УДК [625.14-047.58]:629.4.016.5

НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ

М. Курган, д. т. н., професор, завідувач кафедри «Проектування і будівництво доріг»
Д. Курган, к. т. н., доцент кафедри «Колія та колійне господарство»
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна

Напрямок високошвидкісних магістралей і їхні параметри визначаються обсягами пасажирських перевезень, прогнозована величина яких залежить від економічних показників розвитку країни, а також від матеріального становища громадян, які проживають в зоні тяжіння магістралі, транспортної рухливості населення, розвитку конкуруючих видів транспорту тощо.

Ключові слова: швидкісний рух поїздів, високошвидкісні магістралі, обсяг пасажирських перевезень, пасажирообіг, методи прогнозування, економічна ефективність.

Істотними факторами, що визначають успіх проектів високошвидкісних магістралей (ВШМ), є економічні показники розвитку країни і конкретних територій транспортних коридорів, а також матеріальне становище громадян, які проживають в зоні тяжіння ВШМ. Одним з економічних критеріїв, що характеризують матеріальне становище громадян є валовий внутрішній продукт (ВВП). Якщо величину ВВП розділити на кількість населення, то отримаємо показник, який представлено на рис. 1. Цей усереднений показник для тієї чи іншої країни ще не визначає доцільність впровадження високошвидкісного транспорту. Так, у Китаї, наприклад, він найменший — 5,4 млн доларів/особу, але успіхи цієї країни у будівництві ВШМ переконливі.

Отже, ефективність проекту ВШМ необхідно оцінювати, по-перше, з урахуванням матеріального становища громадян, які проживають саме в зоні тяжіння ВШМ, по-друге, показником ВРП, який обчислюється шляхом віднімання

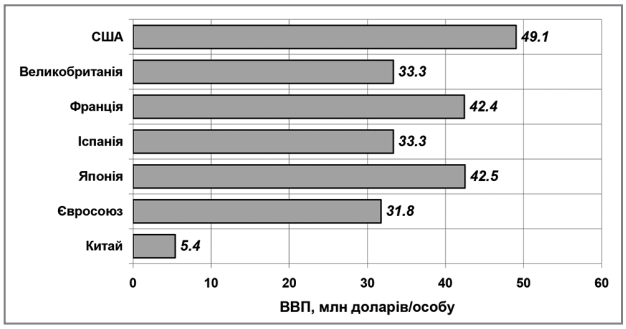

Рис. 1. Валовий внутрішній продукт, що припадає на одну особу

із сумарної валової продукції (ВВП) обсягів її проміжного споживання і повністю характеризує економічну діяльність міста або району. Використовуючи статистичні дані за цим

показником можна спрогнозувати потенціал економічного розвитку, а відповідно, визначити можливість спорудження і умови експлуатації майбутніх ділянок мережі ВШМ.

Розподіл пасажирських перевезень за видами транспорту відбувається на ринковій основі в залежності від вартості поїздки, часу в дорозі, географічної доступності транспортної інфраструктури та інших факторів. В результаті формуються зони ефективного використання різних видів транспорту. На стиках цих зон має місце конкуренція між видами транспорту (міжвидова конкуренція). Крім того, існує внутрішньовидова конкуренція (конкуренція між окремими компаніями, що представляють один і той же вид транспорту).

Залежність, опублікована Міжнародним союзом залізниць і уточнена низкою додаткових даних, представлена на рис. 2. Вона показує, як на даний час у світі склався розподіл пасажиропотоків між авіаційним транспортом і ВШМ в залежності від часу поїздки залізницею.

