняється тим, що дозволяє визначити коефіцієнт використання кожного елементу трубопровідних систем та виконати більш ефективний розподіл експлуатаційного навантаження на окремі їх елементи. Очікуваний економічний ефект від впровадження вказаного методу в межах ділянки лінійної частини експлуатації нафтотранспортної системи АТ “Укртранснафта” складає 4,32 млн грн на рік за рахунок більш ефективного розподілу експлуатаційного навантаження на окремі елементи системи.

## Загальні висновки

У дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова проблема підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту шляхом урахування особливостей їх використання в складних виробничих системах з різними видами транспорту.

1. У сучасних умовах економічної нестабільності й спаду виробництв окремих територій і держави в цілому необхідні пошуки альтернативних шляхів підтримки економічного балансу та підвищення ВВП, що може бути досягнуто різними шляхами. У даній роботі обраний найбільш універсальний шлях підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту в системах з різними видами транспорту за критерієм економічної ефективності, оскільки перевізний процес забезпечує життєдіяльність будь-якої виробничої структури й витрати на нього становлять від 7% до 30% собівартості готової продукції. Враховуючи вищевикладене, а також розвиток інтеграційних процесів в основі яких також лежать перевезення, виникає необхідність розробки нових підходів у формуванні, експлуатації й розвитку виробничих систем з різними видами транспорту.

2. Розроблено метод формування мережевої структури й структурного аналізу складних виробничих систем, в яких експлуатуються різні види транспорту, що дозволяє визначати їх рівневий склад і характеристики окремих рівнів. При цьому доведено, що властивості виробничих систем тісно пов'язані з їх структурою, яка відповідно до розробленої класифікації характеризується набором структурних індексів  $S_1, S_2, \dots, S_8$ . Запропоновано метод визначення структурного індексу територіальної системи, що дозволяє визначити кількість структурних рівнів аналізованої системи. Системи з однаковими індексами й однаковими числом рівнів є структурно-подібними.

3. Розроблено метод структурування засобів транспорту та багаторівневих виробничих систем, які експлуатують різні види транспорту. Його відмінністю від подібних методів є те, що синтез структури на кожному з рівнів пов'язаний з використанням різних цільових функцій. Сутність методу полягає в розгляді завдання структурної оптимізації параметрів функціонування засобів транспорту в

багаторівневих виробничих системах, так як це витікає з оптимізаційних підзадач місцевого, регіонального й міжрегіонального рівнів. Використання запропонованого методу на практиці дозволяє скоротити витрати на експлуатацію транспорту на місцевому рівні приблизно на 15 – 50%, загальну довжину транспортних шляхів задіяних на регіональному рівні – в 1,5 – 2,1 рази, а час просування вантажопотоків на міжрегіональному рівня знизити на 12 – 20 %.

4. Розроблено метод визначення економічного критерію ефективності функціонування засобів транспорту в виробничих системах, що ґрунтується на показниках декількох видів транспорту та дозволяє врахувати технічні характеристики транспортних засобів і параметри транспортної інфраструктури. Це дозволило отримати формалізований кількісний показник для об'єктивного порівняння ефективності експлуатації засобів транспорту в умовах складних виробничих систем.

5. Запропоновано метод структурної оптимізації міжрегіонального рівня системи вантажопотоків на базі транспортних шляхів, що забезпечують просування вантажопотоків по транспортних коридорах. Його відмінність полягає у тому, що на основі теорії масового обслуговування виконується вибір і оцінка параметрів руху автотранспортних засобів залежно від їх технічних характеристик, завантаження, параметрів траси й маршруту руху з урахуванням можливих затримок на різне обслуговування транспортного засобу. Це дозволяє обґрунтувати технічні характеристики і параметри транспортних засобів, що експлуатуються в умовах різних транспортних коридорів.

6. Розроблено метод моделювання параметрів верхньої будови залізничних колій, який дозволяє підвищити ефективність експлуатації транспорту за рахунок продовження терміну служби елементів залізничної колії і підвищення швидкості руху. Розроблено узагальнена модель системи в сполученій постановці рейкового шляху й пружної основи з навантаженням від коліс рухомого складу, що дозволяє визначати напружено-деформований стан у складових частинах складної системи. Модель може застосовуватися для різних конструкцій рухомого складу, рейкового шляху й різних типів пружної підрейкової основи (яка моделюється вінклеровою

підставою). Запропонована узагальнена модель вінклерової підстави дозволяє ефективно вирішувати наступні практичні завдання: визначення деформації рейки із пружним півпростором, вибрати його властивості жорсткості для збільшення швидкості руху на величину від 2,5 до 6 км/год; зменшення вертикальної динамічної складової сили, що виникає при переході колеса з рейки однієї твердості на рейку з іншою твердістю; продовження терміну служби рейок на величину до 7%.

7. Розроблено математичну модель взаємодії залізниці з морським портом при прямому перевантаженні судна, відмінність якої полягає у врахуванні роботи в умовах логопарку. Вона дозволяє скоротити витрати до 7% на подачу вагонів у порт з різних залізничних станцій у запланований період при врахуванні збільшення експлуатаційних витрат при недопоставці вагонів.

8. На основі аналізу зовнішніх і внутрішніх вантажопотоків України, а також їх джерел і напрямів запропоновано варіанти розвитку транспортних мереж і коридорів, які проходять через Україну. Удосконалена концепція створення та інтеграції мереж прикордонних територій складних виробничих систем, роблячи їх більш інвестиційно привабливими, а використання можливостей міжнародного коридору Європа-Азія та міждержавних транспортно-комунікаційних ланок забезпечить прискорення розвитку відповідної інфраструктури до 15%. Розроблено метод створення логопарку, як основної ланки транспортної обробки міжнародних вантажних потоків. Очікуваний економічний ефект від впровадження в межах ділянки Київ-Катовіце складає 920 тис грн на рік.

9. Розроблено метод, запропоновано технологію і обладнання для динамічного регулювання швидкості автотранспортних засобів, що дозволяє збільшити швидкість просування й більш повно реалізувати їх технічні характеристики. Встановлено, що через існуюче обмеження швидкостей руху автотранспортних засобів більшість їх працюють не в оптимальному режимі, тобто на оборотах не відповідних максимальному крутному моменту та мінімальній витраті палива, що призводить до додаткової витрати палива й надмірним шкідливим викидам в атмосферу. Підвищення швидкості руху на 10%, в залежності

від його розміру, опосередковано дозволить зменшити витрати на експлуатацію на 3,55%.

10. В межах завдання зниження ризиків забруднення навколишнього середовища удосконалено метод оцінки ефективності функціонування трубопровідного транспорту, що на відміну від існуючих, враховує процеси старіння і руйнування елементів з екологічними наслідками. Це дозволило реалізувати новий підхід до оцінки ефективності функціонування відновлюваних систем трубопровідного транспорту. Розроблений метод дозволяє не тільки оцінювати ефективність функціонування відновлюваних трубопровідних мереж з великим числом структурних елементів, а і визначати коефіцієнт їх використання. Очікуваний економічний ефект від впровадження вказаного методу в межах ділянки лінійної частини експлуатації нафтотранспортної системи АТ “Укртранснафта” складає 4,32 млн грн на рік за рахунок більш ефективного розподілу експлуатаційного навантаження на окремі елементи системи.

11. Дістала подальшого розвитку модель стійкості автомобільного транспортного засобу. Її відмінність полягає у визначенні припустимої швидкості транспортного засобу в кривих ділянках шляху в залежності від коефіцієнту зниження швидкості від інтенсивності нарощування поперечної інерційної сили при проходженні кривих. Це дозволило обґрунтувати раціональну швидкість руху для різних типів транспортних засобів, яка, з одного боку обмежується стійкістю транспортного засобу, а з іншого, необхідністю своєчасного транспортного обслуговування.

### Список використаної літератури

1. Tararychkin I., Nechaev G., Slobodyanyuk M. State value of pipeline transport systems if there is injury from external influence. *Transport problems*. – 2012. – Т. 7. – С. 43-52.
2. Slobodyanyuk M., Gorobchenko O. Structural analysis of territorial transport systems based on classification methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. №. 1 (104). P. 23-32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194158>.
3. Mathematical modeling of an induction motor for vehicles. / S. Goolak, M. Slobodyanyuk, O. Gorobchenko, et. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. №. 2 (105). P. 25-34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.199559>.
4. Слободянюк М.Э. Концептуальные основы развития транспортных систем международных перевозок. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. №5(159) Ч.2. 2011. С. 74 - 77.
5. Слободянюк М.Е. Оптимізація витрат на пряме перевантаження судна в залізничні вагони у транспортному коридорі. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №5(176) Ч.2. – С. 203 - 206.
6. Mathematical model of deformation of railway sleeper track structure with the step change of stiffness on the elastic winkler foundation of the constant stiffness / Maxim Slobodyanyuk, Anna Nikitina, Grigory Nechayev, Nataliya Rakovskaya. *Teka commission of motorization and energetic in agriculture*. 2013, vol. 14, №2., p. 152-164.
7. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И., Грибиниченко М.В. Влияние тягово-скоростных характеристик автотранспортных средств на экологию. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. №4 (211) Ч.1. 2014. С. 11 - 16.
8. Slobodyanyuk M., Nechayev G., Kislitsin A. Methodics and algorithms for creation of intermodal logistics park. *Teka: commission of motorization and energetics in agriculture*. 2014. vol.14, No1, p. 248 – 266.
9. Slobodyanyuk M. Tararychkin I., Nechaev G. Structural analysis of an interregional transport network and assessment of capability for its multi-level optimization. *Teka Kom. Mot. i Energ. in Agric*, 2013, Vol. 13, No 4, p. 250 - 257.

10. Tararychkin I., Nechaev G., Slobodyanyuk M. Operation of the road transport network in the presence of various options of freight shipping by automobile transport. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln.* 2013, vol. 13, No3, p. 235-238.

11. Методи і математичні моделі знаходження межі вантажомісткості акумулюючих обладнань з врахуванням економічних критеріїв прогресивності / Г.І. Нечаєв, О.Д. Омельченко, М.Е. Слободянюк, та ін. *Вісник СНУ ім. В. Даля.* №18(207) Ч.2. 2013. С. 130 – 137.

12. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Формирование транспортного коридора на основе объемов перевозок и эксплуатационных затрат. *Вісник СНУ ім. В. Даля.* 2013. №6 Ч. 2. С. 9-17.

13. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э. Определение конкурентоспособности различных маршрутов транспортировки при унимодальных грузовых перевозках. *Вісник ВНУ ім. В. Даля.* 2010. №4(146). Ч.1 С. 18-22.

14. Slobodyanyuk M., Kichkin A., Kichkina E. Information maintenance formalization of material flows in logistic systems. *Teka Kom. Mot. i Energ. Roln.* OL PAN, 2010, 10D, p. 148 -152.

15. Омельченко О.Д., Яновський П.О., Слободянюк М.Е. Принципи економіко-математичного моделювання для кількісних планових розрахунків і якісного аналізу транспортних об'єктів і систем. *Вісник СНУ ім. В. Даля.* 2011. №4(158) Ч.2. С. 229-234.

16. Tararychkin I.A., Nechaev G.I., Slobodyanyuk M.E. Number of loaders optimization serving the warehouse complex of logistic system taking into account their repair. *Economic alternatives, Sofia.* 2011. Issue №1. p. 86 – 92.

17. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э. Структурный анализ систем трубопроводного транспорта. *Трубопроводный транспорт (теория и практика).* 2011. №1(23). С. 36 – 38.

18. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Анализ внешних транспортных потоков Украины. *Вісник СНУ ім. В. Даля.* 2012. №6 (177) Ч. 1. С. 315-319.

19. Слободянюк М.Э., Омельченко А.Д. Оценка уровня динамических нагрузок и эксплуатационной прочности технологических трубопроводов транспортных систем. *Вісник СНУ ім. В. Даля.* 2012. №9(180) Ч.1. С. 254 - 256.

20. Слободянюк М.Э., Радченко Н.А. Проверка параметров железнодорожных подъездных путей для пропуска транспортёров с тяжеловесными и крупногабаритными грузами в транспортных коридорах. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. № 3 (174). Ч. 2. С. 81-87.

21. Слободянюк М.Э., Омельченко А.Д., Кужель Н. В. Оценка эффективности транспортных систем и комплексов на основе критериев прогрессивности. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №12(183) Ч.2. С. 250 - 255.

22. Slobodyanyuk M., Gribinichenko M. Theoretical basis of automobile freight system with changeable trailers. *TeKa Kom. Mot. i Energ. in Agric.* 2012. Vol. 12, Том 3, p. 140 -142.

23. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Оценка времени прохождения грузопотока по транспортной сети. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2013. №9 Ч.1. С. 245-248.

24. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Особенности функционирования автодорожной транспортной сети при наличии альтернативных вариантов доставки грузов. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2013. №5(194) Ч.2. С. 162 - 164.

25. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Методы структурного анализа и синтеза территориальных транспортных систем. М: Горячая линия Телеком, 2016, 202 с.

26. Маликов О.Б. Проектирование автоматизированных складов штучных грузов : Москва : Машиностроение, 1981. 240с.

27. Нечаев Г.И. Основы организации работы и управления транспортно-складскими комплексами : монография. Луганск : ВУГУ, 1998. 226с.

28. Нечаев Г.И. Технология и организация работы транспортно-складских систем : монография. Луганск : ВУГУ, 1999. 230с.

29. Авен О.И., Ловецкий С.Е., Моисеенко Г.Е. Оптимизация транспортных потоков. М.: Наука, 1985. – 168с.

30. Пясецкий С. Организация перевозочного процесса : Москва : Транспорт, 1976. 176с.

31. Резер С.М. Взаимодействие транспортных систем : Москва : Наука, 1985. 246с.

32. Киреев А.П. Международная экономика : учеб. пособие для вузов в 2-х ч. – ч.1. Международная микроэкономика: движение товаров и факторов производства : Москва : Междунар. отношения, 2000. 416с.
33. Портер М. Международная конкуренция : М. Портер. Пер. с англ.; Под ред. и с предисл. В.Д.Щетинина. Москва: Междунар. отношения, 1993. 896с.
34. Рынок и логистика / под ред. М.П. Гордона. Москва : Экономика, 1993. 143с.
35. Сергеев В.И., Кизим А.А., Эльяшевич П.А. Глобальные логистические системы: учеб. пособие / Под общ. ред. В.И. Сергеева. Санкт-Петербург : Издательский дом «Бизнес-пресса», 2001. 240с.
36. Кръстев К. Единая транспортная система НРБ и совершенствование структуры. *Обуч. геогр. (НРБ)*, 1983, №1, с. 4–14.
37. Основы взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта / под редакцией В.В. Повороженко. Москва : Транспорт, 1986. 216с.
38. Стрелков А.Е. Методика технико-экономического обоснования норм обменного парка железнодорожных вагонов в морских портах / В кн.: Совершенствование планирования и управления на морском транспорте. Москва : 1982, с. 110 – 118.
39. Стрелков О.В. Вопросы совершенствования взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в транспортных узлах / В кн.: Региональные экономические проблемы развития транспортной системы Дальнего Востока : Владивосток, 1992, с. 92 – 97.
40. Дегтяренко В.Н. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах : Ростов-на-Дону : ГАСРД, 1996. 60 с.
41. Медведев Е. Повысить эффективность перевозок. *Автомобильный транспорт*, 1983, №8, с.6.
42. Шрамов А.А., Ветухов Е.А. Улучшить работу грузовых станций. *Ж.-д. транспорт*. 1982, №8, с.19-21.
43. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков. – М.: Транспорт, 1979. – 224с.

44. Бакаев А.А., Гриценко В.И., Михалевич В.С. Современное состояние и проблемы автоматизации комплексного управления различными видами транспорта. *Тр. Института Кибернетики АН УССР*, 1982. №66, с.21.

45. Дегтяренко В.Н., Чернобыльский А.Б. Оценка уровня организации производственно-транспортных систем. Транспортное обслуживание и снабжение предприятий. *Сборник статей РИСИ*. Ростов-на-Дону, 1974. №3. с. 11- 15.

46. Методы анализа распределения перевозок между видами транспорта: Экспресс-информация «Организация комплексной работы разных видов транспорта» : Москва : ВИНТИ, 1983, №18, с.13-17.

47. Моисеенко Г.Е. Модель планирования перевозок на уровне транспортного предприятия. – В кн.: Моделирование и оптимизация транспортных систем : Москва : Институт проблем управления, 1981, с.153 – 160.

48. Позамантир Э.И. Оптимальное оперативное планирование потоков продукции и работы транспорта. В кн.: *Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта* : Москва, 1982, с. 225 – 295.

49. Harrington L.H. How to protect your intermodal freight. *Traffic Manag.* 1982, 21, №5, p. 60 – 64.

50. Козлов И.Т.: Пропускная способность транспортных систем : Москва : Транспорт, 1988. 216 с.

51. Акулиничев В.М. Организация перевозок на промышленном транспорте – М.: Высшая школа, 1983. – 247 с.

52. Брагин Б.Ф., Нечаев Г.И.: Проблемы функционирования транспортно-складских комплексов предприятий в условиях неустойчивых производственно-экономических отношений : уч. пос. Луганск : ВУГУ, 1998. 39 с.

53. Правдин Н.В., Негрей В.Я., Подкопаев В.А. Взаимодействие различных видов транспорта / под редакцией Н.В. Правдина. Москва : Транспорт, 1989. 208 с.

54. Гриценко В.И., Панченко А.А., Лана А.И. Проблемно-ориентированное моделирование производственно-транспортных систем : Киев, Наукова думка, 1987. 68 с.

55. Малахова В.И. Планирование экономического и социального развития регионов / под ред. В.И. Малахова, Е.Н. Матвеевой. Москва : Высшая школа, 1987. 335 с.
56. Slobodyanyuk M. Model informational system for fright insurance automation based on digital signature. *International Scientific Journal "Problemy transportu"*. tom 2, zeszyt 4, Gliwice, 2009. P.85-91.
57. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И Аутсорсинг логистики информационных ресурсов, технологий и потоков предприятия. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля №10*, 2005. с.189-194.
58. Nechaev G., Slobodyanyuk M. The informational system model of Ukrainian national transport workflow improvement based on electronic signature introduction. *International Scientific Journal "Problemy transportu"*, tom 2, Gliwice, 2007. P.11-14.
59. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики : Москва : Наука, 1982. 552с.
60. Голицын Г.А. Петров М.В. Информация-поведение-творчество : Москва : Наука, 1991. 224с.
61. Гриценко В.И., Богемский В.А., Панченко А.А. Информационные технологии на транспорте. Промышленный транспорт : Киев : Наукова думка, 1990. 200 с.
62. Гриценко В.И., Панченко А.А., Назаренко Н.А. Имитационные модели в условиях новой информационной технологии управления производственно-транспортными комплексами : Киев : ИК АН УССР, 1986. 46с
63. Шмулевич М.И., Юшкевич Е.П. Информационное взаимодействие железнодорожного транспорта и предприятий : Москва : Транспорт, 1984. 160с.
64. Слободянюк И.Э. Підвищення ефективності вантажоперевезень шляхом удосконалення їх організації та інформаційного забезпечення на промисловому транспорті : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня Кандидата технічних наук : 05.22.12. Луганськ, 2010, 23 с.
65. Nechaev G., Slobodyanyuk M. Tendencies, prospects and problems of transport-logistical processes dataware automation at Ukraine enterprises. *International Scientific Journal "Problemy transportu"*, tom 3, zeszyt 4, Gliwice, 2008. P.27-32.

66. Slobodyanyuk M. Research of freight insurance automation. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля* № 4 (134) (2 частина), 2009. с.169-175

67. Новиков А.И., Андреев В.А., Федотов Ю.Д. Океанотехника прошлого и настоящего : монография. Севастополь, 2007, 256с.

68. Mann Borgese E. The drama of the oceans. Elisabeth Mann Borgese – Herry N. Abrams, Ins. Pablishers, New York, 1975 p. 173.

69. Абаймов Р.В., Малащук П.А., Теория транспортных процессов и систем: учебное пособие, Сыктывкар:СЛИ, 2015. – 64 с.

70. Герами В.Д., колик А.В. Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики: учебник : Москва : Юрайт, 2015. 512 с.

71. Гудков В.А., Миротин Л.Б., Ширяев С.А. Основы логистики : учебник. : Москва : Горячая линия - Телеком, 2013. 386 с.

72. Гуськов А.А., Молодцов В.А., Пеньшин Н.В. Информационные технологии на транспорте : учебное пособие : Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. 96 с.

73. Миротин Л.Б., Омельченко И.Н., Колобов А.А. Инженерная логистика: логистически-ориентированное управление жизненным циклом продукции: учебник : учеб. Москва : Горячая линия – Телеком, 2015. 644 с.

74. Михальченко А.А., Шкурин М.И. Маркетинг на транспорте: учебное пособие. Гомель : БелГУТ, 2014. 263 с.

75. Некрасов А.Г., Миротин Л.Б., Меланич Е.В. Управление цепями поставок в транспортном комплексе: учебное пособие. Москва : Горячая линия – Телеком, 2014. 242 с.

76. Harrington L.H. How to protect your intermodal freight. *Traffic Manag.* 1982, 21, №5, p. 60 – 64.

77. Горев А.Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами : Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2004. 193` с.

78. Ларин О.Н. Методология организации и функционирования транспортных систем регионов : монография / под ред. Л.Б. Миротина. Челябинск : ЮУрГУ, 2007. 205 с.

