

УДК 656.135.073

д.т.н., доцент, Линник И.Э.,  
Харьковский национальный университет  
городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗОК ГОРОДСКИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТРАНСПОРТОМ Г. ХАРЬКОВА

*Рассмотрен вопрос прогнозирования объемов перевозок пассажиров городским электрическим транспортом г. Харькова с учетом влияния среды. Определено влияние внешней среды на состояние эргономичной системы «водитель – транспортное средство – транспортная сеть – среда». В качестве внешней среды принято производство валового внутреннего продукта.*

**Ключевые слова:** прогнозирование, эволюция, объемы перевозок, среда, валовой внутренний продукт.

### Введение

Исследования, освещаемые в этой статье, касаются составления долгосрочных прогнозов эргономичных систем. В частности требуют дополнительных исследований закономерности эволюции эргономичных систем с учетом влияния среды, что в современных условиях является актуальным.

### 1. Анализ литературных источников и постановка проблемы

Вопросам прогнозирования систем посвящено большое количество работ. Важную роль в развитии методологии прогнозирования сыграли разработки В. Гольдберга, Е. Янча, А. Г. Аганбегяна, Л. Клейна, И. В. Бестужева-Лады [1–3], где рассматриваются законы, сущность и функции прогнозирования. Ю. Г. Антомонов, Л. И. Красникова, А. Г. Чораян определяют прогнозирование как относительно обоснованное суждение о перспективах, возможности состояний тех или иных явлений в будущем, об альтернативных путях и время существования [4]. Для прогнозирования объемов перевозок в настоящее время применяются методы экстраполяции, анализа транспортных связей, экспертных оценок, многофакторного анализа [1, 5, 6]. Такие методы не используют всех возможностей идей эволюционного моделирования. Кроме этого, почти все они дают достаточную точность прогнозирования на короткий период времени (краткосрочный и среднесрочный прогноз), некоторые модели прогнозирования имеют жестко фиксированную структуру; не в достаточной степени учитываются тенденции развития факторов; невозможность оценить случайные и вероятностные компоненты исследуемых процессов.

Наиболее достоверные результаты дает метод эволюционно-вероятностного прогнозирования, предложенный Э. В. Гавриловым [6]. В соответствии с этим методом строится вероятностная модель эволюции системы «человек – техника – среда», на основании которой оцениваются вероятности перехода компонентов системы из фактического состояния в заданное. Но данная модель требует большого количества наблюдений, отсутствует разделение технических средств отдельно на транспортное средство и транспортную сеть, не учитываются эволюционные процессы, что приводит к значительным погрешностям в прогнозировании. Однако, несмотря на недостатки, метод эволюционно-вероятностного прогнозирования Гаврилова можно применять для долгосрочного прогнозирования системы «водитель – транспортное средство – транспортная сеть – среда» (ВТСС) с учетом влияния среды на состояние системы.

## 2. Прогнозирование объемов перевозок трамваем и троллейбусом г. Харькова с учетом влияния внешней среды

### 2.1. Объемы перевозок пассажиров трамваем и троллейбусом с 1975 по 2013

При разбивке на лаги состояний использован метод исторического анализа развития городского электрического транспорта в Харькове. Динамика объемов перевозок пассажиров трамваем и троллейбусом по данным Главного управления статистики в Харьковской области [7, 8] представлена на рис. 1, 2.