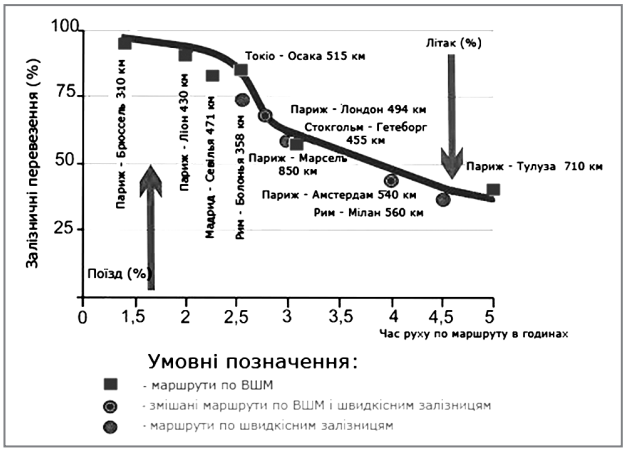

Рис. 2. Розподіл пасажиропотоку між високошвидкісним залізничним та авіаційним транспортом

Сьогодні існує багато науково-дослідних робіт з оцінки та розгляду шляхів подальшого розвитку транс'європейської високошвидкісної залізничної мережі. Один з таких проектів — NGT (NextGenerationTrain — поїзд наступного покоління), розроблений восьми інститутами Німецького центру авіації та космонавтики (DLR). Основна ідея NGT полягає у визначенні полігону мережі ВШМ в Європі, розрахованого на рух поїздів нового покоління (NGT) зі швидкістю 400 км/год. У модель мережі включені більшість європейських країн, а також Туреччина.

В цій статті проведено аналіз існуючих методів прогнозування пасажирських перевезень, оцінка похибок існуючих моделей щодо визначення обсягів перевезень, уточнення наукових підходів до обґрунтування доцільності розвитку в Україні високошвидкісного залізничного транспорту.

Полігон ВШМ як об'єкт дослідження можна представити сукупністю вершин і зв'язків між цими вершинами. У свою чергу, вершини — це міста (мегаполіси), які є основними ланками мережі [1].

Як вершини, так і зв'язки між ними мають свої показники або критерії оцінки (соціальні, економічні, політичні, туристичні, транспортні і т. д.). Наприклад, до соціальних критеріїв можна віднести чисельність населення, тривалість життя, умови охорони або забрудненість навколишнього середовища. Соціально-економічні фактори визначають розташування так званих «опорних пунктів», в тому числі проміжних, через які або поблизу яких повинна пройти ВШМ.

Економічні показники — це рівень добробуту населення, дохід на душу населення, валовий регіональний продукт. Політичні зв'язки визначаються розташуванням в містах адміністративних центрів, з їх статусом і популярністю (проведення культурно-масових заходів, конференцій, спортивних змагань) та ін. До туристичних зв'язків можна віднести ділові, культурно-масові, оздоровчі та інші види поїздок. Транспортні зв'язки характеризуються наявністю або відсутністю тих чи інших видів транспорту на напрямках (автомобільний, залізничний, авіаційний і т. д.), рухливістю населення, пасажиропотоком (транзитним і внутрішнім) та ін.

При дослідженні полігону майбутньої мережі ВШМ доцільно розглядати напрямки, які вже мають залізничні лінії. Транспортні потоки на таких напрямках найбільш інтенсивні. Таким чином, наявність залізниці — один з критеріїв визначення напрямків, перспективних для організації високошвидкісного руху поїздів.

З метою вибору для конкретного регіону критеріїв оцінки доцільності будівництва ВШМ необхідні глибокі дослідження вище перерахованих факторів, розробка відповідної методики вироблення й прийняття рішень.

Прогнозування пасажирських транспортних потоків на перспективу є найважливішою і невід'ємною частиною складного процесу проектування ВШМ. Напрямок ВШМ і її параметри визначаються обсягами пасажирських перевезень. Прогнозуванню пасажирських потоків присвячено багато наукових робіт. Глибокий аналіз різних моделей і підходів виконано і наведено в роботі [2]. Існуючі методи прогнозування можна звести до чотирьох груп: методи експертних оцінок, методи екстраполяції, факторного і кореляційного аналізу та методи моделювання станів і подій.

Перші спроби використання математичних методів відносяться до кінця XIX століття, коли А. Веллінгтон (США) і Е. Лілль (Австро-Венгрія) зробили спробу встановити математичну залежність між величиною транспортного потоку, населенням кореспондуючих пунктів і відстанню між ними. Пізніше були запропоновані модифікації цієї моделі, які отримали назву «гравітаційні» [2].