79. Миротин Л.Б., Балалаев А.С., Гудков В.А. Транспортная логистика : учебник. Москва : Горячая линия – Телеком, 2014. 302с.
80. Усков Н.С. Организация управления территориальными производственно – транспортными комплексами : учебник для вузов. Москва : ГУУ, 1999. 320 с.
81. Черняев А.Г., Жуков В.А. Зубков В.Н. Южный регион: повышение эффективности интермодальных перевозок. *Железнодорожный транспорт*. 2004. №11. С. 30-34.
82. Кизим А.А. Концепция построения региональной транспортно – логистической системы: вопросы теории и практики : Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2004. 658 с.
83. Кондратюк И.А. Интермодальный транспортный коридор «Восток – Запад»: направление стратегии развития / под ред. Л.А. Жигуна. Владивосток : ДВГАЭУ, 2003. 108 с.
84. Кородюк И.С., Прокофьева Т.А., Сергеев В.И. Региональные транспортно – логистические системы: проблемы формирования и развития : Иркутск : БГУЭП, 2003. 328 с.
85. Милославская С.В., Плужников К.И. Мультимодальные и интермодальные перевозки : учеб. пособ. Москва : 2001. 368 с.
86. Миротин Л.Б. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах: учеб. пособие / под ред. Л.Б. Миротина : Москва : Юристъ, 2002.
87. Миротин Л.Б. Транспортная логистика : учебник (2 изд., стереотип) / под ред. Л.Б. Миротина. Москва : «Экзамен», 2005. 512 с.
88. Резер С.М. Управление транспортные комплексом за рубежом : Москва : Наука, 1988. 328 с.
89. Сергеев В.И. Формирование региональной транспортной логистической системы “Северо- Запад : Санкт-Петербург : Терминал, №6, 1997. С.24-26.
90. Ставничий Ю.А. Транспортные системы городов / отв. ред. Ю.А. Ставничий. Москва : Строй - издат, 1990. 224 с.

91. Апатцев В.И., Левин С.Б., Николашин В.М. Логистические транспортно-грузовые системы: учебник для вузов / под ред. В.М. Николашин. Москва : Изд. Центр «Академия», 2003. 304 с.

92. Беспалов Р.С. Транспортная логистика. Новейшие технологии построения эффективной системы доставки : уч. пос. Москва : Вершина, 2007. 384 с.

93. Елисеев С.Ю. Построение и оптимизация функционирования международных транспортно - логистических систем : Москва : ВИНТИ РАН, 2006. 242 с.

94. Ларин О.Н. Разработка моделей и алгоритмов решения функциональных задач управления транспортными системами и производством : дис ... д-ра техн. наук : 05.22.01. Москва : 2004. 378 с.

95. Мамаев Э.А. Управление региональными транспортными системами в условиях изменений: проблемы и модели : Ростов-на-Дону: Рост. Гос ун-та путей сообщ., 2005. 195 с.

96. Петров М.Б. Методология организации региональной транспортной системы/ дисс...д-ра техн. Наук : 05.22.01. Москва : 2004. 322 с.

97. Повороженко В.В., Сологуб Н.К., Тимошин А.А. Основы взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта: учебник для вузов : Москва : Транспорт, 1986. 214 с.

98. Стенбринк П.А. Оптимизация транспортных сетей / под ред. В.Н. Лившица: пер. с англ. Е.М. Васильевой , В.В. Космина. Москва : Транспорт, 1981. 320 с.

99. Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог : Москва : Транспорт, 1983. 207 с.

100. Христюк Н.М., Крамар М.С. Проектирование транспортных систем в районной планировке : Киев : Будивельник, 1983. 73 с.

101. Loeve L., Lindeijer D., Evers J. The service-oriented agile logistic control and engineering system. *SERVICES NHFIL Researh school*, Delft, 1999, 21p.

102. Лазарев Е.Г. Теория транспортных процессов и систем : учебное пособие. Ростов на Дону : РГСУ, 2013. 87 с.

103. Садовский В.Н. Основания общей теории систем : Москва : Науки, 1974. 279 с.
104. Слободянюк М.Э., Ульшин В.А. Пути совершенствования информационных логистических систем организации грузопотоков. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля*. 2009. №4 (134), ч. 2, . с.189-194.
105. Ульшин В.О., Слободянюк М.Э. Дослідження класифікації інформаційних потоків матеріального руху на промисловому транспорті логістичних систем. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля*. 2009. №6 (136), с.290-293.
106. Резер С.М. Комплексное управление перевозочным процессом в транспортных узлах : Москва : Транспорт, 1982. 159 с.
107. Троицкая Н.А. Чубуков М.В., Шилимов М.В. Мультимодальные системы транспортировки и интермодальные технологии : учебное пособие. Москва : Академия, 2009. 336 с.
108. Багинова В.В. Международные транспортные коридоры: региональные проекции. *Мир транспорт*. 2004. (№1). С. 76 - 84.
109. Куренков П.В., Котляренко А.Ф. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Логистика. Управление : Самара : Сам ГАПС, 2002. 636 с.
110. Морозов В.Н. Системная организация мультимодальных коридоров : Москва : Б.И., 2000. 24 с.
111. Золотов Л.Л. Основы теории автотранспортных систем : Санкт-Петербург : СЗТУ, 2008. 75 с.
112. Миротин Л.Б., Гудков В.А., Зырянов В.В. Управление грузовыми потоками в транспортно- логистических системах : под ред. Л.Б. Миротин. Москва : Горячая линия – Телеком, 2010. 704 с.
113. Боровской А.Е., Остапко А.С. Моделирование транспортных процессов : уч. пос. Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 83 с.
114. Елисеев С.Ю. Система логистического управления взаимодействием железных дорог с морскими и речными портами и другими видами транспорта : Москва : ВИНТИ РАН, 2005. 96 с.

115. Зайцев Е.Н. Синтез комплексной системы управления смешанными перевозками : Санкт-Петербург : УГА, 2007. 212 с.
116. Миротин Л.Б. Интегрированная логистика накопительно – распределительных комплексов ( склады, транспортные узлы, терминалы) : учебник для транспортных вузов / под общей редакцией Л.Б. Миротина. Москва : «Экзамен», 2003. 448 с.
117. Прокофьева Т.А., Лопаткин О.М. Разработка логистических транспортно - технологических схем доставки грузов на потребительский рынок Москвы. *Логистика и управление цепями поставок*. 2004, №2-3.
118. Сергеев В. И., Мкртчян Г.Р. Справочник логиста: международная перевозка грузов / под ред. В.И. Сереева Т.2. Москва : МВДНТ «Москва», 2007. 208 с.
119. Шафиркин Б.И. Единая транспортная система СССР и взаимодействия различных видов транспорта : учебник (3-е изд. перераб. и доп.) Москва : Высш. шк., 1983. 191 с.
120. Шеховцов Р.В. Сервисная логистика : Ростов-на-Дону : Изд-во АПСН СКНЦ ВШ, 2003. 204 с.
121. Нечаев Г.И., Гуцало Б.П., Слободянюк М.Э. Использование транспортно-коммуникационной и логистической инфраструктуры юго-востока Украины для повышения эффективности функционирования Еврорегиона «Донбасс». *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2013. №5(194) Ч. 1. С. 11-15.
122. Нечаев Г.И., Гуцало Б.П., Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Открытие и оптимизация работы международного автомобильного пункта пропуска: совместный пограничный украинско-российский эксперимент. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. Луганск, 2013. №5(194) Ч.2. С. 9-14.
123. Нечаев Г.И., Слободянюк М.Е., Лапаева О.М., Гуцало Б.П. Відновлення та розвиток транспортної системи на сході України за рахунок реконструкції залізних пропускних пунктів ( на прикладі Луганської області). *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2013. №9(198) Ч. 2. С.133 -139.

124. Maxim Slobodyanyuk, Elena Lapaeva Development of transit and socio-economical potential of eastern Ukraine on the example of Lugansk region. *TeKa Kom. I Energ. in Agric*, 2012, Vol. 12, Tom 3, Lublin, Poland p. 132-136.

125. Слободянюк М. Э., Лапаева Е.Н. Украинско-российский пограничный эксперимент международного автомобильного пункта пропуска «Дьяково – Куйбышево – 2» : «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» : матеріали ІV міжнар. науково-практ. Конференції м. Євпаторія, 14 – 16 травня, 2013р. Євпаторія, 2013. С. 102 -103.

126. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Луганск – восточные ворота Украины «Стратегия развития городов: молодежь и будущее» : матеріали ІІ Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Харьков, 2013г. С.52.

127. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н., Пудрик Д.В., Грищенко Д.И. Постановка задачи эффективного развития транспортной инфраструктуры примыкающей к транспортному. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №12(183) Ч.2. С. 288 - 295.

128. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Развитие транспортной инфраструктуры приграничья для взаимодействия с транспортными коридорами. *Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте* : сб. материалов ІІ-й Всероссийской (3-й международной ) научно-практ. Конференции г. Владивосток, 24 мая 2013 г. Владивосток, 2013. С.69-71.

129. Maxim Slobodyanyuk, Elena Lapaeva. Ukrainian – Russian border experiment international transport crossing point «Deakovo – Kujbyshevo - 2». *TeKa Kom. Mot. i Energ. in Agric*, 2013, Vol. 13, No 3, p. 209 - 214.

130. Антропов В.А. Территориальные транспортные комплексы: учеб. пособие в 2ч. Ч 2, т.1 : Екатеринбург : УрГУПС, 2010. 232 с.

131. Миротин Л.Б., Некрасов А.Г., Куликова Е.Ю. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы) : учебник для вузов. / под общ. ред. Л.Б. Миротина. Москва : Экзамен, 2003. 445 с.

132. Калашникова Т.М. Территориальная организация хозяйства в современных условиях. / под ред. Т.М. Калашниковой. Москва : МГУ, 1990. 176 с.

133. Петров М.Б. Методология организации региональной транспортной системы: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.т.н. Спец. 05.22.01. Москва, 2004. 47 с.

134. Журавлев Н.П., Маликов О.Б. Транспортно – грузовые системы : Москва : Маршрут, 2006. 368 с.

135. Макеев В.А., Мамаев Э.А., Багинова В.В. Качество транспортного обслуживания региона : Ростов на Дону : РГУПС, 2003. 256 с.

136. Перцик Е.Н. Районная планировка. Территориальное планирование : учебное пособие. Москва : Гардарики, 2006. 398 с.

137. Зотов В.Б. Территориальное управление. Методология, теория, практика : Москва : ИМ – Информ, 1998. 320 с.

138. Кузнецова О.Б. Особенности управления транспортной инфраструктурой Мурманской области на базе интеллектуальных технологий : монография. Мурманск : НОУ ВПО МАЭУ, 2014. 225 с.

139. Курбатова А.В. Транспортный комплекс России: перспективы развития : Екатеринбург : УрО РАН, 2000. 217 с.

140. Циганов В.В., Гурков Р.М. Управление региональной транспортной системой. Ленинград : ЛФЭИ, 1990. 117 с.

141. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Структурный анализ систем трубопроводного транспорта. *Трубопроводный транспорт ( теория и практика)*. Москва. 2011. №1(23). С. 36 – 38.

142. Айвзян С.А., Бухштабер [и др.] Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности, под ред. С.А. Айвзян : Москва : Финансы и статистика, 1989. 607 с.

143. Мишина А.М., Орлов В.Б. Толковый математический словарь. Основные термины : Москва : Русский язык, 1989. 244 с.

144. Мантуров О.В., Солнцев Ю.К. Толковый словарь математических терминов : Москва : Просвещение, 1965. 540 с.

145. Куликов Ю.А. Методология творчества, исследований и испытаний при создании и эксплуатации автомобилей : Луганск: Элтон -2, 2011. 308 с.

146. Курбатова А.В., Кузнецова Е.Ю. Прогнозирование транспортных систем: идеология, инструментарий, расчеты / науч. ред. О.Н. Дунаев. Екатеринбург : УГТУ, 2000. 186 с.

147. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. Официальное издание : Москва : ФГУП Стандартиформ, 2006. 7 с.

148. СНиП 2.05.02.-08. Автомобильные дороги : Москва : ОАО ЦНС, 2008. 87 с.

149. Оценка эффективности инвестиций в проекты транспортного строительства / В.Я. Ткаченко. Новосибирск : Наука, 2004. 334 с.

150. Гриценко С.И. Стратегия развития транспортно-логистических кластеров в Украине : автореф. дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.05. Санкт-Петербург, 2009. 41 с.

151. Корнев В.С., Орлов С.В. Транспортный кластер как вариант развития транспортного комплекса. *Вестник БФУ им. И. Канта*. Калининград, 2012, №1 С. 144 - 149.

152. Морозов В.Н. Кластерная организация международных транспортных коридоров на основе логистических центров : Москва : ВИНТИ РАН, 2009. 450 с.

153. Хаирова С.М., Боуш Г.Д. Формирование кластеров транспортной отрасли в условиях глобальной экономики. *Вестник СибАДИ*. 2014 №1 (35). С.162-168.

154. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Сетевая структура межрегиональных транспортных систем. *Ж. Мир транспорта*. Москва. 2014. №1(50), МИИТ, С.102-111.

155. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем : Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2010. 214 с.

156. Носов А.Л. Региональная логистика : Москва : Альфа-Пресс, 2007. 168 с.

157. Раднаев Б.Л. Мобильность транспортной системы региона : Новосибирск : Наука, 1991. 136 с.

158. Бандман М. К. Проблемные региона ресурсного типа: программы, проекты и транспортные коридоры. / Под ред. М.К. Бандман, В.Ю. Малова : Новосибирск : ИЭиОПП СО РАН, 2000. 264 с.

159. Маликов О.Б. Склады и грузовые терминалы : Санкт-Петербург : Бизнес – Пресса, 2005. 647 с.

160. Петров М.Б. Региональная транспортная система: концепция исследования и модели организации : Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, УРГУПС, 2003. 187 с.

161. Grigoriy Nechaev, Maxim Slobodyanyuk.: Development of transport infrastructure in Eastern Ukraine and its interaction with the international transport corridors. *TeKa Kom. Mot. I Energ. Roln.* OL PAN, 2011, p.95 – 101.

162. Белятынский А.А., Василенко Л.В., Романюха А.И. Проектирование автомобильных дорог с учетом экономии энергоресурсов : уч. пос. Киев : Будивельник, 1990. 104 с.

163. Технические условия погрузки и крепления грузов. Москва. Из-во Транспорт, 1988. 408 с.

164. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Оценка времени прохождения грузопотока по транспортной сети. *Вестник СНУ ім. В.Даля №9 ч.1*, 2013. С. 245-248.

165. Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Корешков А.Н. Математические методы в эксплуатации железных дорог : Москва : Транспорт, 1981. 224 с.

166. Матюнин И.Е., Катькало Ю.А. Применения математических методов на промышленном транспорте : Минск : 1979. 152 с.

167. Таха Х. Введение в исследование операций. Т2. : Москва : Мир, 1985. 496 с.

168. Кофман А., Крююн Р. Массовое обслуживание. Теория и приложения : Москва : Мир, 1965. 302 с.

169. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. *Гос. Издательство физ-мат. литературы*, 1963.

170. Нечаев Г.И., Гаркуша О.М. Організаційно – економічний механізм розвитку морського транспорту. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. Луганск, №5 (159). Ч.2. 2011. С. 65-69.

171. Нечаев Г.И., Бабушкин Г.Ф. Управление грузовой и коммерческой работой и грузозаведение : монография. Луганск : СНУ им. В.Даля, 2002. 568 с.

172. Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок : Монография. Одеса : из-во Астропринт, 2006. 369 с.
173. Буркинский Б., Котлубай А. Украина в ВТО: проблемы и перспективы развития отечественного судоходства. «Судоходство», «Порты Украины», «Транспорт». 2009г. С. 41-45.
174. Grigoriy Nechaev, Sergey Izotov, Igor Kaaver. Information system of spatial contrast sensitivity diagnostics in ophthalmology. *Teka: commission of motorization and power industry in agriculture Volume XV*. Lublin. 2010. P. 207-213.
175. Нечаев Г.И., Изотов С.В., Кавер И.К., Слободянюк М.Э. Потенциал транспортных коридоров Украины. Проблемы и пути его реализации. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. Луганск, 2011 №5 Ч.1 (159), С.9-14.
176. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Анализ внешних транспортных потоков Украины. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №6(177) Ч. 1. С. 315 -319.
177. Слободянюк М.Э., Лапаева Е.Н. Состояние и экономические предпосылки развития транспортной системы востока Украины. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2012. №4 (158) Ч. 2. С. 229 -234.
178. Пристрій для визначення максимально дозволеної швидкості автомобіля: патент України № 91540 МПК (2014) G08G 1/065; опубліковано 10.07.2014 Бюл. № 13.
179. Нечаев Г.И., Струк В.А., Гуцало Б.П., Слободянюк М.Э. Формирование и развитие транспортно-коммуникационной и логистической инфраструктуры востока Украины в условиях глобализации: монография. Луганск : изд-во ВНУ им. В. Даля, 2011. 288 с.
180. Слободянюк М.Э., Изотов С.В., Гуцало Б.П. Концептуальные основы создания транспортно – логистической системы украинского приграничья. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2011. №4(158) Ч. 2. С. 206 - 214.
181. Maxim Slobodyanyuk, Anna Nikitina, Grigory Nechayev, Nataliya Rakovskaya: Mathematical model of deformation of railway sleeper track structure with the step change of stiffness on the elastic winkler foundation of the constant stiffness. *Teka commission of motorization and energetic in agriculture*, 2014, vol. 14, №2. Lublin – Rzeszow, p. 152-164.

182. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Формирование транспортных систем местного уровня на базе производственных кластеров. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2013. №6(195) Ч.2. С. 31 - 35.

183. Работнев В. Интервью заместителя министра транспорта и связи Украины [электронный ресурс.]. Режим доступа : <http://tbu.com.ua>.

184. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Концептуальная модель информационной системы организации грузоперевозок аукционным способом в торговых, транспортных информационных системах, фрахтовых биржах Официальный каталог «ТРАНСУКРАИНА 2006» 7 издание серии СПРАВОЧНИКОВ «ТРАНСПОРТ», 2006. с.129

185. Нечаев Г.И., Гуцало Б.П., Слободянюк М.Э. Развитие транспортной инфраструктуры приграничных территорий Украины. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2010. №5(147) Ч.2. С. 180 – 189.

186. Примачев Н.Т., Примачев А.Н. Принципы интеграции в торговом судоходстве : Одесса: «Феникс», Москва : «ТрансЛит», 2006. 359 с.

187. Даніленко Е.І. Розрахунок залізничної колії на міцність і стійкість : навч. пос. Київ : КІЗТ, 2000. 163 с.

188. Нечаев Г.И., Никитина А.Г. Анализ особенностей сроков службы верхнего строения железнодорожных путей химических и цементных предприятий. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. 2012. №6 (177) Ч.2.- С. 278-281.

189. Нечаев Г.И., Никитина А.Г. Определение износа рельсов на подъездных путях промышленных предприятий. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. 2012. №5 (176) Ч.2. С. 210-213.

190. Альбрехта В.Г. Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути : под ред. В.Г. Альбрехта, А.Ф. Золотарева : Москва : Транспорт, 1975.- 219 с.

191. Гусев Ю.М. Определение осадки сооружений при неравномерной нагрузке : Киев : Высшая школа, 1976. 106 с.

192. Инютин И.О., Сергеев Н.Д., Смирнов М.П., Яковлев В.Ф. Метод расчета подголовочных напряжений рельсах. *Труды ВНИИЖТ*. Москва, 1961. №17 С. 99-120.

193. Крапивный В.А., Бокач Г.В., Воронин В.В. Усиление и реконструкция земляного полотна. *Железнодорожный транспорт*. 2003. №4. С. 43-49.

194. Раковская Н.Х., Раковский Х.В. Контактное взаимодействие «колесо-рельс» безбалансирных многоосных тяжелых агрегатов : монография. Харьков : ХУВС, 2006. 328 с.

195. Флетчер К. Числовые методы на основе метода Галеркина : Москва : Мир, 1988. С.19-46.

196. Пинегин С.В. Теория качения в машинах и приборах : Москва : Машиностроение, 1976. 264 с.

197. Бенерджи П. Метод граничных элементов в прикладных науках : навч пос. перев. з англ. Москва : Мир, 1984. 494 с.

198. Ковальский Б.С., Башмакова Н.Х., Прокопов В.А. О конструкции ленточных фундаментов путей подвижных агрегатов : Харьков : деп. в/ч 11520 Министерства обороны СССР, 1991. № 5381. – 16 с.

199. Корочинский М.В. Распределение напряжений в окрестности локального контакта упругих тел при одновременном действии нормальных и касательных усилий в контакте : Москва : Машиностроение, 1967. №6. С.85-95.

200. Кривенюк В.В. Прогнозирование ползучести и длительной прочности металлических материалов на срок службы до 30000 ч. и более. *Проблемы прочности. ИПП НАН Украины*. 2003. №6. С.104-121.

201. Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальный метод исследования деформаций элементов механических систем. *Вестник ХГПУ*. 1999. Вып. 53. С. 148-155.

202. Хохлов А.А., Тимков С.И., Зотов Д.В. Анализ проблемы взаимодействия колеса с рельсом. *Железнодорожный транспорт*. 2005. №3. С. 24-29.

203. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Москва : Техничко-теоретическая литература, 1953. 675 с.

204. Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку : Київ : НІСД, 2011.

205. European Environment Agency Report No 3/2006.

206. Совместное исследование о развитие Евро – Азиатских транспортных связей. Организация объединенных наций - Нью-Йорк и Женева, 2008. [www.unece.org/trans/main/eatl/in\\_house\\_study\\_russe.pdf](http://www.unece.org/trans/main/eatl/in_house_study_russe.pdf)

207. Морозов В.Н. Методология организации функционирования Международных транспортних коридоров на основе кластерного подхода с применением мультимодальных логистических центров : Москва : – 2010.

208. Нечаев Г.И., Смирный М.Ф., Никишкин Ю.А., Гуцало Б.П., Савельева М.А. Кислицин А.Г. Региональная логистика: методологические основы формирования еврорегиона (на примере Луганской области) : монография. Луганск : изд-во ВУГУ им. В.Даля, 2010. 200 с.

209. Социально – экономическое положение Луганской области <http://www.Lugastat.lg.ua>.

210. Нечаев Г.И., Гуцало Б.П., Шмальц А.И., Слободянюк М.Э. Теоретические основы развития территориально-экономического и транзитного потенциала транспортной системы Юго-Востока Украины и города Свердловска : монография. Луганск : Из-во Восточноукраинского Национального Университета, 2012. 314 с.

211. Tararychkin I., Nechaev G., Slobodyanyuk. Operation of the road transport network in the presence of various options of freight shipping by automobile transport. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln.* 2013, vol. 13, No3, p. 235-238.

212. Maxim Slobodyanyuk, Grigory Nechayev, Alexandr Kislitsin. Methodics and algorithms for creation of intermodal logistics park. *Teka: commission of motorization and energetics in agriculture.* 2014, vol.14, No1, p. 248 – 266.

213. Nechaev G., Slobodyanyuk. Strategicheskoe upravlenie vzaimootnosheniyami kompaniy s klientami v transportnih logisticheskikh sistemah. *Visnik of the East-Ukrainian national university.* 2005. №2 (84) part 1. P. 150-154.