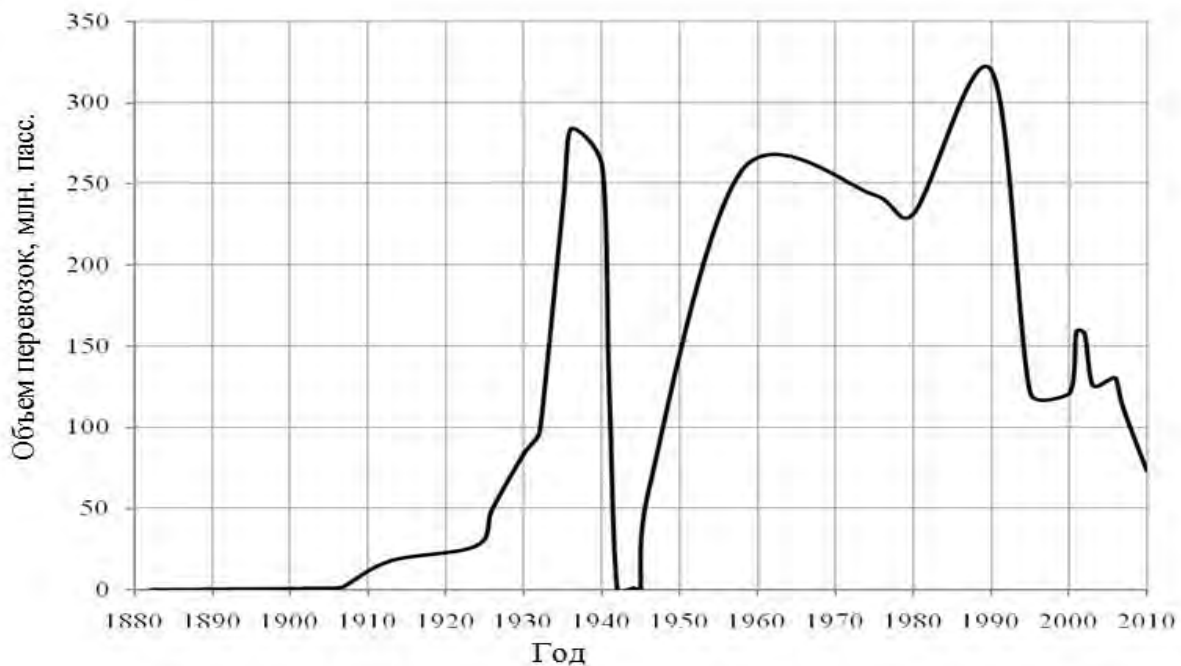


Рис. 1. Динамика объемов перевозок пассажиров трамваем г. Харькова

Анализ представленной динамики показывает, что изменения объемов перевозок пассажиров носят волнообразный характер. Периоды роста или падения объемов перевозок чередуются с периодами их стабилизации. В периоды стабилизации наблюдается рост объемов перевозок, закупка новых вагонов, троллейбусов, открытие новых маршрутов и т.д. В периоды роста реализуются возможности этих изменений. То есть историческое развитие включает этапы развития и этапы функционирования системы. Под функционированием понимают процессы, происходящие в системе и окружающей среде, стабильно реализующие фиксированную цель. Система функционирует в закрытом (замкнутом) состоянии, цели ее существования не изменяются. Развитием называют то, что происходит с системой при изменении ее целей. Развитие происходит в периоды открытого (разомкнутого) состояния системы и сопровождается ее структурной и функциональной перестройкой. В процессе развития изменяются цели существования системы.

