

Г. Н. КИРПА (Министерство транспорта и связи Украины),
А. А. БОСОВ, И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ)

О ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СЕТИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

У статті розглянута математична модель мережі високошвидкісних залізниць України і запропонований метод формування раціональних варіантів.

В статье рассмотрена математическая модель сети высокоскоростных железных дорог Украины и предложен метод формирования рациональных вариантов.

The article considers a mathematical model of high-speed rail network of in Ukraine and proposes a method of developing the rational options.

Инновационный путь развития экономики не имеет альтернативы – данное утверждение необходимо принимать как аксиому. Для того, чтобы этот путь мог реализоваться с необходимостью, тройка производство – наука – образование должна стать системой со свойством саморазвития.

В хозяйстве Украины можно выделить несколько отраслей инновационного развития: металлургия, транспорт, сельское хозяйство и т. д.

Сегодня в Европе транспорт является одной из основных отраслей экономики. При этом транспорт приводит к издержкам в обществе, вызванным авариями, загрязнением воздуха, парниковым эффектом, перегруженностью, шумом и другими факторами. По оценкам экспертов эти издержки составляют почти 10 % внутреннего валового продукта европейских стран. Автомобильный транспорт приводит к 92 % этих издержек, а железнодорожный – к 2 %.

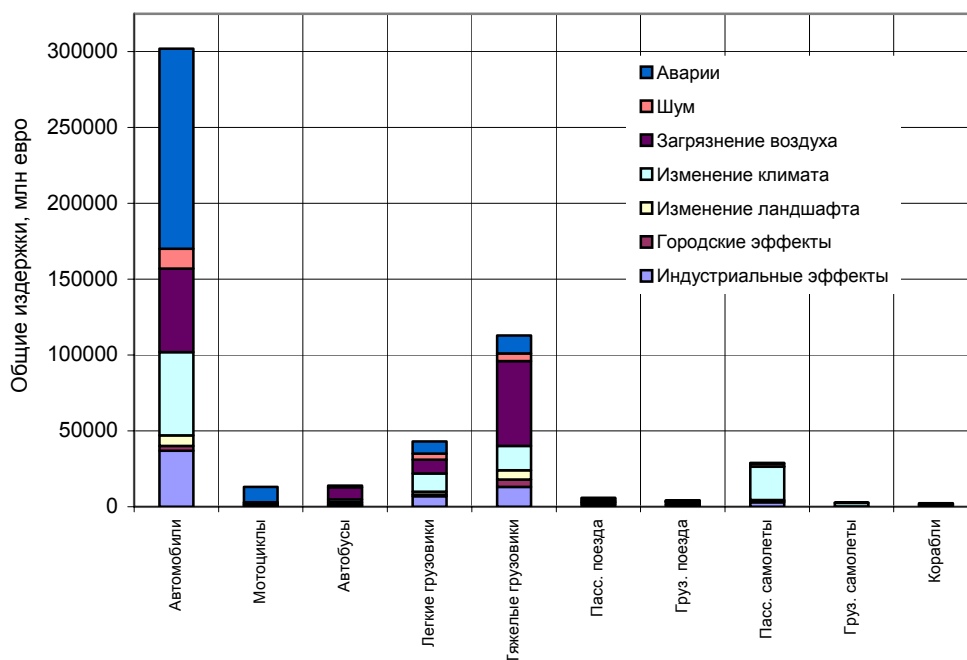


Рис. 1. Издержки в обществе, вызываемые работой транспорта

Таким образом, проблема развития мобильности населения в XXI веке может быть решена только развитием железнодорожного транспорта. Железнодорожный транспорт в Украине является преобладающим видом по перевозке

грузов и пассажиров и в настоящее время как никогда требует нововведений, чтобы привести его в соответствие с мировыми стандартами. Основным показателем, по которому имеется отставание железнодорожного транспорта

Украины от европейских стран, является скоростью. В то же время, как показал мировой опыт, именно скорость делает железнодорожный транспорт победителем в конкурентной борьбе с авто- и авиаперевозками.

