

УДК 656.073 (477.62)

*НЕФЁДОВА Я.И., к.т.н., доцент; МНАЦАКАНЯН М.С., ассистент,  
ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ СИСТЕМЫ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ЦЕНТРА**

*Проанализирована работа ситилогистической системы Мариупольского индустриального центра. Проведено моделирование потоков грузового транспорта, на основании которого предложено использование математического аппарата гиперсетей с целью создания новой системы управления процессом функционирования транспортной системы в режиме реального времени путем формирования рациональных маршрутов движения в логистической цепи «предприятие – потребитель»*

***Ключевые слова:** транспортные системы, реальный режим времени, гиперсеть индустриального центра*

### **Постановка проблемы**

Транспортные системы крупных индустриальных центров являются их важнейшей инфраструктурой и представляют собой совокупность линейных, узловых и сопутствующих им объектов социального и технического назначения, обеспечивающих надежное функционирование пассажирского и грузового транспорта, пешеходные передвижения жителей. Их основное назначение заключается в удовлетворении спроса населения и потребностей производства в транспортных услугах. При этом важным является повышение эффективности работы транспортных систем, безопасности, удобства и доступности перевозок пассажиров и грузов, прежде всего с учетом приемлемых затрат времени на передвижение с одной стороны, и затрат на перевозку с другой.

В результате многократного повышения уровня насыщения городов легковыми автомобилями и увеличения объемов грузоперевозок возникла транспортная проблема с пропуском концентрированных автомобильных потоков, к освоению которых уличная сеть городов оказалась неподготовленной. Это привело к возникновению напряженной обстановки, сопровождаемой частыми заторными и предзаторными ситуациями и низкой скоростью движения транспортного потока, и, как следствие, к негативному воздействию на окружающую среду. В связи с этим возникает проблема создания новой системы управления процессом функционирования ситилогистической системы индустриального центра в режиме реального времени.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Анализ последних исследований и публикаций в области ситилогистических систем показал, что большинство разработок направлены на внедрение технических и планировочных приёмов выравнивания транспортной нагрузки на магистральных сетях индустриальных центров (организация реверсивного движения, выделение полос для приоритетного движения, разработка и внедрение транспортных пересечений нового типа), мероприятий по защите окружающей среды, систем скоростных автомобильных трасс, модернизации двигателей внутреннего сгорания [1–3].

Практические разработки направлены на использование интеллектуальных транспортных систем, телеавтоматических систем управления движением транспорта и «умных» светофоров, в основе которых лежит использование методов искусственного интеллекта [4].

В тоже время важной проблемой является разработка методов логистического управления транспортными системами городов, направленных на обеспечение условий надежной и безопа-

сней работы всех видов транспорта, повышение их взаимодействия, эффективности использования транспортных средств и пропускной способности транспортных коммуникаций.

### Цель статьи

Моделирование транспортных потоков ситилогистической системы индустриального центра с целью создания новой системы управления грузопотоками в режиме реального времени.

### Основной раздел

Транспортная инфраструктура индустриального центра представляет собой сложную иерархическую нестационарную систему сетевой структуры и является интегральной взаимоуязанной системой сетей различного вида принадлежащих различным собственникам с учетом социальных, экологических, финансовых, временных и других факторов (табл.1).

Управление транспортными потоками в ситилогистической системе индустриального центра характеризуется следующими проблемами:

- неравномерное распределение грузопотоков по видам транспорта (значительное увеличение перевозок автотранспортом);
- заторы на основных направлениях движения грузопотоков;
- негативное воздействие на окружающую среду и здоровье жителей, а также тяжелые последствия дорожных происшествий.