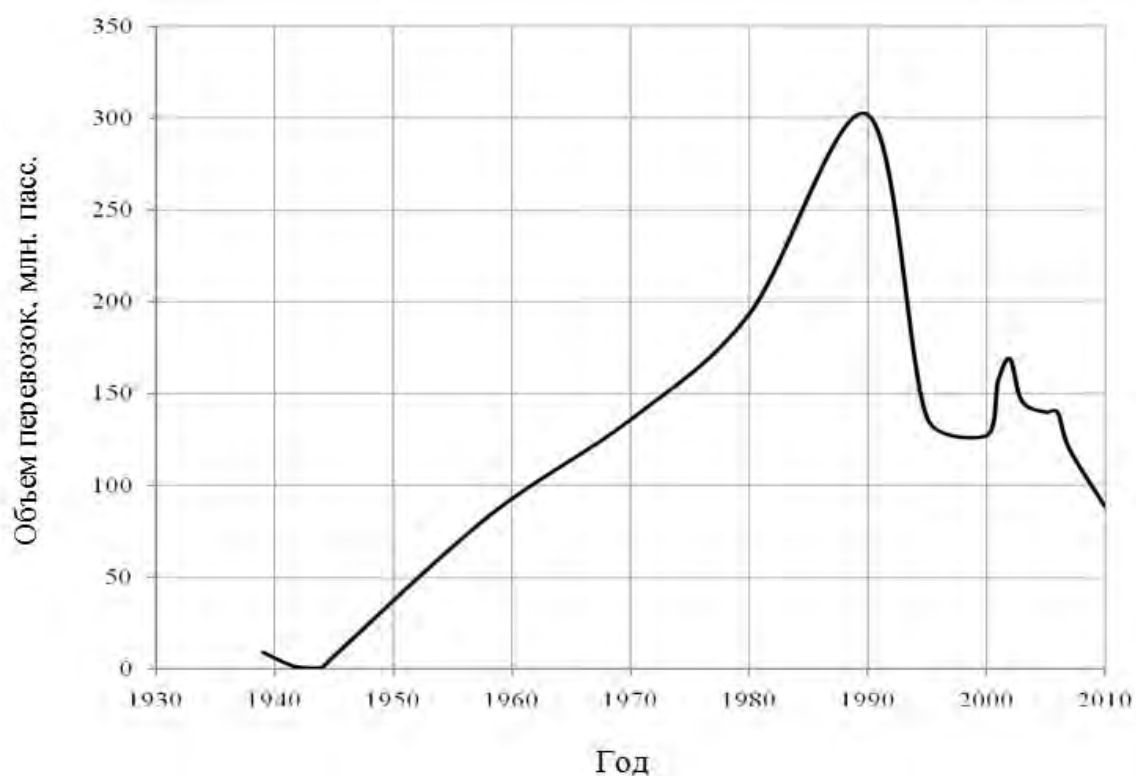


Рис. 2. Динамика объемов перевозок пассажиров троллейбусом г. Харькова

Исследовав исторические данные, выделены границы этапов эволюции объемов перевозок пассажиров городским электрическим транспортом г. Харькова. При разбивке на лаги состояний учтены общемировые и государственные катаклизмы, следствием которых являются сбои ритма развития систем. К таким сбоям можно отнести:

- 1914–1917 годы – Первая мировая война;
- 1917–1919 годы – революция и гражданская война;
- 1925–1927 годы – депрессия в экономике;
- 1941–1945 годы – Вторая мировая война.

Схема квантования времени существования системы ВТСС показана на рис. 3.