214. Нечаев Г.И., Слободянюк М.Э. Стратегическое управление взаимоотношениями компаний с клиентами в транспортных логистических системах. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля.* 2005. №2 (84) (1 частина), с.150-154.

215. Nechaev G., Izotov S., Kaver I.: Transport potential of Ukraine. Post– crisis strategy. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln.* OL PAN, 2010, 10D, p. 207 – 213.

216. Омельченко А.Д., Кужель Н.В., Слободянюк М.Э. Совершенствование процессов транспортирования и определение эксплуатационных характеристик транспортных систем и комплексов. *Вестник ВНУ им. В. Даля.* 2012. №6(177) Ч.2 с. 197-201.

217. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э. Определение конкурентоспособности различных маршрутов транспортировка при унимодальных грузовых перевозках. *Вестник ВНУ им. В. Даля.* 2010. №4(146) Ч.1 с. 18-22.

218. Slobodyanyuk M., Nechaev G. The evaluation technique of logistics' system cargo transportation efficiency development. *Teka: commission of motorization and power industry in agriculture Volume XV*, Lublin, 2010. P.162-170.

219. Нечаев Г.И., Гуцало Б.П., Слободянюк М.Э. Задачи развития транспортной инфраструктуры Востока Украины. *Вестник ВНУ им. В. Даля.* 2012. №6(177) Ч.1 С.9-12.

220. Непомнящий Е.Г. Инвестиционное проектирование : учебное пособия. Таганрог : Изд-во Таганрогского государственного радиотехнического университета, 2003. 262 с.

221. Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И., Грибиниченко М.В. Влияние тягово - скоростных характеристик автотранспортных средств на экологию. *Вісник СНУ ім. В. Даля.* 2014. №4 (211), Ч.1, С. 11-16.

222. Пристрій для визначення максимально дозволеної швидкості автомобіля: пат. 91540 Україна. МПК (2014) G08G 1/065; опубл. 10.07.2014; Бюл.№13.

223. Тарарычкин И.А., Слободянюк М.Э. Оценка эффективности функционирования восстанавливаемых систем трубопроводного транспорта. *Трубопроводного транспорта (теория и практика) Издательство ОАО ВНИИСТ,* Москва, №1 (29), 2012, С. 24-27.

224. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины : Москва : Машиностроение, 1983. 487 с.

225. Основы надежности машин: учебное пособие для вузов / И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, Е.А. Пучин, Г.И. Бондарева. Москва : Изд-во Москва, 2007. 224 с

226. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. Учебник: Москва : Изд-во РУДН, 1995. 529 с.

227. Maxim Slobodyanyuk, Igor Tararychkin, Gregory Nechaev. Structural analysis of an interregional transport network and assessment of capability for its multi-level optimization. *Teka Kom. Mot. i Energ. in Agric*, 2013, Vol. 13, No 4, p. 250 - 257.

228. Tararychkin I.A., Nechaev G.I., Slobodyanyuk M.E. State value of pipeline transport systems if there is injury from external influence. *Transport Problems 2011*. III international conference, p. 450 – 459.

229. Нечаев Г.И., Карский В.О., Слободянюк М.Э., Карский О.В. Экспериментально-теоретические исследования применения кавитационного насоса-теплогенератора при очистке сточных вод и нефтесмесей в транспортных системах. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2014 №4(211) Ч. 2. С. 32 – 45.

230. Ветошкин А.Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы) : уч. пос. Пенза : ПТИ, 2004. 249 с.

231. Курочкин А.К. Экспериментальные исследования кавитации в роторных гидродинамических излучателях. *Акуст. журн*. 1987. Т. 33. № 4. С. 707 – 711

232. Патент США №5188090, 1993.

233. Способ получения энергии: пат. РФ №2054604, МПК F24 J3/00; Приор. от 02.07.93.

234. Рождественский В.В. Кавитация : Луганск : Судостроение, 1977. 248с

235. Сиротюк М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации. Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д. Розенберга. Москва : Наука, 1968. Ч. 5. С. 168-220.

236. Промтов М.А., Червяков В.М., Воробьев Ю.В., Щитиков Е.С. Исследование кавитации в роторно-экстракционном аппарате. *Науч. техн. и информ. сб. ст. ВНИИСЭНТИ*. Москва, 1991, №3. С. 43-47.

237. Кавітаційний насос-теплогенератор: пат. 43571 Україна, МПК В66С 3/00; заявл. 10.03.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл.№16.

238. Имянитов Н.С. Системы из нескольких катализаторов в металлокомплексном катализе. *Координационная химия*. 1984. Т.10. №11. С.1443-1454.

239. Карский В.О., Слободянюк М.Э. Использование кавитационного теплогенератора для очистки нефтешламов и сточных вод. *Проблеми розвитку*

*транспортних систем і логістики* : матеріали V міжнародної науково-практ. конференції, м. Луганськ, 3-8 травня, 2014. С. 113.

240. Зайцев И.Д., Асеев Г.Г. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ : Москва : Химия, 1988. 416 с.

241. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : уч. для машиностроительных вузов. Москва Машиностроение, 1982. 423 с.

242. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя: Пер. с нем. : Москва : Наука, 1974. 711 с.

243. Лукьянов Г.А., Симакова О.И., Быков Н.Ю. Прямое статистическое моделирование процессов образования и роста кластеров при расширении пара от внезапно включенного сферического источника. *Журнал технической физики*. 2008, том. 78, № 1. С. 27-33.

244. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. : Москва : Химия, 1989. 512 с

245. Веницианов Е.В. , Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред : уч. пос. Москва : Наука, 1983. 216 с.

246. Штагер В.П. Результаты использования новых технологий по подготовке топлива и его сжиганию на асфальтовом заводе. *Вестник энергосбережения*. 1998. №3(4). С.8.

247. Алексеев В.И., Винокурова Е.А., Пугачев Е.А. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий: учеб. пособие. Москва: Изд-во «АСВ», 2003. – 176 с.

248. ДСТУ 4058-2001. Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови. [Чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ : УкрНДІНП «МАСМА», 2015. 29 с.

249. ДСТУ 4063-2001. Бензини автомобільні. Технічні умови. [Чинний від 2002-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДІНП «МАСМА», 2002. 23 с.

## Додаток А

### Особливості використання розробленого методу формування виробничих кластерів.

Якщо до складу, показаного на рис. 3.11 кластера додати елемент  $M_5$ , розташований поблизу точки  $M_1$  і технологічно зв'язаний тільки із цією точкою (рис. А.1), то вантажні перевезення між цими елементами через вузол  $M_0$  виконувати недоцільно через надмірно зростаючу довжину транспортного шляху.

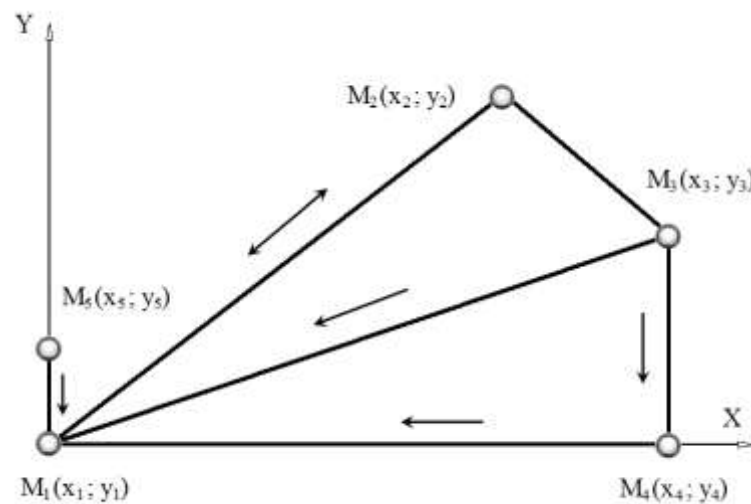


Рисунок А.1 – Схема кластера, що полягає з п'яти точкових елементів

Такого роду структурні елементи – супутники, слід виключити з розгляду до початку процедури пошуку положення точки  $M_0$ . Пізніше, на етапі формування кластера, супутники слід включити до його складу, незважаючи на відсутність транспортних шляхів, що зв'язують супутники з вузлом  $M_0$ . Інакше кажучи, незважаючи на наявність у межах кластера транспортного вузла  $M_0$ , супутники слід з'єднувати тільки з тими елементами, з якими вони мають стійкі технологічні зв'язки.

Таким чином, надалі під супутником слід розуміти такий елемент кластера, який при його функціонуванні зв'язаний винятково із прилеглим точковим об'єктом

при доставці вантажів на порівняно невеликі відстані (звичайно не більш 10... 20 км).

Якщо супутників мало, то при визначенні положення  $M_0$  їх наявність також не враховується, а після знаходження координат  $M_0$ , відповідно до викладеного методу, зв'язок супутників з відповідними структурними елементами відновлюється.

Так, на рис. А.2 показана схема кластера, у складі якого є три сукупності точкових об'єктів, які слід оцінювати як окремі групи супутників.

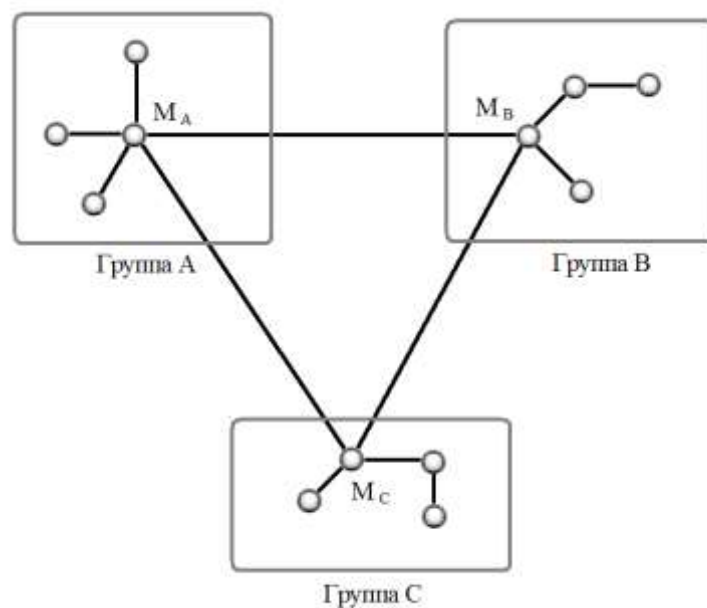


Рисунок А.2 – Схема виробничого кластера із трьома групами елементів – супутників

Визначення положення транспортного вузла  $M_0$  у цьому випадку слід виконувати, виключивши на першому етапі з розгляду елементи – супутники, так, як це показано на рис. А.3.

Після того як положення транспортного вузла  $M_0$  буде встановлено, остаточна структура кластера, що включає серед інших і елементи - супутники буде мати вигляд, показаний на рис. А.4.

Розглянемо процедуру формування такого роду кластерів на конкретному прикладі. Припустимо формування структури буде відбуватися на основі сукупності

з десяти взаємозалежних елементів  $M_1, \dots, M_{10}$ , показаних на рис. А.5. Координати цих елементів на площині наведені в табл. А.1.

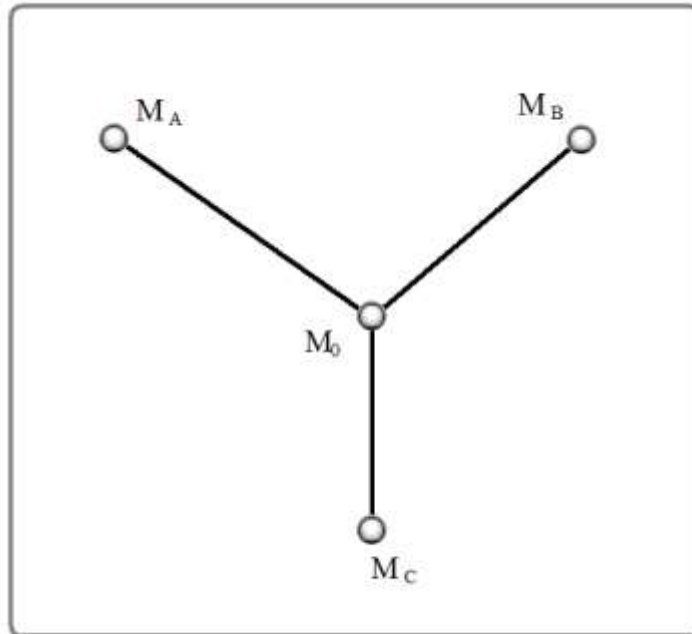


Рисунок А.3 – Схема визначення положення вузла  $M_0$  без урахування наявних елементів – супутників

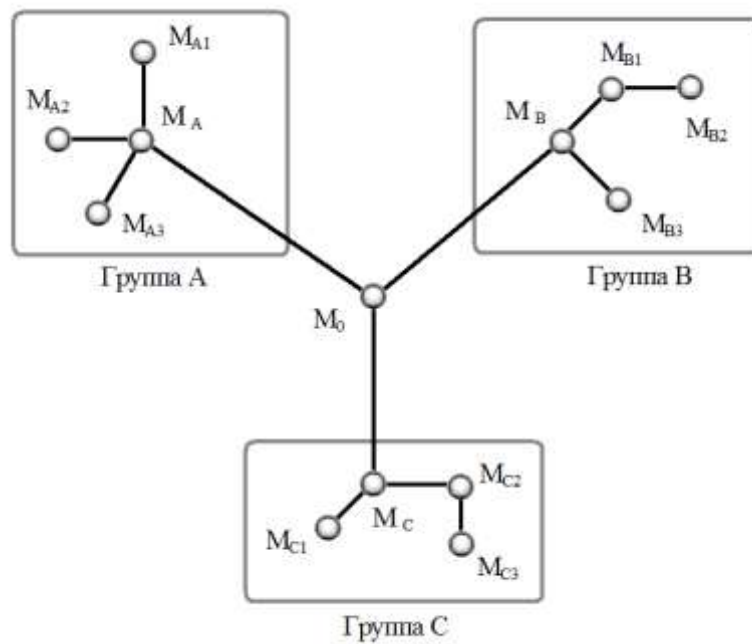


Рисунок А.4 – Схема виробничого кластера із транспортним вузлом  $M_0$  і трьома групами елементів – супутників

Таблиця А.1 – Координати окремих структурних елементів кластера

Координати точок $M_i(x_i; y_i)$	Значення індексу $i$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_i$ , км	13	21	80	17	24	18	0,5	0	86	95
$y_i$ , км	4	53	6	58	58	48	7	0	13	5

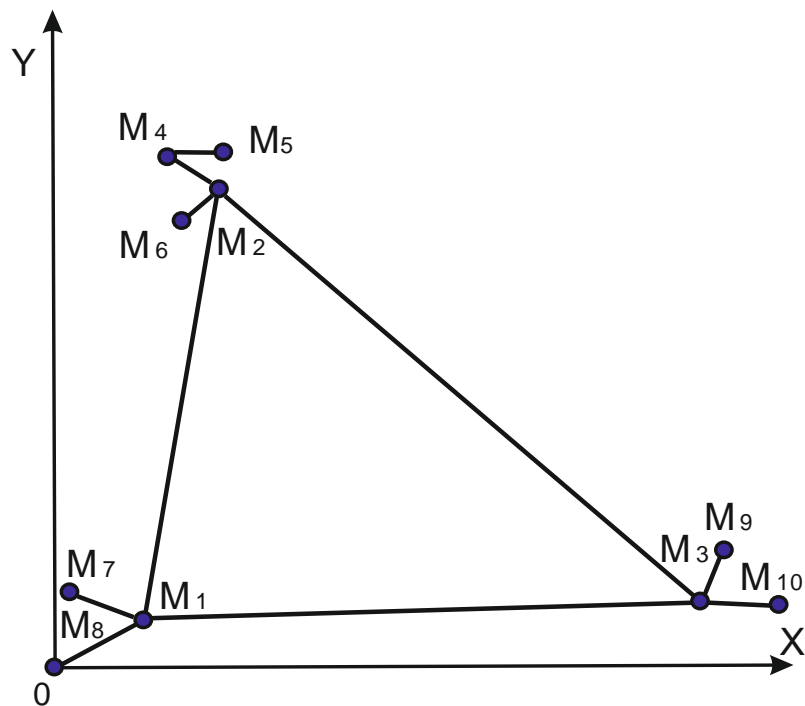


Рисунок А.5 – Схема взаємного розташування точкових елементів виробничого кластера

Слід також зазначити, що при нумерації елементів  $M_i$  значення індексів привласнюються послідовно тільки тим точкам, які будуть брати участь у формуванні транспортної мережі на першому етапі. У цьому випадку це елементи  $M_1$ ,  $M_2$  і  $M_3$ . Інші точки розглядаються як елементи - супутники й надалі індексуються довільно, оскільки особистої участі в процедурі визначення положення транспортного вузла не приймають.

Дані, що характеризують вантажоперевезення в межах розглянутого кластера наведені в табл. А.2.

Лістинг розробленої розрахункової програми для визначення положення транспортного вузла  $M_0$  наведений на рис. А.6.

Таблиця А.2 – Характеристики вантажопотоків між окремими елементами кластера  $q_{i,j}$  тис. т км / діб

Значення індексів і та j		Індекс і									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Індекс j	1	0	0	1,16	0	0	0	0	0	0	0
	2	0,52	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0	0
	6	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0

Таким чином, за результатами виконаних розрахунків можна укласти, що для прийнятої системи вихідних даних оптимальним є положення точки  $M_0$  на площині, яке характеризується наступними координатами:

$$\begin{cases} x_0^* = 36 \text{ км} \\ y_0^* = 24 \text{ км} \end{cases}$$

Схематичне зображення синтезованої структури кластера в складі десяти точкових елементів  $M_1, \dots, M_{10}$ , транспортного вузла  $M_0$  і відповідних транспортних шляхів (лінійних елементів) показано на рис. А.7.



### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

Исходные данные для расчетов:

Количество точечных элементов кластера:  $n := 3$

Координаты точечных элементов кластера:

$x_1 := 13$        $x_2 := 21$        $x_3 := 80$

$y_1 := 4$        $y_2 := 53$        $y_3 := 6$

Элементы матрицы связей:

$m_{1,1} := 0$        $m_{1,2} := 0$        $m_{1,3} := 1$

$m_{2,1} := 1$        $m_{2,2} := 0$        $m_{2,3} := 1$

$m_{3,1} := 0$        $m_{3,2} := 1$        $m_{3,3} := 0$

Элементы матрицы грузопотоков:

$q_{1,1} := 0$        $q_{1,2} := 0$        $q_{1,3} := 1.16$

$q_{2,1} := 0.52$        $q_{2,2} := 0$        $q_{2,3} := 2.2$

$q_{3,1} := 0$        $q_{3,2} := 0.86$        $q_{3,3} := 0$

Расчетная часть программы:

$$l(i, xx, yy) := \left[ \sqrt{(x_i - xx)^2 + (y_i - yy)^2} \right] \quad ll(i, j, xx, yy) := l(i, xx, yy) + l(j, xx, yy)$$

$$LS(xx, yy) := \sum_{i=1}^n l(i, xx, yy) \quad IZ(xx, yy) := LS(xx, yy) \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (m_{i,j} \cdot q_{i,j} \cdot ll(i, j, xx, yy))$$

$$xx := 1 \quad yy := 1$$

Given

$$\frac{d}{dxx} IZ(xx, yy) = 0 \quad \frac{d}{dyy} IZ(xx, yy) = 0 \quad zz := (\text{Find}(xx, yy)) \quad zz = \begin{pmatrix} 36.141 \\ 23.938 \end{pmatrix}$$

Результаты расчетов:

Координаты транспортного узла :  $zz_{0,0} = 36.141$        $zz_{1,0} = 23.938$

Расчетное значение целевой функции:  $IZ(zz_{0,0}, zz_{1,0}) = 4.08 \times 10^4$

Рисунок А.6 – Лістинг програми розрахунків координат транспортного вузла кластера

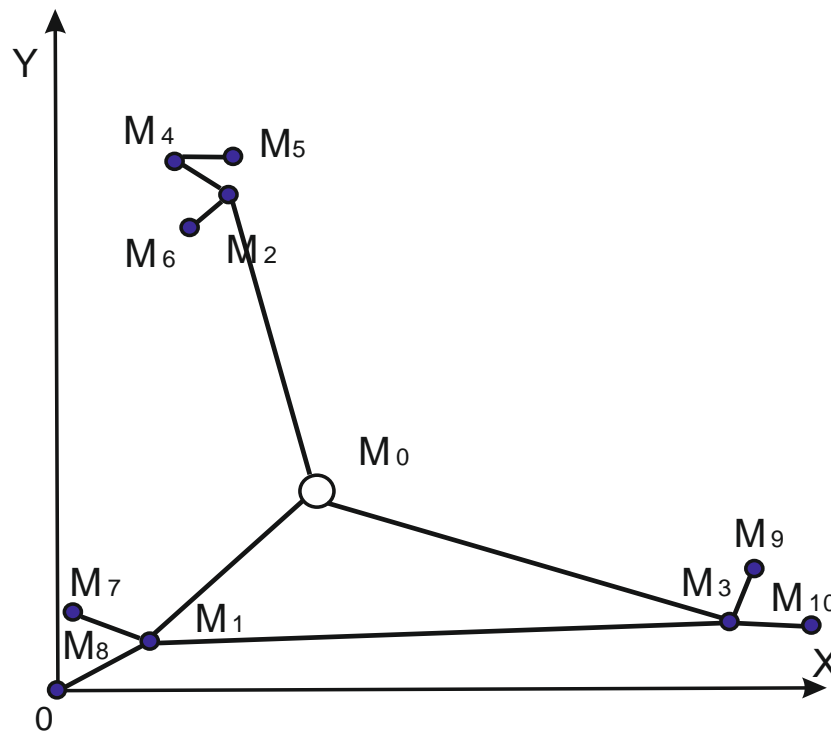


Рисунок А.7 – Структура кластера із транспортним вузлом  $M_0$  і трьома групами елементів – супутників

Відзначимо, що визначення положення транспортного вузла в границях аналізованого кластера необхідно не тільки для формування його власної структури на місцевому рівні. Раніше, у п. 3.1.2 відзначалося, що саме регіональний рівень виробничої системи забезпечує зв'язок між прилеглими кластерами. Очевидно, що формування транспортної мережі, що забезпечує зв'язок окремих кластерів між собою доцільно здійснювати саме через транспортні вузли, положення яких повинно бути встановлене заздалегідь, наприклад з використанням розробленого вище методу.