Остановимся на проблеме высокоскоростного движения поездов в Украине, т. е. на движении пассажирских поездов с максимальной скоростью более 200 км/ч.

Введение высокоскоростного движения преследует следующие цели:

- снижение экологической нагрузки от транспорта на окружающую среду;
- повышение мобильности населения Украины;
- улучшение транспортных связей между регионами Украины;
- интеграция в сеть железных дорог Европы;
- создание конкурентной среды на рынке транспортных услуг;
- стимулирование научно-технического прогресса на отечественных предприятиях по созданию образцов техники мирового уровня.

Перечисленные цели определяют множество задач, из которых выделим основную задачу – определение рациональной сети линий высокоскоростного движения пассажирских поездов в Украине.

Основными показателями рациональной сети примем:

- затраты средств на создание сети;
- время доставки пассажиров.

Математическая постановка задачи

В качестве математической модели сети линий принимаем неориентированный граф с вершинами, соответствующими городам, которые будут охвачены высокоскоростным пассажирским движением поездов, и ребрами графа, соответствующим линиям сети.

Если мы желаем охватить высокоскоростным движением N городов, то перечень ребер E будет соответствовать той или иной сети линий железных дорог.

Затраты на строительство сети можно вычислить по формуле

$$Z(E) = \sum_{e \in E} C(e),$$

а время пребывания пассажиров в пути представить в виде

$$T(E) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{P_{ij} R_{ij}(E)}{v_{ij}},$$

где $C(e)$ – затраты на строительство линии, соответствующей ребру графа e ; $R_{ij}(E)$ – кратчайшее расстояние между городами i и j на сети, соответствующей набору ребер E ; P_{ij} – пассажиропоток между городами i и j ; v_{ij} – маршрутная скорость между городами i и j .

Желание сделать как можно меньшими затраты средств и времени приводит к задаче

$$\begin{pmatrix} Z(E) \\ T(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (1)$$

представляющей собой задачу векторной оптимизации, отягощенную тем, что функции $Z(E)$ и $T(E)$ представляют собой функции множества $E \subseteq \bar{E}$, где \bar{E} – набор ребер, соответствующий полному графу.

Отметим, что будем понимать под решением задачи (1).

Определение 1. Сеть E_* будем называть эффективной, если любая ее вариация приводит к увеличению Z или T .

Определение 2. Под решением задачи (1) будем понимать множество \mathcal{E}_* , элементами которого являются эффективные сети E_* .

Для решения задачи (1) пришлось разработать специальный математический аппарат, суть которого заключается в том, что введено обобщенное понятие вариации множества, позволившее предложить конструкцию производной функции множества и на ее основе получать необходимые условия экстремума функции множества. Очевидно, что, введя функции множества:

$$F_1(E) = \sum_{e \in E} l(e);$$

$$F_2(E) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N P_{ij} R_{ij}(E),$$

мы, с одной стороны, значительно сокращаем информационное обеспечение задачи (1); с другой стороны, имеет место соотношение

$$Z(E) \leq C F_1(E);$$

$$T(E) \leq \frac{1}{v} F_2(E),$$

где C – максимальная стоимость единицы длины пути; v – минимальная маршрутная скорость.

Тогда вместо задачи (1) можно рассматривать следующую задачу:

$$\begin{pmatrix} F_1(E) \\ F_2(E) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (2)$$

при $E \subseteq \bar{E}$.

Ключевым моментом решения задачи (2) является:

Теорема. Если множество E_* доставляет минимум функции $F(E)$, то с необходимостью имеет место

$$\text{sign}\left(\overline{D}\Big|_{\{B_n\}} F(E_*)\right) = \text{sign}\left(\underline{D}\Big|_{\{B_n\}} F(E_*)\right) \leq 0,$$

а в случае, когда

$$\left(\overline{D}\Big|_{\{B_n\}} F(E_*)\right) = \left(\underline{D}\Big|_{\{B_n\}} F(E_*)\right),$$

внутренняя производная по мере $\mu(\cdot)$

$$\frac{dF(E_*)}{d\mu}\Big|_{\{B_n\}} \leq 0, \quad (3)$$

где $\{B_n\}$ – последовательность множеств, сходящихся к внутренней точке множества E_* ; $\overline{D}\Big|_{\{B_n\}} F(E_*)$, $\underline{D}\Big|_{\{B_n\}} F(E_*)$ – верхние и нижние производные числа на последовательности $\{B_n\}$.

