

ВСТУП

Вантажні залізничні перевезення в Європі мали кращі часи до початку процесу деіндустріалізації наприкінці 20-го сторіччя. Процес деіндустріалізації змістив європейську виробничу структуру до економічної системи, більш залежної від інформації, послуг та технологічного розвитку, встановлюючи важливі вимоги до якості перевезень, яким вантажні залізниці зараз не в змозі відповідати. В ці часи європейські залізниці втратили важливу частку свого ринку вантажних перевезень, що у випадку країн Центральної та Східної Європи було особливо руйнівним. Вантажообіг залізниць Східної Європи знизився між 1988 та 1993 роками на 60 %.

Дійсно, основною причиною занепаду європейських вантажних перевезень можна вважати зміну виробничої структури; однак інші причини, такі як погана координація міжнародних транскордонних регулярних маршрутів, необхідних для більш великих відстаней перевезень, а також негнучкість передачі залізничних вантажів іншим видам транспорту, також призвели до важливого погіршення стану залізниць. Значне зниження, яке зазнали вантажні перевезення з 1980-х років, дуже сильно контрастує зі збільшенням перевезень іншими видами транспорту, особливо автомобільним, перевезення вантажів яким збільшилися на 180% в термін між 1980 та 2000 роками.

Протягом 20-го та початку 21-го століття автомобільні та морські вантажні перевезення зазнали феноменального зростання, поглинувши основну частину створеного нового ринку вантажних перевезень та зайнявши частку ринку залізниць. На жаль, екологічна ціна, заплачена за це, була високою, особливо стосовно дорожнього транспорту. По мірі того, як європейські уряди усвідомлювали екологічні проблеми, що виникають внаслідок такого швидкого збільшення перевезень, вони все частіше стали розглядати вантажні залізничні перевезення, як такі, що повинні пропонувати краще енерговикористання та зменшити зовнішні витрати, якщо

використовувати їх ефективно. Тоді, залізничний транспорт повинен бути більш конкурентоспроможним на екологічно зацікавленому ринку наземних перевезень.

У той час як інші види транспорту користувалися сприятливим політичним регулюванням, вантажні залізничні перевезення потрапляли під дію антимонопольних законів європейських країн. Лібералізація європейського ринку вантажних перевезень, що відбувається з 1993 року. Сьогодні поєднання мереж, які виконують інтегровані перевезення, та лібералізованих ринків проклало шлях новим операторам ринку перевезень отримувати переваги в деяких коридорах та районах, особливо в контейнерному сегменті, наприклад коридор Рейн – Швейцарія – Італія, а також Антверпен, Роттердам – Бремена, Гамбург. Таким чином, ЄС все ще шукає найкращі регуляторні рамки, які б забезпечували задовільний розвиток залізниці.

Сьогодні екологічні проблеми суспільства в поєднанні з нестабільними цінами на енергоносії та зростанням попиту на нафту та інші товари виводять функціонування залізниць в центр уваги багатьох потенційних споживачів.

Загально прийнято вважати, що залізничний транспорт більш доцільний для перевезення великих і важких вантажів на великі відстані, тоді як автомобільний – більш доцільний для невеликих і легких вантажів на невеликі відстані. Між цими крайнощами існує багато запитів на транспортування, які можуть бути виконаними будь-яким з цих видів транспорту (рис. 1.1).

Зазвичай автомобільний транспорт має більш вигідні позиції у 80% випадків виражених у ткм. Дійсно, нині близько 1,5 мільярда ткм вантажобігу виконується в Європі вантажними автомобілями на відстані понад 150 км, навпаки, лише 0,4 млрд. ткм (20%) перевозяться залізницями [1], що спричиняє великі витрати на викопне паливо.

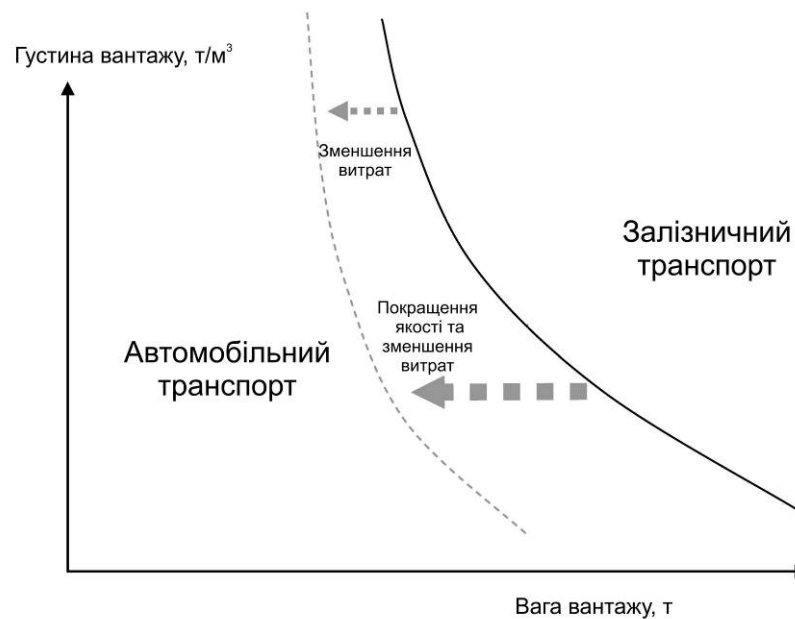


Рис. 1.1. Доля можливих модальних перевезень під час транспортування на відстань більшу ніж 600 км

Це відображає фактичну тенденцію більш ефективного використання наявного вагонного парку, що досягається за рахунок збільшення кількості продуктивних (завантажених) вагоно-км на рік.

Важливу частину цієї загальної ефективності вагонів можна віднести до вичерпного використання інтермодальних вагонів, які знайшли свою досить велику долю на глобалізованому ринку контейнерних перевезень.

Отже, в найближчому майбутньому продуктивність вагонів повинна продовжувати зростати, щоб досягти кращого рівня конкуренції проти автомобільного транспорту. Цей виклик прокладе шлях до досконалості вантажних залізничних перевезень і дасть змогу більш стійкого розвитку майбутніх перевезень.

Актуальність теми.

Протягом багатьох років вчені різних країн досліджують інфраструктуру, транспортні засоби та експлуатацію залізниць. На сьогоднішній день транспортні системи майже досягли досконалості і транспортна наука стикається вже з більш спеціалізованими викликами.

Останнім часом урядами розвинутих країн поставлена задача підтримання екологічної цілісності та добробуту при здійсненні перевезень, що стикається з серйозними протиріччями щодо концепції зростання та розширення, нав'язаної глобалізованими економіками, і ставить науку про транспорт в дуже складну ситуацію.

Отже, науково-технічний розвиток залізниць в основному керується економічними інтересами з одного боку та політичною волею з іншого.

На залізниці використання наявної пропускнує спроможності відіграє вирішальну роль для продуктивності бізнесу та застосування інфраструктурних потужностей. З цією метою вагони відповідають конкретним вимогам користувачів, що призводить до ефективних перевезень та переваг для зацікавлених сторін. Через це існує велика різноманітність типів вагонів, які призначені для конкретних перевезень, наприклад: контейнери, критий вагон, напіввагон, платформа, цистерна, хоппер, транспортер. Таким чином, ефективна експлуатація залізниць потребує правильного використання вагонів для потрібного товару.

Але сьогоденні товари сильно відрізняються від товарів 100 років тому. Відбулось важливе збільшення транспортування готових та напівготових товарів, що змінило транспортні уподобання. Споживачі вимагають все більшої якості в перевезенні – якість, яку дуже добре надає автомобільний транспорт.

Автомобільні перевезення змогли запропонувати якісні рішення для багатьох перевезень, що базується на дуже низьких цінах через більш дешеві витрати на паливо. Але, як довго це буде можливо чи дешево? Як екологічний транспортний спосіб майбутнього буде мати справу з такою транспортною звичкою? Чи є залізниці, як вони виглядають сьогодні, цим транспортом?

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами.

Магістерська робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, які визначені у Стратегії розвитку залізничного

транспорту на період до 2020 р. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 р. за № 1555-р), а також пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконуються Східноукраїнським національним університетом імені Володимира Даля.

Мета роботи – довести, що вантажні поїзди повинні стати легшими, щоб знизити витрати на логістику та краще конкурувати з автомобільним транспортом. Те, що вантажні поїзди повинні стати легшими означає, що поїзди повинні стати більш орієнтованими на об'ємні товари, ніж на важкі товари.

Основні задачі дослідження:

* Дослідити розвиток ринку інтермодальних залізничних перевезень та майбутню потребу в подальшому розвитку різних типів вагонів відповідно до потреб ринку.

* Оцінка використання більш довгих вагонів для інтермодального транспорту відповідно до вартості, потужності та зовнішніх наслідків.

Методологія дослідження включає наступні етапи: розмежування системи та виділення основних проблем дослідження; літературний аналіз; аналіз статистичної інформації; аналіз потреб споживачів та постачальників ринку інтермодальних перевезень; дослідження ефективності застосування довгих вагонів; вплив довгих вагонів на інфраструктуру та зовнішнє середовище; розрахунки економічного ефекту.

Об'єкт дослідження. Удосконалення інтермодальних перевезень.

Предмет дослідження. Інтермодальні перевезення в умовах інтегрованості.

Методи дослідження. Методи дослідження операцій та теорії ймовірностей. Теоретичні моделі можна було б підтвердити лише за допомогою реального експерименту з прототипами вагонів та реальними перевезеннями, що виходять за рамки даної теоретичної роботи. Однак, представлені результати моделювання трафіку та дослідження окремих

випадків дають достатньо аргументів для підтвердження початкової гіпотези та робочих теорій.

Наукова новизна:

Для кращого використання пропускної спроможності колії, поїздів і вагонів, довжина завантаження повинна бути довшою і одночасно з меншою чи однаковою кількістю осей.

Збільшення об'єму перевезених товарів стикається з труднощами в Європі через малі вантажоперевезення. "Вертикальне" зростання поїздів у Європі, як це зроблено в США, в яких використовують двоповерхові поїзди, вимагає дуже великих інвестицій в інфраструктуру, які можна досягти лише за дуже довгий термін і при дуже високих витратах. І навпаки, розширення поздовжнього розміру, очевидно, легко досягне. Це разом із скороченням тари транспортних засобів, наприклад, за рахунок зменшення кількості коліс, відкриває шлях для досягнення кращого використання потужності поїзда при менших витратах енергії.

Практична цінність:

Можливо збільшити пропускну здатність залізничної інфраструктури, використовуючи кращий рухомий склад. Для цього необхідно використовувати довші вагони з більшою вантажопідйомністю та кращим коефіцієнтом завантаження. Альтернативою є побудова нової залізничної інфраструктури, яка може бути пропорційно набагато дорожчою. Проміжним рішенням є підвищення якості інфраструктури, за рахунок збільшення вантажопідйомності та навантаження на вісь.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених: «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (м. Рубіжне (Луганська обл.), 2020).

Публікації. За результатами роботи опубліковано 1 наукову статтю у матеріалах конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті».

1. АНАЛІЗ ПОТРЕБИ В ВАНТАЖНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ В ЄВРОПІ

Відстань транспортування відіграє важливу роль у виборі виду транспорту. Глобалізовані економіки передбачають збільшення відстаней транспортування. За цим показником залізничні перевезення здатні досягти важливих масштабів економії за рахунок більш тривалих перевезень. Однак в Європі, зважаючи на географічні та економічні характеристики, відстані транспортування залізничним транспортом не такі довгі, як могли бути. Безумовно, проблеми інтеперабельності на національних кордонах та регульованих ринках залізничного вантажоперевезення є головною причиною цього. У наступні роки зусилля, що проводяться з точки зору TSI (Technical Specifications for Interoperability) та розвитку міжнародних вантажних коридорів, повинні сприяти зростанню міжнародних вантажоперевезень і, отже, збільшенню відстані залізничних перевезень.

Таблиця 1.1.

Характеристики та середня відстань транспортування в світі

2018	EU 27			U.S.			CHINA			RUSSIA			INDIA	ARG
	10 ⁹ t-km	10 ⁹ t	km haul	10 ⁹ t-km	10 ⁹ t	km haul	10 ⁹ t-km	10 ⁹ t	km haul	10 ⁹ t-km	10 ⁹ t	km haul	km haul	km haul
Автомобільний транспорт	1900	18	106	2300	11	209	3830	22	173	180	5,2	35	n.a.	n.a.
Залізниця	400	1,3	300	3200	2,9	1103	2803	4	763	1800	1,1	1636	660	522
Внутрішні водні шляхи	140	0,5	280	970	2	485	6116	3	1770	53	0,1	530	n.a.	n.a.
Загалом за трьома видами	2440	20,1	121	6470	15,9	407	12750	29	435	2033	6,4	318	n.a.	n.a.
GDP (\$ 10 ¹⁵)	15			14			8			2			3,5	0,6
km ² (Міо.)	4,3			9,8			9,6			17			3,2	2,7
Населення (млн)	500			310			1300			142			1100	40

Існує залежність між площею країни – або територіальною областю компанії – і усередненою відстанню залізничних перевезень (табл. 1.1). Логічно існує низка аспектів, що впливають на цю відстань, а саме:

географічні характеристики країни, кількість та розподіл населення, характеристики залізничної мережі, домени залізничних компаній, суміш вантажоперевезень та пасажирських перевезень, політика залізничного вантажоперевезення та ряд інших макроекономічних показників.

Незважаючи на мінливість, подання усередненої відстані залізничних перевезень від площі країни для багатьох країн дає досить прийнятну лінійну кореляцію (рис. 1.2).

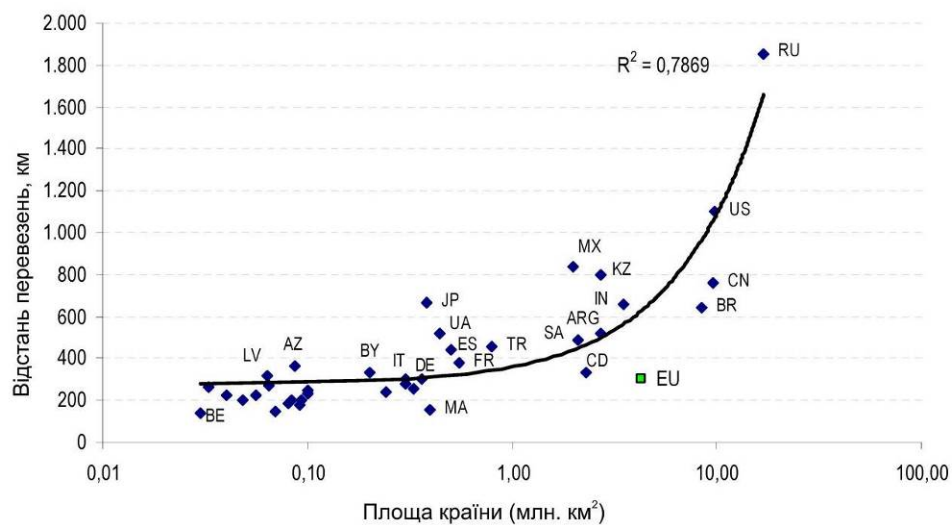


Рис. 1.2. Залежність відстані вантажних залізничних перевезень від площі країни

Слід зауважити, що є кореляція між усередненою відстанню автомобільних перевезень та зворотною величиною ВВП. На рис. 1.3. червона вісь праворуч, яка вказує на відстань є перевернутою та вказує на зворотну пропорційність. Рис. 1.3 наведено на основі статистичної інформації Німеччини [2]. Можливо спостерігати, що піки збільшення ВВП накладаються з піками зменшення відстані автомобільних міжнародних перевезень. Поясненням цього явища може бути те, що загальні великі вимоги дозволяють краще та ефективніше використовувати пропускну здатність великих транспортних засобів, таких як короткі морські перевезення (КМП) або залізниця, тому ці вантажі можуть бути залучені великою кількістю на великі відстані, зменшуючи за рахунок цього

усереднену відстань в дорозі. І навпаки, коли загальний попит слабшає, використання пропускних можливостей великих транспортних засобів може виявитися неефективним, і вантажоперевезення потрібно знову здійснити автомобільним транспортом.