Таким чином, транспортний вузол окремого кластера може одночасно виконувати роль як його структурної складової, так і елемента, що належить регіональному рівню виробничої системи, якщо прийняття такого рішення виявляється доцільним.

Однак тут існує особливість, пов'язана з тим, що якщо транспортний вузол кластера є одночасно й структурним елементом регіонального рівня, то він може виконувати функцію постачальника або споживача вантажних потоків. Якщо це дійсно так, то облік додаткових вантажопотоків пов'язаних з функціонуванням регіонального рівня системи може бути пов'язаний з необхідністю наступного уточнення положення цього вузла, для чого повинна бути розроблено відповідний метод.

Розглянемо зазначену особливість докладніше. Припустимо, аналізований кластер пов'язаний з іншими таким чином, що вантажні потоки через транспортний вузол невеликі, і їх можна не враховувати в розрахунках, або ж ці потоки не можна розглядати як стійко існуючі протягом тривалого періоду часу при доставці вантажів окремим споживачам у складі кластера.

Якщо зазначена умова виконується, то такий транспортний вузол вважається пасивним, а його положення в межах кластера визначається на основі розробленого методу з використанням комп'ютерної програми, лістинг якої показаний на рис. 3.12.

Якщо ж транспортний вузол функціонує таким чином, що протягом тривалого періоду часу через нього здійснюється доставка вантажів ззовні на адресу конкретних точкових елементів кластера й зневажити такого роду вантажоперевезеннями неможливо або недоцільно, то надалі такий вузол називається активним.

У тому випадку, якщо через активний вузол  $M_0$  на постійній основі здійснюється доставка вантажів  $i$ -му елементу кластера  $M_i$  ( $i \neq 0$ ), то характеристикою активного вузла, як самостійного джерела вантажопотоків на адресу елемента  $M_i$  буде величина  $q_{0,i}$ . І навпаки, якщо елемент  $M_j$  ( $j \neq 0$ ) здійснює відправлення вантажів на постійній основі через вузол  $M_0$  на адресу інших кластерів, то активність такого вузла як споживача транспортних потоків з боку  $M_j$  буде характеризуватися величиною  $q_{j,0}$ . Усе це означає, що коректування положення транспортного вузла може знадобитися тільки в тих випадках, коли вузол є активним. При цьому всі його характеристики активності  $q_{0,i}$  і  $q_{j,0}$  повинні бути відомі.

Розглянемо активний транспортний вузол  $M_0$ , що з'єднує  $n$  елементів кластера. На відміну від пасивного вузла його функціонування пов'язане з наявністю вихідних і вхідних потоків, що характеризуються набором значень  $q_{0,i}$  і  $q_{i,0}$  ( $i=1,2, \dots, n$ ), частина з яких може бути рівною нулю. Додаткова транспортна робота, яка виконується в межах аналізованого кластера й пов'язана з активністю транспортного вузла  $M_0$  визначається так:

$$Q_D = \sum_{i=1}^n (q_{0,i} + q_{i,0}) \cdot l_{i,0}. \quad (\text{A.1})$$

Тоді за аналогією з розглянутим раніше випадком цільова функція при заданому положенні активного вузла  $M_0(x_0; y_0)$  визначається так:

$$I_Z(x_0; y_0) = \left\{ \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \right\} \times \\ \times \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{i,j} \cdot m_{i,j} \cdot [\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} + \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2}] + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n (q_{0,i} + q_{i,0}) \cdot \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \right\} \quad (\text{A.2})$$

Положення транспортного вузла на площині визначається з умови:

$$I_Z(x_0; y_0) \rightarrow \min. \quad (\text{A.3})$$

Для цього потрібно вирішити систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial I_Z(x_0, y_0)}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (\text{A.4})$$

Рішенням системи (A.4) будуть значення:

$$\begin{cases} x_0 = x_0^* \\ y_0 = y_0^* \end{cases} \quad (\text{A.5})$$

Саме ці координати й визначають положення на площині активного транспортного вузла  $M_0(x_0^*; y_0^*)$ .

Для ілюстрації можливостей розробленого методу визначення координат активного транспортного вузла, розглянемо приклад формування кластера на основі даних представлених на рис. А.8.

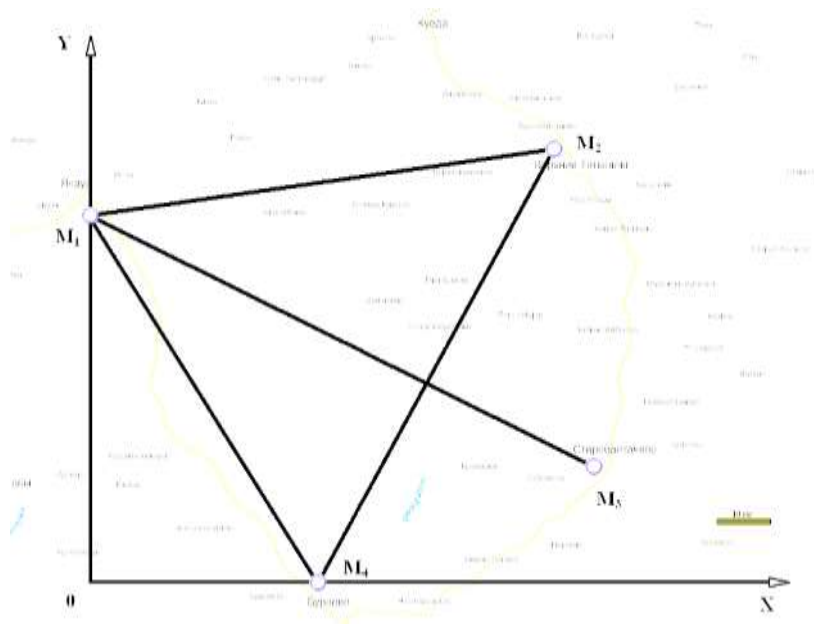


Рисунок А.8 – Схема взаємного розташування структурних елементів кластера

Координати елементів, які входять до складу розглянутого кластера наведені в табл. А.3.

Таблиця А.3 – Координати окремих структурних елементів кластера

Координати точок $M_i(x_i; y_i)$	Значення індексу $i$			
	1	2	3	4
$x_i$ , км	0	81,1	88,4	40,2

$u_i$ , км	64,3	77,1	20,1	0
------------	------	------	------	---

Матриця вантажопотоків з елементами  $q_{i,j}$  тис. т / діб має вигляд:

$$\|Q\| = \begin{vmatrix} 0 & 2,2 & 0 & 1,66 \\ 0,65 & 0 & 0 & 0,82 \\ 1,16 & 0 & 0 & 1,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (\text{A.6})$$

Якщо транспортний вузол є пасивним, то для визначення його положення необхідно використовувати раніше розроблену методику й розрахункову програму, лістинг якої для прийнятої системи вихідних даних показаний на рис. А.9.

Координати транспортного вузла встановлені за результатами розрахунків:

$$\begin{cases} x_0 = 45,8 \text{ км} \\ y_0 = 45,7 \text{ км} \end{cases}$$

Положення такого вузла, встановлене в припущенні про зневажливо малий рівень взаємодії точкових елементів кластера з регіональним рівнем системи, показано на рис. А.10.

Якщо ж вузол активний і має наступні характеристики активності:  $q_{0,2} = 1,86$  тис. т км / діб,  $q_{2,0} = 0,18$  тис. т км / діб,  $q_{0,3} = 0,22$  тис. т км / діб, то для визначення його положення на площині слід використовувати вдосконалений метод, який дозволяє враховувати додаткові обсяги виконуваної транспортної роботи, що виникає при функціонуванні регіонального рівня системи.

Лістинг програми, що дозволяє виконувати такі розрахунки й результат її застосування для прийнятої системи вихідних даних показаний на рис. А.12.

Структура кластера з активним вузлом, положення якого встановлювалося з використанням розробленого методу, для прийнятих показників активності показана на рис. А.11.

Порівняння даних представлених на рис. А.10 і А.12 дозволяє укласти, що наявність вантажопотоків між кластерами на регіональному рівні впливає на положення транспортних вузлів, що необхідно враховувати при рішенні завдань структурного синтезу.



## ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПАСИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

Исходные данные для расчетов:

Количество точечных элементов кластера:  $n := 4$

Координаты точечных элементов кластера:

$x_1 := 0$        $x_2 := 81.1$        $x_3 := 88.4$        $x_4 := 40.2$

$y_1 := 64.3$        $y_2 := 77.1$        $y_3 := 20.1$        $y_4 := 0$

Элементы матрицы связей:

$m_{1,1} := 0$        $m_{1,2} := 1$        $m_{1,3} := 0$        $m_{1,4} := 1$

$m_{2,1} := 1$        $m_{2,2} := 0$        $m_{2,3} := 0$        $m_{2,4} := 1$

$m_{3,1} := 1$        $m_{3,2} := 0$        $m_{3,3} := 0$        $m_{3,4} := 0$

$m_{4,1} := 0$        $m_{4,2} := 0$        $m_{4,3} := 0$        $m_{4,4} := 0$

Элементы матрицы грузопотоков:

$q_{1,1} := 0$        $q_{1,2} := 2.2$        $q_{1,3} := 0$        $q_{1,4} := 1.66$

$q_{2,1} := 0.65$        $q_{2,2} := 0$        $q_{2,3} := 0$        $q_{2,4} := 0.82$

$q_{3,1} := 1.16$        $q_{3,2} := 0$        $q_{3,3} := 0$        $q_{3,4} := 0$

$q_{4,1} := 0$        $q_{4,2} := 0$        $q_{4,3} := 0$        $q_{4,4} := 0$

Расчетная часть программы:

$$l(i, xx, yy) := \left[ \sqrt{(x_i - xx)^2 + (y_i - yy)^2} \right] \quad ll(i, j, xx, yy) := l(i, xx, yy) + l(j, xx, yy)$$

$$LS(xx, yy) := \sum_{i=1}^n l(i, xx, yy) \quad IZ(xx, yy) := LS(xx, yy) \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (m_{i,j} \cdot q_{i,j} \cdot ll(i, j, xx, yy))$$

$$xx := 1 \quad yy := 1$$

Given

$$\frac{d}{dxx} IZ(xx, yy) = 0 \quad \frac{d}{dyy} IZ(xx, yy) = 0 \quad zz := (\text{Find}(xx, yy)) \quad zz = \begin{pmatrix} 45.754 \\ 45.691 \end{pmatrix}$$

Результаты расчетов:

Координаты транспортного узла:  $zz_{0,0} = 45.754$        $zz_{1,0} = 45.691$

Расчетное значение целевой функции:  $IZ(zz_{0,0}, zz_{1,0}) = 1.204 \times 10^5$

Рисунок А.9 – Листинг програми визначення координат пасивного транспортного вузла

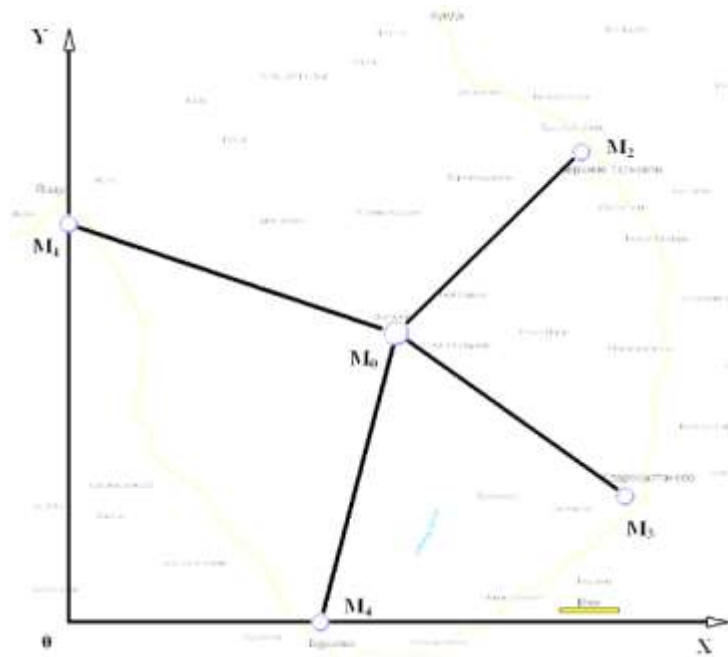


Рисунок А.10 – Схема кластера з пасивним транспортним вузлом  $M_0$

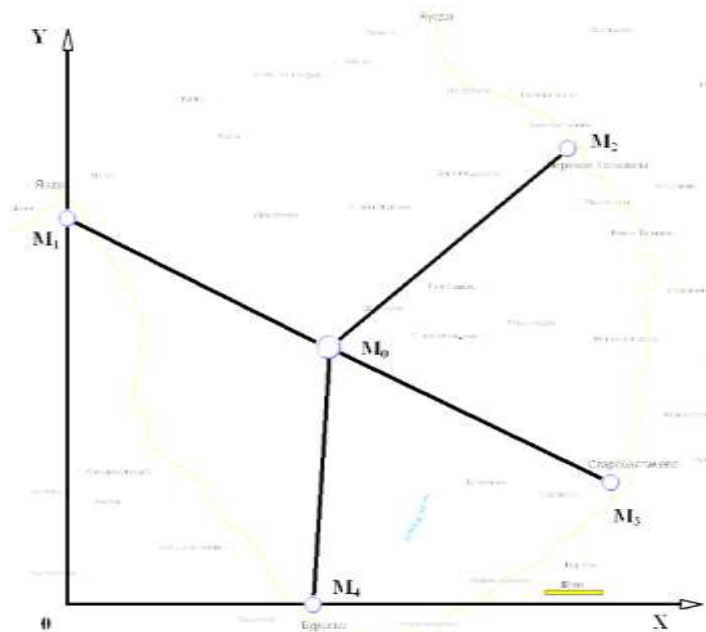


Рисунок А.11 – Схема кластера з активним транспортним вузлом

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ АКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

-----

Исходные данные для расчетов:

-----

Количество точечных элементов кластера:  $n := 4$

Координаты точечных элементов кластера:

$$\begin{array}{cccc} x_1 := 0 & x_2 := 81.1 & x_3 := 88.4 & x_4 := 40.2 \\ y_1 := 64.3 & y_2 := 77.1 & y_3 := 20.1 & y_4 := 0 \end{array}$$

Элементы матрицы связей:

$$\begin{array}{cccc} m_{1,1} := 0 & m_{1,2} := 1 & m_{1,3} := 0 & m_{1,4} := 1 \\ m_{2,1} := 1 & m_{2,2} := 0 & m_{2,3} := 0 & m_{2,4} := 1 \\ m_{3,1} := 1 & m_{3,2} := 0 & m_{3,3} := 0 & m_{3,4} := 0 \\ m_{4,1} := 0 & m_{4,2} := 0 & m_{4,3} := 0 & m_{4,4} := 0 \end{array}$$

Элементы матрицы грузопотоков:

$$\begin{array}{cccc} q_{1,1} := 0 & q_{1,2} := 2.2 & q_{1,3} := 0 & q_{1,4} := 1.66 \\ q_{2,1} := 0.65 & q_{2,2} := 0 & q_{2,3} := 0 & q_{2,4} := 0.82 \\ q_{3,1} := 1.16 & q_{3,2} := 0 & q_{3,3} := 0 & q_{3,4} := 0 \\ q_{4,1} := 0 & q_{4,2} := 0 & q_{4,3} := 0 & q_{4,4} := 0 \end{array}$$

Показатели активности транспортного узла:

$$q_{0,2} := 1.86 \quad q_{2,0} := 0.18 \quad q_{0,3} := 0.22$$

-----

Расчетная часть программы:

-----

$$l(i,xx,yy) := \sqrt{(x_i - xx)^2 + (y_i - yy)^2} \quad ll(i,j,xx,yy) := l(i,xx,yy) + l(j,xx,yy)$$

$$LS(xx,yy) := \sum_{i=1}^n l(i,xx,yy) \quad QD(xx,yy) := \sum_{i=1}^n [l(i,xx,yy) \cdot (q_{0,i} + q_{i,0})]$$

$$IZ(xx,yy) := LS(xx,yy) \cdot \left[ \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (m_{i,j} \cdot q_{i,j} \cdot ll(i,j,xx,yy)) + QD(xx,yy) \right]$$

xx := 1    yy := 1

Given

$$\frac{d}{dxx} IZ(xx,yy) = 0 \quad \frac{d}{dyy} IZ(xx,yy) = 0 \quad zz := (\text{Find}(xx,yy)) \quad zz = \begin{pmatrix} 53.185 \\ 49.005 \end{pmatrix}$$

-----

Результаты расчетов:

-----

Координаты транспортного узла:  $zz_{0,0} = 53.185 \quad zz_{1,0} = 49.005$

Расчетное значение целевой функции:  $IZ(zz_{0,0}, zz_{1,0}) = 1.393 \times 10^5$

Рисунок А.12 – Лістинг програми визначення координат активного транспортного вузла

## Додаток Б

### Експериментально-теоретичні дослідження очищення стічних вод і нафтосумішей у засобах трубопровідного транспорту.

У процесі будь-якого виробництва утворюються стічні води (СВ). Їхній склад залежить від технологічних процесів, застосованих у виробництві й очищенні. Утилізація СВ шляхом зливу в каналізацію або природні водойми найчастіше неможлива, у зв'язку з перевищенням у них ГДК шкідливих речовин. Як правило, СВ накопичують у спеціально побудованих відстійниках. Відстій СВ без додаткової обробки відбувається вкрай повільно. Щоб прискорити цей процес і підвищити якість – СВ піддають очищенню. Очищення СВ являє собою важке завдання через нестабільний склад. Цим пояснюється різноманіття способів очищення СВ – механічні, хімічні, фізико-хімічні [229].

Аналіз СВ показав, що найпоширенішими забруднюючими речовинами є нафтошлами, азот амонійний і нітратний, формальдегід, хлориди, сульфати, солі неорганічних кислот, зважені мінеральні речовини, зокрема окалина (табл. Б.1) [37,229].

Таблиця Б.1 – Параметри стічних вод і концентрації забруднень

№ п/п	Найменування	Од. виміру	Значення параметрів стічних вод і концентрації забруднень
1	Температура	°С	+2....+25
2	рН	од. рН	4,5....9,5
3	Зважені речовини	мг/дм <sup>3</sup>	340
4	ХСК (хімічне споживання кисню – окисність)	мг/дм <sup>3</sup>	400
5	БПК <sub>полн.</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	30-400
6	Азот амонійний	мг/дм <sup>3</sup>	30
7	Азот нітрідний	мг/дм <sup>3</sup>	2
8	Азот нітратний	мг/дм <sup>3</sup>	4
9	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	5
10	Нафтопродукти	мг/дм <sup>3</sup>	7
11	Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	4

## Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Найменування	Од. виміру	Значення параметрів стічних вод і концентрації забруднень
12	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	до 400
13	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	до 200
14	ПАР	мг/дм <sup>3</sup>	12

Забруднюючі речовини перебувають у воді у вигляді розчину, або у вигляді суспензії або емульсії. Суспензії відокремлюють зі СВ механічним способом шляхом тривалого відстоювання, фільтрації через різні фільтри й сепарації на центрифугах, або фізико-хімічним способом. Для поділу розчинів необхідно зробити хімічний аналіз забруднень, визначити кислотність середовища. Існує множина фізико-хімічних і хімічних операцій для очищення розчинів: іонний обмін, сорбція, флотація, коагуляція, добавка реагентів, озонування, виморожування, мікрохвильовий нагрів, омагнічування, барботаж різними газами [230]. Нестабільність складу СВ змушує комбінувати перераховані вище прийоми й робить процес очищення дорогим і тривалим.

В останні роки були початі спроби прискорити протікання очищення СВ за допомогою кавітації. Зважені речовини у СВ дроблять і подрібнюють, що дозволяє збільшити площу зіткнення з реагентами при наступній хімічній обробці й зменшити їхні витрати. Кавітація дозволяє розірвати молекулярні зв'язки в біологічній сировині, що дозволяє зменшити частки сировини до 0,1 мкм. Це інтенсифікує наступну біологічну обробку стічних вод [231].

У цей час кавітація активно вивчається. Її застосування різноманітне: хірургія, застосування сверхкавітаційних торпед, очищення деталей і змішування рідин у промисловості. Ідею використовувати кавітацію з метою обігріву приміщень здійснив Дж.Л. Гріггс [232]. У якості робочої рідини у своєму генераторі Гріггс використовував воду. Тим же шляхом пішли й інші винахідники. Виключенням став А.Ф. Кладов, він експериментував з різними рідинами, використовував воду, 5-

процентну суспензію алюмосилікату у воді, розчин 0,5% LiCl у воді, газойль, турбінне масло [233]. На жаль, висновки зі своїх досліджень А.Ф. Кладов не зробив. Тим часом ефективність теплогенератора А.Ф. Кладова помітно мінялася при використанні різних робочих рідин. Рідини, застосовані А.Ф. Кладовим, можна диференціювати по в'язкості, щільності, теплоємності.

Критичний тиск, при якому відбувається розрив рідини, залежить від багатьох факторів: чистоти рідини, кількості повітря, стану поверхні, на якій виникає кавітація [234]. Вивчення цього впливу – актуальне завдання при розробці кавітаційного насоса-теплогенератора.

Сучасні тенденції розвитку кавітаційних генераторів показують, що автори основну увагу приділяють удосконалюванню механічної частини. Експерименти, як правило, проводяться з використанням самої доступної робочої рідини – води. Закономірність впливу властивостей різних робочих рідин на ефективність кавітаційного генератора вивчена недостатньо. Тим часом деякі автори звертали увагу на невідповідність експериментальної й теоретичної кавітаційної міцності неопрацьованої води [235].

Невідповідність експериментальної й теоретичної кавітаційної міцності неопрацьованої води пояснюється наявністю в реальних рідинах різних домішок і включень, які є зародками кавітації й сильно знижують її міцність. Згідно з теоретичними уявленнями маленькі бульбашки повинні розчинятися в рідині, а більші – спливати. Проте в рідині постійно присутні бульбашки різного радіуса. Дуже маленькі бульбашки стабілізуються на поверхнях і в тріщинах малих твердих часток, зважених у рідині [236].