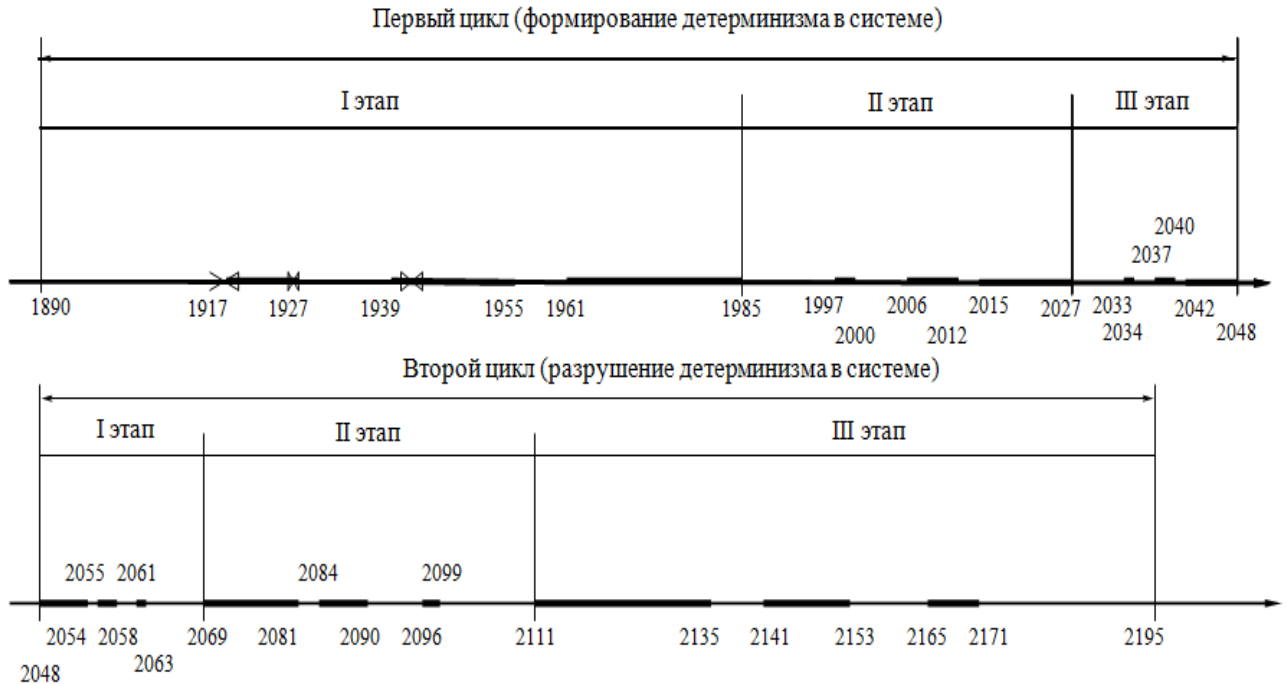


Рис. 3. Схема квантования времени существования системы ВТСС:  
 ———— – замкнутое состояние;    - - - - - – разомкнутое состояние;  
 <math>\triangleleft \triangleright</math> – сбой ритма в развитии системы

## 2.2. Моделирование прогноза объемов перевозок

Уравнение динамического равновесия компонентов системы «водитель – транспортное средство – транспортная сеть – среда» в замкнутом состоянии можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2 V_v}{dt^2} + \left[ \frac{\Phi_v}{C_v} + \frac{\Phi_c}{C_c} \right] \frac{dV_v}{dt} + \left[ \frac{1}{C_v C_c} \cdot \frac{\partial Q_{vH}}{\partial P_c} \cdot \frac{\partial Q_{cH}}{\partial P_v} + \frac{\Phi_v \Phi_c}{C_v C_c} \right] V_v &= 0, \\
 \frac{d^2 V_m}{dt^2} + \left[ \frac{\Phi_m}{C_m} + \frac{\Phi_M}{C_M} \right] \frac{dV_m}{dt} + \left[ \frac{1}{C_m C_M} \cdot \frac{\partial Q_{mH}}{\partial P_M} \cdot \frac{\partial Q_{MH}}{\partial P_m} + \frac{\Phi_m \Phi_M}{C_m C_M} \right] V_m &= 0, \\
 \frac{d^2 V_M}{dt^2} + \left[ \frac{\Phi_M}{C_M} + \frac{\Phi_m}{C_m} \right] \frac{dV_M}{dt} + \left[ \frac{1}{C_M C_m} \cdot \frac{\partial Q_{MH}}{\partial P_m} \cdot \frac{\partial Q_{mH}}{\partial P_M} + \frac{\Phi_M \Phi_m}{C_M C_m} \right] V_M &= 0, \\
 \frac{d^2 V_c}{dt^2} + \left[ \frac{\Phi_c}{C_c} + \frac{\Phi_v}{C_v} \right] \frac{dV_c}{dt} + \left[ \frac{1}{C_c C_v} \cdot \frac{\partial Q_{cH}}{\partial P_v} \cdot \frac{\partial Q_{vH}}{\partial P_c} + \frac{\Phi_c \Phi_v}{C_c C_v} \right] V_c &= 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $V_{\text{в}}, V_{\text{т}}, V_{\text{м}}, V_{\text{с}}$  – скорости изменения состояния соответственно водителя, транспортного средства, транспортной сети, среды;  $Q_{\text{вн}}, Q_{\text{тн}}, Q_{\text{мн}}, Q_{\text{сн}}$  – нормы абсолютных организаций водителя, транспортного средства, транспортной сети и среды соответственно;  $C_{\text{в}}, C_{\text{т}}, C_{\text{м}}, C_{\text{с}}$  – организационная емкость водителя, транспортного средства, транспортной сети и среды соответственно;  $P_{\text{в}}, P_{\text{т}}, P_{\text{м}}, P_{\text{с}}$  – вероятности принятия заданных состояний соответственно водителем, транспортным средством, транспортной сетью, средой;