В основі цих моделей лежить твердження, що між двома великими населеними пунктами існує транспортне «тяжіння», прямо пропорційне добутку чисельності населення цих пунктів і обернено пропорційне відстані між ними.

Дещо відкоригована залежність була запропонована М. І. Загорданом і Ф. П. Кравцьом. Вони вважали, що число пасажирів прямо пропорційне добутку чисельності населення двох пунктів і обернено пропорційне квадрату відстані між ними.

У цих моделях складним залишається визначення коефіцієнту пропорційності для перспективних умов, так як з плином часу коефіцієнт суттєво змінюється. Так, розрахований на основі статистичних даних про кореспонденцію пасажирів між окремими пунктами коефіцієнт коливався від 0,001 до 0,475. Це відбувається через дію встановленого статистичного закону поведінки пасажирів, які можна сформулювати так: для подолання відстані потрібен якийсь прийнятний час з точки зору пасажира, який пов'язаний з науково-технічним прогресом на транспорті.

Наприклад, якщо середній час на подолання 100 км відстані високошвидкісним поїздом TGV POS складає на підйомі 35‰ 30 хв., то на 1000 км час збільшується не в десять, а в 9 разів, а на ділянках легкого профілю — у 8 разів [3].

Основним недоліком такої моделі є висока чутливість до помилки в розрахунку коефіцієнту пропорційності і неможливість перевірки надійності прогнозної моделі.

У ряді робіт була зроблена спроба подолати деякі із зазначених недоліків «гравітаційних» моделей. Зокрема, були досліджені такі фактори, як валовий внутрішній продукт, національний дохід та ін. Для прогнозування була запропонована лінійна модель, а в якості визначальних параметрів використовувалися національний дохід, загальна чисельність населення, чисельність міського і сільського населення. Як було показано вище (див. рис. 1), узагальнені показники, встановлені для країни в цілому, не можуть бути

© ЗАЛІЗНИЧНЕ ВИДАВНИЦТВО «РУХОМИЙ СКЛАД»

використані для прогнозування пасажиропотоку на конкретних напрямках.

Слід відмітити, що моделі розроблені як «гравітаційні» найшли широке застосування. Так, за участю експертів компанії SYSTRA (Франція) у 2002 році були досліджені передумови впровадження високошвидкісного руху поїздів в Україні, визначено можливі маршрути високошвидкісних залізничних ліній на основі прогнозованих обсягів пасажирських перевезень.

Аналізуючи вище викладені підходи, видно, що вони не враховують транзитний пасажиропотік, який доцільно частково перевести на швидкісне сполучення. Умови для значного транзитного пасажиропотоку створюються завдяки векторам сучасних зв'язків України з країнами ЄС, Білоруссю, країнами Балтії, країнами Центральної Азії та Закавказзя. У цьому випадку особливе місце займає дослідження показника транспортної рухливості населення. Вважається, що це середня кількість поїздок одного жителя в рік всіма видами транспорту, зокрема, по залізницях. В сегменті залізничного транспорту коефіцієнт рухливості визначається відношенням числа перевезених залізницею пасажирів за рік до середньорічної чисельності населення регіону, що обслуговується даною залізницею.

Авторами було проаналізовано динаміку, основні тенденції пасажирських перевезень та розраховані показники рухливості (табл. 1). Кількість відправлених пасажирів прийнята за даними ПАТ «Укрзалізниця».

Як випливає з табл. 1, розрахований у дальньому сполученні показник рухливості суттєво відрізняється по залізницях (регіонах) і коливається від 0,9 до 2,28; в середньому становить близько 1,5 поїздки на рік.