Подібно тому, як електрична міцність ізоляційних рідин визначається станом цієї рідини (наявністю вологи, газів, твердих часточок і т.д.), точно так само й кавітаційна міцність рідин, зокрема ізоляційних, визначається станом рідини й залежить від способу готування зразка, природи розчинених речовин, концентрації розчиненого газу, обсягу рідини, тривалості експлуатації і т.інш.

Тому для певних умов і цілей роботи необхідний вибір оптимального теплоносія для використання в кавітаційному насосі-теплогенераторі.

Розглянемо принципи й основні процеси роботи кавітаційного насоса-теплогенератора. На рис. Б.1 представлений ротор кавітаційного насоса-теплогенератора [237].



Рисунок Б.1 – Ротор кавітаційного насоса-теплогенератора

У сопел Лаваля кути розбіжності стінок сопел  $\alpha$  для води, з умови нерозривності струменя становлять  $100...120^\circ$ . При таких кутах сила  $P$  змочуваність водою стінок сопел запобігає відриву рідини від їхніх стінок. Внаслідок цього відбувається розтягування рідини в міру просування її по соплу, що приводить до утвору кавітаційних бульбашок. У результаті кавітаційна маса займає близько

третини довжини сопів, що значно більше, чим при проходженні через циліндричні насадки у відомих прототипів.

Для значного збільшення кількості кавітаційних бульбашок необхідно побільшати швидкість потоку. При досягненні швидкості значення  $V_{кр}$  відбувається об'єднання кавітаційної маси в єдину каверну, після чого течію можна охарактеризувати як струменеву. Для ініціювання струменевого руху також використовуються різні перешкоди на шляху каверни, пластини з отворами або напрямні ламелі.

Для спрощення конструкції, був виготовлений знімний плоский обруч із отворами, який встановлюється усередину статора. При виході із сопел Лавалю каверни, що утворювалися, обтікають отвори на обручі, що сприяють подальшому утвору кавітаційних бульбашок і руйнуванню їх ударними хвилями. Це приводить до кавітаційного руйнування не дорогого ротора, а швидко змінливої частини статора. При випробуваннях кавітаційного насоса-теплогенератора було помічено зменшення кількості теплоносія. Із залитих у систему опалення 1600 л води щотижня доливалося 6-7 літрів. При розбиранні після 7-місячної роботи теплогенератора були помічені каверни на знімному обручі, обруч був зруйнований на 25%. Невелике кавітаційне зношування було помічене на вихідних отворах сопел. Також були помічені кольори мінливості на внутрішньому ободі статора, у тому місці, куди вдаряє кавітаційний шнур. З метою локалізувати зношування теплогенератора тільки на знімному обручі, а також перевірити тезу про вплив теплоносія на ефективність роботи теплогенератора було ухвалено рішення підібрати оптимальну рідину, у якій би розвивалася суперкавітація. Суперкавітація відбувається при числі кавітації  $X \ll 1$ :

$$X = \frac{2(P - P_s)}{\rho \cdot V^2}, \quad (\text{Б.1})$$

де  $P$  – гідростатичний тиск потоку, що набігає, Па;

$P_s$  – тиск насичених парів рідини при певній температурі навколишнього середовища, Па;

$\rho$  – щільність середовища, кг/м<sup>3</sup>.

$V$  – швидкість потоку на вході в систему, м/с.

Відомо, що кавітація виникає при досягненні потоком граничної швидкості, коли тиск у потоці стає рівним тиску пароутворення (насичених парів). Цієї швидкості відповідає граничне значення критерію кавітації. Залежно від величини  $X$  можна розрізнити чотири види потоків:

- докавітаційний – суцільний (однофазний) потік при  $X > 1$ ;
- кавітаційний – (двофазний) потік при  $X \approx 1$ ;
- плівковий – зі стійким відділенням кавітаційної порожнини від іншого суцільного потоку (плівкова кавітація) при  $X < 1$ ;
- суперкавітаційний – при  $X \ll 1$ .

Очевидно, що для розвитку суперкавітації знаменник у формулі повинен бути якнайбільший, а чисельник – якнайменший.

Швидкість і тиск потоку, що набігає, визначаються конструктивними особливостями кавітаційного насоса-теплогенератора. У даній роботі зроблена спроба аналізу залежності процесу кавітації від стану середовища.

Звичайно при випробуваннях кавітаційних теплогенераторів в якості теплоносія використовували чисту воду. Однак, якщо замість води використовувати рідину з більшою щільністю, число кавітації поменшає зворотно пропорційно значенню щільності.

Як видно з табл. Б.2, деякі рідини мають щільність значно більше води. Ртуть і сірчану кислоту не було можливості застосувати у зв'язку з їхньою високою токсичністю. Самим доступним з табл. Б.2 був гліцерин.

Для експериментальних досліджень у технологічну ємність було залито 200 л (236 кг) гліцерола.

Гліцерол – відхід біодизельного виробництва, містить до 60% гліцерину й 40% фосфоліпідів і вісків, що випадають при розкладанні рослинної олії. Щільність гліцерола – 1180 кг/м<sup>3</sup>; питома теплоємність – 2220 кДж/кгК.

З метою встановити, які саме зони зазнають кавітаційного впливу, перед кожним експериментом на внутрішні поверхні статора й ротора був нанесений свинцевий сурик. Після кожного експерименту теплогенератор розбирався й складався звіт про локалізацію ушкоджень покриття.

Таблиця Б.2 – Щільності й питомі теплоємності деяких рідин

Рідина	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Питома теплоємність, кДж/кгК
Вода	1000	4183
Бензин	760	2050
Масло рослинне	920	2094
Гліцерин	1260	2428
Сірчана кислота	1840	1620
Ртуть	13600	0139

При запуску теплогенератора було встановлено, що нагрівання відбувалося значно швидше, чим при використанні води (табл. Б.3). Це пояснюється, зокрема, низькою теплоємністю гліцерола. Для нагрівання гліцерола потрібно у два рази менше кількості тепла, але й остигає він також швидко. Щоб урахувати цей фактор, необхідно ввести порівняльний коефіцієнт теплоємності:

$$k_{cm1} = \frac{C_{gl}}{C_e} = \frac{2220}{4183} = 0,53. \quad (\text{Б.2})$$

Таблиця Б.3 – Порівняння результатів нагрівання гліцерола й води в кавітаційному насосі-теплогенераторі

Час експерименту, хв	$T_{\text{води}}^{\circ}$	$\Delta T_{\text{води}}^{\circ}$	$T_{\text{гл}}^{\circ}$	$\Delta T_{\text{гл}}^{\circ}$
5	22		22	
10	31	9	42	20

15	41	10	61	19
20	52	11	80	19
25	64	12	100	20
30	76	12	120	20
35	88	12	140	20
40	98	10		
45	100	2		

При складанні табл. Б.3 було зроблено виправлення на цей коефіцієнт по формулі:

$$\Delta T_{\text{гл. расч.}}^{\circ} = \frac{\Delta T_{\text{води}}^{\circ}}{k_{\text{ст1}}}. \quad (\text{Б.3})$$

Зрівняти ефективність роботи теплогенератора при використанні в якості теплоносія води й гліцерола можна, користуючись формулами розрахунків потужності як швидкості зміни енергії:

$$C = \frac{Q}{m\Delta T}, \quad (\text{Б.4})$$

Звідки

$$Q = Cm\Delta T, \quad (\text{Б.5})$$

де  $m$  – маса теплоносія, що нагрівається, кг.

Розрахункова витрачена електрична потужність  $N$ , Вт, буде рівна:

$$N = \frac{Q}{\tau}, \quad (\text{Б.6})$$

де  $\tau$  – проміжок часу, за який відбувається нагрівання теплоносія до  $100^{\circ}\text{C}$ , сек.

Для води:

$$Q_в = 4183 \text{ Дж/кг}^{-1} \text{ К}^{-1} \times 200 \text{ кг} \times 780 = 65255000 \text{ Дж.}$$

$$N_{\text{расч. в}} = \frac{65255000}{45 \cdot 60} = 24168 \text{ Вт.}$$

Для гліцерола:

$$Q_{\text{гл}} = 2220 \text{ Дж/кг}^{-1} \text{ К}^{-1} \times 236 \times 780 = 40866000 \text{ Дж.}$$

$$N_{\text{расч. гл}} = \frac{40866000}{25 \cdot 60} = 27244 \text{ Вт.}$$

За показниками електричного лічильника на нагрівання води було витрачено  $N_{\text{факт. в}} = 9,2$  кВт, на нагрівання гліцерола –  $N_{\text{факт. гл}} = 8,33$  кВт.

Коефіцієнти ефективності будуть рівні:

$$k_{\text{эф. в}} = \frac{N_{\text{расч. в}}}{N_{\text{факт. в}}}, \quad (\text{Б.7})$$

$$k_{\text{эф. гл}} = \frac{N_{\text{расч. гл}}}{N_{\text{факт. гл}}}, \quad (\text{Б.8})$$

$$k_{\text{эф. в}} = 2,63,$$

$$k_{\text{эф. гл}} = 3,27.$$

Експеримент показав, що використання гліцерола замість води збільшує ефективність теплогенератора на 24%. Огляд лакофарбового покриття на внутрішній поверхні теплогенератора показав, що область кавітаційного впливу при використанні гліцерола локалізується на знімному обручі, зони виходу кавітаційного

шнура із сопел і самі сопла не ушкоджені, внутрішній обід статора піддався впливу високої температури й покриття змінило колір.

У процесі експерименту було помічено, що застосовуваний асинхронний двигун потужністю 20 кВт, який працював з коефіцієнтом потужності 60% при використанні в якості теплоносія води, при використанні замість води гліцерола вийшов на навантаження 100%.

Іншим способом підвищення ефективності насоса теплогенератора може бути прискорення деяких технологічних процесів. Так час хімічних реакцій у хімічному виробництві може займати десятки годин. Це знижує продуктивність і негативно позначається на собівартості продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що традиційний спосіб прискорення хімічних реакцій – використання різних каталізаторів і ініціаторів. На цьому способі сконцентровані зусилля сучасних хіміків. Для кожного типу реакцій ефективні тільки певні каталізатори. Часто це дорогі рідкісноземельні метали. Їхня дія залежить від чистоти оброблюваної речовини. Так, незначні сліди деяких речовин викликають швидку втрату каталізатором активності. Крім того, хіміки знають: чим вище активність каталізатора, тим менш вибірково він діє й тим менш направлено протікає процес, що прискорюється їм [238].

Відомий також спосіб прискорення реакцій – застосування ультразвуку. Під впливом ультразвуку в процесах (міднення, нікелювання, хромування, кадміювання, цинкування, сріблення і т.д.) знижується воднева поляризація й полегшує розряд іонів. Таким чином, забезпечується підвищення катодної щільності струму, прискорюється відкладання покриттів. Фактично ультразвук збільшує активну площу катода в 3 рази. Покриття виходить більш рівномірним й товстішим в кілька разів, поліпшується його адгезія до підкладки. Технологія реалізується за допомогою заглибних ультразвукових випромінювачів із фронтальним типом випромінювання. На жаль, до експлуатації потужного ультразвукового устаткування пред'являються специфічні вимоги безпеки, він шкідливий для здоров'я обслуговуючого персоналу [229].

Перспективним і ефективним способом прискорення хімічних реакцій, як показали дослідження, може бути обробка розчинів у кавітаційному насосі-теплогенераторі [239].

Для дослідження процесів прискорення хімічних реакцій під впливом кавітаційної маси в кавітаційному насосі-генераторі було проведено експеримент по відновленню мідного купоросу (водяного розчину сульфату міді). Сульфат міді  $\text{CuSO}_4$  у безводному стані являє собою білий порошок, який при поглинанні води синіє. Тому він застосовується для виявлення слідів вологи в органічних рідинах. Водяний розчин сульфату міді має характерний синьо-блакитний колір. Це фарбування властиве гідратованим іонам  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ , тому таке ж фарбування мають усі розведені розчини солей міді (II), якщо тільки вони не містять яких-небудь пофарбованих аніонів. З водяних розчинів сульфат міді кристалізується з п'ятьма молекулами води, утворюючи прозорі сині кристали мідного купоросу.

Для експерименту було змішано 2 кг хімічно чистого мідного купоросу з 20 кг (літрами) води, розчин був розділений на дві рівні частини – одна для експерименту, друга – контрольна.

Після запуску теплогенератора через заливну горловину був влитий розчин усередину статора. Після досягнення розчином температури  $75\text{-}80^\circ\text{C}$  було помічене, що рідина змінила колір – освітлилася, стала прозоріше.

Час нагрівання рідини до  $100^\circ\text{C}$  склало 6 хвилин. Після цього теплогенератор був зупинений.

Розчин став зовсім прозорим. Теплогенератор був розібраний. Внутрішня частина статора й ротор – усе, що стикалося з розчином – покриті пухким шаром червоної міді.

Можна зробити висновок, що усередині генератора відбувся прискорений процес хімічної реакції заміщення: одержуємо залізний купорос (тут залізо витиснуло мідь із її солі)



Контрольний зразок розчину був залишений у сталевій ємності на 30 днів. Колір не змінився – яскраво виражений синій, обмідненість ємності в місцях контакту з рідиною помірна. У цьому випадку відбувається реакція заміщення зі звичайною швидкістю [240].

Через місяць ємність із контрольним розчином мідного купоросу була піддана нагріванню за допомогою газового пальника до 100 °С і потім охолоджена. Колір не змінився. Отже температура не має відносини до прискорення хімічного процесу при обробці розчину мідного купоросу в кавітаційному насосі-генераторі.

Які ж причини, що так радикально змінюється швидкості течії реакції в умовах кавітації. Згідно з результатами досліджень [241,242] наслідком збільшення швидкості руху рідини є падіння тиску в ній

$$U_r = \sqrt{\frac{4\pi r \sigma^*}{\rho Q} \frac{dz}{dt} + 2 \frac{p_2 - p_k}{\rho} - 2 \frac{u_\varphi^2}{r} dr}, \quad (\text{Б.10})$$

$$U_z = \frac{4Q}{\pi(D^2 - 4r^2)}, \quad (\text{Б.11})$$

$$\frac{dr}{dt} = U_r; \quad \frac{dz}{dt} = U_z; \quad \frac{d\varphi}{dt} r = U_\varphi, \quad (\text{Б.12})$$

де  $U_r$ ,  $U_z$ ,  $U_\varphi$  – проекції швидкості рідини на осі координат, м/с;

$p_2$ ,  $p_k$  – тиск у потоці й у каверні;

$\sigma^*$  – поверхневий натяг, Н/м;

$Q$  – витрата рідини, м<sup>3</sup>/з;

$r$  – радіус кавітаційної бульбашки;

$D$  – діаметр вихідного отвору сопла Лавалю.

При досягненні величини тиску потоку, рівної тиску насиченого пара, у рідині відбувається розрив з утвором бульбашок насиченого пара.

При збільшенні швидкості потоку такі пухирці починають поєднуватися в цілну кавітаційну каверну.

Довжини пробігу кавітаційних бульбашок, які схлопуються звичайно розраховують по рівнянню руху сферичної каверни Левковського:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 = \frac{p - p_\infty}{\rho}, \quad (\text{Б.13})$$

де  $p$ ,  $p_\infty$  – тиск на межі бульбашки й у потоці рідини;

$R$  – радіус бульбашки, м.

Кілька факторів визначають тиск на межі кавітаційної бульбашки. Це:

- сили поверхневого натягу;
- тиск насичених газів усередині пухирця;
- дія дотичних в'язких напруг.

У силу цього рівняння (Б.13) здобуває вид:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{1}{\rho} \left( p_H - 4\mu \frac{U_y}{R} - \frac{2\sigma^*}{R} - p_\infty \right). \quad (\text{Б.14})$$

Підставляючи значення змінних у рівняння (Б.14), можна розрахувати час життя каверни, враховуючи швидкість і напрямок обертання ротора теплогенератора можливо розрахувати її розміри й координати кавітаційного впливу.

Згідно з оцінками Іллінойського університету швидкості нагрівання й охолодження рідини перевищують  $109^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Це відповідає швидкості охолодження розплавленого металу при його вихлюпування на поверхню, охолоджену до температури поблизу абсолютного нуля. Це приводить до миттєвого пароутворення, розриву молекулярних зв'язків і прискоренню хімічних реакцій.

Відбір пару можна описувати законом Герца-Кнудсена-Ленгмюра [243], згідно з яким швидкість випару із зовнішньої границі суперкаверни рівна:

$$V_u = \frac{P}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot M \cdot k \cdot T_u}}, \quad (\text{Б.15})$$

де  $V_u$  – швидкість випару, г/(см<sup>2</sup>·с);

$P$  – тиск насиченого пара, Па;

$M$  – молекулярна вага часток пара, г/моль;

$k$  – постійна Больцмана;

$T_u$  – температура патрубку, що підводить, кавітаційного теплогенератора, °С.

При русі рідини тиск усередині каверни не більш 10<sup>-2</sup> Па. При цьому тиску, згідно з кінетичною теорією рідин і газів Герца-Кнудсена, довжина вільного пробігу молекул рідини перевищує їхні розміри. Швидкість випару рідини в процесі кавітації можна визначити за допомогою рівняння Ленгмюра:

$$V_u = 7,78 \sqrt{\frac{M \cdot P}{T_u}}. \quad (\text{Б.16})$$

Масу пара в каверні можна визначити по формулі:

$$m_n = \frac{4}{3} \frac{C(R, 0)}{K} \pi R_0^3, \quad (\text{Б.17})$$

де  $m_n$  – маса газу в кавітаційній порожнині початкового радіуса;

$C(R, 0)$  – початкова концентрація пара в шарах рідини, що прилягають до стінки порожнини;

$K$  – постійна Генрі;

$R_0$  – початковий радіус кавітаційної порожнини.

У ході експериментів були отримані результати, що описують зміну розмірів каверни залежно від швидкості потоку в генераторі (рис. Б.2).

Як видно із графіка, довжина каверни збільшується зі збільшенням швидкості потоку. Невеликі коливання пояснюються фазовим переходом (скипанням) рідини, що приводить до порушення суцільності потоку і, як наслідок, до погрешностей при

вимірі. Довжина каверни  $l$  досягає величини 100% від загальної довжини робочої камери кавітатора  $L$  уже на швидкості 30 м/с, а подальший зріст швидкості потоку приводить до додаткового подовження за межі камери в зовнішній об'єм.

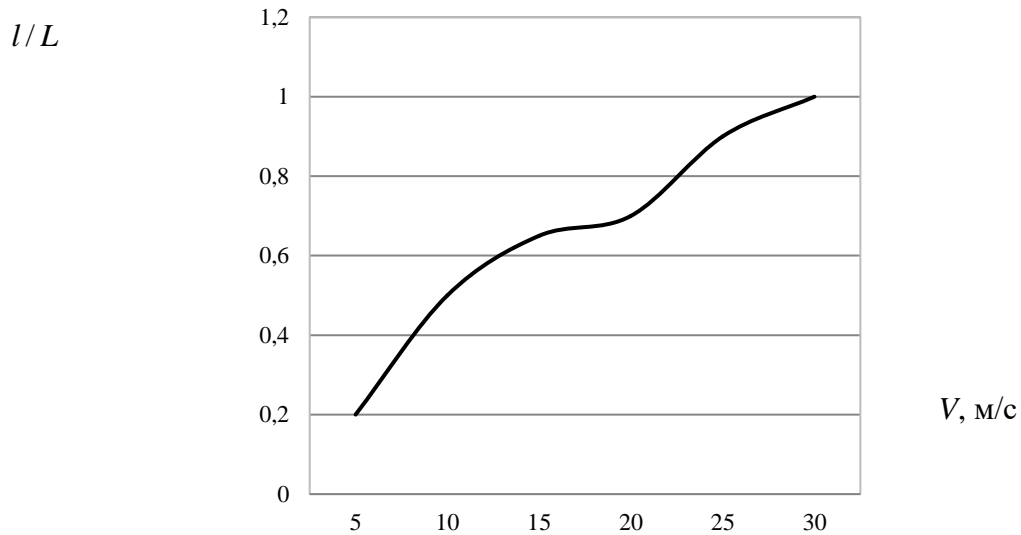


Рисунок Б.2 – Залежність довжини кавітаційної каверни від швидкості потоку

Швидкість реакції заміщення можна визначити по зміні концентрації мідного купоросу у воді. Вимір концентрації мідного купоросу у воді було зроблено випарюванням зразків рідини, відібраних через кожні 60 сек. Після випарювання сухий залишок був зважений на електронних вагах і складена пропорція, за результатами вимірів був побудований графік (рис. Б.3).

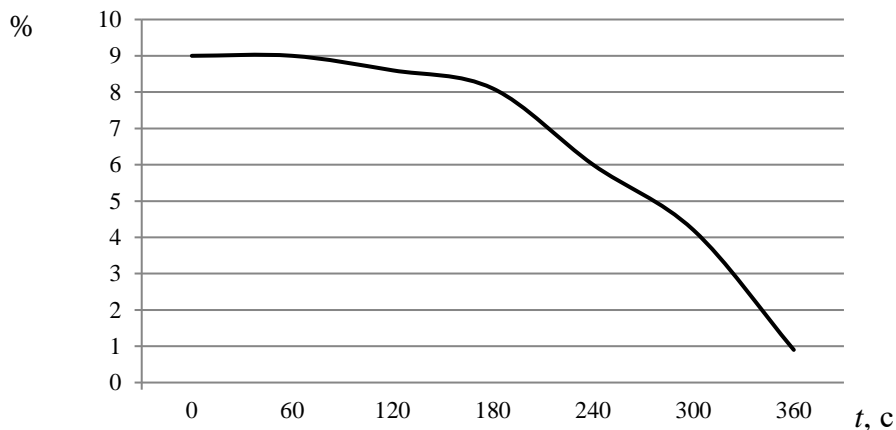
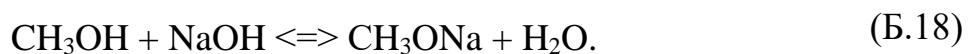


Рисунок Б.3 – Зміна концентрації мідного купоросу у водяному розчині при впливі кавітації в кавітаційному насосі-теплогенераторі

Для повної впевненості в дієвості й ефективності кавітаційного насоса-теплогенератора при змішуванні речовин, які важко змішуються був зроблений ще один експеримент.

При виробництві біодизеля (метилових ефірів жирних кислот) застосовується метанолят натрію, який виходить шляхом розчинення їдкого натру NaOH у метиловому спирті CH<sub>3</sub>OH. Їдкий натр досить погано розчиняється в метанолі, перемішування проводиться в герметичному міксері від 8 до 24 годин. Для процесу виробництва біодизеля необхідний 12% розчин CH<sub>3</sub>ONa.