$$\Phi_{\text{в}}, \Phi_{\text{т}}, \Phi_{\text{м}}, \Phi_{\text{с}} - \text{факторы стабильности, } \Phi_i = \left( \frac{\partial Q_i}{\partial P_i} - \frac{\partial Q_{i\text{н}}}{\partial P_i} \right).$$

Уравнение динамического равновесия системы ВТСС в целом:

$$\frac{dV_S}{dt} + V_S = \frac{1}{C_S} \left[ \begin{array}{l} \frac{\partial Q_{\text{вн}}}{\partial P_{\text{в}}} V_{\text{в}} + \frac{\partial Q_{\text{вн}}}{\partial P_{\text{с}}} V_{\text{с}} + \frac{\partial Q_{\text{тн}}}{\partial P_{\text{т}}} V_{\text{т}} + \frac{\partial Q_{\text{тн}}}{\partial P_{\text{м}}} V_{\text{м}} - \\ - \frac{\partial Q_{\text{мн}}}{\partial P_{\text{м}}} V_{\text{м}} - \frac{\partial Q_{\text{мн}}}{\partial P_{\text{т}}} V_{\text{т}} - \frac{\partial Q_{\text{сн}}}{\partial P_{\text{с}}} V_{\text{с}} - \frac{\partial Q_{\text{сн}}}{\partial P_{\text{в}}} V_{\text{в}} \end{array} \right], \quad (2)$$

где  $V_S$  – скорость изменения состояния системы ВТСС;  $C_S$  – организационная емкость системы ВТСС.

Размыкание системы ВТСС расширяет ее элементный состав за счет подключения к ней новой части среды, предназначенной для ассимиляции. В разомкнутом состоянии уравнения динамического равновесия оценивается по формуле:

$$V_{\text{в}} + V_{\text{с}} + V_S = V_{\text{нс}} - V_{\text{с}}. \quad (3)$$

где  $V_{\text{нс}}$  – скорость изменения состояния новой части среды.

### 2.3. Определение влияния внешней среды

На количество, направление, дальность поездок влияют доходы населения, которые находятся в зависимости от производства валового внутреннего продукта (ВВП), поэтому в качестве внешнего фактора (среды) можно принять производство ВВП, что отражает эффективность функционирования экономики [9]. Поэтому необходимо определить влияние внешней среды на прогнозирование объемов перевозок пассажиров трамваем и троллейбусом. Для этого определены вероятности принятия заданного состояния средой в разные периоды существования системы ВТСС.

В период с 1985 по 1997 гг. система находится в замкнутом состоянии. Вероятность принятия средой заданного состояния оценивается по формуле:

$$P_c^{BВП} = 0,0397(0,5t_3)^2 - 0,04405t_3 + 0,04863, \quad (4)$$

где  $t_3$  – заданное время.

С 1997 по 2000 и с 2006 по 2012 годы система ВТСС находится в разомкнутом состоянии и вероятность принятия заданного состояния средой определяется:

$$P_c^{BВП} = 1 - e^{-1,565t_3}. \quad (5)$$

С 2000 по 2006 годы система находится в замкнутом состоянии, вероятность принятия средой заданного состояния будет выглядеть

$$P_c^{BВП} = 0,1052(0,5t_3)^2 - 0,0048t_3 + 0,0006. \quad (6)$$

### 3. Результаты исследований

Прогноз объемов перевозок пассажиров трамваем и троллейбусом г. Харькова в разные периоды существования системы ВТСС представлен на рис. 3–4.