На відміну від пропозицій компанії SYSTRA, в роботі [4] наведено формулу для розрахунку прогнозованих обсягів пасажирських перевезень, яка враховує транзитні потоки пасажирів через територію України і чисельність населення в містах, охоплених високошвидкісною мережею. В формулу введено декілька коефіцієнтів: перший враховує рухливість населення України по ВШМ, другий — термін поїздки пасажирів, третій коефіцієнт враховує додатково частоту поїздки пасажирів на заданій дільниці (відрядження, пересадку на літак, відпочинок, туризм). Наприклад, термін поїздки від Львова до Сімферополя складе близько 6 годин. У той же час тривалість поїздки між Києвом та Дніпром — до двох годин. Завдяки такій різниці в часі попит на користування високошвидкісною магістраллю може коливатися майже вдвічі. Такі дані відмічені у Франції та інших країнах Європи. Досвід експлуатації швидкісних поїздів в Україні показав, що попит на перевезення пасажирів між Харковом та Києвом в 1,5 рази вище ніж між Донецьком та Києвом, оскільки різниця в терміні поїздки складає 1,5 години.

На рис. 3 представлено два варіанти високошвидкісних магістралей між Києвом і Львовом. Населення, що, проживає у містах (тис. осіб), показано на схемі. Транзит прийнято однаковим для обох варіантів — 50 тис. пас. на рік. Отримані результати, тобто прогнозна кількість пасажирів такі: по північному варіанту 1 млн. пас. на рік, по південному — 850 тис. пас. на рік, що не є логічним бо загальна кількість населення на всіх станціях високошвидкісної магістралі у південному варіанті більша, а пасажиропотік менший. Тобто формула не враховує випадки, коли транзитний пасажирооборот має суттєву питому вагу.

Рис. 3. Варіанти високошвидкісної магістралі з населенням міст

Отримання якісно нового ефекту в практиці прогнозування пов'язують із застосуванням методів факторного та кореляційного аналізу. Так, для перевірки зв'язку доходів населення з показником рухливості населення в роботі [5] проведено кореляційний аналіз, за результатами якого встановлено, що простежується досить тісна залежність показника рухливості від величини наявних реальних доходів населення.

Автори також вважають, що найбільш узагальнюючим і повним визначенням транспортної рухливості слід вважати не кількість поїздок незалежно від відстані перевезень, а пас.-км на одного жителя.

Для порівняння тенденції зміни транспортної рухливості і доходів на рис. 4 і 5 представлено результати отримані в роботі [5], а в табл. 2 і на рис. 6 — виконані розрахунки до 2015 року. В гр. 5 наведені показники рухливості населення по залізницях.

Як було зазначено вище, одним з найбільш точних способів оцінки економічного розвитку держави вважається валовий внутрішній продукт (ВВП), а для населення досить реальним є дохід, який в статистичних даних наводиться як номінальний (відтворюється в поточних цінах даного року — гр. 6) і реальний (з поправкою на інфляцію — гр. 7).

Виконаний кореляційно-регресійний аналіз [5] показав, що коефіцієнт кореляції між ними становить 0,882, а лінійне рівняння регресії дозволяє розраховувати середнє нормативне значення рухливості від величини наявних

Таблиця 1. Рухливість населення в дальньому залізничному сполученні

Залізниці	Кількість мешканців на території, тис. осіб	Відправлено пасажирів, тис. осіб		Показник рухливості	
		всього	у дальньому сполученні	загальний	у дальньому сполученні
По Україні	42400	448436	62519	10,58	1,47
Львівська	8493	65223	9133	7,68	1,08
Південно-Західна	8882	139116	20263	15,66	2,28
Південна	4769	69430	8091	14,56	1,70
Придніпровська	7125	77836	11311	10,92	1,59
Одеська	6894	34580	8021	5,02	1,16
Донецька	6329	62252	5699	9,84	0,90

Таблиця 2. Розрахунок транспортної рухливості населення

Роки	Пасажиро-оборот залізниць, млн. пас.-км	Загальні доходи населення млн. грн.	Кількість населення в Україні осіб	Рухливість населення, пас.-км/на одну особу	Номінальні доходи, грн./на одну особу	Реальні доходи, грн./на одну особу
2000	51800	128736	49430	1048	2631	2180
2001	52700	157996	48923	1088	3261	2490
2002	50400	185073	48457	1040	3855	2938
2003	52200	215672	48004	1087	4529	3400
2004	51800	274241	47622	1088	5800	4468
2005	52400	381404	47281	1108	8127	6332
2006	53400	472061	46930	1135	10120	7771
2007	53400	623289	46646	1145	13362	10126
2008	53225	845641	46373	1148	18326	13716
2009	48327	894286	46053	1049	19454	14091
2010	50240	1101175	45870	1095	24006	17285
2011	50569	1266753	45693	1107	27723	19683
2012	49203	1457864	45577	1080	31987	22711
2013	48876	1548733	45483	1075	34051	23836
2014	37065	1516768	43722	848	34691	24284
2015	35913	1520000	43000	835	35349	24037