Для досвіду у дві однакові ємності було поміщено по 1,2 кг хімічно чистого їдкого натру й влито по 10 кг метилового спирту. Одна ємність для експерименту, друга – контрольна.

Після запуску теплогенератора (рис. Б.4) через заливну горловину був влитий розчин усередину статора. При досягненні розчином температури 78 °С було помічене, що рідина стала однорідною – їдкий натр розчинився. Час нагрівання рідини до 100°С – 3 хвилини. Після зупинки теплогенератора розчин був злитий у герметичну ємність. Теплогенератор був розібраний. Ні в прийомній ємності, ні в

статорі теплогенератора не було виявлено слідів їдкою натру. Отже, він повністю розчинився в метанолі.

Контрольний зразок розчину був улитий у хімічний міксер (рис. Б.5). Міксер був включений. Розчин був підданий об'ємному змішуванню протягом 60 хвилин, після чого міксер був виключений і розібраний. На дні міксера осіли крупинки їдкою натру.



Рисунок Б.4 – Кавітаційний насос-теплогенератор  
(використовується для прискорення хімічних реакцій)

Отже, усередині генератора відбувся процес одержання метоксида.

З метою доказу, що причиною прискорення процесу не є нагрівання розчину, метанол був злитий і підданий нагріванню за допомогою газового пальника до  $T_{o\text{ кип}}$ . Для запобігання заpalення й вибуху нагрівання було зроблено за допомогою водяної сорочки. Метанол з повітрям в об'ємних концентраціях 6,72-36,5% утворює вибухонебезпечні суміші (температура спалаху 15,6 °C). Після нагрівання метанол

був злитий у міксер і підданий змішуванню протягом 120 хвилин. Після цього міксер був виключений і розібраний.



Рисунок Б.5 – Установа для виробництва біодизеля

Очевидно, що частина їдкого натру вже була розчинена, але більше половини його обсягу усе ще перебуває на дні міксера. Висновок очевидний: причиною прискорення реакції одержання метанолята натрію з'явилася не висока температура, а процес кавітації.

Таким чином, кавітаційний насос-теплогенератор можна використовувати для безпечного нагрівання хімічних рідин, у тому числі пожаро- і вибухонебезпечних.

При обробці хімічних рідин у кавітаційному насосі-теплогенераторі хімічні реакції протікають значно швидше, чим у традиційному процесі. Теплогенератор може виконувати роль проточного термохімічного реактора.

Для дослідження впливу кавітаційної маси на процес очищення СВ був проведений ряд досліджень. У даній роботі описана активація СВ у кавітаційному теплогенераторі [222] із застосуванням сорбенту.

У процесі випробувань кавітаційного теплогенератора, у якості робочого тіла, крім однорідних рідин були досліджені різні суспензії. Зокрема був випробуваний алюмосилікат – природний цеоліт Сокирянського родовища (м. Хуст, Україна). Природний цеоліт – унікальний матеріал, який знайшов застосування в багатьох галузях народного господарства. У цеоліті втримується велика різноманітність мінералів і мікроелементів. У наведеній нижче табл. Б.4 описаний зміст основних мінералів, що входять до його складу. Дані табл. Б.4 запозичені із сайту виробника – Закарпатського цеолітового заводу.

Таблиця Б.4 – Процентний зміст мінералів у природному цеоліті

Компоненти	SiO <sup>2</sup>	Al <sup>2</sup> O	CaO	K <sup>2</sup> O + Na <sup>2</sup> O	MnO	Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>
%-й зміст	71,5	13,1	2,1	5,03	1,07	0,9

Різнманітність елементів у цеоліті робить його універсальним коагулянтном для СВ. Після механічного очищення й видалення великих часток розміром 10 мкм і більш, колоїдні й дрібнодисперсні частки залишаються у СВ.

Отриманий розчин є агрегатно стійкою системою. Для її руйнування застосовується коагуляція – це процес злипання часток колоїдної системи в результаті їх взаємодії під дією молекулярних сил зчеплення при перемішуванні або спрямованому переміщенні в зовнішньому силовому полі. У результаті коагуляції утворюються агрегати – більші (вторинні) частки, утворені зі скупчення дрібних

(первинних). Первинні частки в таких агрегатах з'єднані силами міжмолекулярної взаємодії безпосередньо або через прошарок навколишнього (дисперсійного) середовища. Коагуляція супроводжується прогресуючим укрупненням часток і зменшенням їх загального числа в обсязі стічної води. Існує 2 виду укрупнених часток: злипання однорідних часток (гомокоагуляція) і різнорідних (гетерокоагуляція).

В очищенні стічних вод коагуляцію застосовують для прискорення процесу осадження тонкодисперсних домішок і емульгованих речовин. Вона найбільш ефективна для видалення з води колоїднодисперсних часток, тобто часток розміром 1...100 мкм. Коагуляція може відбуватися мимовільно або під впливом хімічних і фізичних процесів. У процесі очищення стічних вод коагуляція відбувається під впливом спеціальних речовин, що додаються до них, – коагулянтів.

Коагулянти у воді утворюють пластівці гідроксидів металів, які швидко осідають під дією сили ваги. Пластівці мають здатність уловлювати колоїдні й зважені частки й агрегувати їх. Тому що колоїдні частки мають слабкий негативний заряд, а пластівці коагулянтів – слабкий позитивний заряд, то між ними виникає взаємне притягання [244].

Іншою важливою властивістю цеолітів є здатність до іонного обміну – вони здатні селективно виділяти й знову усмоктувати різні речовини, а також обмінювати катіони. Іонообмінна ємність цеоліту – 1,5 мг.екв/г. Іонообмінна ємність – це кількість іонів (моль), зафіксованих у результаті іонообміну одиницею маси іоніту в стані насичення.

Іонний обмін – це оборотна хімічна реакція, при якій відбувається обмін іонами між твердою речовиною (іонітом) і розчином електроліту. Іонний обмін може відбуватися як у гомогенному середовищі (дійсний розчин декількох електролітів), так і в гетерогенній, у якій один з електролітів є твердим (при контакті розчину електроліту з осадом, іонітом та ін.).

Катіонний обмін – окремий випадок іонного обміну, під яким у хімії розуміють оборотний процес стехіометричного обміну іонами між двома контактуючими фазами.

Іонний обмін заснований на використанні іонітів – сітчастих полімерів різному ступеню зшивки, гелевої мікро- або макропористої структури, ковалентно пов'язаних з іоногенними групами. Іони, що обмінюються, називаються противоіонами. Іоніти складаються з нерухомого каркаса – матриці й функціональних груп – фіксованих іонів, які жорстко прикріплені до матриці й взаємодіють із противоіонами. Залежно від знака заряду противоіонів іоніти ділять на катіоніти й аніоніти. Слід зазначити, якщо противоіони заряджені позитивно, те вони є катіонами (наприклад, іони водню  $H^+$  або іони металів), іоніт називають катіонітом. Якщо противоіони заряджені негативно, тобто є аніонами (наприклад, іон гідроксилу  $OH^-$  або кислотні залишки), іоніт називають аніонітом.

Кінетика іонного обміну визначає швидкість протікання іонообмінної реакції. На швидкість іонного обміну впливають наступні фактори:

- доступність фіксованих іонів усередині каркаса іоніту, розмір гранул іоніту;
- температура;
- концентрація розчину і т.д.

Загальна швидкість процесу іонного обміну може бути представлена як сукупність процесів, що відбуваються в розчині (дифузія противоіонів до зерна й від зерна іоніту) і в іоніті (дифузія противоіонів від поверхні до центру зерна іоніту й у зворотному напрямку; обмін противоіонів іоніту на противоіони з розчину). В умовах, наближених до реальних, фактором, що домінує, визначають швидкість іонного обміну, є дифузія іонів усередині зерна іоніту. Отже, швидкість іонного обміну, насамперед, залежить від розміру зерна іоніту й збільшується зі зменшенням розміру зерна. Залежно від природи матриці розрізняють неорганічні й органічні іоніти. Усі розрахунки динаміки іонного обміну базуються на розв'язку системи рівнянь для кожного компонента. Рівняння балансу має вигляд:

$$-V \frac{dc}{dx} + \varepsilon D_n \frac{d^2c}{dx^2} = \frac{da}{dt} + \varepsilon \frac{dc}{dt}, \quad (\text{Б.19})$$

де  $V$  – лінійна швидкість потоку розчину;

$c$  – концентрація противоіонів;

$x$  – довжина шару сорбентів;

$\varepsilon$  – порозність сорбенту (обсяг межзернового простору в частках від загального обсягу сорбенту);

$D_n$  – коефіцієнт поздовжньої дифузії;

$a$  – концентрація іонів;

$t$  – час від початку досліду до "проскакування" – появи компонента, що віддаляється, за шаром сорбенту.

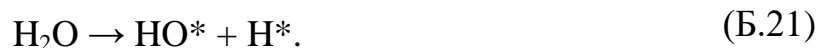
У багатьох випадках членами, що відбивають поздовжню дифузію (за винятком стадії регенерації) і зміну концентрації в розчині, можна зневажити [245].

Тоді рівняння балансу ухвалює вид:

$$-V \frac{dc}{dx} = \frac{da}{dt} \quad (\text{Б.20})$$

Миттєве схлопування бульбашки (ліквідація дисиметрії) вивільняє величезну енергію, яка при відсутності об'єкта впливу (поверхні металу) починає руйнувати сам інструмент – водну стінку бульбашки.

У кавітації беруть участь бульбашки, наповнені паром рідини або розчинених летючих речовин. Газоподібні молекули води, що потрапили в зростаючі мікробульбашки, руйнуються, як при піролізі, утворюючи радикальні високоактивні частки, у тому числі гідроксильні радикали:



При кавітації створюються умови автоклавування (висока температура й тиск) на мікроскопічному рівні. Фаза руйнування каверн у цей час не має єдиного пояснення. Є припущення, що в кавернах відбувається адіабатичний процес, тобто

термодинамічний процес у системі, при якому система не обмінюється тепловою енергією з навколишнім простором.

У кавітаційному полі постійно йде термохімічна реакція. Вивільняються вільні іони. Для посилення реакції слід додати деяку кількість речовини, яка має іонообмінну ємність. Як було вже зазначене вище, природний цеоліт має цю властивість, крім того він на порядок дешевше синтетичних речовин, пропонованих хімічними заводами.

З метою перевірки на практиці фізико-хімічного способу очищення СВ за допомогою впливу природним цеолітом у кавітаційній струмені проведені експериментальні дослідження.

Для досліджень була використана експериментальна установка [229]. Були підготовлені три технологічні ємності зі СВ. Передбачалося одну з ємностей ( $E_1$ ) залишити контрольної, у дві інші був приготовлений 5-% розчин цеоліту фракції 0,3-0,5 мм. Вийшла стійка суспензія в кількості по 200 л у кожній. Одну з ємностей із суспензією ( $E_2$ ) залишили контрольної, щоб проконтролювати, як іде процес сорбції СВ цеолітом без активації в кавітаційному теплогенераторі [229].

Суспензія з ємності ( $E_3$ ) була залита в технологічну ємність. Вхід і вихід з теплогенератора був приєднаний патрубками з технологічною ємністю (рис. Б.6).

Після запуску теплогенератора активація суспензії проводилася протягом 12 хвилин. Потім теплогенератор був зупинений. Активована суспензія була злита в технологічну ємність до повного остигання. Через 24 години після закінчення експерименту було помічене, що суспензія розшарувалася. Верхній шар (86 л) – зовсім прозора вода. Нижній шар – густа маса темно-коричневого кольору – 7 л. Після відбору верхнього й нижнього шарів у технологічній ємності залишилося 107 літрів непрозорої рідини темного кольору. Із цієї рідини знову був приготовлений 5-% розчин цеоліту у вигляді суспензії.

Повторний запуск теплогенератора й активація суспензії проводилася протягом 6 хвилин. Потім теплогенератор був зупинений. Через 24 години після закінчення експерименту було помічене, що суспензія розділилася на дві фракції – верхній шар – зовсім прозора вода (11 л), нижній шар – густа маса світло-

коричневого кольору (4 л). Після відбору верхнього й нижнього шарів у технологічній ємності залишилося 97 літрів суспензії білого кольору.



Рисунок Б.6 – Експериментальна установка для очищення стічних вод на базі кавітаційного теплогенератора

Після третього запуску генератора суспензію, що залишилася, активували протягом 12 хвилин і довели до закипання. Потім, суспензію злили в технологічну ємність. Через 24 години після закінчення експерименту було помічене розшаровування суспензії. Через 14 діб відбулося повне осадження білого осаду, суспензія освітлилася і стала повністю прозорою. На дні технологічної ємності осіло 4 літра білого осаду.

У контрольній ємності ( $E_1$ ), яку не піддавали дії сорбенту за минулі 17 діб видимих змін не відбулося.

У контрольній ємності ( $E_2$ ) через 17 діб експерименту відбулося розшарування. Поверхневий шар рідини освітлювався, став прозорим. Після відбору й поділу шарів було виявлено, що рідина в ємності ( $E_3$ ) розділилася на:

- 14,5 л прозорої води;
- 186 л мутної суспензії;
- 3 л густої маси темного кольору.

Був зроблений порівняльний лабораторний аналіз СВ і води після кавітаційного очищення (табл. Б.5).

Таблиця Б.5 – Порівняльні характеристики стічних вод до й послі очищення

Показники якості води	У стічних водах	Очищена методом активації	Очищена сорбцією без активації
Твердість, мг-екв/л	12	3,2	4,5
Лужність, мг-екв/л	3,4	3,2	3,3
Хлориди, мг/л	62	51,9	52
Залізо загальне, мг/л	0,5	0,3	0,3
Аміак і іони амонію, мг/л	1,6	1,2	1,2
Нітриди, мг/л	0,18	0,15	0,18
Фториди, мг/л	3	2,8	3
Реакція середовища, рН	6,5	7	7

Одним з важливих напрямків у роботі з рідинами, при функціонуванні виробничих систем і їх окремих елементів є очищення нафтошламів, забруднених нафтопродуктами вод і готування різних водно-емульсійних сумішей для підвищення ефективності енергоустановок. Як виявилось, для цього також може ефективно використовуватися кавітаційний насос-теплогенератор.

З метою зниження токсичності викидів, замість мазутів і котельних палив застосовують водно-мазутні емульсії. Для їхнього змішування зараз, як правило, використовуються диспергатори.

Виготовлення водно-мазутних емульсій утруднене різницею в щільності води – 1,0 і котельних палив – вона коливається в межах 0,87-0,93. У зв'язку із цим, емульсії виходять нестійкі, через 2-3 доби спостерігається розшарування, особливо в холодну пору року.

Для навколишнього середовища на сьогоднішній день усе більшу важливість із екологічної й економічної точки зору здобувають процеси рециркуляції природних багатств. Склад і фізичні властивості відпрацьованих і забруднених нафт, які звичайно називають просто – нафтошлами, можуть варіюватися залежно від джерела. Важливим об'єднуючим фактором є те, що всі нафтошлами містять як воду, так і тверді домішки. Найчастіше вони утворюють стійку емульсію, яка не розшаровується. Це утрудняє процес поділу, і більшість стандартних методів, якими регенеруються нафтошлами, не справляються повністю з поставленим завданням.

Можна виділити наступні проблеми:

- відстоювання є повільним і неефективним процесом, який вимагає великі площі для відстійників і великі дози дорогих хімікатів;
- фільтрування через прес ділить нафтошлами на дві частини – відокремлює домішки від рідкої складової, а також має низьку пропускну здатність. Крім того, цей процес залишає невирішену проблему утилізації відфільтрованого матеріалу й відділення води;
- спалювати нафтошлами разом з водою й механічними домішками є дорогим процесом, при якому кошовна вуглеводнева складова безповоротно знищується [246].

Щоб уникнути термосепарації, при виготовленні емульсій використовують різні емульгатори – ОП-4, ОП-7, ОП-10, хлорид амонію і т.д. [240]. Застосовуючи їх можна значно побільшити строк стійкості емульсії, але це приводить до збільшення викидів в атмосферу шкідливих продуктів згоряння самого емульгатора – діоксиду сірки, сірководню.

У запропонованій роботі розглядається можливість і ефективність використання кавітаційного насоса-теплогенератора [237] для вирішення вищевказаних проблем, тобто:

- для готування водно-мазутних емульсій без додавання емульгаторів, у результаті чого досягається здешевлення техпроцеса й зниження шкідливих викидів при згорянні одержуваного палива;

- для безпечного нагрівання легкозаймистих рідин;

- у деяких технологічних операціях нафтопереробного виробництва.

У процесі експериментальних досліджень розробленого кавітаційного насоса-теплогенератора [229,239,247] з'ясувалося, що крім одержання тепла, генератор може використовуватися в якості дуже ефективного змішувача хімічних речовин. Тому була почата спроба змішати воду з котельним паливом за допомогою кавітаційного насоса-теплогенератора без застосування емульгаторів. Для цього була розроблена й змонтована лабораторна установка (рис. Б.7) утримуюча кавітаційний насос-теплогенератор з'єднаний з ємностями для води, котельного палива й готової суміші.

Експерименти проводилися протягом 3 місяців у різних режимах. Варіювалася температура нагрівання палива, а також процентне співвідношення котельного палива й води. Проводилося нагрівання палива до заданої температури, потім відкривався кран подачі води й у теплогенераторі відбувалося змішування води з паливом. Повна адгезія, протягом 3 місяців термосепарації не спостерігалася. Отримана суміш відрізняється від вхідного палива тільки кольором – вода надає суміші коричневий відтінок. При додаванні води до 22% від кількості палива показники калорійності спалювання палива й суміші були практично ідентичні, температура спалаху не змінювалася. Оптимальне змішування відбувалося при температурі 70<sup>0</sup>С. При збільшенні процентного вмісту води в суміші більше 22% – калорійність суміші падає, температура спалаху зростає, а при горінні чутний характерний тріск. У цей час для готування емульсій використовуються досить енерговитратні диспергатори, неефективні по якості кінцевого продукту.

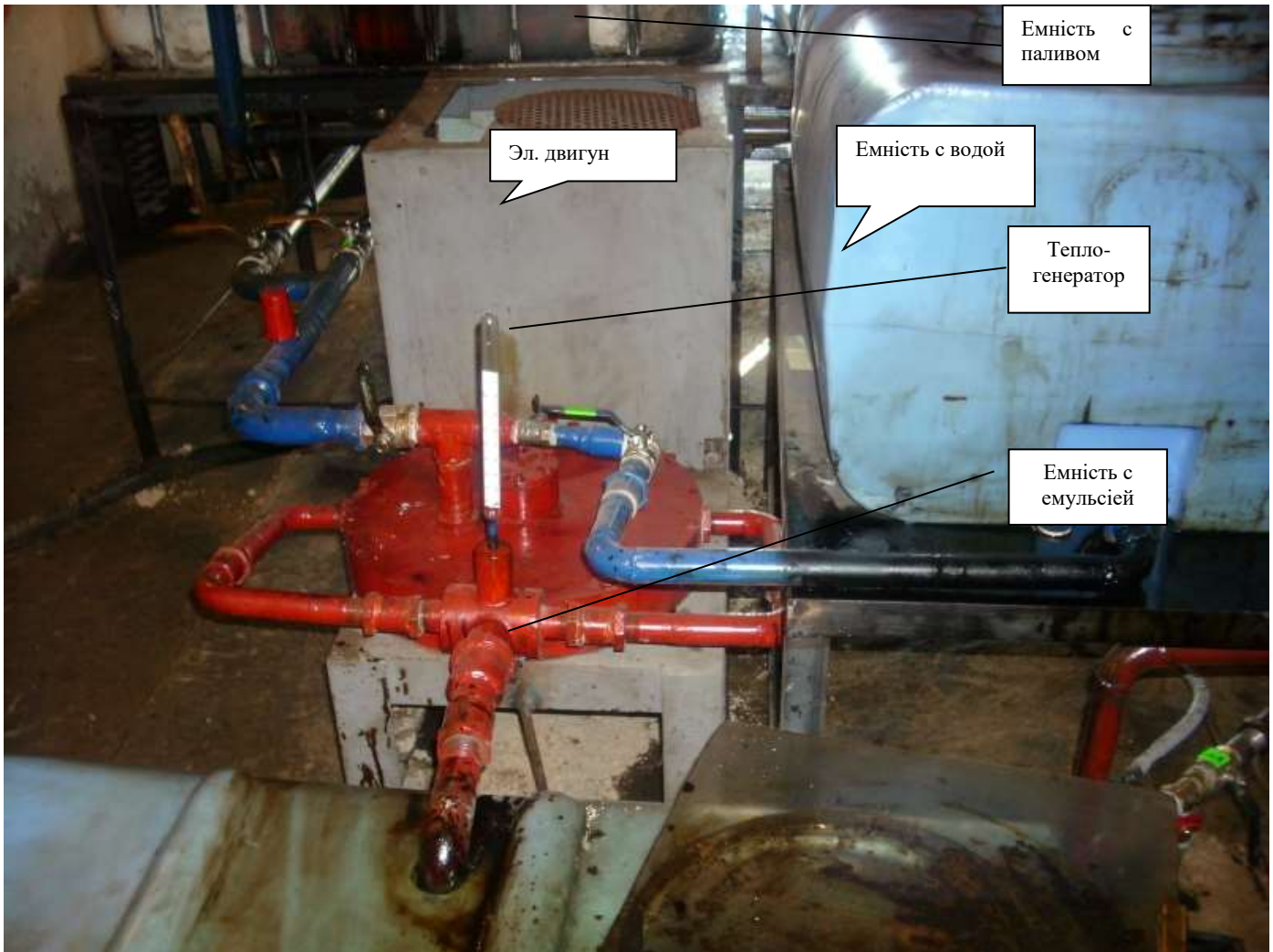


Рисунок Б.7 – Використання теплогенератора для створення водно-мазутних емульсій

Дослідження проводилися в листопаді 2013 – лютому 2014 рр. Температура повітря досягала  $-20^{\circ}\text{C}$ . Температура застигання котельних палив – згідно [248] –  $8^{\circ}\text{C}$ . Підприємства, що транспортують котельні палива розігрівають їх за допомогою водяного пару. Це дуже енерговитратна технологія, не говорячи вже про те, що для цього необхідно мати окрему котельню.