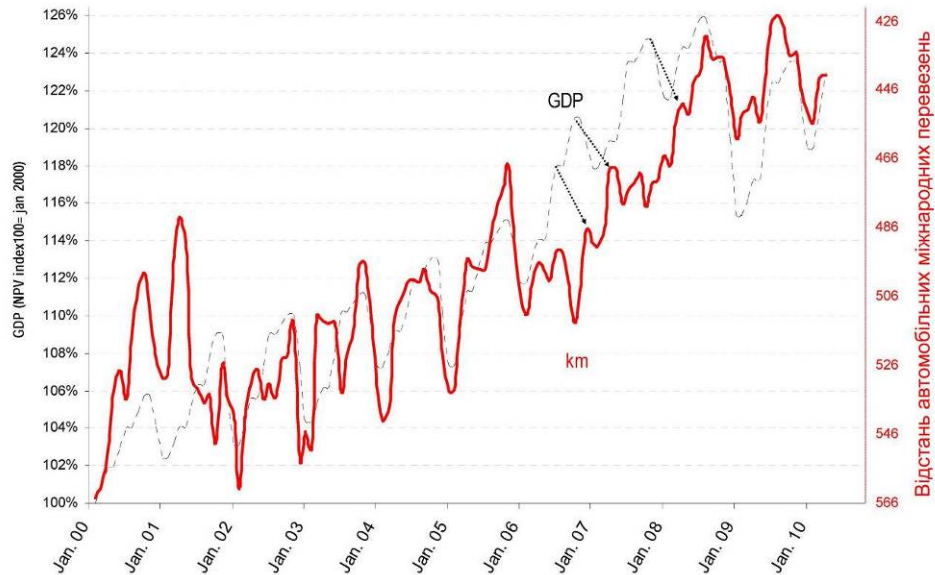


Рис. 1.3. Залежність ВВП країни та відстані автомобільних міжнародних перевезень

З підвищенням ефективності залізничного транспорту все більше вантажів можна перевезти за допомогою великих транспортних засобів та утримувати їх навіть під час несприятливої кон'юнктури. Врешті-решт попит на вантажні перевезення повинен дійти до певної точки рівноваги між автомобільним та залізничним транспортом, в якій автомобільні та залізничні перевезення мають однакові можливі витрати, оскільки пропонують аналогічні стандарти якості за однаковими цінами.

Стандартизація умов перевезень вантажів сприяє багатьом логістичним операціям, особливо якщо мова йде про систематизацію процесів обробки на терміналах, навантажувальних рампах і складах. Вона також має переваги щодо безпеки та охорони, які дозволяють підвищити відповідальність при транспортних операціях. Тому можна сказати, що стандартизація сприяє підвищенню ефективності транспортування та логістики, проте вона

передбачає збільшення упаковки. Чіткий приклад стандартизації можна побачити сьогодні з широко розповсюдженою тенденцією контейнеризації та палетизації.

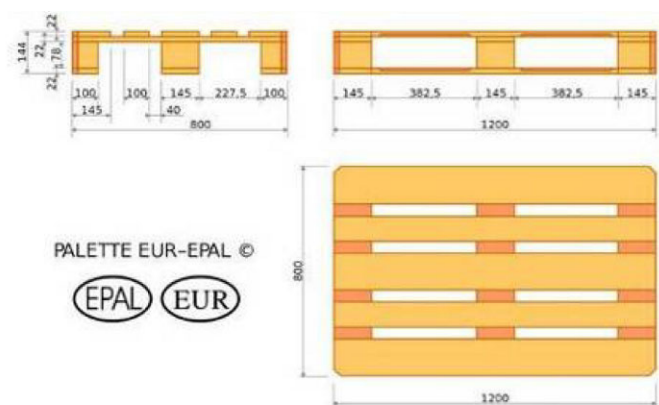


Рис. 1.4. Розміри EPAL

Звичайний вантажний автомобіль, що використовують на дорогах Європейського Союзу довжиною 16,5 м, має місткість 33 в європалети.

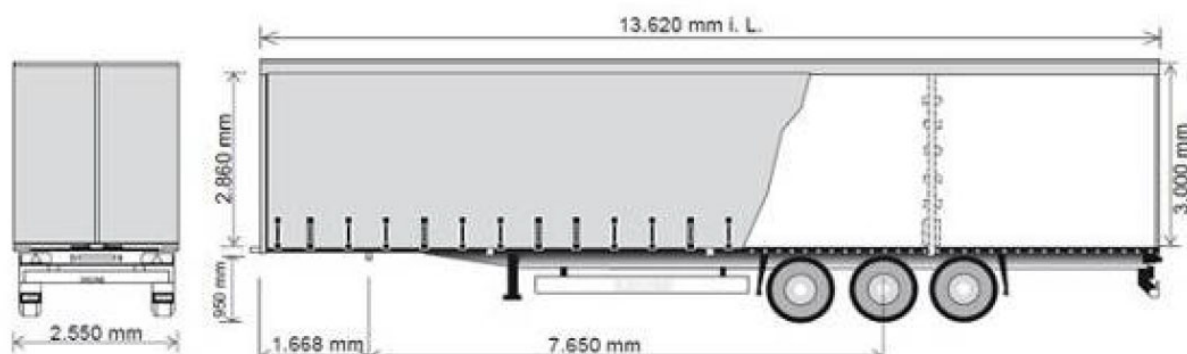


Рис. 1.5. Mega Liner 3

В останні роки проводяться дослідження щодо впровадження на європейських дорогах вантажних автомобілів Giga-Liner, що дозволяє збільшити довжину транспортного засобу, але без збільшення дозволеної загальної маси вантажу. Тобто максимальна вага дотримується у межах 40 т, а не 60 тон, як для фінських та шведських гіга-лайнерів [3]. Це підтверджує тенденцію до зниження щільності вантажу в автомобільних перевезеннях.

Максимальна щільність та інші характеристики деяких видів вантажів показані в табл. 1.2.

Щільність різних засобів пакування вантажів

	Довжина x ширина (внутрішня)	No. EPAL	Максимальне корисне навантаження на слот палети	Макс. щільність у розрахунку на весь обсяг та корисне навантаження, т/м ³
20' container	5,931m x 2,35 m	11	2,89 t (pallet resistance exceeded)	0,95
20' container HC (pallet wide)	5,91 m x 2,42 m	14	2 t (technical mass limit of a pallet)	0,71
Swap body C715	7,015 m x 2,46 m	16	0,831 t	0,3
Swap body C745	7,315 m x 2,46 m	18	1,18 t	0,46
Swap body C782	7,685 m x 2,46 m	19	1,4 t	0,56
30' container	8,979 m x 2,35 m	18	1,71 t	0,618
40' container	12,027 m x 2,35 m	25	1,12 t	0,4
40' container HC (pallet wide)	12,08 m x 2,44 m	30	1 t	0,386
Swap body A1360	13,465 m x 2,44 m	33	0,89 t	0,35
45' container HC (pallet wide)	13,551 m x 2,44 m	33	1 t	0,386
Wagon Habbiins-14	22,6 m x 2,83 m	65	1 t	0,369
VEL-Wagon (Estimated)	25 m x 2,83 m	70	0,9 t	0,35
Standard semitrailer	13,6 m x 2,48 m	33	0,75 t	0,3
Giga-Liner (60t) sweden	(13,6+7,315) m x 2,48 m	51	0,78 t	0,33
Giga-Liner (40t)	(13,6+7,315) m x 2,48 m	51	0,39 t	0,163
Giga Liner (90 t) tests	13,6 x 2 x 2,48	66	0,80	0,35

Якщо будуть використовуватися Giga Liner, це призведе до нового рівня конкуренції між автомобільними та вантажними перевезеннями.

Giga Liner (рис. 1.6) підвищує ефективність автомобільних перевезень, особливо під час перевезень об'ємних товари, які складають більшість партій вантажів. Крім того, якщо допустима максимальна вага для Giga Liner пропорційно збільшиться, сильно загостриться конкуренція між цими вантажівками та залізницею. Те саме відбувається, якщо збільшується максимально допустима вага для звичайних вантажних автомобілів. Це може призвести до небажаного переходу частини клієнтів від залізниці до автомобільного транспорту, що згубно вплине на екологію та стійкий розвиток залізниць.

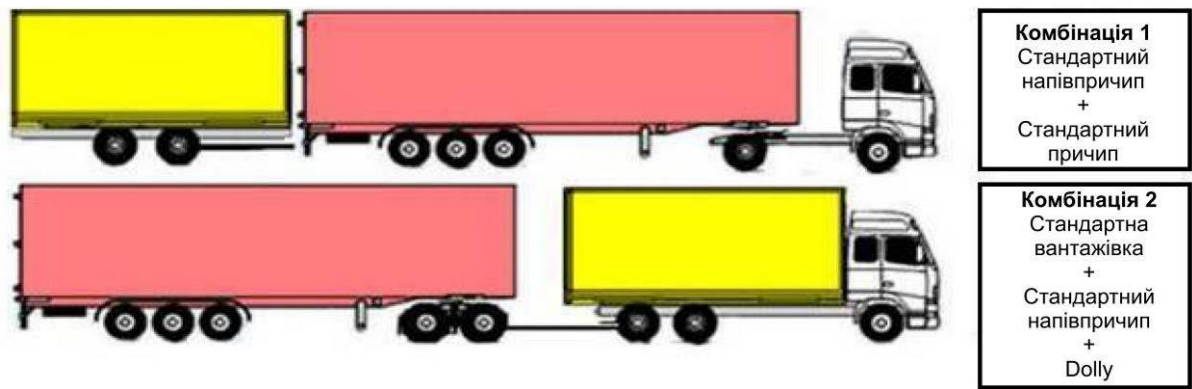


Рис. 1.6. Конфігурація Giga Liner

Вантажні автомобілі не завжди перевозять максимально можливий корисний вантаж (~28 т), насправді, усереднений мережевий тоннаж значно нижчий. У перевезеннях на великі відстані, наприклад, понад 500 км, вантажівки в середньому перевозять 13,9 т. Це можна порівняти з вагою завантажених контейнерів у Роттердамі, Антверпені та на німецькій залізниці - 9,55 т на TEU, 13,9 т на TEU і 12,9 т на TEU відповідно [4]. TEU – умовна одиниця вимірювання місткості вантажних транспортних засобів. Часто використовується при описі місткості контейнеровозів та контейнерних терміналів. Заснована на обсязі 20 футового (6.1 метрів) інтермодального ISO-контейнера – металевої коробки стандартного розміру, яка може транспортуватися різними видами транспорту: автомобільним, залізничним і морським.

Крім того, 8 т на TEU, здається, є асимптотичним значенням, яке спостерігається при перевезенні 45 футових контейнерів (рис. 1.7). У Роттердамі зростає відсоток використання 45 футових контейнерів (рис. 1.8).

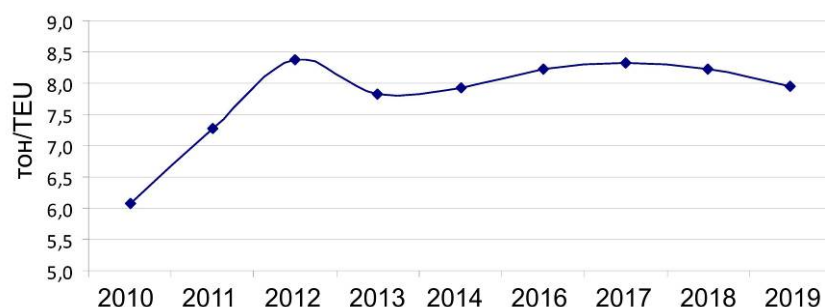


Рис. 1.7. Вага завантажених TEU 45 футових контейнерів в Роттердамі [5]

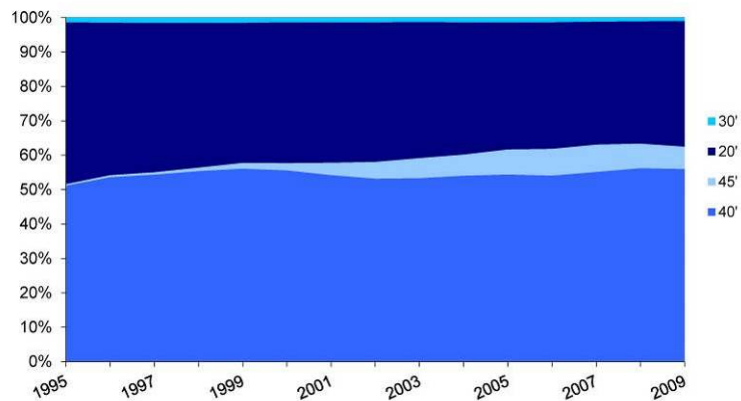


Рис. 1.8. Відсоткове співвідношення довжини контейнера в Роттердамі [5]

Загалом, можливо зробити декілька висновків щодо потреб до транспортування:

- більшість товарів, що необхідно перевозити можливо віднести до легких;
- відсоток перевезення легких вантажів зростає швидше, ніж інших видів вантажів;
- зростає відсоток використання більших контейнерів 40 та 45 футів у порівнянні з коротшими 20 футів;
- Легкі товари транспортуються на більшу відстань у порівнянні з важкими;
- Легкі вантажі вимагають більш високої якості перевезення, яку задовольняють автомобільні перевезення.
- Щоб збільшити частку залізничного транспорту в режимі модальних перевезень в найближчі роки залізницям слід зосередити увагу на легких товарах.

2. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАЛІЗНИЦЬ ЄВРОПИ ВИКОНУВАТИ ІНТЕРМОДАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

Послуги, пропоновані в європейських вантажних залізничних перевезеннях, можна розділити за категоріями залежно від виду та розміру перевезених відправлень, а саме:

- Потяг
- Одномісний вагон
- Інтермодальні перевезення
- Відправлення, що займає менше ніж один вагон



Рис. 2.1. Класифікація пропозицій залізниць

2.1. Звичайні залізничні вантажні перевезення

Звичайні залізничні вантажні перевезення або вагонні відправки можуть бути розділені на поїзди та повагонні відправки.

Традиційний поїзд – це найпростіша форма вантажних перевезень: один вантажовідправник, один вантажоодержувач, одна накладна, один поїзд, один єдиний товар. Типовими товарами європейських поїздів можуть бути вугілля, руди, нафта, сталь та вироби з них, пісок та земля, корисні копалини, будівельні матеріали, хімікати, добрива, зерно, лісова продукція

тощо. Додатковим поліпшення ефективності руху вантажних поїздів може відбуватися за рахунок більшої участі у міжнародних перевезеннях, що не відбувається у короткому морському судноплавстві та внутрішніх перевезеннях.