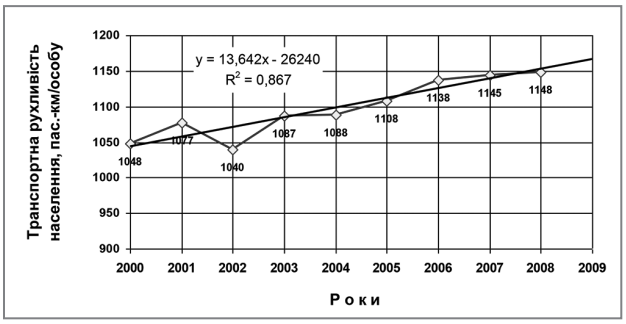

Рис. 4. Транспортна рухливість населення за період з 2000 по 2008 рр.

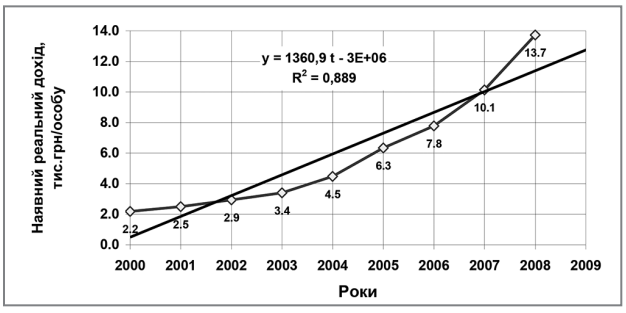

Рис. 5. Реальний дохід населення за період з 2000 по 2008 рр.

реальних доходів на душу населення. Встановлено, що зі зміною реальних наявних доходів в розрахунку на душу населення на 1 грн. транспортна рухливість по залізницях збільшується на 8,76 пас.-км на одну особу. Автори роботи [5] вважають, що за виявленими тенденціями можна прогнозувати наявні реальні доходи і рухливість на одну особу. Їхній прогноз на 2015 рік такий: рухливість на одну особу — 1242 пас-км, наявні реальні доходи на одну особу — 20,9 тис. грн. Порівняння з фактичними даними за 2015 рік показало, що ні перший, ні другий показники не підтвердились: рухливість на одну особу склала 835 пас.-км, а реальні доходи близько 24 тис. грн/особу.

Це можна пояснити таким (див. рис. 4 і 6): транспортна рухливість населення до 2008 року зростала, а в наступні роки знижалась. В той же час динаміка зростання наявного доходу населення була позитивною.

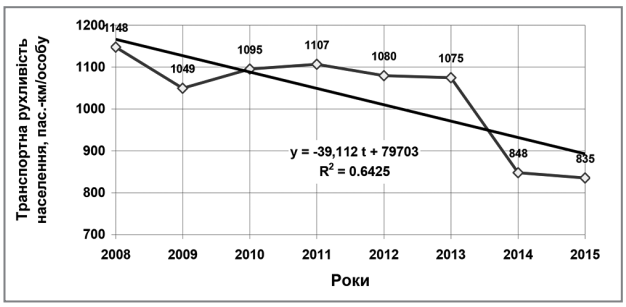

Рис. 6. Транспортна рухливість населення за період з 2008 по 2015 рр.

Основним призначенням нових високошвидкісних магістралей в Україні є забезпечення великих обсягів пасажирських перевезень між двома і більше обласними містами і їх районами тяжіння з мінімальними втратами часу пасажирами. Причетність великих населених пунктів до обраного напрямку ВШМ визначає розміри пасажирських перевезень і доходи від експлуатації.