Взяв $N=18$ городов Украины, получим 138 эффективных вариантов сети линий высокоскоростного движения пассажирских поездов.

Обобщенная характеристика данных вариантов представлена на рис. 2.

Пас.-км=F(L)

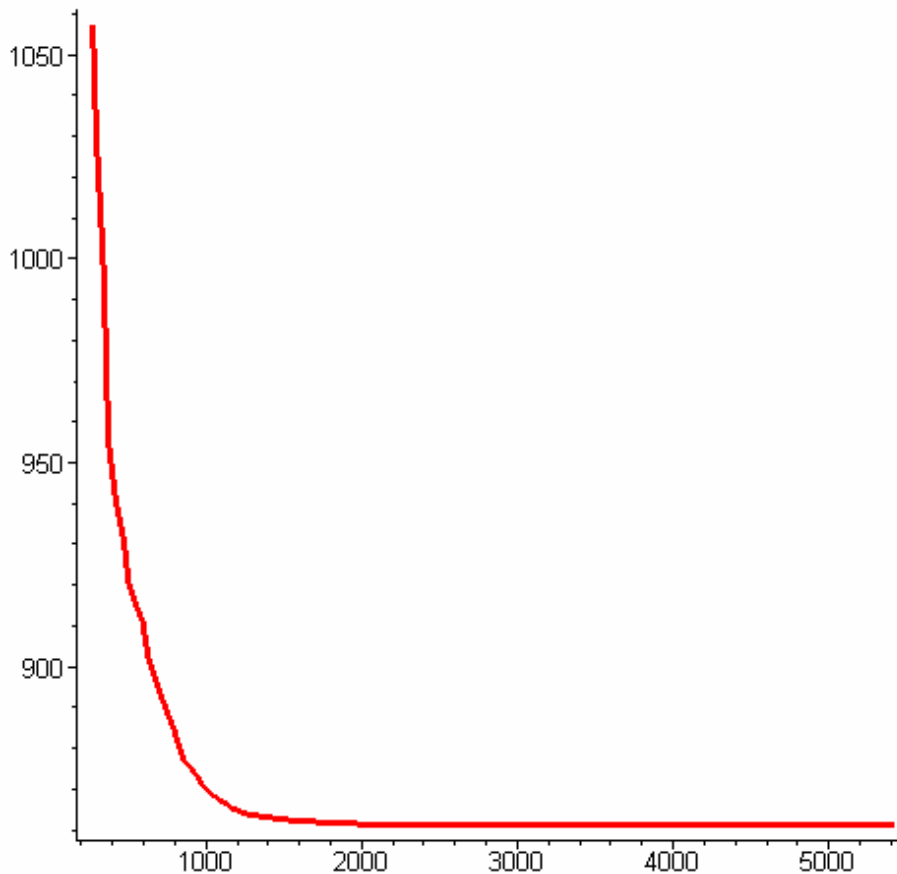


Рис. 2. Зависимость F_2 от F_1

На рис. 3 приведен самый короткий вариант сети ($L = 2385,5$ км).

Приведем несколько примеров эффективных сетей для 18 городов Украины.

На рис. 4 дан вариант с длиной $L = 2431$ км, а на рис. 5 – возможно рациональный с длиной путей $L = 2788,5$ км.