Одиночна повагонна відправка – це відправка вантажу в вагоні або в групі вагонів. Ця відправка навантажується найчастіше засобами вантажовідправника, і після завантаження вагони перебувають у складі поїздів, що курсують на великі відстані. Після прибуття вагони доставляються вантажоодержувачу для розвантаження засобами одержувача. Тому для цих перевезень можуть знадобитися шляховий розвиток вантажоодержувача та відправника, допоміжні вантажні станції та вантажно-розвантажувальні майданчики. Повагонна відправка потребує важливих експлуатаційних ресурсів як-от маневрові локомотиви та персонал, а також інформаційно-логістична мережа для ефективно організації транспорту.

Перевезення повагонних відправок дуже чутливе до зниження попиту, оскільки кінцева вартість за перевезену одиницю має високу частку непрямих витрат. Це дуже сильно впливає на запропоновану кінцеву ціну, яка, в свою чергу, залежить від загального завантаження залізниці. Аналогічно, знижений попит призводить до зниження частоти обслуговування.

Крім того, повагонні відправки в даний час мають тенденцію до зниження якості перевезень за наступних причин:

- зменшення кількості доступних приватних місць для відправки (недолік доступності);
- проблеми з розкладом руху поїздів, особливо в міжнародних перевезеннях (недолік в пунктуальності, час руху);
- Невизначені терміни збору та доставки вагонів (недолік в простежуваності та пунктуальності);
- пошкодження вантажу під час транспортних операцій, наприклад (недолік у безпеці вантажу);

- недостатні знання щодо попиту для точної оцінки пропозицій (недолік в аналізі продажів та в необхідності додаткового обслуговування).

Це загальне зниження якості послаблює конкурентоспроможність повагонних відправок у сучасному логістичному контексті. Отже, ринки із вимогливими виробничими стратегіями, як JIT (Just-in-Time), використовуватимуть інші транспортні варіанти, такі як лише автомобільні перевезення.

Отже, великим викликом для повагонних відправок є підвищення якості, підвищення досконалості та досягнення бездоганної репутації перевізників. Типові вантажі для повагонних відправок такі самі як і для звичайних вантажних залізничних перевезень, але розмір партій менший, тобто від одного вагона до групи. Також по вагонними відправками відправляють палетизовані вантажі, переважно у вагонах класу Н.

В Європі спад, спричинений фінансовою кризою 2007 року, підкреслив зниження ефективності перевезень звичайних залізничних перевезень оскільки найбільше постраждала сфера бізнесу з видобутку вугілля, залізної руди та інших продуктів видобутку, включаючи нафтопродукти. Показовим є зниження товарообігу цих видів продуктів на 30% між 2008 і 2009 рр. DB Schenker Rail, лідера в галузі залізничних вантажних перевезень в Європі, що віддзеркалює загальну ситуацію у Європі для галузі залізничних вантажних перевезень [6].

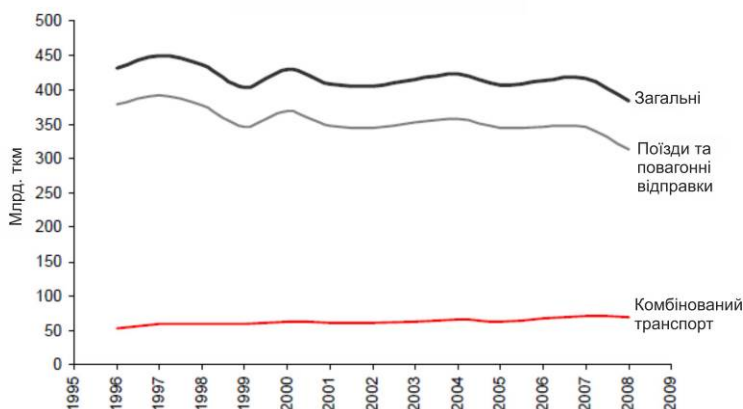


Рис. 2.2. Порівняння частки комбінованого транспорту та поїздів

Огляд вкладу різних категорій витрат у собівартість перевезень типовим європейським поїздом подано на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Вклад різних категорій витрат у собівартість перевезень типовим європейським поїздом

Графічне представлення витрат типових поїздів з одиночними повагонними відправками було б занадто неточним у тому сенсі, що воно не включало б правильно пропорційну частину фіксованих витрат, які дуже залежать від загального обсягу перевезень. У будь-якому випадку, розглянувши розподіл витрат на звичайні вантажні поїзди, можна побачити, що вагони не становлять найбільшої частки в цілому, як «інфраструктура», «інше» та «енергетика». Отже, інвестиції у вагони, які могли б покращити загальну ефективність системи з точки зору доступності, споживання енергії, використання потужності тощо, мали б важливий ефект з незначними пропорційними витратами. Більше інформації щодо витрат на залізничні перевезення можна знайти в [7].

Вагони, що використовують для інтермодальних перевезень у Європі наведено на рис. 2.4.-2.7.



Рис. 2.4. Woodtainer xxl of innofreight



Рис. 2.5. Australian 40 foot / 64.4m³ 'CFCLA 400xx'

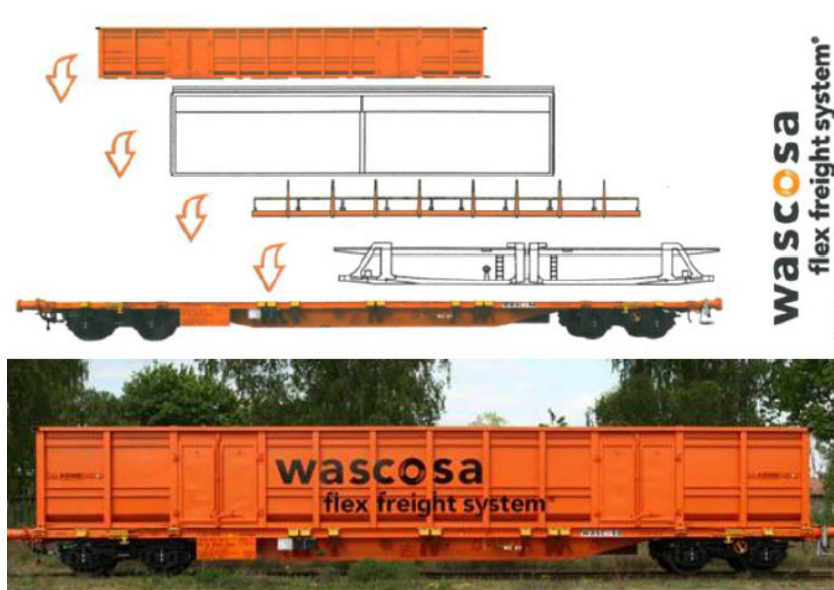


Рис. 2.6. Wascosa flex freight system, 60' e-box'



Рис. 2.7. Rexwals dualwagen generation 1

2.2. Результати аналізу можливостей залізниць виконувати інтермодальні перевезення

Звичайні залізниці втратили частку ринку внаслідок зниження якості надавання послуг. Економічна криза підкреслила цю тенденцію. Європейські залізниці виконали близько 400 мрд. ткм у 2019 році, з яких: ~ 45% склали відправки цілими поїздами, ~ 25% по вагонні відправлення та ~ 25% інтермодальні перевезення. Комбінований транспорт збільшив свою частку на залізницях і краще протистояв кризі.

Інтермодальні перевезення швидко зростають за кількістю поїздів та відстанню транспортування (~600 км). Середня довжина поїзда становить 650 м (Німеччина).

Вагони для інтермодальних перевезень складають близько 15% загального парку, і вони виконують близько 25% загальної кількості ткм, за великим рахунком, вони є найбільш ефективно використовуваними вагонами європейських залізниць.

Комбіновані перевезення значно збільшили свою частку у міжнародних перевезеннях за допомоги інтеперабельності та прогресу в

адміністративних відношеннях між країнами (наприклад, вантажні коридори).

Вантажні залізниці та інтермодальні перевезення стають більш конкурентоспроможними на великих відстанях, що можливо відбувається завдяки позбавленню зайвих витрат часу на кордонах країн.

Інвестиції у виробництво та оновлення вагонів, які могли б покращити загальну ефективність системи з точки зору доступності, споживання енергії, використання потужності тощо, мали б важливий ефект із незначними витратами.

Останнім часом з'являється все більше прикладів звичайних залізничних вантажів, які контейнеризуються та/або стандартизуються в роз'ємних одиницях.

Н-вагони – це вагони, що можуть бути найбільш конкурентоспроможними з автомобільним транспортом оскільки мають подібну сферу використання.

Вагони для інтермодальних перевезень також можуть багатофункціонально вирішувати задачі різних ринків перевезень.

2.3. Інтермодальний транспорт

Інтермодальні автомобільні/залізничні перевезення в Європі, на відміну від звичайних залізничних вантажних перевезень, узгоджуються із загальною структурою зростання європейської економіки. Основна частина цього успіху припала на нещодавнє зростання закордонних контейнерних перевезень, що вимагало численних залізничних перевезень контейнерів вздовж та поперек європейських територій. Іншою важливою причиною зростання інтермодальних перевезень, а також залізничних вантажних перевезень в цілому, стало збільшення частки міжнародних перевезень. Ці перевезення збільшуються за рахунок забезпечення недавніх досягнень щодо сумісності європейських залізничних систем і узгодження адміністративних

процедур між різними європейськими країнами. У цьому контексті у майбутньому очікується ще більше зростання у галузі інтероперабельності [8-13], що розробляє стандартизований майданчик для розгортання європейських IT щодо вантажних перевезень та обміну даними між різними учасниками процесу залізничних перевезень.

Досягнення інтероперабельності у поєднанні з відповідним законодавством відкриє шлях європейській залізничній мережі до конкурентоспроможних вантажних перевезень [14-20].

Розвиток інтермодальних перевезень можливо дослідити на основі статистичних показників компаній UIRR, особливо, в сегменті міжнародних перевезень, де вони виконують близько 72% від загальної кількості європейських міжнародних інтермодальних перевезень [21].

Цей факт дуже цікавий для аналізу даних, оскільки UIRR веде дуже ретельну статистичну базу даних про інтермодальні перевезення. Отже, деякі висновки, отримані з цієї статистики, особливо коли мова йде про використання техніки, ефективність коридору та середні відстані транспорту, можуть допомогти інтерпретувати те, що відбувається в цілому європейському контексті міжнародних інтермодальних перевезень.

За даними UIRR за 2010 рік, найважливіші міжнародні відносини в Європі можна класифікувати згідно рис. 2.8.

Внутрішній (національний) трафік в інтермодальних перевезеннях є тим, що має початок, пункт призначення та повний маршрут у межах даної національної залізничної мережі. З цієї причини середня внутрішня відстань перевезень, як правило, коротша, ніж у міжнародних перевезеннях. Середня внутрішня відстань у Європі становить близько 400 км (підраховано за даними Євростату 2010, Рис. 2.9). Компанії UIRR генерують лише 20% національного транспорту (вимірюється в ткм), решта 80% здійснюється великою групою компаній, серед яких є деякі дочірні компанії колишніх національних компаній та інші нові учасники.

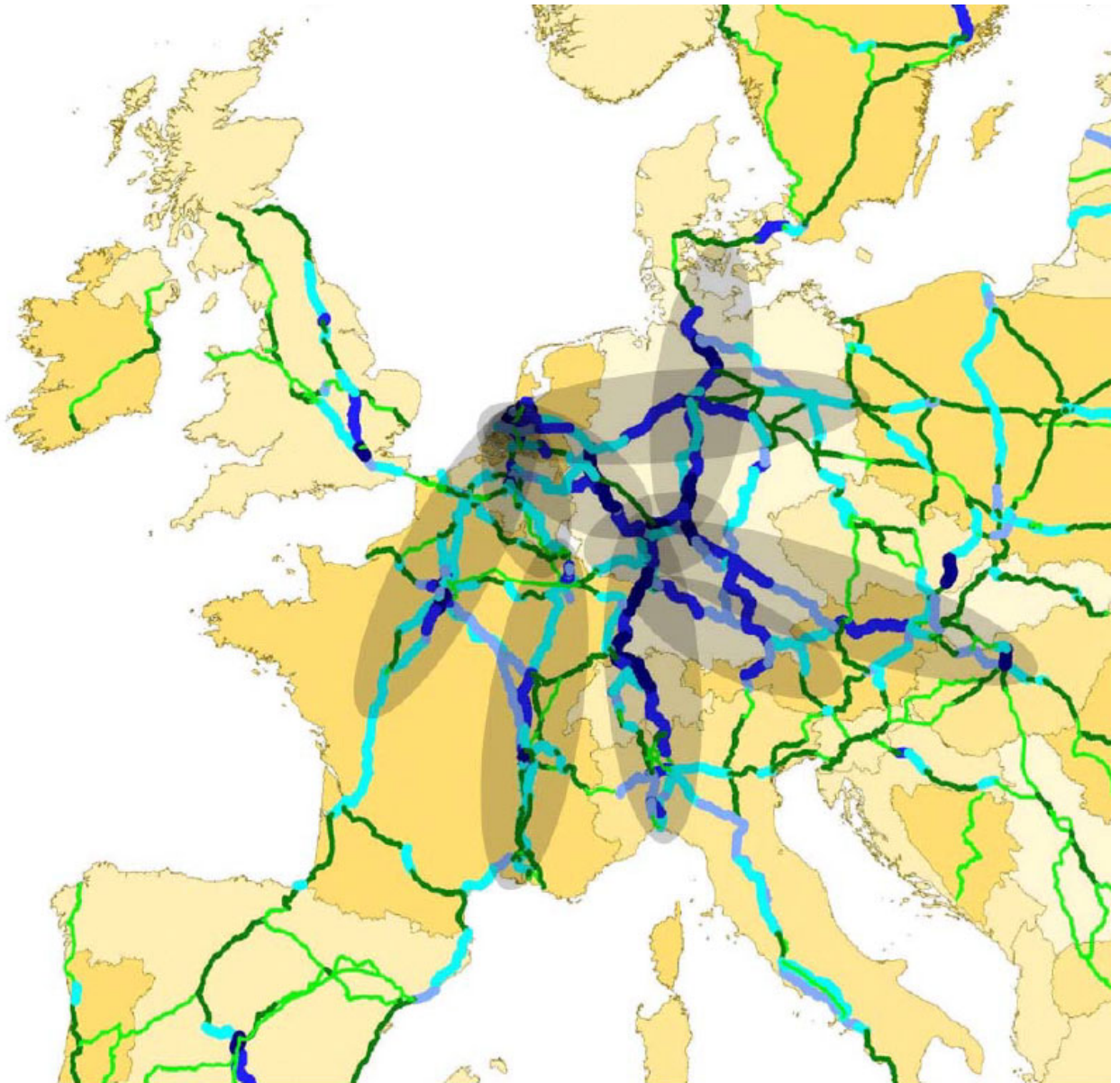


Рис. 2.8. Основні залізничні коридори інтермодальних перевезень у Європі

Загалом, залізничні перевезення у Європі починаються із закордонних контейнерних перевезень. Зазвичай поїзди є наземним зв'язком (сухопутним відрізком) між морськими портами та внутрішніми терміналами на материковій частині Європи. Найбільш завантажені контейнерні порти в Європі (Роттердам, Антверпен, Гамбург, Бремен, Гавр та ін.) з'єднані залізницею з важливими регіонами в Європі, а саме Північною Італією, Південною та Західною Німеччиною, Альпійським хребтом, Центральною Європою та Парижем.