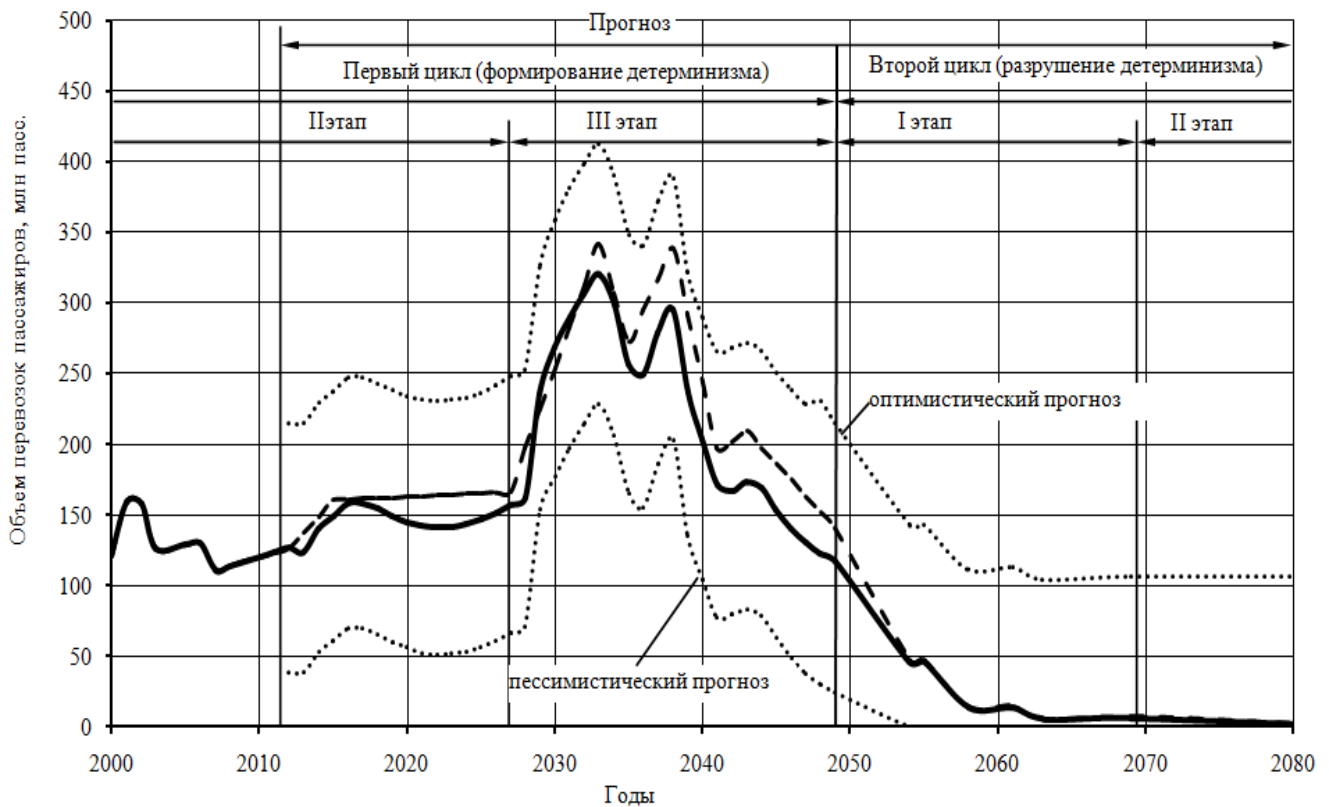


Рис. 3. Прогноз объемов перевозок пассажиров трамваем в г. Харькове:  
 - - - - - без учета влияния среды; — с учетом влияния среды;  
 ..... – раструб прогноза