З кавітаційного насоса-генератора й цистерн із сировиною й готовою продукцією загальною ємністю 35т з'єднаних трубопроводами була змонтована установка для підтримки необхідної в'язкості суміші (рис. Б.8). Досить було запустити установку 2 рази в добу по 30 хвилин, щоб мазут залишався в теплом (20-

30 °С) стані. У цілому дослідження показали можливість використання генератора для готування водно-мазутних емульсій з одночасним їхнім розігрівом.

Наступним напрямком використання кавітаційного насоса-теплогенератора може бути очищення нафтового пічного палива від домішок. Експериментальні дослідження проводилися на тій же установці шляхом змішування палива з розчинами різних кислот і лугів. Після відстоювання й фільтрації обробленого матеріалу темне пічне паливо здобувало за ознаками всі параметри дизпалива. Відхід (гудрони й асфальтени) – склав від 7 до 15% залежно від якості вхідної сировини.

Найважливішим напрямком використання кавітаційного насоса-теплогенератора, як показали дослідження, є технологічні операції з легкозаймистими рідинами, зокрема, з бензином. Це, насамперед, безпечне нагрівання бензину [249] і промивання його водяним розчином їдкого натру. Не стосуючись фізичних і хімічних процесів, що відбуваються в теплогенераторі, у результаті обробки при обертанні ротора  $n = 3000$  об/хв, спочатку прозорий бензин А-80 розділювався на кілька фракцій – тонкий шар асфальтенів (не більш 0,5% обсягу), близько 5%, дизпалива рожево-жовтого кольору, 90-95% чистого бензину. На поверхні утворювалася руда піна. Приблизно генератор сепарував присадку, що перебуває в бензині, що підвищує октанове число – ферроцен.

Цей досвід показав можливість проведення низькотемпературного крекінгу нафти, що й було зроблено. Результат перевершив усі очікування – поділ фракцій почався через кілька секунд після запуску генератора. З вихідного отвору із шумом виділялася нафтогазова суміш.

Для збільшення температури суміші вихідним вентилям зменшили витрату. З вихідного отвору інтенсивно пішла пара. Після пропуску через приєднаний дистилятор у мірну ємність надійшов гарячий бензин. На жаль, досвід досить небезпечний для лабораторних досліджень. Для реалізації цієї технології необхідні додаткові дослідження продуктивності генератора, дистилятора й іншого устаткування.



Рисунок Б.8 – Склад готової продукції, що обігривається кавітаційним насосом-теплогенератором (під цистернами проходять трубопроводи нагрівання палива)

Отримані результати технологічної обробки бензину й нафти показали, що незначно змінюючи конструктивні параметри експериментального устаткування й параметри технологічного процесу можлива обробка й інших нафтопродуктів, аж до відходів супутніх нафтовидобутку.

Також була проведена обробка нафтошламів.

Нафтошлами – це відхід нафтопереробки, що забруднює прилягаючі до нафтовидобувних і нафтопереробних підприємств землі. Вони неоднорідні – у нафтошлам може входити й пісок і глина, відпрацьоване масло, вода й залишки піролізу. Склад непередбачений. Їхня переробка – складна, важкоздійснюване завдання, з кожним роком шламів ставатиме усе більше.

Для експериментальних досліджень із нафтоперегінного заводу взято 200 літрів нафтошламу. Запах нафтобітуму, кольор мазуту, хімічні характеристики не визначені. Щуп входив у бочку до половини, глибше впирався в грузлу й тверду фракцію.

Після запуску генератора на нагрівання – з бочки проводився забір рідини, зливальний шланг опустили на межу твердої фракції, щоб гаряча рідина розігрівала бітум (гудрон). Градієнт досить високий – 32 град. за 1 прохід. Через 10-15 хвилин киплячий рідкий шлам злили в технологічну ємність. У бочці залишилося 10-15% механічних включень – пісок, дрібні камені, склеєні асфальтом. Через добу цей осад перетворюється в справжній сухий асфальт, подібний тому який використовується для асфальтування доріг.

Через 24 години аналіз вмісту технологічної ємності показав, що з 180 літрів нафтошламу отримано 6 літрів бензину, 50 літрів пічного палива, 70 літрів котельного палива.

Решта випало на дні бочки міцною смолистою пористою масою – пісок, що залишився, бітум, гудрон, асфальтени. Слід зазначити, що процес супроводжується виділенням стійкого запаху асфальту, який зберігається тривалий час. Досвід доводить, що теплогенератор можна використовувати для поділу нафтопродуктів на фракції без додаткового нагрівання.

## Додаток В

### Приклад реалізації методу створення інтермодального логістичного парку

#### *ЕТАП 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВ – УЧАСНИКІВ.*

На сучасному етапі в рамках транскордонного співробітництва Луганської області розроблена ідея створення мережі міжнародних інтермодальних логістичних парків, у межах прикордонних регіонів Сходу України. Враховується перспектива створення й розвитку «Єврорегіона «Донбас». Оскільки логопарк планується створити в прикордонній території, то головними учасниками виступають державні адміністрації, які у свою чергу можуть делегувати свої повноваження вищевказаним районним центрам.

#### *ЕТАП 2. ХАРАКТЕРИСТИКА Й ОПИС ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ІДЕЇ.*

Концепцією проекту передбачається створення в селищі Мілове й селищі Чертково міжнародних залізничного й автомобільного вантажопасажирських пунктів пропуску й інтермодального логістичного парку (ІЛП).

Створення інтермодального логістичного парку «Мілове – Чертково» дозволить сформувати базисні передумови для залучення минаючого тут транзитного вантажопотоку, частково розвантаживши південну ділянку магістралі «Москва – Кавказ». Використання Міловського району в єдиній Євразійській транспортно-логістичній системі транзитного вантажопотоку вигідно з ряду причин. Селище Мілове Луганської області перебуває на рівному видаленні від таких обласних центрів як Харків, Донецьк, Воронеж, Ростов (близько 350 км). Створення інтермодального логістичного парку «Мілове – Чертково» дасть можливість розвантажувати частину залізничного вантажопотоку з залізничної станції Чертково на автомобільний транспорт України з відповідним митним оформленням, частково

«розвантажуючи» рух по «вузкій» ділянці Ліски (ЮВЖД) – Лиха (СКЖД), який «замкнений» між двома вкрай перевантаженими вузловими станціями.

Такий варіант виключає простій потягів чекаючи на вузлових станціях Ліски й Лиха для вантажів з пунктами призначення Луганська, Донецька, Харківська області й далі, аж до західних регіонів України.

Перевагами при використанні Міловського району Луганської області в транзитному вантажообігу (через створений міжнародний залізничний пункт пропуску «Мілове – Чертково») є наступні:

- вантаж проходить тільки одну станцію митного оформлення, що скорочує час проходження вантажу до станції призначення;

- вантаж переміщується залізничним транспортом зі станції, що перебуває безпосередньо на магістралі «Москва – Кавказ» і не очікує черги на вузловій станції для «входження» на магістраль із прикордонної гілки, що примикає;

- виключення варіанта затримки вантажу через помилки в митному оформленні;

- забезпечення якісної й швидкої взаємодії залізничного й автомобільного транспорту при міжнародних перевезеннях.

Перспектива розвитку інтермодального логістичного парку «Мілове-Чертково» обумовлена не тільки ефективним використанням зміни виду транспорту із залізничного на автомобільний, але й подальшою можливістю розвитку транспортної інфраструктури, яку можна здійснити поетапно:

- етап 1 – створення міжнародних залізничного й автомобільного пунктів пропуску «Мілове – Чертково» і інтермодального логістичного парку «Мілове - Чертково»;

- етап 2 – будівництво залізничної гілки Мілове – Старобільськ – Сватово (довжина близько 150 км, що дозволить з'єднати залізничну магістраль «Москва – Кавказ» із двома рокадними залізничними гілками України: Валуйки – Луганськ і Купянськ – Дебальцеве.

### *ЕТАП 3. ОЦІНКА РИНКОВОГО СЕРЕДОВИЩА.*

Взаємодіючи із системою шляхово-транспортних комунікацій Луганської області, власники вантажів, їх провайдери здобувають можливість здійснювати перевезення транзитних вантажів з Північної, Центральної й Південної Європи в напрямку Північного Кавказу, у Прикаспійські регіони, країни Середньої Азії й Індокитаю.

Україні важливо будувати й розбудовувати свою транспортну систему так, щоб міжнародний транспортний коридор Європа – Азія з виходом на Транссибірську магістраль переходів саме через Луганську область на Волгоград. Цей напрямок дає можливість найкоротшого виходу й на коридор Північ – Південь, скорочуючи довжину обох коридорів приблизно на 900-1000 км. Це вигідно для всіх учасників перевезень. На ці напрямки, на сьогодні, доводиться близько 30% обсягів перевезень.

Останнім часом уряд Казахстану активно розробляє новий транспортний коридор, який пройде з Китаю в напрямку Волгограда й далі через східні, центральні й західні регіони України в країни Європи.

Аналіз свідчить про несприятливі тенденції, що з'явилися у цій сфері. Транзитні перевезення через Україну по всіх видах транспорту починаючи з 2014 роках продовжують значно зменшуватися.

У числі основних причин зменшення обсягу транспортних вантажопотоків – невідповідність шляхово-транспортної інфраструктури країни міжнародним стандартам.

Успішність організаційно-управлінського й економічного забезпечення функціонування логопарку на регіональному рівні обумовлена наявністю залізничної магістралі «Москва-Кавказ» (МТК «Північ-Південь») [89], автотраси республіканського значення Р-07 «Чугуїв – Мілове», а також наявністю значної кількості населених пунктів з розвиненою економічною інфраструктурою.

Найбільш значною соціально-економічною інфраструктурою з боку України має Лисичансько-Сєверодонецька агломерація (Лисичанськ-Сєверодонецьк-Рубіжне), для якої автотраса Р-07 логістично найбільш сприятлива, оскільки дає можливість прямого виходу підприємствам на залізничну магістраль МТК «Північ-Південь» (відстань 160 км).

**Лисичансько-Сєверодонецька агломерація (Лисичанськ-Сєверодонецьк-Рубіжне):**

1. Хімічна (Сєверодонецьк, Лисичанськ, Рубіжне) і нафтопереробна промисловість (Лисичанськ), машинобудування(Сєверодонецьк, Лисичанськ) і приладобудування (Сєверодонецьк), вугільна промисловість (Лисичанськ), харчова промисловість (Лисичанськ, Сєверодонецьк, Кремінна), виробництво скла, будівельних матеріалів (Сєверодонецьк, Рубіжне, Лисичанськ), нафтогазовидобувна промисловість (Сєверодонецьк, Кремінна, Лисичанськ).

**Сєверодонецьк:**

Антекс-Автоматика, ТОВ НПП; Армопласт, ВАТ; ГЛОБУС, МЧП; Завод електроопорів; Імпульс, Сєверодонецьке АТ; МЕТРОКОМ, НПП; Мрія-Нова Технологія, НПФ; Об'єднання Азот, Сєверодонецьке державне виробниче підприємство; Об'єднання Склопластик, ВАТ; Пирена, підприємство протипожежного устаткування; Сєверодонецький завод хімічного нестандартизованого устаткування, ВАТ; Сєверодонецький котельно-механічний завод, ВАТ; Сєверодонецький ОРГХИМ, ЗАТ; Сєверодонецький приладобудівний завод, ВАТ; Сєверодонецький хіміко-металургійний завод, ГП; Укрвнештрейдинвест, ТОВ СП; Укрхіменерго, ВАТ; Хімавтоматика, ВАТ; Хімпоставщик, НП; Хімтехнологія.

**Лисичанськ:**

Волчєяровський кар'єр, АТЗТ; Лайон, ТОВ; Лінос, АТ; Лисичанська сода, ВАТ; Лисичанський желатиновий завод, ВАТ; Лисичанський завод гумових технічних виробів, ВАТ; Лисичанскнефтеоргсинтез, АТ; Нафтохімік, ВАТ;

Пролетар, Лисичанський склозавод, ЗАТ; Рідкі гази, ВАТ; Строммашина, ВАТ, Приладобудівний завод, ВАТ.

### **Рубіжне:**

БКФ, НПП; «Зоря», Рубежанський казенний хімічний завод; «Барвник», ВАТ; Рубежанський завод залізобетонних виробів, ВАТ; Рубежанський завод будматеріалів, ТОВ; Рубежанський картонно-тарний комбінат, ВАТ.

### **Краснореченське:**

Краснореченський верстатобудівний завод ім. Фрунзе, ВАТ; Станкомплект, ТОВ.

### **Кременна:**

Кременмаш, АТЗТ; Хімавтоматика, ВАТ..

Міста, населені пункти, розташовані безпосередньо на республіканській автодорозі Р-07 «Чугуїв – Мілове»:

### **Куп'янськ:**

Куп'янський молочно-консервний комбінат, ЗАТ; Куп'янський цукровий завод, ВАТ; Куп'янський м'ясокомбінат; «Торгперспектива» (Куп'янський ливарний завод), ТОВ; Куп'янський машинобудівний завод, ВАТ; Куп'янський чавуноливарний завод, ТОВ; Куп'янський силікатний завод; Пивоварний завод «Білий-Гер», ЗАТ; Завод залізо-бетонних конструкцій ЗЖБК-11; СП «УВРК» (Українська Східна Рибна Компанія); Куп'янський завод «Метиз»; Завод `ТЕРМОТЕХ`, ТОВ.

### **Сватово:**

Сватовський завод торговельного устаткування, ВАТ.

### **Старобільськ:**

ЗАТ „Старобільський завод замінника незбираного молока” (виробництво сухого знежиреного молока, вершкового масла); Філія ВАТ „Коровай” „Старобільський хлібокомбінат” (виробництво сухарів в асортиментах, хлібобулочних і кондитерських виробів); НП „Завод фруктово-мінеральних вод

„Айдар” (газована вода, оцет); ТОВ „ Старобільська швейна фабрика”; ЗАТ „ Старобільський механічний завод”.

Крім перерахованих промислових підприємств, логопарк «Мілове-Чертково» територіально вигідний великій кількості сільськогосподарських підприємств і сільгосппереробних підприємств Біловодського, Білокуракінського, Кременського, Марковського, Міловського, Новоайдарського, Новопсковського, Сватовського, Станічно-Луганського, Старобельського, Троїцького районів Луганської області.

У цей час вихід багатьох підприємств до міжнародних пунктів пропуску, розташованим на північному сході Луганської області дуже обмежений. Статус міжнародного поста тут мають пункти пропуску «Червона Таловка» і «Марковка». Права міжнародних пунктів пропуску повного митного оформлення в північному напрямку необхідні для підприємств Лисичансько-Сєверодонецької агломерації мають тільки ті з них, які розташовані в Харківській області. У Луганській області підприємства Лисичансько-Сєверодонецької агломерації мають вихід на міжнародні пункти пропуску повного митного оформлення тільки на південно-східному напрямку, що їм украй не вигідно.

#### *ЕТАП 4. МАРКЕТИНГОВИЙ ПЛАН.*

Враховуючи перспективу розвитку інтермодального логістичного парку «Мілове-Чертково», зазначеного раніше в 2.1, 2.2 ЕТАПУ 2 у комбінації зі створенням міжнародних залізничного й автомобільного пунктів пропуску «Мілове – Чертково» на території Міловського району перспективно використовувати ряд підприємств, які після розпаду Радянського Союзу втратили свою актуальність.

На даний момент не використовуються тисячі квадратних метрів складських приміщень колишньої міжрайонної оптової бази Луганського обласного споживчого союзу. До території складської міжрайонної бази підходила залізнична колія, з якої здійснювалося розвантаження залізничних вагонів. При створенні на базі міжнародних залізничного й автомобільного пунктів пропуску «Мілове – Чертково»

логістичного термінала з використанням зазначених складських потужностей, дозволять виключити простій автотранспорту й вагонів при їхньому митному оформленні. Вантаж буде проходити оформлення на складах термінала. Використання складських потужностей дозволить виключити пробіг порожнього поворотного транспорту, завантажуючи «попутний» вантаж по маршруту проходження.

На території селища Мілове перебуває оптова нафтобаза з існуючими під'їзними залізничними коліями. Використання Міловської нафтобази в залізничних перевезеннях ПММ зменшить витрати їх доставки в регіон.

Безпосередньо на залізничній магістралі перебувають два зернові елеватори: Чертковський елеватор і Зориновський елеватор (Україна). Обоє елеватори мають робочі під'їзні залізничні колії й можливість відвантаження (розвантаження) зерна залізничним транспортом.

Об'єднання перерахованих об'єктів у єдиний логістичний парк, наявність великих залізничної й автомобільної магістралей, дозволить залучити додаткові вантажні потоки в регіон, а комбінація двох прикордонних пунктів пропуску – автомобільного й залізничного, забезпечать швидке митне оформлення вантажів і прискорить пропуск вантажопотоків.

Система міжнародних коридорів, що проходять через Луганську область (Україна), включає ділянки євразійських МТК "Північ-Південь":

- Дунайський водотранспортний коридор № 7 (Дунай-Дон-Волга).

- МТК № 3 (Берлін-Дрезден-Київ) продовжується через Ростовську область на Владикавказ і Тбілісі, а також через Білу Калитву на Волгоград і далі, у Середню Азію;

- МТК № 4 (Відень – Будапешт – Бухарест - Кишинів) - Одеса-Ростов-Астрахань і далі, до приєднання до проекту ТРАСЕКА в Казахстані. У формуванні коридору, що продовжується, використовуються автомобільна й залізнична магістралі Ростова-Одеса-Кишинів;

- МТК № 9-б (Клайпеда (Калінінград) - Київ) - Харків - Ростов і далі, на Махачкалу - Баку - Тегеран. Цей коридор зв'язує порти Балтії з портами Каспію, а також із МТК "Північ-Південь" і МТК № 3.

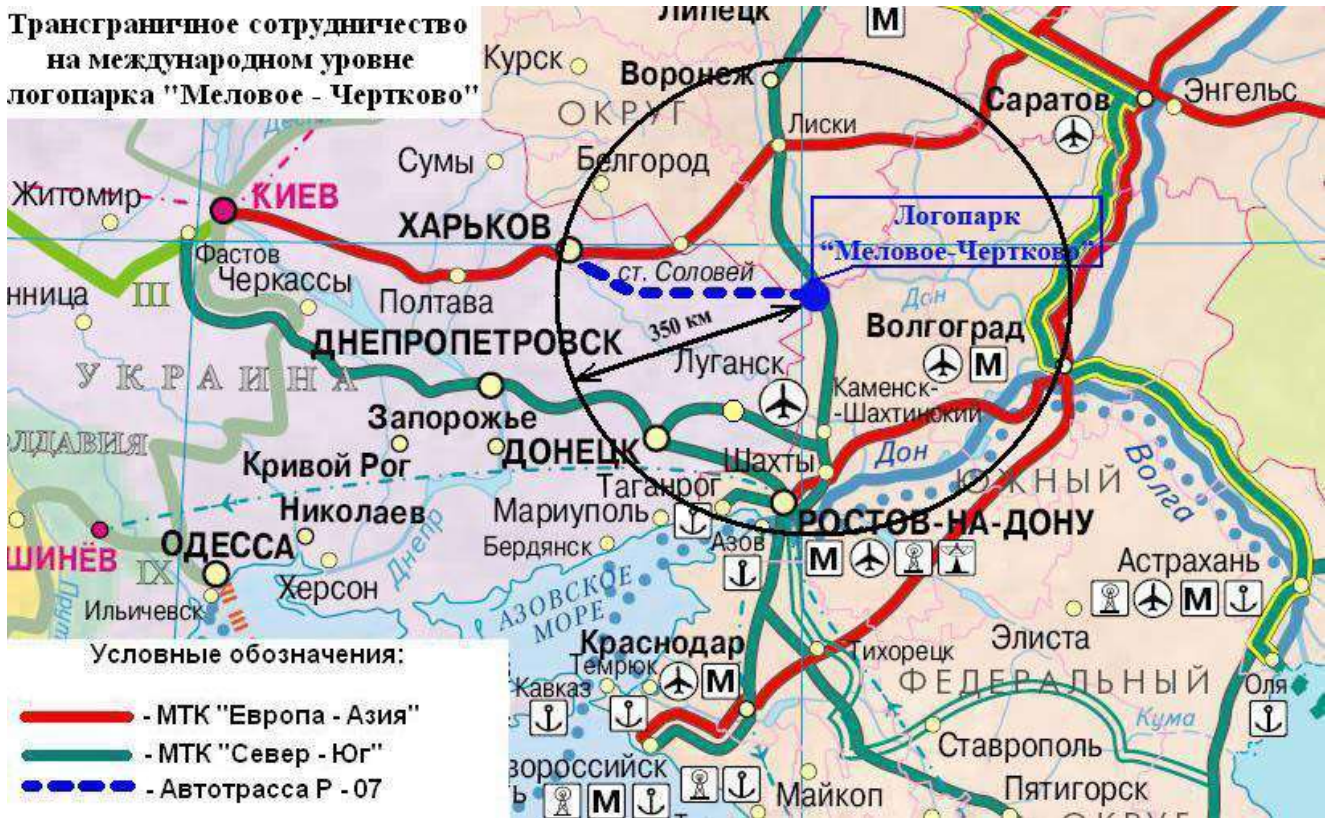


Рисунок В.1 – Логопарк «Мілове-Чертково» у системі міжнародних коридорів.

Логістичний парк «Мілове - Чертково» може бути розташований безпосередньо в межах міжнародного транспортного коридору «Північ – Південь» (рис.А.1). Перебуваючи на стику трьох областей (Луганської, Ростовської й Воронежської), двох залізниць (СКЖД і ЮВЖД), логопарк буде ефективно брати участь у системі інтермодальних транскордонних перевезень, що дозволить оптимізувати доставку вантажів у пункти призначення. Основними методами просування послуг логістичного парку будуть наступні:

1. Організація тематичних заходів для потенційних клієнтів (презентації, конференції, виставки й т.п.).

2. Письмові комерційні пропозиції потенційним клієнтам.
3. Регулярні відвідування представниками логопарка передбачуваних клієнтів.
4. Реклама в мережі Інтернет і ЗМІ.
5. Залучення замовників планується проводити ціною доступністю, високою якістю надаваних послуг, оперативністю й комплексністю надання послуг і іншими можливими перевагами.

План маркетингу також передбачає систему знижок і формування на цій основі кола постійних платоспроможних клієнтів.