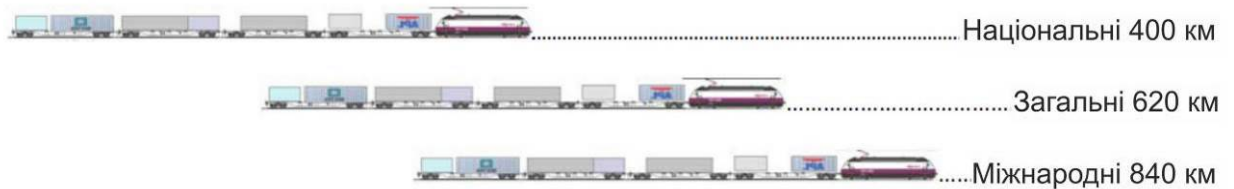


Рис. 2.9. Середня відстань перевезень у європейських інтермодальних поїздах

В основному є два домінуючі розміри контейнерів:

- 20-футові контейнери ISO та
- 40-футові контейнери ISO

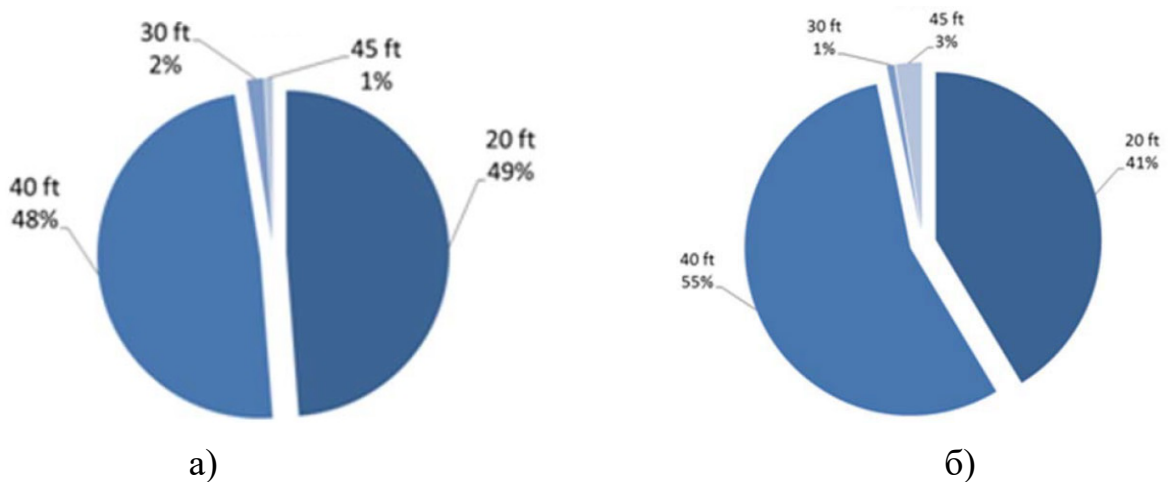


Рис. 2.10. Типи контейнерів у морських перевезеннях: а) 2000 рік; б) 2010 рік

Існує явна тенденція до збільшення використання 45-футових контейнерів; передбачається подальше збільшення кількості контейнерів цієї довжини в європейських портах, залізничних терміналах та в європейських автомобільних перевезеннях, оскільки вони відповідають максимально дозволеним розмірам напівпричепа в Європі.

На рис. 2.11 показано збільшення ваги на контейнер та на TEU в порту Антверпена. Очевидно, що порт Антверпена обробляє найважчі контейнери (в середньому) в Європі.

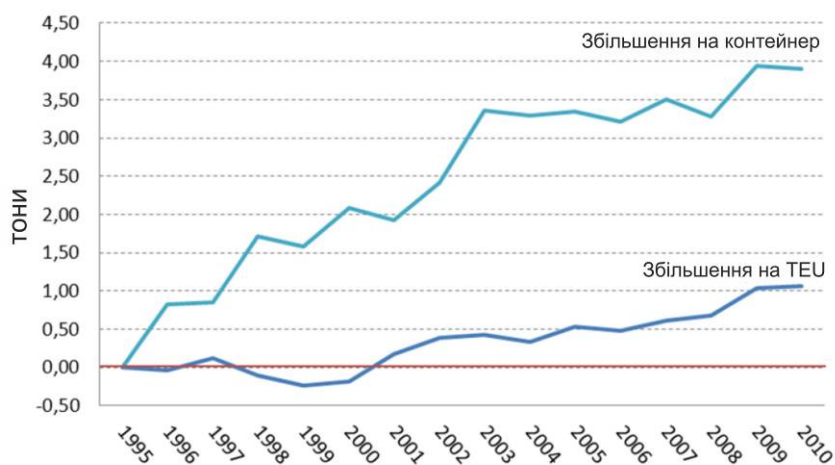


Рис. 2.11. Збільшення бруто-реєстрованих тон в порту Антверпену

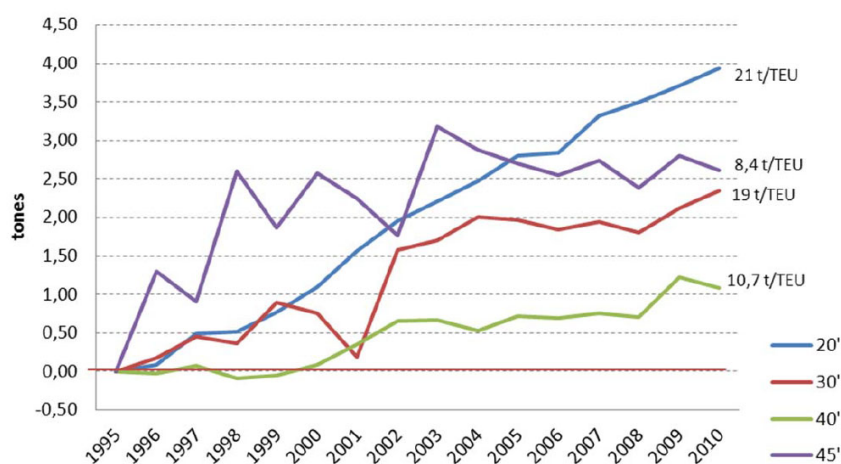


Рис. 2.12. Збільшення бруто-реєстрованих тон TEU в порту Антверпену

Якщо проаналізувати розподіл ваги контейнерів у європейських контейнерних портах то можливо усі вантажі поділити на групи:

Група 1: Легкі товари 43%

Домінуюча група контейнерних перевезень відноситься до легких споживчих товарів. Вона містить усі види побутової та промислової техніки, електронне обладнання, готові машини та їх частини, текстиль, одяг та інші вироби. Вони складають близько 43% від загальної кількості контейнерів, з яких 2/3 імпортується, а 1/3 експортується. Середня вага бруто таких контейнерів становить 6 т/TEU, діапазон між 3 і 10 т/TEU. Більшість цих товарів упаковані в 40-футові контейнери, але вони могли б краще завантажені щодо можливих прибутків, якщо б використовувалися

контейнери на 45 або 53 футів. 20-футові контейнери, що перевозять легкі товари, не використовують оптимально свою вантажопідйомність, тому деякі з них можуть використовуватися азійськими країнами для транспортування товарів у Європу.

Група 2: Середньолегкі товари 30%.

Другою за величиною групою є середньої легкості. В Європі ця група представлена переважно експортними 40-футовими контейнерами. Середня вага брутто на TEU становить 14 т (діапазон від 10 до 17 т /TEU), що означає, що 40-футові контейнери мають майже повну вантажопідйомність. Товари, що експортуються – це в основному готові вироби та напівфабрикати, важка техніка, вироби з деревини, упаковані хімічні продукти та добрива, важкі споживчі товари (напівфабрикати, напої), металобрухт та відходи паперу. Тут 40-футові контейнери використовуються більш ефективно щодо обсягу та завантаження вантажопідйомності. 45-футові контейнери також можуть застосовуватися для цієї групи товарів. Для більш важких продуктів можна використовувати 20-футові контейнери, наприклад гранульовані хімікати в мішках.

Група 3: Важкі товари 19%

Третя група представляє менше 1/5 загальної кількості завантажених контейнерів, що обробляються в аналізованих європейських портах. Типовими товарами цієї групи можуть бути хімічні продукти або напівпродукти (у бочках, мішках чи інших упаковках), кольоровий брухт, борошно та інші види зерна, корми для тварин, оброблені мінерали та інші хімічні матеріали. Середня вага брутто становить 23 т /TEU, з діапазоном від 18 до 26 т /TEU. 30-футовий контейнер забезпечує краще співвідношення корисного навантаження до об'єму, однак цей контейнер явно не використовується у дальніх морських перевезеннях, хоча все ще широко використовується у європейських внутрішніх перевезеннях.

Група 4: Дуже важкі вантажі 8%

Ця невелика група контейнерів перевозить найважчі товари з тих, що можуть перевозитися у контейнерах. Це можуть бути вироби зі сталі, металобрухт, грануляти, хімічні рідини в бочках, олійні насіння та інші важкі відходи. Середня вага бруто становить 29 т/ TEU (від 26 до 30,5 т /TEU), що вказує на те, що контейнери використовують майже повну вантажопідйомність, щільність близька до 1 т /м³ (густина води). У цьому випадку використання 20-футових контейнерів є цілком виправданим. Частка між експортними та імпорнтними контейнерами може змінюватися залежно від розглянутого порту, тож в Антверпені частка експортних контейнерів вища, ніж імпорнтних, навпаки, у Гамбурзі та Роттердамі 20-футові контейнери в імпорті більше, ніж в експорті. Загалом, у всьому ЄС-27 більше експорту, ніж імпорту такого типу контейнерів.

Континентальні перевезення виконуються у внутрішній торгівлі ЄС.

У континентальних перевезеннях асортимент вагонів набагато різноманітніший, ніж у інших перевезеннях.

За останні роки сегмент напівпричепів зазнав значного зростання. Проаналізована статистика відображає таку ситуацію (рис. 2.13).

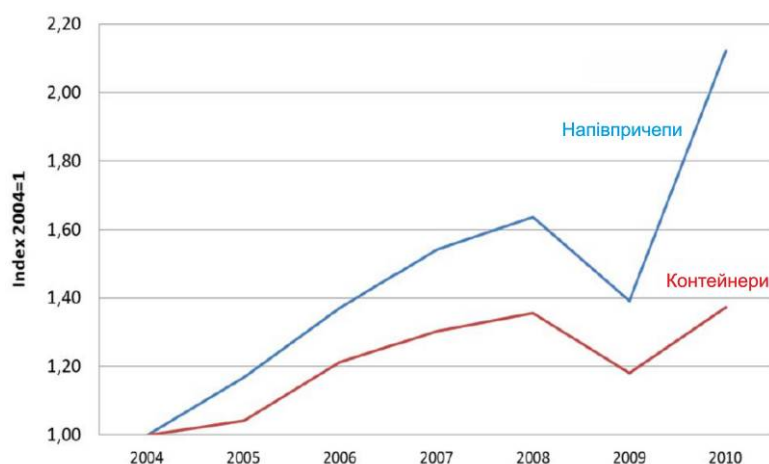


Рис. 2.13. Порівняння використання напівпричепів та контейнерів у ЄС

Дійсно, за останні десять років перевезення за допомогою напівпричепів збільшилися більш ніж удвічі: від скромного представництва

6% загального інтермодального транспорту в 2004 р. до приблизно 10% у 2010 р., виміряного в TEU. Напівпричепи використовуються не у всіх країнах однаково, є країни, особливо північні країни де доля перевезень напівпричепи значно більша.

У більшості європейських країн максимально дозволена вага повноцінного дорожнього транспортного засобу при інтермодальних перевезеннях становить 44 т. Це означає, що напівпричіп може важити до 39 т (враховуючи не менше 5 т тягач), що дуже близько до технічно можливої ваги бруто напівпричепи. Однак ця максимальна вага далека від тієї, що насправді є середньою вагою напівпричепів, що перевозяться залізничним транспортом, яка становить близько 27 т. І схоже, що ця середня вага має тенденцію до зменшення.

У інтермодальних континентальних перевезеннях типовий розподіл одиниць навантаження показано на рис. 2.14.

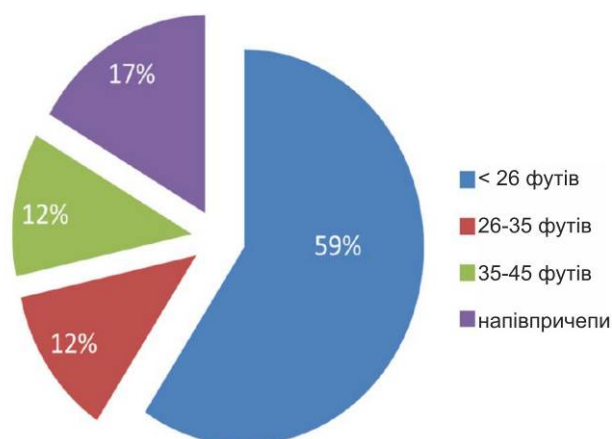


Рис. 2.14. Розподіл довжин завантажувальних одиниць у інтермодальних континентальних перевезеннях

Сучасні тенденції свідчать про значне зростання та попит на напівпричепи, на другому місці – зростання довгих 45-футових внутрішніх контейнерів або кузовів, на третьому – 30-футових контейнерів (переважно контейнерів для сипучих вантажів, силосів та цистерн) для внутрішнього транспорту, нарешті 26-футових контейнерів (змінних кузовів та менших

цистерн). Здається, 30-футові контейнери цілком підходять для насипних вантажів, в цьому випадку оптимальним вагоном для 30-футових контейнерів буде класичний 60-футовий контейнерний вагон.

2.4. Категоризація засобів перевезення у континентальному інтермодальному транспорті



Рис. 2.15. Змінні кузови (Swap body)

Група 1а. Змінні кузови (Swap body)

Зазвичай це юніти довжиною 7,45 м для перевезення палетизованих вантажів у конфігураціях вантажних автомобілів 3+2 осі, що формуються тягачем із юнітом (3 осі) та зчепленим

прицепом з 2 осями. Існують також Swap body довжиною 7,82 м. Зазвичай їх піднімають знизу. Swap body зазвичай перевозять легкі товари, як товари народного споживання. Їх максимально допустима вага брутто становить 16 т, із середньою вагою брутто 10 т.



Рис. 2.16. Контейнери-цистерни

Група 1б. Контейнери-цистерни

Зазвичай ці одиниці представлені корпусами цистерн 20 футів; 7,15 м; 7,45 м і 7,82 м. Вони перевозять будь-які рідини, також небезпечні вантажі, хімікати, нафтопродукти, рідкі харчові

продукти, товари під тиском тощо. Зазвичай вони не мають ніжок і

піднімаються зверху, як стандартні сухі контейнери ISO. Їх максимальна вага брутто становить 34 т, хоча через різну густину речовин, що перевозяться їх середня вага становить 24 т.



Рис. 2.17. Група 2 – 30-футові контейнери

і дуже схожа на продукцію групи 1б. 30-футові контейнери також використовуються для перевезення мінеральних продуктів, відходів та інших конфігурацій сипучих вантажів. Максимальна вага брутто становить близько 35 т, а їх середній навантажений брутто-тонаж становить 29 т.