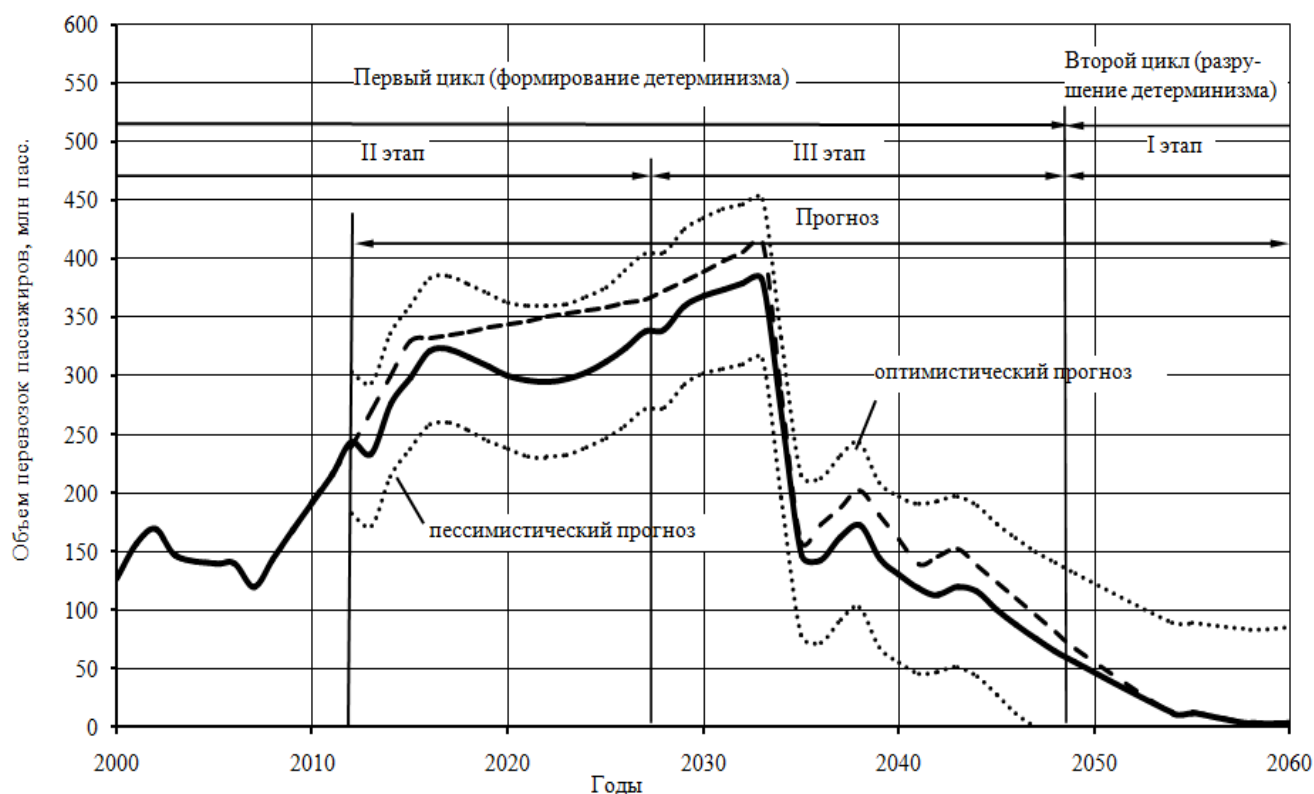


Рис. 4. Прогноз объемов перевозок пассажиров троллейбусом в г. Харькове:  
 - - - - без учета влияния среды; — с учетом влияния среды;  
 ..... — раструб прогноза

Как видно из рис. 3–4, объемы перевозок трамваем и троллейбусом на первом цикле эволюции возрастают, но нестабильно, что связано с влиянием среды. На втором цикле наблюдается стремительный спад объемов перевозок. Тенденция такого спада наблюдается уже в конце первого цикла эволюции. К концу XXI века городской электрический транспорт, как вид транспорта, может закончить свое существование.