На рис. 7 представлено зони тяжіння до майбутньої мережі ВШМ в Україні, що включають наступні міста, економічні й туристичні центри:

- Київ (столиця України) і Київська область, у місті Києві налічується близько 2,9 млн жителів;
- Регіони Харкова й Полтави, міста України з населенням близько 2,0 млн чоловік;
- Дніпро, Кам'янське, Запоріжжя та Кривий Ріг — близько 3 млн жителів;
- Донбас, економічна діяльність у місті Маріуполь (близько 500 тис. чол.) і т. д.;

© ЗАЛІЗНИЧНЕ ВИДАВНИЦТВО «РУХОМИЙ СКЛАД»

- Туристичні регіони — Одеса (понад 1 млн чол.), Миколаїв (500 тис. чол.), Херсон (300 тис. чол.);
- Західний регіон. У Львові проживають 730 тис. чол., а у області — більше 2,5 млн жителів;
- Закарпатська область розташована на краю Західної України по сусідству з одразу 4 країнами: Польща, Словаччина, Угорщина і Румунія. У Закарпатті станом на 2015 рік діє понад 250 курортів різних напрямків та екскурсійні об'єкти туризму та відпочинку.

Україна належить до держав з високою щільністю населення. (79 осіб на 1 км^2). Це досить високий показник, що свідчить про загалом сприятливі умови проживання та високий рівень освоєння території. Для порівняння: у Російській Федерації щільність населення на 1 км^2 — 8,4 особи, Білорусії — 47,9 особи, Казахстані — 5,4 особи.

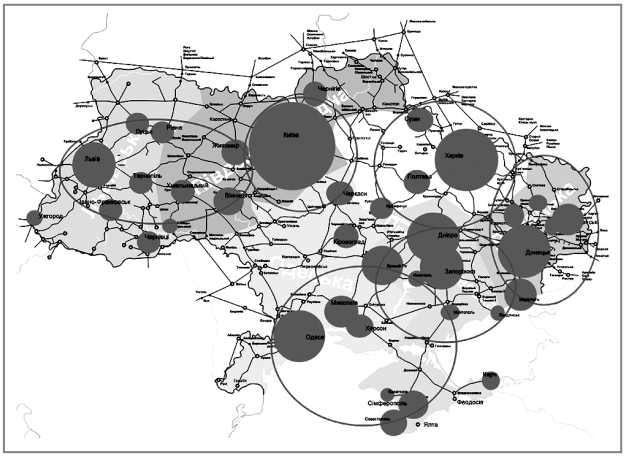

Рис. 7. Зони тяжіння пасажирських перевезень

Ґрунтуючись на прогнозних даних, передбачається, що в Україні в 2035 – 2040 роках на всій мережі щорічно послугами високошвидкісної мережі будуть користуватися близько 130 мільйонів пасажирів. Зазначені обсяги перевезень відповідають щорічного обороту 54 млрд. пас.-км. Одна із можливих схем розвитку в Україні мережі ВШМ представлена на рис. 8.

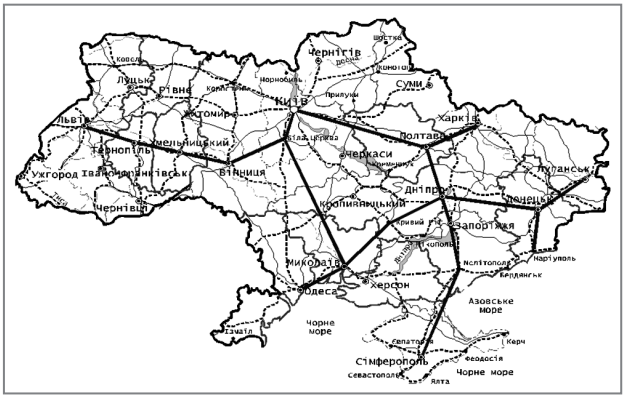

Рис. 8. Рекомендована топологія мережі ВШМ

В статті набули подальшого розвитку наукові підходи до прогнозування обсягів пасажирських перевезень в зоні агломерації, що тяжіє до ВШМ. Доповнена система критеріїв оцінки доцільності спорудження ВШМ, яка враховує транзитні потоки пасажирів через територію України, чисельність населення в містах, охоплених високошвидкісною мережею, мобільність населення та ін. фактори.