Рис. 2.18. Група 3 – 45-футові контейнери

звичайно піднімаються знизу, але є й такі, що піднімають зверху. Тенденція вказує на подальше зростання таких одиниць зі зменшенням коротшим Swar

Група 2 – 30-футові контейнери

Ці контейнери мають переважно 30 футів довжини і використовуються для транспортування сипучих матеріалів або для перевезення рідин в цистернах. Продукція, що транспортується, різноманітна

Група 3 – 45-футові контейнери

Виконуються у різних варіаціях, у тому числі рефрижератор. Стає досить популярним на європейських залізницях. Більшість із них зайняті для перевезення легких вантажів (товарів народного споживання). Вони

body (група 1a). Типова середня вага бруто навантаженої одиниці становить 18 т.



Рис. 2.19. Група 4a – легкі напівпричепи

Група 4a – легкі напівпричепи

Протягом останніх років транспорт напівпричепів зазнав великого зростання, особливо у легкому сегменті. На сьогоднішній день майже 80% автомобільних перевезень напівпричепів орієнтовані на обсяг, а не на вагу (Kögel

Trailer GmbH & Co.KG), і це помічається і в комбінованих перевезеннях. Для завантаження у вагони напівпричепи повинні бути готові до вертикального підйому, на жаль, не всі враховують цю функцію (лише 5%). Напівпричепи мають максимальну вагу бруто 39 т, легкі напівпричепи мають вагу в середньому 20 т. Відбувається подальше зростання цього сегмента.



Рис. 2.20. Група 4b – важкі напівпричепи

Група 4b – важкі напівпричепи

Сегмент важких напівпричепів може бути представлений цистернами, силосами, напівпричепами для котушок та інших металевих виробів, наливними напівпричепами

тощо. Ці напівпричепи використовують для пересування на менші відстані, ніж легкі напівпричепи, і тому вони можуть бути не такими цікавими для залізничного транспорту. Незважаючи на це, оскільки вантажні автомобілі у суміщеному сполученні можуть перевозити на 4 тони більше, ніж звичайні,

для них все ще існує ринок комбінованих перевезень. Типова середня вага брутто становить 35 т.

2.5. Висновки щодо використання інтермодальних перевезень у Європі

Відбувається явне збільшення використання довших контейнерів та зменшення середньої ваги брутто вантажу.

Середня вага контейнерів складає близько 13 тонн на завантажений TEU в 2020 році.

Товари, що перевозяться в контейнерах, можна класифікувати на 4 групи: легкі товари (~ 6 т / TEU, 43%), середні легкі товари 14 т / TEU (~ 14 т / TEU, 30%), важкі вантажі (~ 23 т / TEU , 19%) та дуже важкі вантажі (~ 30 т / TEU, 8%).

У континентальному транспорті беруть участь в основному напівпричепи, змінні кузови та цистерни, сипучі та силосні контейнери. За останні роки сегмент напівпричепів зазнав значного зростання. Середня вага брутто навантаженого напівпричепа становить 27 т. Очевидно, ця вага зменшується, оскільки напівпричепи перевозять все більше і більше об'ємних вантажів.

45 футовий контейнер є досить поширеним і частка його використання зростає у континентальних перевезеннях.

Легкі вантажі в континентальних перевезеннях, як правило, подорожують на більші відстані, ніж важкі вантажі. Отже, очікується зниження середньої ваги TEU для континентальних інтермодальних поїздів.

5. ВИКОРИСТАННЯ ВАГОНІВ ЗБІЛЬШЕНОЇ ДОВЖИНИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВАГИ ПОЇЗДУ

Довгі вагони, довжиною більше 25 м, є в Північній Америці. Там для перевезення двох напівпричепів 45 футів можуть бути використані вагони довжиною 93 фути (90 футів – 27 м). Є також вагони довжиною 90 футів (вантажна довжина 85 футів – 26 м) з корисним навантаженням 102 т для перевезення контейнерів.



Рис. 5.1. Північноамериканський Flatcar

Внаслідок високих значень дозволеного навантаження на вісь – 32,4 т/вісь на північноамериканських коліях, 85-футові вагони можуть перевезти 25,5 т на TEU. Це приблизно на 2 т більше на TEU, ніж стандартний вагон в Європі, 60 футовий вагон, і приблизно на 3 т менше на TEU, ніж європейський шарнірний 80 футовий вагон.



Рис. 5.2. Північноамериканський Heavy duty 85 ft Flat car

Однак у Північній Америці основа для інтермодальних перевезень змістилася з представлених вище платформ на вагони з можливістю перевезення двох контейнерів, які вписуються в існуючий там високий габарит для перевезення більшої кількості контейнерів на вісь. Такі вагони мають найкращі розміри для перевезення контейнерів.

На рис. 5.3. представлений вагон з двома контейнерами. Він може транспортувати кілька комбінацій довжини контейнера від 20 до 53 футів.

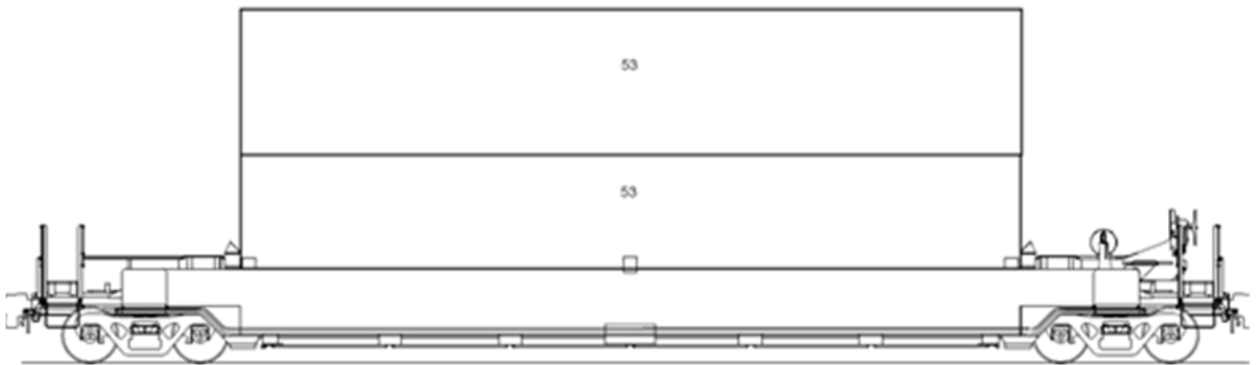


Рис. 5.3. Північноамериканський Heavy duty double stack car

Вантажопідйомність цього вагона становить 5,3 TEU (враховуючи 53-футовий контейнер, еквівалентний 2,65 TEU), а тара вагона – 23 т, отже технічне корисне навантаження має становити $32,5 \times 4 - 23 = 107$ т, що дає близько 20 т / TEU. Однак, як правило, вагони Heavy duty double stack car використовуються в модулях з кількох вагонів, зменшуючи цим кількість необхідних осей і, отже, зменшуючи усереднене корисне навантаження на вісь.

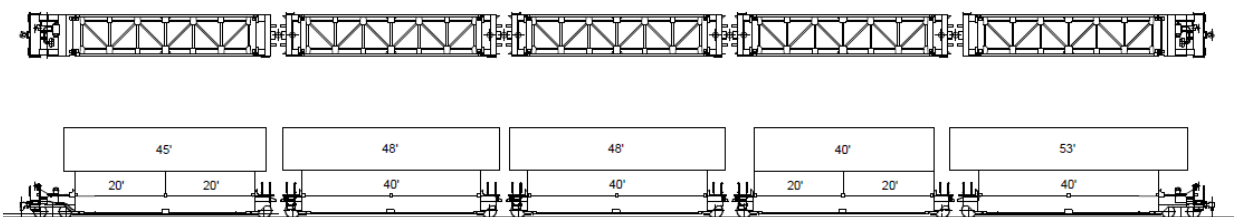


Рис. 5.4. Модуль double stack car

Тара комбінації з 5 одиниць становить 53 т; технічне максимальне навантаження 390 т (= 32,5 х 12); теоретичне максимальне корисне навантаження 337 т; максимальне корисне навантаження на вісь 67,4 т; навантаження на вісь 4,65 TEU (контейнер 40 футів плюс 53 футів); Це дає ~ 14,5 тонн на TEU (17 т/TEU, якщо враховувати лише 4 TEU на вісь). Виробник 5-вагонної секції заявляє про середнє обмеження навантаження лише в 124 700 фунтів на вісь, що дає лише 10,7 т / TEU. Отже, ці Heavy duty double stack car не підходять для 20-дюймових контейнерів, особливо якщо вони важкі. Однак технічні рекомендації для перевезення контейнерів в США сприяють використанню довших вагонів, які більше підходять для товарів з меншою щільністю. Модуль довжиною 53 фути та шириною 8,5 футів дає високий приріст продуктивності в північноамериканській інтермодальній логістиці.

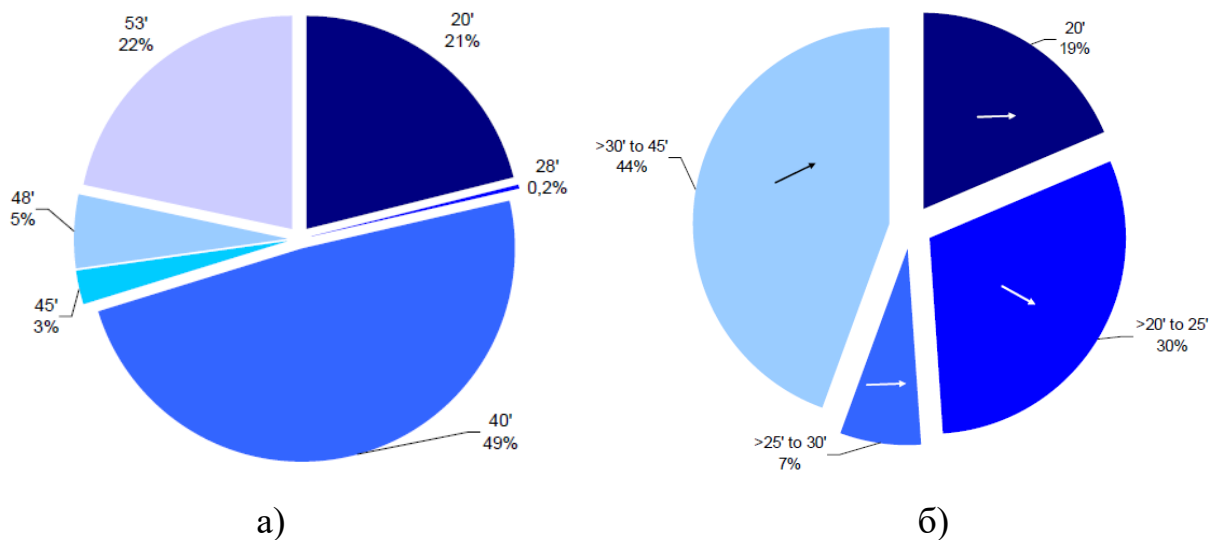


Рис. 5.5. Розподіл використання контейнерів за розмірами в Північній Америці (а) та в Європі (б)

В Європі частка 20-футових контейнерів є подібною до США (рис. 5.5), і спостерігається більше використання коротких змінних кузовів (від 20 до 25 футів). В Австралії та країнах СНД широко використовуються довші за 25 м вагони, наприклад, CQMY та 13-7024 відповідно.

В роботі [31] зазначено, що «В даний час сорокафутовим контейнерам надають перевагу перед двадцятифутовим – це має бути рушійним фактором у вантажних перевезеннях. З одного боку це надає перевагу справді довшим вагонам, але з іншого боку, вагонам, що мають довжину одного 40-футового контейнера. Здається, вагони, що застрягли між ними, мають значний недолік».



Рис. 5.6. Платформа 13-7024 Крюківського заводу

У Фінляндії вагон Sdggngqss-w має довжину завантаження 24,8 м і корису вантажопідйомність 68,5 т (25 т/вісь), він може бути використаний для перевезення вантажних автомобілів та напівпричепів (аналогічно північноамериканським платформам).



Рис. 5.7. Вагон Sdggngqss-w має довжину завантаження 24,8 м

Проект SAIL «Semitrailers in advanced intermodal logistics – Напівпричепи з розвиненою інтермодальною логістикою» 2000 року провів попередню дискусію щодо ідеальної довжини та місткості інтермодального вагона для напівпричепів. В принципі, концепція вагона повинна вміщувати два напівпричепи на 4 осі. Однак корисного навантаження 4-вісного вагона було б недостатньо для двох навантажених напівпричепів по 36 т кожен, отже, краще з'єднаний шарнірний варіант. В даний час збільшення навантаження на вісь до 25 т дозволить перевозити більш компактні 2-напівпричепи на 4-осі.

Шведська державна залізниця (SJ) у 70-х закупляла довгі вагони, здатні перевозити 4 контейнери по 20 футів або два напівпричепи (Рис. 5.8). Його корисне навантаження було досить низьким, лише 52 т, клас лінії С (21 т / вісь).



Рис. 5.8. Вагон SJF 636.1, 26 м, тара 28 т

У середині 1990-х Нурас і Talbot розробили довгий вагон із вантажною довжиною 22,6 м, який здатний перевозити різні комбінації контейнерів та змінних кузовів (до 3х С745) з максимальним корисним навантаженням 68 т. Однак цей вагон недостатньо довгий для перевезення 2 контейнерів по 40 футів.



Рис. 5.9. Вагон SGGNS 73', 23,9 м, тара 22 т

У Європі реально існують вагони довжиною більше 25 м; однак їх зазвичай не використовують для інтермодальних перевезень. Прикладом є RBNS із довжиною завантаження 25 м, що використовується для перевезення великих вантажних одиниць, наприклад рейки, сталеві профілі, труби тощо (Рис. 5.10). Корисне навантаження становить 63 т, висота завантаження (без дерев'яної підлоги) 1,25 м (на 7,5 см більше, ніж інтермодальний стандарт UIC). Цей вагон має мінімальний радіус повороту 75 м.



Рис. 5.10. Вагон RBNS, 26,3 м, тара 27 т

Іншим прикладом був Nabviks 340", вироблений у 1970-х роках для виробника автомобілів Opel (Рис. 5.11). Він мав 22,4 м навантажувальної довжини і дуже низьке корисне навантаження лише 25 т, об'єм становив 195 м³, отже, оптимальна щільність вантажу становила 0,13 т/м³ (рівень вантажних перевезень). Діаметр колеса теж був невеликий, 680 мм.



Рис. 5.11. Вагон НАВВІКС 340, 25,2 м, тара 31 т.

Нещодавно Sggnns 80 ft був виготовлений польською компанією TAVOR M. Dębowski S.J (Рис. 5.12). Корисне навантаження становить 66 т, і він може перевезти 2х40 футів на своїх 24,9 м навантажувальній довжини. Він має сумісний навантажувальний габарит UIC505-1 (G1).



Рис. 5.12. Вагон SGGNS 80 FT, 25,9 м, тара 24 т

Судноплавна компанія Ignazio Messina & C. S.p.A. використовує спеціально побудовані контейнерні вагони довжиною 80 футів.