Объяснить такой процесс возможно, во-первых, постепенным ростом уровня автомобилизации. Как показано в предыдущих исследованиях [10], в мире соотношение количества поездок на личном транспорте к количеству поездок на городском массовом пассажирском транспорте составляет 4:1 (5:1). В Украине, наоборот, 1:4 (1:5), то есть в Украине наблюдается тенденция использования преимущественно городского пассажирского транспорта в крупных городах. На сегодня уровень автомобилизации в г. Харькове по сравнению с 1991 годом вырос в 2,1 раза и составляет около 145 авт./1000 жителей. К 2070 г. предполагается его рост до 500 авт./1000 жителей. Во-вторых, на смену старым видам городского пассажирского транспорта приходят новые, с новыми видами двигателя, с использованием других видов топлива и т.д.

### Выводы

Приведенное прогнозирование объемов перевозок пассажиров городским электрическим транспортом г. Харькова с учетом влияния среды позволяет констатировать возможность использования предложенного научного подхода к решению проблем прогнозирования эволюции сложных эргономичных систем. Одним из путей развития предложенного направления исследования может быть прогнозирование эволюции эргономичных систем при воздействии не одного, а нескольких факторов среды путем определения влияния каждого из факторов на все компоненты эргономичных систем.

### Литература

1. Рабочая книга по прогнозированию / [Э.А. Араб-Оглы, И.В. Бестужев-Лада, Н.Ф. Гаврилов и др.]. – М. : Мысль, 1982. – 430 с.
2. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С.М. Саркисяна. – М. : Высшая шк., 1977. – 252 с.
3. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса / Э. Янч ; [пер. с англ.]. – М. : Прогресс, 1970. – 568 с.
4. Методы математической биологии. Кн. 5 : Информационные методы синтеза моделей биологических систем / Ю.Г. Антомонов, Л.И. Красникова, А.Г. Чораян. – К. : Вища шк., 1982 – 240 с.
5. Доля В.К. Організація пасажирських перевезень у містах / В. К. Доля – Х. : Нове слово, 2002. – 140 с.
6. Прогнозирование расчетных характеристик для проектирования и эксплуатации автомобильных дорог / [М.А. Григоров, Э.В. Гаврилов, Т.М. Григорова, В.К. Доля]. – Херсон : Надднепряночка, 2006. – 192 с.
7. Евтушенко С.А. Эстафета в надёжных руках / С. А. Евтушенко. – Х. : Прапор, 1983. – 112 с.
8. Статистичний щорічник : Харківська область у 2006 році / за ред. М.Л. Чмихала. – Х. : Головне управління статистики у Харківській області, 2007. – 560 с.
9. Гольц Г.А. Магистральные грузовые перевозки и валовый внутренний продукт: историометрическое исследование для прогнозных целей / Г. А. Гольц // Проблемы прогнозирования. – 2009. – № 2. – С. 151 – 157.
10. Бурко Д.Л. Порівняльний аналіз рівня автомобілізації в Україні та країнах Євросоюзу // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Транспортні проблеми найбільших міст». – Х., 2012. – С. 60–61.



### Анотація

Розглянуто питання прогнозування обсягів перевезень пасажирів міським електричним транспортом м. Харкова з урахуванням впливу середовища. Визначено вплив зовнішнього середовища на стан ергономічної системи «водій – транспортний засіб – транспортна мережа – середовище». В якості зовнішнього середовища прийнято виробництво валового внутрішнього продукту.

**Ключові слова:** прогнозування, еволюція, обсяги перевезень, середа, валовий внутрішній продукт.

### Abstract

The problem of forecasting traffic volumes passengers of the urban electric transport in Kharkov with the influence of environment. The influence of the environment on the state of ergonomic system « the driver – vehicle – transportation network – environment». As the external environment made the production of gross domestic product.

**Keywords:** forecasting, evolution, volume of traffic, the environment, the gross domestic product.