Отриманні дані можуть бути використані для обґрунтування концепції розвитку високошвидкісного залізничного транспорту в Україні, формування мережі високошвидкісних магістралей і встановлення етапів будівництва ВШМ. Першочерговим напрямком впровадження високошвидкісного руху в Україні (до 350 км/год) є напрямок Київ – Львів – держкордон з країнами Західної Європи з подальшою інтеграцією в європейську мережу ВШМ. Наступними етапами реалізації проектів з будівництва високошвидкісних магістралей можуть бути напрями: Київ – Одеса, Київ – Полтава – Харків, Київ – Полтава – Дніпро.

На основі аналізу і проведених досліджень можна зробити такі висновки:

— Для визначення раціональних маршрутів високошвидкісних залізничних ліній на основі прогнозованих обсягів пасажирських перевезень знайшли широке застосування «гравітаційні» математичні моделі, засновані на припущенні, що сила взаємодії міст і регіонів, які тяжіють до проектованої ВШМ, пропорційна добутку якісних і кількісних показників регіонів і обернено пропорційна відстані між містами. Подібні математичні моделі широко використовуються в регіональному аналізі, при дослідженні експертно-імпортних взаємозв'язків між регіонами, але повинні корегуватись з урахуванням економічного розвитку, ділової активності регіонів, коефіцієнта рухливості населення, величина якого може істотно змінюватися в залежності від зростання доходів населення, швидкості, комфорту і сервісу, що надає високошвидкісний транспорт.

— Економічна інтеграція країн Європейського Союзу дозволяє збільшувати потоки пасажирів у міждержавному сполученні, а реалізація європейської програми розширення високошвидкісної мережі на країни Східної Європи і СНД дозволить інтегрувати залізницям України в швидкісну мережу Європи. Запропоновані компанією SYSTRA (Франція) у 2002 році маршрути високошвидкісних залізничних ліній в Україні на основі прогнозованих обсягів пасажирських перевезень не враховують транзитний потік через Україну і коефіцієнт рухливості пасажирів, що потребує корегування топології запропонованої мережі і етапності будівництва ділянок ВШМ.

— З аналізу різних підходів і методик випливає, що для прогнозування пасажиропотоків необхідно розвивати і використовувати сучасні математичні методи, створювати типові методики прогнозування транспортних потоків, що дасть можливість попередити необґрунтовані рішення і скоротити терміни розробки проектів.

— Дослідження показують, що для залучення пасажирів на відстанях до 600-800 км нижньою межею є максимальна швидкість 250 км/год, при якій час в дорозі складе не більше 4 год. Виходячи з того, що середнє співвідношення між маршрутною і максимальною швидкостями становить 0,7-0,85, необхідно забезпечити максимальну швидкість на рівні 300–350 км/год. ВП

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. *Босов А. А., Кирпа Г. Н. Формирование вариантов рациональной сети линий высокоскоростного движения поездов в Украине: Монографія. – Д.: Из-во ДНУЖТ, 2004. – 144 с.*
2. *Правдин Н. В. Прогнозирование пассажиропотоков (методика, расчеты, примеры) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей // М.: Транспорт, 1980. – 224 с.*
3. *Kurhan, M. Forecasting of Passenger Traffic upon Implementation of High-Speed Running / M. Kurhan, D. Kurhan // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2017. – № 1(67). – P. 117-130. – DOI: 10.15802/stp2017/93261.*
4. *Економічна ефективність високошвидкісних пасажирських залізничних перевезень в Україні: Монографія / Ю. С. Бараш, А. В. Момот. – Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – 137 с.*
5. *Макаренко М. В., Гойхман І. М. Аналіз динаміки і структури перевезень пасажирів залізничним транспортом. / Зб. наук. праць. Серія «Економіка і управління». Вип.. 16. К.: Вид-во ДЕТУТ, 2010. – С. 165-184.*