Рис. 5.13. Вагони SGGNS 80 FT

Якщо розглядати технічну швидкість сучасних вантажних поїздів то треба зауважити, що через практичне використання пропускної здатності залізничних ліній та поширеність високошвидкісних пасажирських поїздів у денний час зростає потреба у збільшенні швидкості вантажних поїздів до швидкості більше 100 км/год (що є звичним у країнах Європи в даний час), або мати можливість збільшити кількість вантажних поїздів, проклавши більше вантажних поїздів між пасажирськими поїздами в денний час.

5.1. VEL-вагон

VEL-Wagon (VEL-вагон) – це європейський дослідницький проект, який визначає властивості довгих вагонів для інтермодальних перевезень. Він постулює, що довші безперервні поверхні платформ збільшують коефіцієнти завантаження поїздів та краще використовують наявну вантажопідйомність з точки зору ваги, довжини та енергоспоживання.

Основна ідея відображається на рис. 5.14.

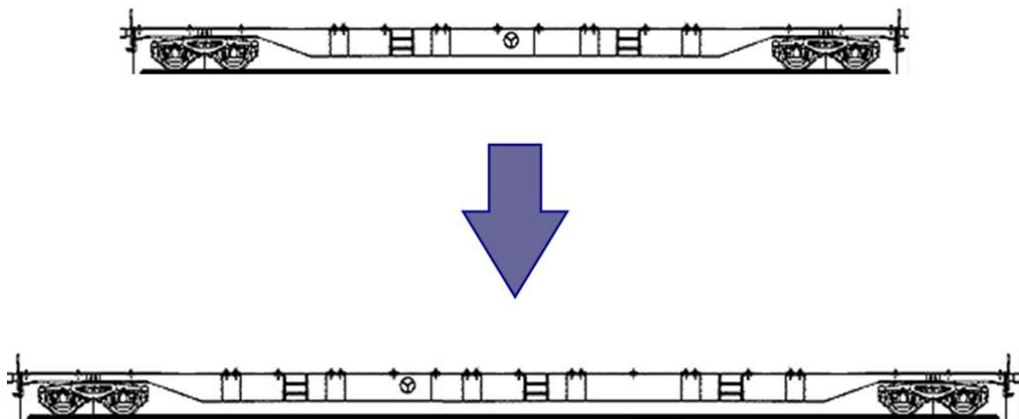
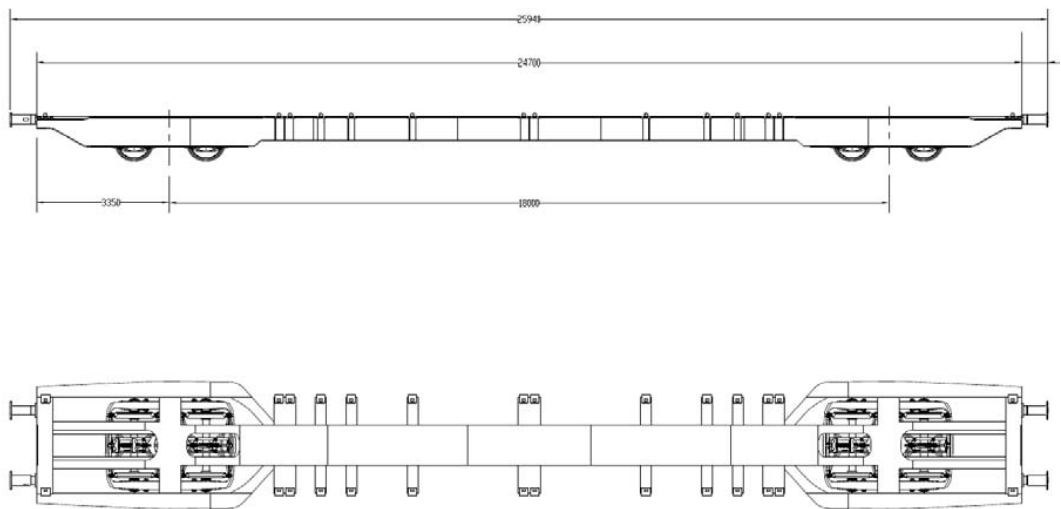


Рис. 5.14. VEL-вагон

VEL-Wagon також має намір розробити конкретний вагон, який забезпечує компромісне рішення між доцільністю та привабливістю ринку, технічною досконалістю. VEL - Wagon означає: Versatile, efficient and Longer

– універсальний, ефективний та довший вагон для інтермодальних перевезень. Після багатьох оперативних моделювань інтермодальних перевезень, а також ретельних структурних розрахунків та тривимірних динамічних моделювань, було отримано компромісне рішення для проекту вагонів.

Згідно проекту вагон має тару приблизно 21 т і довжину завантаження 80 футів для 4 TEU. Запропонована вантажопідйомність (враховуючи навантаження на вісь 22,5 т) становить 17,25 т / TEU.



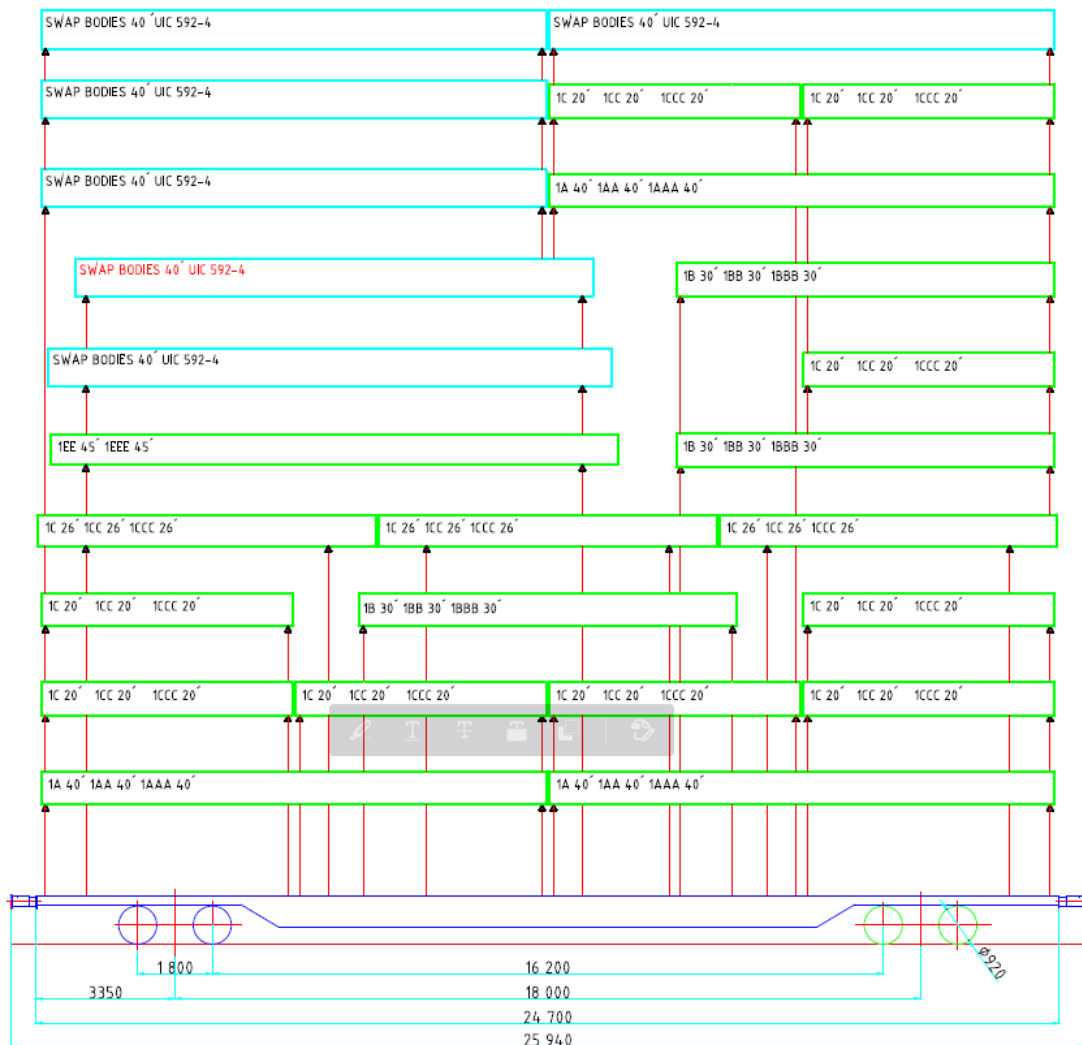


Рис. 5.15. Дизайн VЕL-вагона

1.3. Висновки щодо використання вагонів збільшеної довжини

Інтермодальні континентальні перевезення використовують велику кількість типів вагонів та вантажних одиниць – набагато більше, ніж морські перевезення, і це збільшує кількість можливих випадків завантаження поїздів. У цьому сенсі для кожного випадку є свій оптимальний вагон, але цей вагон міг би бути практично оптимально використаний для інших випадків. Ця різноманітність випадків ускладнює визначення того, який вагон є оптимальним для усередненої ситуації, наприклад, у випадку з інтермодальними поїздами Shuttle між Міланом та Кельном.

Вагони потребують досить великих інвестицій для залізничних компаній Європи (100 000 євро за вагон) і вони повинні широко використовуватися протягом усього їх життєвого циклу (25...30) років для досягнення рентабельності. З цієї причини вагони, що спеціалізуються на одних видах вантажів, зазвичай використовуються й для інших типів, навіть якщо вони не є на 100% ефективними в цих перевезеннях. Приклад таких перевезень показано на рис. 5.20, де показано перевезення контейнера-цистерни на платформі.

Очевидно, зчеплений вагон для двох напівпричепів загальною довжиною 106 футів (53 фути кожна половина) є популярним рішенням для континентальних інтермодальних перевезень на сьогоднішній день. Отже, цей вагон був використаний для порівняння з іншими варіантами.



Рис. 5.20. Перевезення контейнера-цистерни на платформі

Результати моделювання вантажопідйомності показали, що вагон довжиною 80 футів може призвести до важливих переваг у ефективності. Ці

переваги посилювали були б у нагоді під час осереднених перевезень, наприклад у випадку Shuttle між двома важливими континентальними терміналами з невідомою та різною часткою вантажних одиниць.

Якщо розглядати тільки ринковий сегмент перевезень наливних та насипних вантажів, представлений цистернами, силосами, 30-футовими сухими контейнерами тощо, то для цих перевезень ідеально підходять вагони довжиною 60 футів. Отже, порівняння з іншими типами вагонів завжди дає негативні результати для порівнюваних вагонів. Незважаючи на це, 80-футовий фургон дає менш погані результати, ніж 106-футовий.

Імітація вагонів 90 футів дає кращі результати лише для перевезення 45-футових контейнерів. В інших випадках використання 90-футового вагона призвело б до гірших коефіцієнтів навантаження, ніж інші рішення.

Можна зробити висновок, що 80-футовий вагон забезпечить важливий вигравш для континентальних перевезень, оскільки це дозволить краще використовувати простір (довжина завантаження) на поїздах, ніж в існуючих вагонах. 80-футові вагони змогли б перевозити таку ж кількість TEU з меншою кількістю осей та меншою вагою. Крім того, аеродинаміка покращиться (менше зазорів між контейнерами, менше візків на метр), а шум зменшиться за рахунок меншої кількості осей на поїзд. Однак його застосування на шляхах, де необхідно перевозити велику кількість напівпричепів приводило б до явних недоліків у порівнянні з існуючими вагонами, зокрема, у порівнянні з 106-футовим (TWIN) вагоном. З цієї причини його атрибут як універсал може бути не таким цінним у порівнянні з іншими існуючими рішеннями на ринку. Однак 80-футовий фургон був би дуже корисним у Shuttle-перевезеннях між континентальними терміналами з великим трафіком та великою кількістю різних вантажних одиниць.

Стратегією розвитку інтермодальних перевезень буде проектування 80-футового вагону та намагання зробити його якомога дешевшим. Таким чином, він може бути дуже конкурентоспроможним у своєму сегменті ринку.

Підводячи підсумок, у континентальних інтермодальних перевезеннях вантажний вагон довжиною 80 футів дозволить:

- Збільшити коефіцієнт завантаження (кількість TEU на поїзд) на 10%
- Зменшити кількість осей на 15%
- Зменшити загальну вагу поїзда на 7%
- Покращити аеродинаміку (коефіцієнт спротиву)
- Зменшити шум

2. ВПЛИВ ВАГОНІВ ЗБІЛЬШЕНОЇ ДОВЖИНИ НА ІНФРАСТРУКТУРУ

6.1. Навантаження на вісь

Збільшене навантаження на вісь впливає на компоненти колії, геометрію та конструкції колії, наприклад на мости. Вплив підвищеного навантаження на вісь вивчався протягом багатьох років у Швеції [32], та, особливо, в США. Збільшення навантаження на вісь (HAL – Heavy axle load) збільшує переваги залізничних перевезень, оскільки з'являється можливість перевозити більше вантажів тією ж кількістю вагонів. З іншої сторони, збільшення навантаження на вісь призводить до збільшення інвестицій в обслуговування інфраструктури та рухомого складу, оскільки потрібні більш міцні компоненти, які швидше руйнуються за рахунок збільшення сил. Отже, HAL буде цікавим лише в тому випадку, якщо вигоди від експлуатації компенсують збитки обслуговування колії, а загальний рахунок буде позитивним. Має існувати обмеження на збільшення навантаження на вісь, після досягання якого загальний баланс економічної ефективності залізниць є негативним, і тому HAL вже не буде цікавим. Це трапляється, коли фінансова діяльність залізниці не може компенсувати зайві витрати на інфраструктуру та рухомий склад.

Погіршення інфраструктури внаслідок підвищених навантажень на вісь зростає швидше, ніж фінансові переваги, отримані в результаті експлуатації поїздів з підвищеними навантаженнями. На рис. 6.1 наведено доказ цього твердження на основі роботи [33]. Подальші дослідження підтвердили ці твердження [34]. У дослідженні [34] зазначається, що вантажні вагони вагою 286 000 фунтів є більш економічними, ніж вагою 263 000 фунтів та 315 000 фунтів. (263000 фунтів еквівалентно 29,8 т / вісь, 286000 - 32,4 т / вісь і 315000 - 35,7 т / вісь.