#### *ЕТАП 5. ВИРОБНИЧИЙ ПЛАН РЕАЛІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ.*

Використання послуг логопарка дозволить замовникові одержати якісний сервіс і оптимізувати витрати, враховуючи специфіку кожного вантажу й можуть бути запропоновані різні умови зберігання. Складські комплекси містять у собі теплі приміщення, холодні приміщення й відкриті майданчики. Усі складські комплекси мають зручні під'їзні колії незалежно від розміру й технічних характеристик автотранспорту.

Для зниження накладних витрат при організації зберігання товарів і вантажів пропонуємо відповідальне складське зберігання. Наші складські комплекси спроектовані таким чином, щоб максимально відповідати вимогам і нормам відповідального зберігання. Є все необхідне вантажно-розвантажувальне устаткування. Професійна цілодобова охорона забезпечить повну схоронність збережених матеріалів, гарантується конфіденційність відомостей про товар і вантаж.

#### **Склад тимчасового зберігання (СТЗ)**

Склад тимчасового зберігання – це спеціальне приміщення, у якому здійснюється тимчасове зберігання різних товарів і транспортних засобів під митним

контролем з моменту їх надання митному органу й до закінчення необхідних митних процедур.

Зручне транспортне розташування СТЗ і власна залізнична галузь дозволяють без особливих витрат і втрати часу здійснювати як первинне розміщення вантажу, так подальшу його доставку до місця призначення.

Склад обладнаний новітніми сучасними технологіями.

**Для наших клієнтів може бути запропоновано:**

- відповідальне зберігання товарів;
- вантажно-розвантажувальні роботи;
- приймання й видача товарів з контролем якості й кількості;
- регулярні відправлення збірних вантажів автомобільним і залізничним транспортом;
- повний комплекс складських операцій логістичного терміналу: добір товарів у замовлення, упакування, маркування, формування наборів (комплектів), можливість відстеження серійних номерів, партій, строків зберігання товарів на вимогу клієнта, інвентаризація й звіти про рух товарів, дистанційний доступ клієнта до інформації про товар;
- робота з поверненнями товару;
- моніторинг вантажопотоку;
- автоперевезення вантажу транспортом логістичного парку;
- доставка збірного вантажу після митного оформлення;
- сприяння в митному оформленні й консультації з питань оформлення документів;
- логістичний контроль на всіх етапах транспортування вантажу;
- страхування, супровід, охорона й відстеження вантажів;
- консолідація й оплата рахунків за перевезення вантажів.

Призначення складського терміналу (10000м<sup>2</sup>) – здійснювати приймання вантажів, їх комбінування згідно з маршрутами призначення (комплектування), безпосередньо складське зберігання, вантажно-розвантажувальні роботи, і т.д.

**Основні характеристики будинку складського термінала:**

Довжина будинку	100 м.
Ширина будинку	100 м.
Висота будинку	13 м.
Площа будинку	10 000 м.кв.
Периметр будинку	400 м.
Площа стін	5 730 м.кв.
Площа покрівлі	10 201 м.кв.
Загальна площа	15 931 м.кв.
Товщина підлоги	100 мм.

Вартість будівництва становить 442 USD за кв.м, усього:  $10000 \times 442 = 4\,420\,000$  USD

Основні характеристики допоміжного будинку (рис. А.2):

Призначення допоміжного будинку (2500м<sup>2</sup>) – розміщення обслуговуючого персоналу, офісний блок, бокси вантажно-розвантажувальної техніки, бокси автомобільної техніки й ін.

Довжина будинку	50 м.
Ширина будинку	50 м.
Висота будинку	13 м.
Площа будинку	2500 м.кв.
Периметр будинку	200 м.
Площа стін	2740 м.кв.
Площа покрівлі	2601 м.кв.
Загальна площа	5341 м.кв.
Товщина підлоги	100 мм.



Рисунок В.2 – Допоміжний будинок.

Вартість будівництва даного об'єкта становить 500 USD за кв.м., усього: 2500 x 500 = 1 250 000 USD

Два будинки логістичного термінала загальною площею 12 500 кв.м., вартістю 5 670 000 у.е. (рис. А.3).



Рисунок В.3 – Будинок логістичного терміналу.

Крім того, планується будівництво інших об'єктів інфраструктури:

Загальна площа землевідводу: 30 га;

Загальна площа забудови: 287 500 кв. м., з них:

- Контейнерний майданчик: 40 000 кв.м.;

- Майданчик відкритого зберігання вантажів і стоянка автомобілів: 247 500

кв.м.

Загальна вартість інфраструктурної складової 5 700 000 USD

**Загальна сума капітальних вкладень у проект становить 11 370 000 USD**

У розрахунках вихідних даних проекту визначаються види послуг, які будуть запропоновані операторам вантажоперевезень, обсяги послуг і їх цінові характеристики.

<b>Плановий обсяг надаваних послуг</b>							
<b>№ п/п</b>	<b>Найменування показників</b>	<b>Од. виміру.</b>	<b>Ціна</b>	<b>Обсяг у добу</b>	<b>Сума за добу, USD</b>	<b>Сума у міс., USD</b>	<b>Сума в рік, USD</b>
<b>1</b>	Навантаження/розвантаження, складування, подгрупування вантажів	тис. тон	1 600	10	16 000	480 000	<b>5 760 000</b>
<b>2</b>	Обробка контейнерів	шт.	6,95	31	215	6 464	<b>77 562</b>
<b>3</b>	Надання послуг відкритої стоянки	Од..	3,13	685	2 144	64 322	<b>771 858</b>
<b>4</b>	Перевезення вантажів	тис. ткм.	20,87	3	63	1 878	<b>22 540</b>
<b>5</b>	Сервісні послуги	компл.	313	10	3 130	93 900	<b>1 126 800</b>
	<b>Разом:</b>				<b>21 552</b>	<b>646 563</b>	<b>7 758 760</b>

Згідно зроблених розрахунків вихідних даних проекту визначаємо річний виторг від обороту в сумі 7 758 760 USD.

Вихідні дані проекту забезпечують наступні показники:

Виплати й надходження	Періоди часу				
	1-й період*	2-й період	3-й період	4-й період	5-й період
1. Будівництво логопарку, закупівля й установка устаткування й техніки	11 370 000				
2. Виторг від реалізації наданих послуг		7 758 760	7 758 760	7 758 760	7 758 760
3. Змінні витрати		120 000	120 000	120 000	120 000
4. Постійні витрати		50 000	50 000	50 000	50 000
5. Амортизація		350 000	350 000	350 000	350 000
6. Прибуток до сплати податків		7 238 760	7 238 760	7 238 760	7 238 760
7. Податки (ПДВ і податок на прибуток)		3 531 138	3 531 138	3 531 138	3 531 138
8. Чистий прибуток		3 707 622	3 707 622	3 707 622	3 707 622
9. Грошовий потік від інвестицій	11 370 000				
10. Грошовий потік від операцій		4 057 622	4 057 622	4 057 622	4 057 622
11. ЧИСТИЙ ГРОШОВИЙ ПОТІК	-11 370 000	4 057 622	4 057 622	4 057 622	4 057 622

*ЕТАП 6. ФІНАНСОВИЙ ПЛАН І ПРОГРАМА ІНВЕСТИЦІЙ.*

**Фінансові результати реалізації проекту**

Для того, щоб визначити економічну ефективність проекту, визначається приріст чистих вигід від його реалізації, тобто, знаходиться різниця між чистими вигодами, які виходять від реалізації проекту й чистими вигодами у випадку відмови від проекту. У ситуації «без проекту» усі показники рівняються нулю, оскільки підприємство будує нові складські приміщення.

Таким чином, приріст вигід дорівнює значенню чистих вигід:

	<b>USD</b>
<b>1-й</b>	0
<b>2-й</b>	7 758 760
<b>3-й</b>	7 758 760
<b>4-й</b>	7 758 760
<b>5-й</b>	7 758 760

Наростаючим підсумком приріст чистих вигід складе:

	<b>USD</b>
<b>1-й</b>	0
<b>2-й</b>	7 758 760
<b>3-й</b>	15 517 520
<b>4-й</b>	23 276 280
<b>5-й</b>	31 035 040

По проекту строк будівництва становить 12 міс. з дати початку фінансування проекту.

Якщо проект буде профінансовано на суму 11 370 800 дол. США, то показник NPV складе 13 191 270 дол. США.

Внутрішня норма рентабельності (IRR) проекту складе 35,82%.

Показник рентабельності інвестицій проекту складе 54,59%, що також свідчить про достатньо високу рентабельність здійснення інвестицій.

Строк окупності проекту з моменту введення в експлуатацію складе 2,47звітного періоду, тобто 3 роки (2 роки й 5 місяців).

З урахуванням дисконтування, строк окупності рівняється 2,73 рокам, тобто, витрати по проекту з урахуванням зміни вартості грошей у часі окупляться на 3-му році реалізації проекту.

Детально порядок розрахунків показників ефективності інвестицій представлена нижче. Розрахунковий період реалізації проекту становить 5 років.

### Показники ефективності інвестицій

Показник			
Розмір інвестицій, USD		11 370 000	
Ставка дисконтування, %		7	
Період окупності - PB, міс.		36,00	
Дисконтований період окупності - DPB, міс.		36,00	
Середня норма рентабельності - ARR, %		54,59	
Чистий наведений дохід – NPV, USD		13 191 270	
Дисконтований індекс прибутковості - DPI		2,16	
Внутрішня норма рентабельності – IRR, %		35,82	
Період розрахунків інтегральних показників		5 років	
<b>Період окупності</b>			
<b>Планований обсяг інвестицій, USD</b>		11 370 000	
<b>Рік</b>	<b>Потік доходу від інвестицій</b>		<b>Окупність проекту</b>
	цього року	наростаючим підсумком	
<b>1-й</b>	0	0	не відбувається
<b>2-й</b>	7 758 760	7 758 760	не відбувається
<b>3-й</b>	7 758 760	15 517 520	відбувається
<b>4-й</b>	7 758 760	23 276 280	відбувається
<b>5-й</b>	7 758 760	31 035 040	відбувається
<b>Період окупності проекту становить</b>		3	року
		точніше	2,47 років

<b>Дисконтований період окупності</b>				
Планований обсяг інвестицій, USD			11 370 000	
Ставка дисконтування (дисконту)			0,07	
Рік	Потік доходу від інвестицій			Окупність проекту
	цього року	по поточній вартості	наростаючим підсумком	
<b>1-й</b>	0	0	0	не відбувається
<b>2-й</b>	7 758 760	6 776 801	6 776 801	не відбувається
<b>3-й</b>	7 758 760	6 333 459	13 110 261	відбувається
<b>4-й</b>	7 758 760	5 919 121	19 029 382	відбувається
<b>5-й</b>	7 758 760	5 531 889	24 561 270	відбувається
<b>Період окупності проекту становить</b>			3	року
			точніше	2,73
				років

<b>Дисконтований індекс прибутковості</b>	
Планований обсяг інвестицій, USD	11 370 000
Ставка дисконтування (дисконту)	0,07
Рік	Потік доходу від інвестицій
	цього року
	по поточній вартості
<b>1-й</b>	0
<b>2-й</b>	7 758 760
<b>3-й</b>	6 333 459
<b>4-й</b>	5 919 121
<b>5-й</b>	5 531 889
<b>Чиста поточна вартість - NPV</b>	
	<b>13 191 270</b>
<b>Дисконтований індекс прибутковості - DPI</b>	
	<b>2,16</b>

Виходячи з розрахунку економічної ефективності проекту логістичного парку «Мілове – Чертково», можемо робити висновок про доцільність і перспективності будівництва об'єкта на території Міловського й Чертковського районів.

Інформація про можливі ситуації інвестиційного проекту підприємства, що мають ризиковий характер.

### **Проектні ризики**

Найбільш значимі ризики проекту обумовлені загальною ситуацією в Україні, пов'язаної з, перспективою економіки в цілому, фінансовою нестабільністю.

### **Фінансова нестабільність.**

Вплив зазначеного фактора частково може бути знижене стабілізаційним фінансовим фондом і фінансовою привабливістю проекту в цілому.

**Інші види ризиків** і їх можливі негативні впливи на етапах підготовки, інвестування й реалізації продукції представлені в наступній таблиці.

Найбільш значимі (кількісно обумовлені) ризики проекту будуть мінімізовані за рахунок страхування вантажів, що зберігаються, а також реалізації комплексу заходів щодо зниження ризиків.

### **Заходи щодо зниження ризиків**

Аналогів в Україні даному проекту немає, тому ризик значної конкуренції з боку інших проектів на підготовчій стадії можна вважати незначним.

Ризики на стадії функціонування можна розглядати як значні. Однак, за умови ефективного менеджменту вони також можуть бути мінімізовані.

Розрахунки проекту проводилися виходячи з реалістичного сценарію розвитку подій на ринку. Значні відхилення у бік погіршення показників економічної ефективності проекту є малоімовірними.

Загальний рівень ризикованості проекту можна вважати прийнятним для інвестування.

<b>Ризики</b>	<b>Негативний вплив</b>
Нестійкість попиту	Зниження попиту
Поява альтернативних підприємств	Зниження попиту
Неплатоспроможність клієнтів	Зниження обсягів послуг
Залежність від клієнта, відсутність альтернатив	Зниження прибутків через ріст цін
Кваліфікація виробничих кадрів	Зниження якості надаваних послуг
Недостатній рівень мотивації працівників	Плинність кадрів, зниження якості надаваних послуг
Вихід з ладу устаткування	Зниження якості надаваних послуг
Жорсткість вимог до екологічності технологічного процесу	Збільшення витрат на заходи щодо захисту навколишнього середовища

*ЕТАП 8. СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПЛАНУ.*

Коротка інформація про соціально-економічні аспекти інвестиційного проекту підприємства.

Практична реалізація проекту на фоні зростаючого обсягу транзитних вантажів (який згідно з деякими прогнозами вже до 2025 року буде обчислюватися в обсязі більш 1 трлн. грн.), дозволить активно задіяти транспортно-логістичну інфраструктуру. Це забезпечить роботою тисячі жителів регіону, а також додатково побільшають надходження в бюджети різних рівнів на 30-35%.

## Додаток Г

## Акти впровадження результатів роботи

## АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
к.т.н М. Е. Слободянюка на тему «**РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ  
ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ  
ТРАНСПОРТУ В СКЛАДНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ**».

Наступні результати роботи Слободянюка М. Е. впроваджено у Директораті цифрової інфраструктури на транспорті Міністерства інфраструктури України:

**- вимоги концепції створення й інтеграції транспортно-логістичної системи прикордонних територій до інформаційного забезпечення та діджиталізації функціонування засобів транспорту в умовах експлуатації міжнародних транспортних коридорів.**

Підставою для впровадження розробок є «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р.; «Положення про Міністерство цифрової трансформації України», затверджене постановою КМУ від 18 вересня 2019 р. № 856.

**В результаті впровадження вищеназваних розробок:**

- удосконалюється система інформаційного забезпечення процесу контролю за транспортуванням вантажів по транспортним коридорам при проходженні прикордонних територій.

- покращується система контролю та обробки пересування вантажів через державні кордони.

Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованих заходів в межах ділянки Київ-Катовіце складає 920 000 грн. на рік.

**Висновки та рекомендації про подальше використання розробок:**  
рекомендувати для подальшого використання конструкторськими,  
проектними та експлуатаційними організаціями на об'єктах транспорту.

Акт складений в чотирьох екземплярах:


екз. №1 – Директорат цифрової інфраструктури на транспорті  
Міністерства інфраструктури України

екз. №2 – Державний університет інфраструктури та технологій

екз. № 3,4 – Слободянюк М. Е.

Генеральний директор  
Директорату цифрової інфраструктури  
на транспорті  
Міністерства інфраструктури  
України



  
Сафаров Фарід Каміл

Утверждаю:  
 Главный инженер ОП «ПТУ»  
 ООО «ДТЭК СВЕРДЛОВАНТРАЦИТ»

 Г.П. Артеменков  
 « 09 » апреля 20 14 г.

### Акт внедрения

Комиссия в составе:

- председателя: - начальника службы пути ОП «ПТУ» - Еременко С.И.;  
 ООО «ДТЭК СВЕРДЛОВАНТРАЦИТ»
- членов комиссии: - дорожного мастера ОП «ПТУ» ООО - Богунова Д.А.;  
 «ДТЭК СВЕРДЛОВАНТРАЦИТ»
- директора института транспорта и -- д.т.н., проф. Нечаева Г.И.;  
 логистики Луганского  
 государственного университета  
 им. В.Даля
- докторанта кафедры транспортные - к.т.н. Слободянюк М.Э.;  
 системы Луганского государственного  
 университета им. В.Даля

составила настоящий акт по факту передачи для использования в ОП «ПТУ» ООО «ДТЭК СВЕРДЛОВАНТРАЦИТ» методики выбора и расчета жесткости подрельсового основания на подъездных путях при использовании старогодних рельсов различных марок в одной шпалы.

Разработанная под руководством и при непосредственном участии Слободянюк М.Э. методика позволяет:

- рассчитать жесткость подрельсового основания в местах стыковки рельсов различных марок,
- продлить срок их службы и обеспечить более высокую скорость движения подвижного состава на подъездных путях за счет снижения вертикальных динамических нагрузок, действующих на подвижной состав.

Председатель:



С.И. Еременко

Члены:



Д.А. Богунов



Г.И. Нечаев

М.Э. Слободянюк

Затверджую:  
 Головний інженер  
 ВП «Ровеньківське ВТУ»  
 ТОВ «ДТЕК-Ровенькиантрацит»  
 В.О. Мархай  
 « 27 » грудня 2016 г.

### Акт впровадження

Комісія у складі голови головного інженера ВП «Ровеньківське ВТУ» ТОВ «ДТЕК-Ровенькиантрацит» Мархай В.О., в.о. начальника служби колії ВП «Ровеньківське ВТУ» ТОВ «ДТЕК-Ровенькиантрацит» Кондратюк С.Н., директора інституту транспорту та логістики Луганського університету ім. В. Даля д.т.н., проф., Нечасва Г.І., докторанта кафедри транспортні системи к.т.н. Слободянюк М.Е. склала цей акт для використання у ВП «Ровеньківське ВТУ» ТОВ «ДТЕК-Ровенькиантрацит» методики вибору і розрахунку жорсткості підрейкової основи на під'їзних коліях при використанні старопридатних рейок різних марок в одній нитці та оптимізації витрат на утримання.

Розроблена під керівництвом і при безпосередній участі Слободянюк М.Е. методика дозволяє:

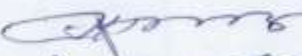
- Розрахувати жорсткість підрейкової основи в місцях стикування рейок різних марок;
- Продовжити термін служби рейок і забезпечити більш високу швидкість руху рухомого складу на під'їзних коліях за рахунок зниження вертикальних динамічних навантажень діючих на рухомий склад;
- Знизити витрати на утримання колії.

Голова комісії

Члени комісії :



Мархай В.О.



Кондратюк С.Н.



Нечасв Г.І.



Слободянюк М.Е.

АКТ 1-1від 11 08 2020р

**впровадження результатів дисертаційної роботи М. Е. Слободянюка на тему «РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ В СКЛАДНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ»**

В АТ «Укртранснафта» розглянуто та впроваджено запропонований Слободянюком М. Е. **метод оцінки ефективності функціонування відновлюваних систем трубопровідного транспорту.**

Сутність методу полягає в обґрунтуванні ефективного розподілу експлуатаційного навантаження на окремі елементи транспортних трубопровідних систем і оцінці періодів їх обслуговування як за часом, так і по витратах. Узагальнено метод складається з виконання наступних операцій:

1. Виконується схематизація, при якій усі елементи трубопровідної арматури розглядаються як функціонуючі безвідмовно, а відновлюваними вважаються тільки лінійні елементи системи.

2. Складається перелік можливих станів системи, пов'язаних з відмовами лінійних елементів і їх наступним відновленням.

3. Визначаються ймовірності перебування системи в кожному з можливих станів, з урахуванням відомих характеристик потоків відмов і відновлення.

4. Установлюється показник ефективності функціонування всієї системи, з урахуванням значень обсягів цільового продукту, які одержать споживачі протягом розглянутого періоду часу.

Підставою для впровадження розробок є «Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року», затверджені Законом України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII.

Загальна сума витрат на впровадження методів, моделей та програмного забезпечення складає 202,4 тис. грн.

**Розроблений метод дозволяє:**

- оцінювати ефективність функціонування відновлюваних трубопровідних транспортних систем з великим числом структурних елементів;
- визначати коефіцієнт використання таких систем.

Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованих заходів в межах ділянки лінійної частини експлуатації нафтотранспортної системи АТ «Укртранснафта» складає 4 320 000 грн. на рік.

**Висновки та рекомендації про подальше використання розробок:**

рекомендувати для подальшого використання конструкторськими, проектними та експлуатаційними організаціями на об'єктах автомобільного транспорту.

Акт складений в чотирьох екземплярах:

екз. №1 – Відділу експлуатації лінійної частини АТ «Укртранснафта»

екз. №2 – Державний університет інфраструктури та технологій

екз. № 3,4 – Слободянюк М. Е.

**Директор технічний  
АТ «Укртранснафта»**



**С.П. Квач**

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Директор Київського інституту  
залізничного транспорту ДУІТ



Н. С. Брайковська

20 20 р.

**АКТ**

про впровадження результатів дисертаційної роботи Слободянюка Максима Едуардовича на тему **«Розвиток теоретичних основ підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту в складних виробничих системах»** у навчальному процесі Державного університету інфраструктури та технологій

У навчальний процес ДУІТ впроваджено наступні результати дисертаційної роботи Слободянюка М. Е.:

- метод визначення економічного критерію ефективності експлуатації засобів транспорту, який відрізняється тим, що ґрунтується на показниках декількох видів транспорту та дозволяє врахувати технічні характеристики транспортних засобів і параметри транспортної інфраструктури;
- метод моделювання параметрів верхньої будови залізничних колій для пропуску великовагових та великогабаритних вантажів.

Дані розробки з 2019 року по теперішній час використовуються:

- при проведенні занять у групах факультету Інфраструктури та рухомого складу залізниць при підготовці магістрів за спеціальністю «Залізничний транспорт»

Декан факультету  
ІРСЗ, к.т.н., доцент

В. М. Твердомед

Завідувач кафедри ІРСЗ  
д.т.н., проф.

В. П. Ткаченко