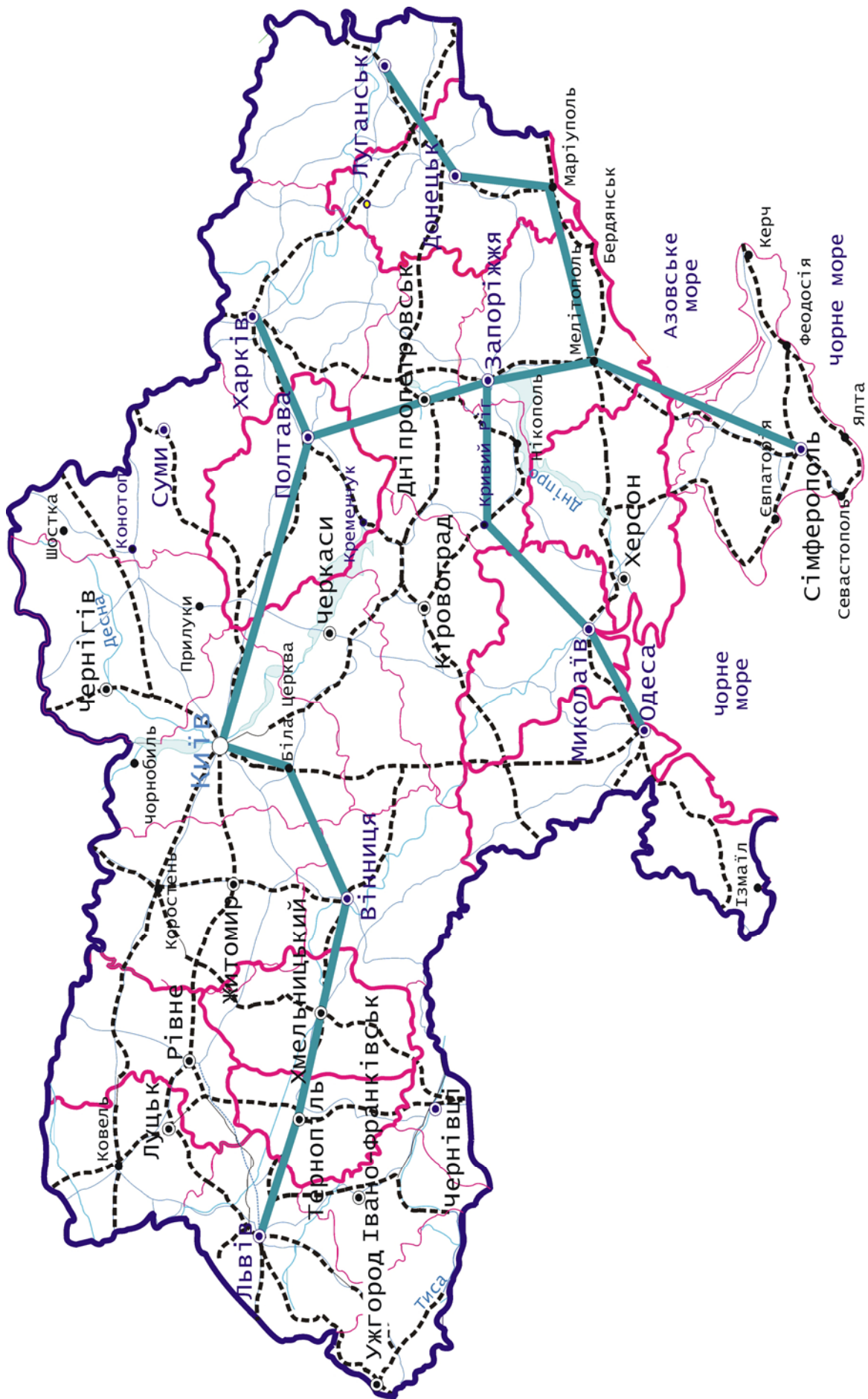


Рис. 3 Схема 1. $L=2\ 385,5$ км

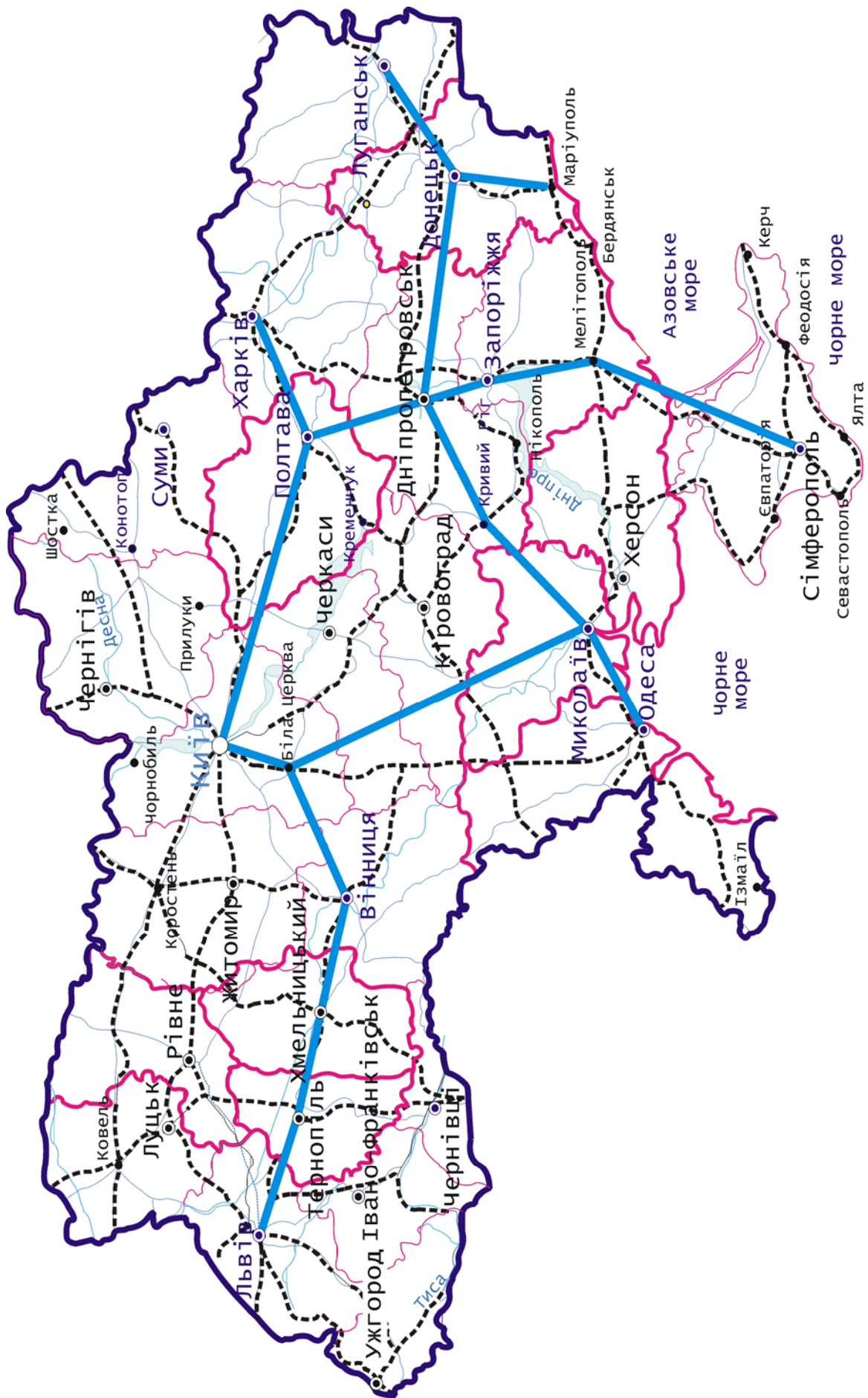


Рис. 5. Схема 4. $L=2788,5$ км

Заметим, что приведенные варианты в какой-то мере приемлемые из 138 эффективных. Для окончательного выбора необходимо более детальное проектное рассмотрение, но одно ясно, что дальнейший выбор будет осуществляться только из 138 вариантов.

Окончательный выбор сети будет определяться сформулированными целями. Прежде всего должна быть учтена ситуация на рынке транспортных услуг и возможное финансовое обеспечение. Данные факторы будут учитываться при разработке последовательности создания сети.

Важными элементами определения рациональной сети высокоскоростного движения являются ширина колеи, подвижной состав и другие параметры, которые в данной работе не рассматривались.

В настоящее время разработано программное обеспечение решения этой задачи, информационное обеспечение которой возможно только после проектных исследований.

Поступила в редколлегию 09. 05.04.