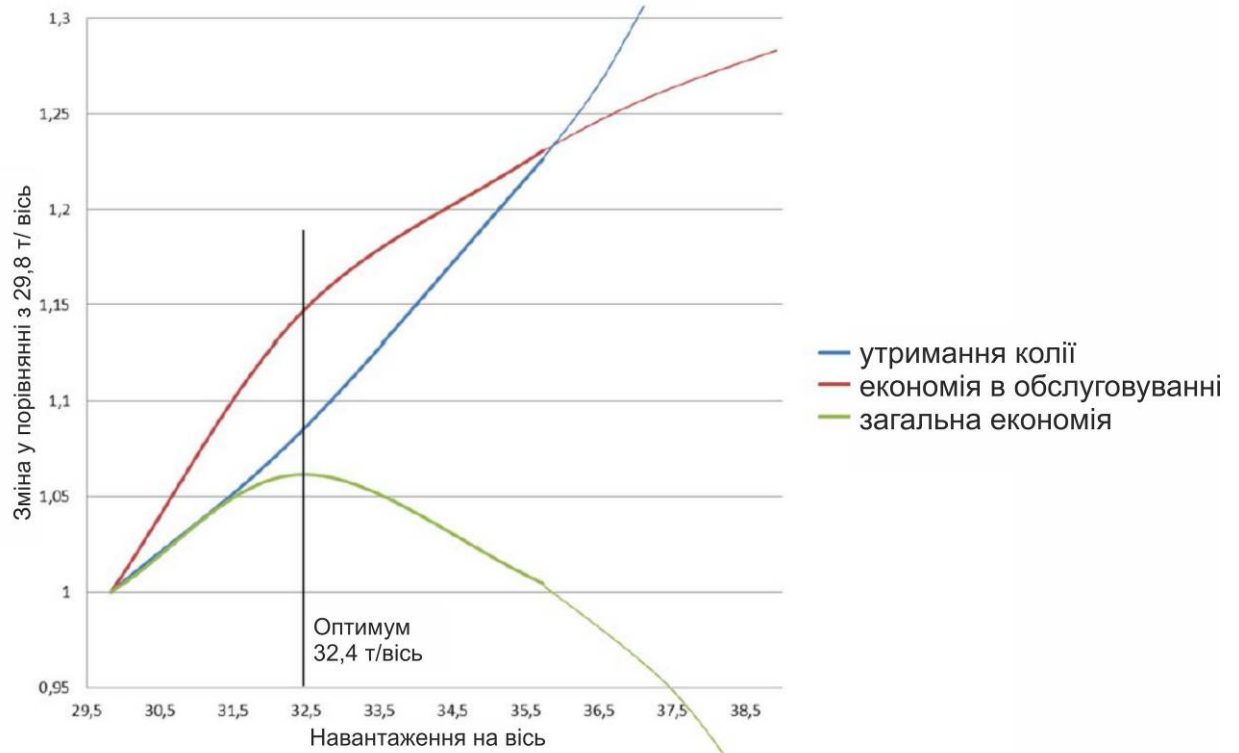


Рис. 6.1. Зміна фінансових показників через зміну навантаження на вісь

Щодо досліджень у США отримано, що збільшення ваги з 263000 фунтів до 286000 фунтів дозволяє отримати оптимальні значення щодо економічних переваг, тобто економія експлуатаційних витрат більше від витрат на утримання колії та модернізації транспортних засобів. Таким чином, збільшення ваги до 315000 фунтів (35,7 т / вісь) здавалося не цікавим, внаслідок погіршення економічних показників. У США оптимальним є навантаження 32,4 т / вісь.

В Європі найпоширеніше максимальне допустиме навантаження становить 22,5 т на одну вісь. Зазвичай збільшення навантаження на вісь розглядається як дія, орієнтована на важкі вантажі, такі як вугілля, залізна руда, пісок, гравій тощо. Однак у цій роботі захищається, що збільшення навантаження на вісь може і повинно бути цікавим і для легших вантажних одиниць, таких як контейнери. Отже, метою є зменшення кількості осей і, отже, збільшення коефіцієнта корисного навантаження вагонів та поїздів. Реалізацією цієї мети можна вважати впровадження VEL-вагону.

VEL-вагон матиме більші навантаження на вісь, оскільки має меншу кількість осей на метр. Згідно перших оцінок збільшення навантаження на вісь складає близько 20%.

Взагалі можна сказати, що інтермодальні перевезення не використовують повною мірою допустиме навантаження на вісь на більшості європейських ліній, оскільки на них навантаження на вісь складає 22,5 т / вісь. Як правило, інтермодальні поїзди є досить легкими, якщо порівнювати їх з іншими поїздами, як-от поїзди з сипучими вантажами.

Навантаження 22,5 т/вісь здається в принципі достатнім для інтермодального транспорту, проте може трапитися так, що при перевезенні важких вантажів, наприклад цистерн, контейнерів для сипучих вантажів та контейнерів із сталевими виробами, допустиме навантаження на вісь може бути недостатнім. Для цих випадків існують вагони з більшою кількістю осей на довжину.

У будь-якому випадку VEL-вагон потребує навантаження на вісь 22,5 т, щоб досягти розумного корисного навантаження та ефективно його використовувати. Тому можливе його використання за умови використання колеса 920 мм і підготовленої інфраструктури. На щастя, більшість важливих колій (84% мережі ERIM, Source UIC / ERIM) в Європі мають можливість пропускати поїзди з навантаженням до 22,5 т/вісь. У Німеччині близько 95% всіх колій вже є класом D4 (22,5 т), як це спостерігається у Заяві про мережу за 2012 рік (Network Statement for 2012).

Лише в деяких східних країнах на деяких важливих коліях можна знайти нижчі навантаження на вісь, однак цю ситуацію мають виправити за короткий термін. На рис. 6.2 показано розподіл навантажень на вісь основними європейськими коліями.

В принципі, проблема навантаження на вісь може бути проблемою в деяких інфраструктурах Польщі, Чехії, Словаччини, колишньої Югославії, Південної Італії, Румунії та Греції. Очевидно, що ця проблема є проблемою не лише для VEL-Вагона, але насправді це проблема для вантажної

залізничної системи загалом. З цієї причини очікується, що ці країни незабаром подолають свої проблеми з навантаженням на вісь, щоб стати більш конкурентоспроможними і, таким чином, більш розвинутими.

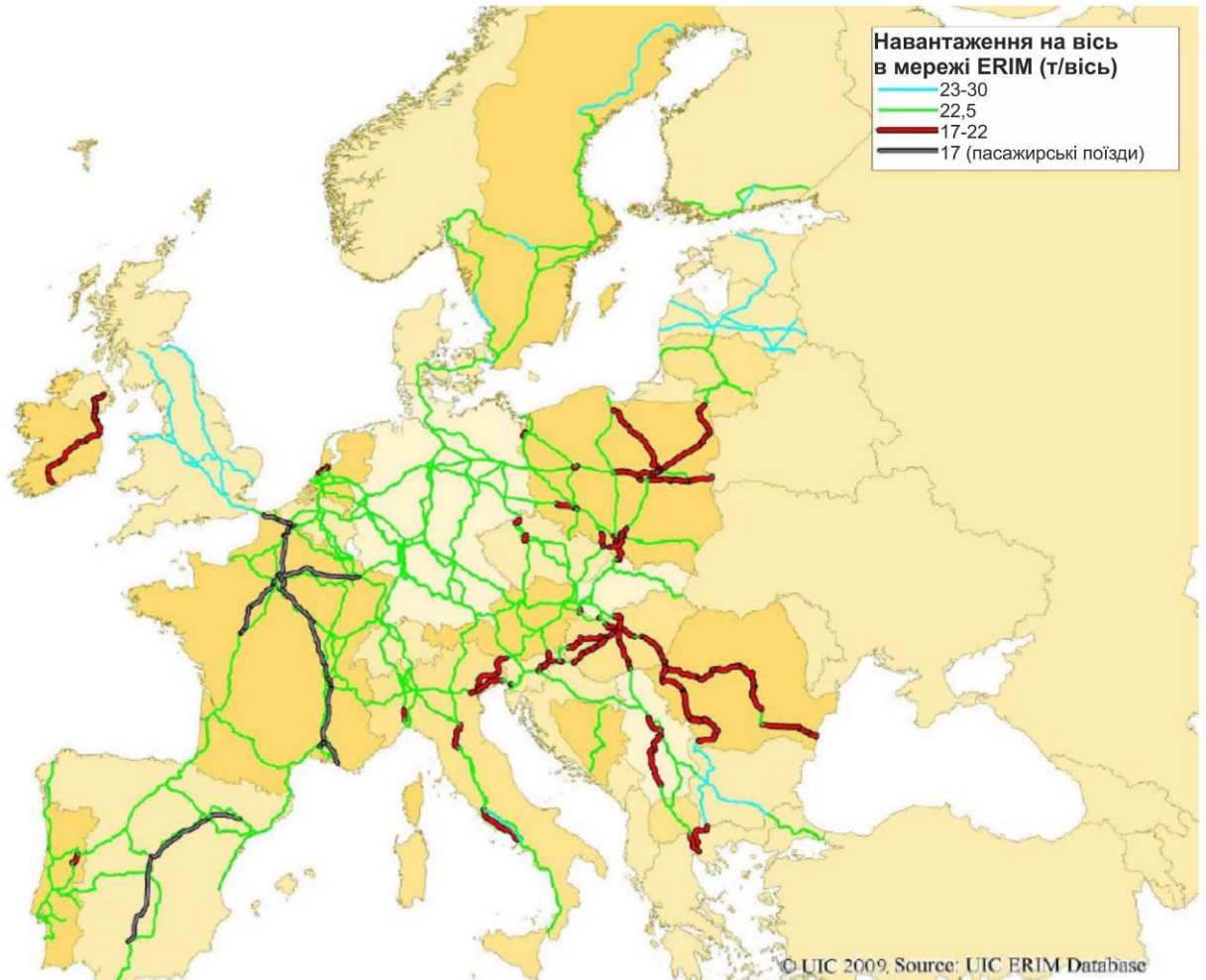


Рис. 6.2. Навантаження на вісь в країнах Європи

6.2. Шум

Зменшення кількості осей на довжину означає негайне зменшення шуму. Залежність шуму від цього параметра «арl» (осі на довжину) була добре вивчена в минулому і вже впроваджена в законодавство, а саме TSI шум. Там зазначено, що:

- Нові вагони із середньою кількістю осей на одиницю довжини (арl) до 0,15 1/м при 80 км / год мають обмеження 82 дБА.

- Нові вагони із середньою кількістю осей на одиницю довжини (apl) в діапазоні 0,15..0,275 1/м при 80 км / год мають обмеження 83 дБА.
- Нові вагони із середньою кількістю осей на одиницю довжини (apl), що перевищує 0,275 1/м при 80 км / год, мають обмеження 85 дБА.

Щодо цього стандарту та за роботою [35] можна скласти графік (рис. 6.3), який приблизно відображає залежність між осями на довжину та шумом вагонів, що зростає в геометричній прогресії.

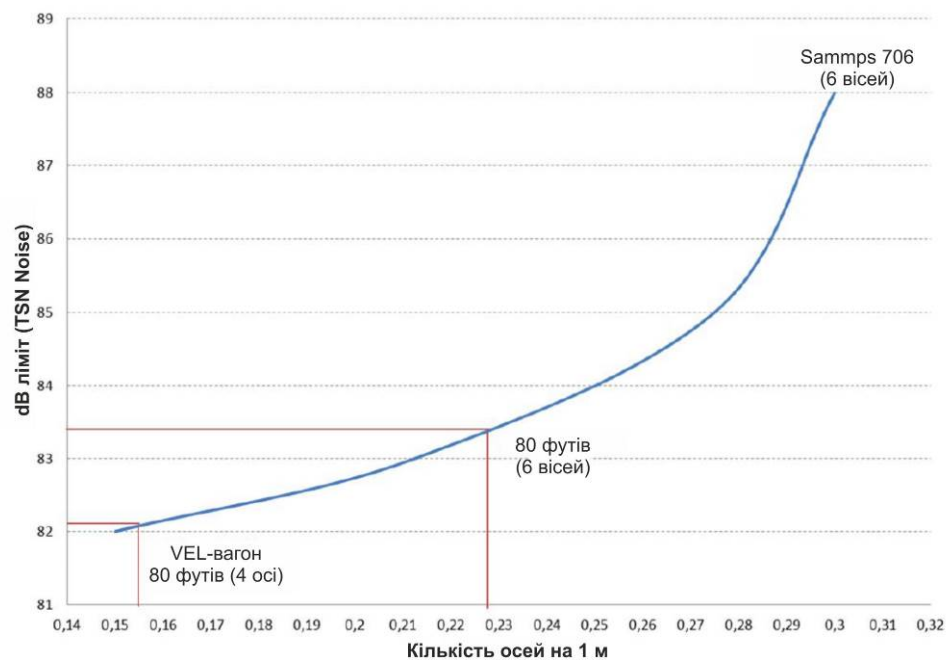


Рис. 6.3. Залежність шуму від кількості осей на 1 м

Очевидно, зменшення шуму при використанні VEL-Wagon щодо 80-футового вагона було б приблизно від 1 до 1,5 дБА без будь-яких інших спеціальних заходів.

Інший цікавий ефект полягає в тому, що при більших навантаженнях на вісь шум може бути меншим або менш дратівливим, ніж той, що створюється при менших навантаженнях на вісь. Це можна пояснити більшою поверхнею контакту між рейкою та колесом, яка діє як поглинач високих частот. Це питання ще ретельно не вивчено і залишається відкритим.

6.3. Зміни в пропорції вантажних одиниць у мережі

Більш довгі вагони можуть бути більш ефективними, коли мова йде про використання довжини вагонів. Яскравий приклад можна побачити в інтермодальних вагонах, де довші мають більші можливості для розміщення великої мінливості вантажних одиниць. Іншими словами, довші вагони забезпечують більшу мінливість схем навантаження.

Прийнято, що 20-футові та 40-футові (стандартні та Hi-Cube) контейнери є майже ексклюзивними для морського транспорту, однак останнім часом 45-футовий контейнер застосовується все більше і більше. Отже, може статися так, що в якийсь момент 45-футові контейнери необхідно буде перевозити у достатньо великій кількості. Це негайно зменшить коефіцієнт завантаження поїздів, оскільки розташування контейнерів у вагонах не є оптимальним для такої довжини контейнера.

У випадку 80-футового вагона 45-футовий контейнер раціонально практично неможливо перевезти, оскільки його взагалі не можна транспортувати, тому, чим більше 45-футових контейнерів необхідно перевозити, тим більше 60-футових вагонів (або зчленованих 90-футових вагонів) потрібно використовувати замість 80-футових. І навпаки, 45-футовий контейнер можна перевозити на VEL-вагоні без особливих проблем, однак, до певної частки 45-футових контейнерів VEL-вагон також не буде ефективним і необхідний довший вагон, скажімо 85-футовий або 90-футовий.

Інтерпретація ефекту 45-футових контейнерів у поїзді згідно рис. 6.4 наступна: чим більша частка 45-футових контейнерів, тим більше 60-футових вагонів потрібно (на шкоду 80-футовим). У певний момент повинен бути використаний спеціально спроектований вагон, наприклад 90-футовий вагон або 90 футовий VEL-вагон.

В морських перевезеннях на даний час є контейнери лише 40 і 20 футів. Ідеальним вагоном є 80-футовий для перевезення 2 контейнерів по 40 футів,

оскільки він відповідає будь-якій пропорції між контейнерами цих довжин. 60-футовий вагон буде ефективним до тих пір, поки частка 40-футових та 20-футових контейнерів залишатиметься 50/50. Якщо пропорція контейнерів 40 футів починає зростати, як це відбувається сьогодні, тоді вагон довжиною 60 футів буде використовуватися з порожніми місцями і, отже, неефективно.

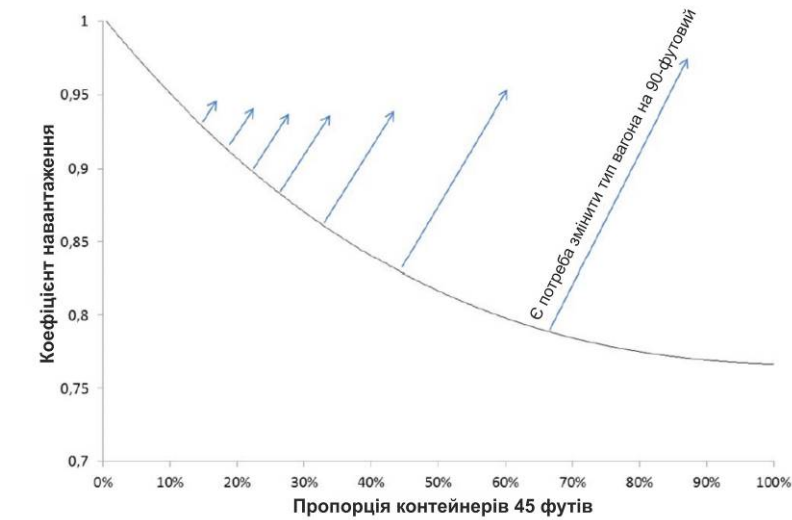


Рис. 6.4. Вплив 45-футових контейнерів на завантаження інтермодальних поїздів

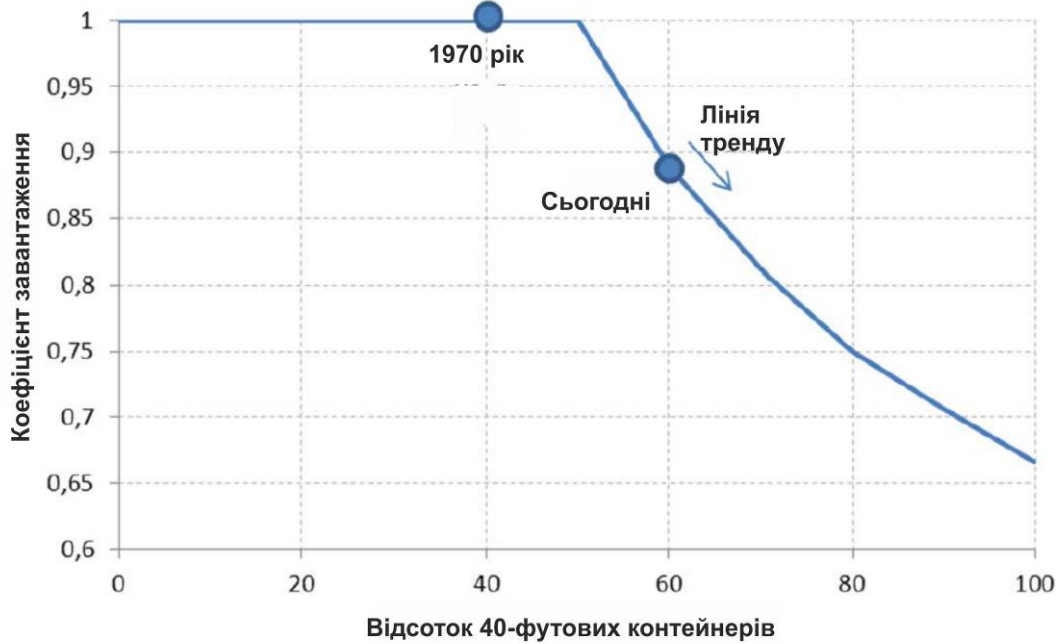


Рис. 6.5. Залежність коефіцієнту завантаження від пропорції використання 40-футових контейнерів

Інтермодальний континентальний транспорт вимагає більших зусиль щодо складу вагонів, щоб відповідати більшій мінливості випадків вантажних одиниць. Тут довші навантажувальні поверхні призводять до кращих коефіцієнтів навантаження. Це моделювання вантажопідйомності було виконано з такими пропорційними одиницями: 40% цистерн та змінних кузовів <7,82 м, 20% силосів та 30-футових контейнерів для сипучих матеріалів та 40% 45-футових контейнерів (рис. 6.6).

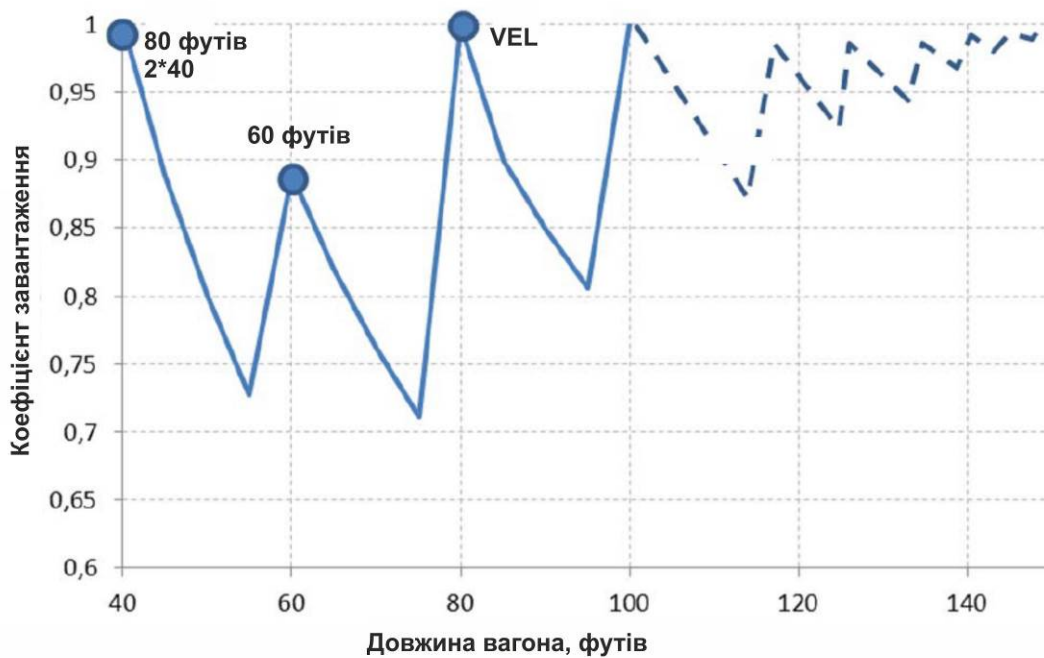


Рис. 6.6. Завантаження вагонів в залежності від довжини

Можливо збільшити пропускну здатність залізничної інфраструктури, використовуючи кращий рухомий склад. Для цього необхідно використовувати довші вагони з більшою вантажопідйомністю та кращим коефіцієнтом завантаження. Альтернативою є побудова нової залізничної інфраструктури, яка може бути пропорційно набагато дорожчою. Проміжним рішенням є підвищення якості інфраструктури, за рахунок збільшення вантажопідйомності та навантаження на вісь.

ВИСНОВКИ

1. В магістерській роботі доведено, що вантажні поїзди повинні стати легшими, щоб знизити витрати на логістику та краще конкурувати з автомобільним транспортом. Те, що вантажні поїзди повинні стати легшими означає, що поїзди повинні стати більш орієнтованими на об'ємні товари, ніж на важкі товари.

2. У континентальному транспорті беруть участь в основному напівпричепи, змінні кузови та цистерни, сипучі та силосні контейнери. За останні роки сегмент напівпричепів зазнав значного зростання. Середня вага бруто навантаженого напівпричепа становить 27 т. Очевидно, ця вага зменшується, оскільки напівпричепи перевозять все більше і більше об'ємних вантажів. 45 футовий контейнер є досить поширеним і частка його використання зростає у континентальних перевезеннях.

3. Можливо збільшити пропускну здатність залізничної інфраструктури, використовуючи кращий рухомий склад. Для цього необхідно використовувати довші вагони з більшою вантажопідйомністю та кращим коефіцієнтом завантаження. Альтернативою є побудова нової залізничної інфраструктури, яка може бути пропорційно набагато дорожчою. Проміжним рішенням є підвищення якості інфраструктури, за рахунок збільшення вантажопідйомності та навантаження на вісь.

ЖИТЕПАТҮПА

1. UIC, Statistics 2009, 2010, 2011, 2012.
2. Zanuy, Armando Carrillo. Future Prospects on Railway Freight Transportation: A Particular View of the Weight Issue on Intermodal Trains. Diss. Verlag nicht ermittelbar, 2013.
3. Wissmann, Matthias (President of the German automotive industry VDA). Internationales Verkehrswesen, Heft 2 März-April 2011.
4. www.destatis.de Official German Statistics
5. <https://www.portofrotterdam.com/nl> Official Rotterdam Statistics
6. DB Schenker, Geschäftsbericht (Activity report) 2009, 2010
7. Troche, G. "Activity –Based Rail Freight Costing", PhD Dissertation KTH, 2009
8. TAF-TSI, "Specification for Interoperability for Telematics Applications Freight", ERA-UIC, ongoing
9. Tóth, Bálint László. "Visegrád: A tool that supports the implementation of EU strategies to enhance the connectivity and interoperability of the Central East European railway network." Foreign Policy Review 11 (2018): 158-181.
10. Lazarević, Luka, Zdenka Popović, and Nikola Mirković. "Interoperability of Railway Infrastructure in the Republic of Serbia." Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. Springer, Cham, 2018.
11. Ihnat, Peter. "Implementation Of The Technical Interoperability For TAF TSI Subsystem In Freight Operation." MATEC Web of Conferences. Vol. 235. EDP Sciences, 2018.
12. Kozińska, Justyna. Case Study: interoperability of rail system tunnels. Diss. Instytut Dróg i Mostów, 2020.
13. Panák, M., Nedeliaková, E., Abramović, B., & Šipuš, D. (2017). Synergies of the Liberalization of the Railway Transport Market. In MATEC web of conferences (Vol. 134, p. 00045). EDP Sciences.

14. "Agenda 2015 for combined transport in Europe", UIC, 2008
15. "Atlas of infrastructure in the ERIM network", UIC, 2009
16. Statistics 2009, 2010, 2011, 2012
17. Leaflet 571-4 "Standard wagons – Wagons for combined transport – Characteristics"
18. "Report on combined transport", UIC, 2010
19. Leaflet 505-1 "Railway transport stock - Rolling stock construction gauge"
20. Leaflet 596-6 "Conveyance of road vehicles on wagons – Technical organization – Conditions for coding combined transport load units and combined transport lines"
21. UIRR statistics 2011 International Union of Combined Road-Rail Transport Companies
22. Sterzik, S. , & Kopfer, H. (2013). A Tabu search heuristic for the inland container transportation problem. *Computers & Operations Research*, 40 (4), 953–962.
23. Ruan, Q., Zhang, Z. , Miao, L. , & Shen, H. (2013). A hybrid approach for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*, 40 (6), 1579–1589.
24. Chen, C. S. , Lee, S. M. , & Shen, Q. S. (1995). An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research*, 80 (1), 68–76.
25. Yang, G. , & Mu, C. (2018). Machine learning approach to shipping box design. In *Proceedings of the 13th INFORMS workshop on data mining and decision analytics*.
26. Задачин, В. М., І. Г. Конюшенко, І. Г. Конюшенко. "Чисельні методи: навчальний посібник." (2014).
27. Bortfeldt, A., Hahn, T., Männel, D., Mönch, L. (2015). Hybrid algorithms for the vehicle routing problem with clustered backhauls and 3D loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 243 (1), 82–96.

28. Bortfeldt, A., & Homberger, J. (2013). Packing First, routing Second- A Heuristic for the vehicle routing and loading problem. *Computers & Operations Research*, 40 (3), 873–885.
29. Von Westarp, A. G., & Schinas, O. (2016). A fuzzy approach for container position- ing considering sustainable profit optimization. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 92, 56–66 .
30. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%B5%D1%80>
31. Hilmola, O-P, “Railway Wagon Market Analysis and New Multi-Purpose Wagon Solution for Freight Transports –Finnish Manufacturing Perspective”, 2008.
32. Nelldal Bo-Lennart, “Efficient train systems for freight transport a systems study, principal Report”, KTH Stockholm, 2005.
33. Hargrove, Guins, Otter, Clark and Martland, “Economics of Increased Axle Loads, FAST/HAL Phase II Results”, 1991
34. S. K. Shrivastav and K. Jalan, “The economics of heavy axle loads”, 2005.
35. M. Kalivoda, Presentation at Infra TRANS, 2007
36. Определение экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений: Методические указания. – Минск. Полымя. 1979. 143 с.
37. Якісні дослідження в соціологічних практиках : навчальний посібник / [під ред. Н. Костенко, Л. Скокової]. – К.: Інститут соціології НАНУ, 2009. – 400 с.
38. Коваленко А.А. Основы научных исследований (планирование экспериментов): монография / Коваленко А.А., Роговой А.С., Семин Д.А. – Луганск: изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2010. – 210 с.
39. Дегтяренко В.Н. Транспортные узлы промышленных районов. – М.: Стройиздат, 1974. – 286 с.
40. Жевержеев В.Ф., Кальницкий Л.А., Сапогов Н.А. Специальный курс высшей математики для втузов.-М.: Высшая школа, 1970.-416 с.

41. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) / Ред. Н.В. Правдин. - М.: Транспорт, 1984.-296 с.
42. Жлуктенко В.І., Наконечний С.І., Савіна С.С. Теорія ймовірностей і математична статистика: Навч. – метод. посібник: У 2-х ч. – Ч. II. Математична статистика. – К.: КНЕУ, 2001. – 336 с.
43. Заглядімов Д.П. і ін. Організація руху на залізничному транспорті. – М.: Транспорт, 1985.
44. Кокс Д. Теория восстановления [Текст] / Д.Кокс, В. Смит. - М.: Советское радио, 1967.-123с.
45. Кочнев Ф.П., Сотников І.Б. Управління експлуатаційною роботою залізниць: Навчальний посібник. – М.: Транспорт, 1990, – 424с.
46. Кристофидес Н. Теория графов [Текст] / Н. Кристофидес. - М.: Изд. «Мир», 1978.- с.432
47. Кудрявцев В.А. Технология эксплуатационной работы на железных дорогах [Текст] / В.А. Кудрявцев, А.К. Угрюмов. – М.: Транспорт, 1994.-264с.
48. Кудрявцев В.А. Применение транспортной задачи линейного программирования для оперативного планирования порожних вагонопотоков [Текст] / В.А. Кудрявцев// Сб. тр. ЛИИЖТа. - 1974. - Вып. 377. - с. 114-122.
49. В. И. Жуков «Охрана труда на железнодорожном транспорте». – М.: Транспорт, 2006г. – 152с.
50. Абрамов А.А. Управление эксплуатационной работой. Часть 1. Организация вагонопотоков. Учебное пособие.- М.: РГОТУПС, 2001. – 144 с.
51. Авен О.И. и др. Оптимизация транспортных потоков, М. Наука, 1985 - 164с.
52. Акулиничев В.М., Организация перевозок на промышленном транспорте: Учебник.- М.:Высш. шк., 1983.- 247 с., ил.

53. Балака Є.І. Ефективність удосконалення організації технічного й комерційного огляду вантажних потягів [Текст] / Є.І. Балака, О.В. Белогурова, О.І. Зоріна // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2005. - №11. – С.116-120.
54. Балака Є.І. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: Навчальний посібник [Текст] / Є.І. Балака, О.І. Зоріна, Н.М. Колеснікова, І.М. Писаревський. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 210 с.
55. Бауэрсокс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок [Текст] / Дональд Дж. Бауэрсокс, Дейвид Дж. Клосс. 2-е изд. Пер. с англ. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2006. 640 с.
56. Вентцель Е. С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. - М., "Советское радио".-1972.- 552 с.
57. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. Изд. 7 – е, стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 479 с.
58. Жевержеев В.Ф., Кальницкий Л.А., Сапогов Н.А. Специальный курс высшей математики для втузов.-М.: Высшая школа, 1970.-416 с.
59. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) / Ред. Н.В. Правдин. - М.: Транспорт, 1984.-296 с.