Таблица 1

### Основные критерии классификации улиц и дорог [5]

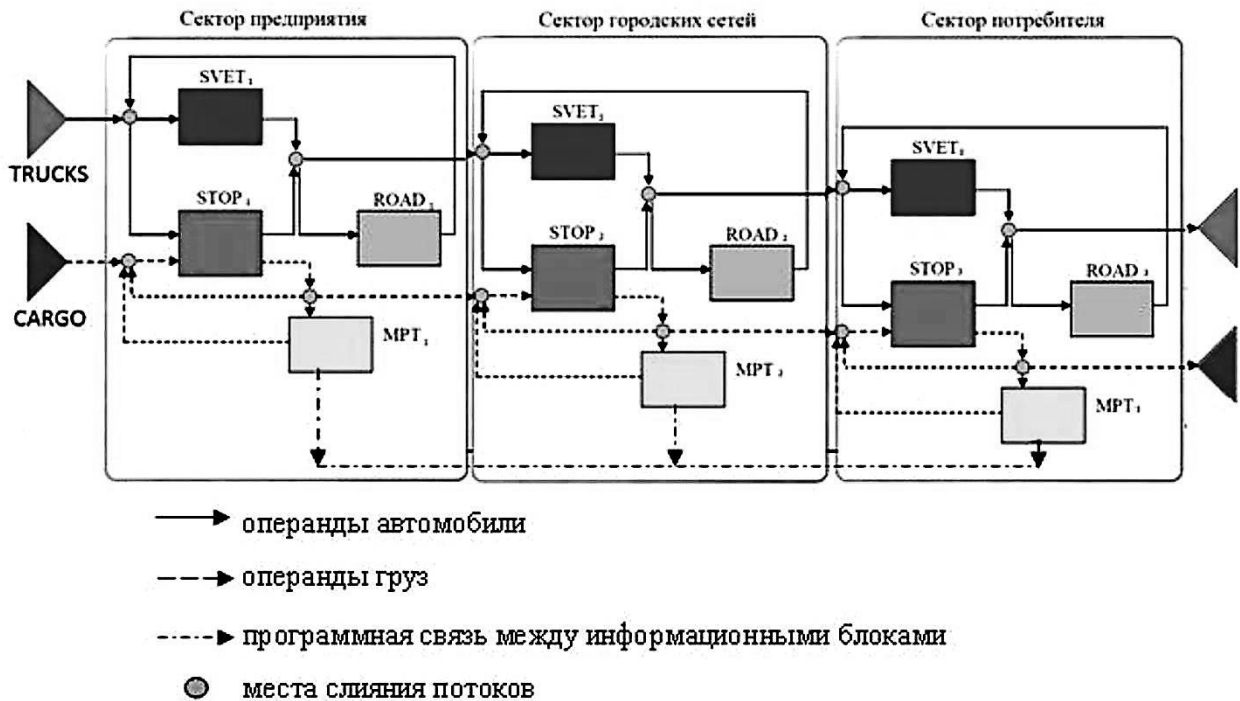
Критерий	Комментарий
<i>Систематически используемые характеристики</i>	
1. Скорость	Проектная скорость или верхнее ограничение скорости
2. Дальность поездки	Дальность поездок / корреспонденций, обслуживаемых улицей.
3. Уровень связи	Между соседними районами города.
4. Стратегическая роль	Уровень, значимость элементов УДС города, соединяемых данной улицей (т.е. связь между элементами одного уровня или разных).
5. Движение	Улицы предназначены для пропуска автомобильного, грузового и пассажирского транспорта, пешеходов
6. Доступ	Доступность дорожных коммуникаций к подъездам обслуживаемых объектов
<i>Частично используемые характеристики</i>	
7. Сетевые функции	Принадлежность к сети магистральных улиц и дорог или к местной сети.
8. Контроль доступа	Контроль въезда – выезда, т.е. разрешение или запрещение устройства примыканий местных проездов. Интенсивность движения.
9. Виды движения	Автомобили, общественный транспорт (автобусы, троллейбусы, трамваи), железнодорожный транспорт, грузовой (крупно- и мелкотоннажный) автомобильный транспорт, пешеходы и т.д.
10. Окружающая среда	Устойчивость и влияние окружающей среды.
11. Застройка	Наличие застройки по границе улицы.

Исследование транспортных потоков систем индустриальных центров основано на моделировании ситилогистической транспортной сети, позволяющем провести оценку пропускной способности элементов транспортной сети и поиск узких мест в технологии обслуживания потребителей транспортных услуг.

Для решения данной задачи предложена имитационная модель (ИМ) городской транспортной сети для грузового транспорта, реализованная согласно базовой схеме формализации системы моделирования MICIC4 [6].

Маршрутная транспортная сеть для грузового транспорта, обслуживающего производителей мелкого и среднего звена, представлена в виде одноуровневого нелинейного динамического технологического процесса производства с вероятностными характеристиками [7], где в роли операндов выступают грузовые автомобили. Остановочные пункты, места розничной торговли, дороги являются технологическими операциями (рис. 1).

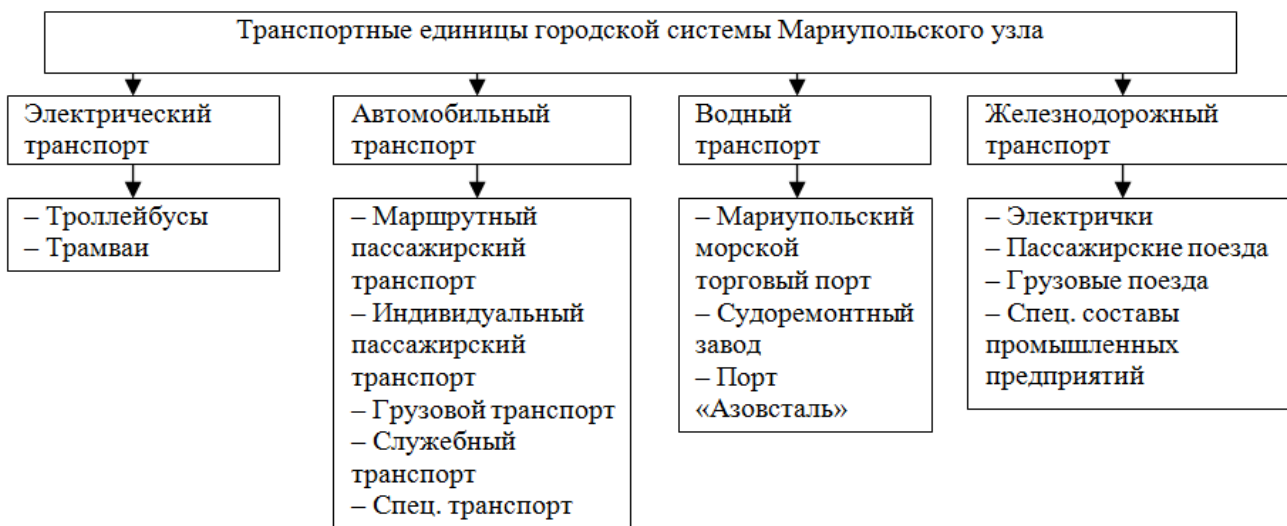
Помимо технологических операций на схеме представлены генераторы операндов автомобилей (TRUCKS) и операндов грузов (CARGO), а также поглотители этих операндов. Технологическими операциями являются светофоры {SVET}, транспортные маршруты {ROAD}, остановочные пункты {STOP}, места обработки информации {MPT}. Функционирование городской транспортной сети происходит с изменяемыми интервалами движения транспортных средств и интенсивностью прихода грузов в течение суток. Пункт назначения движения груза, наличие или отсутствие перегрузки – всё это задается во входных данных модели [6].



**Рис. 1. Граф-схема транспортной сети грузопотоков**

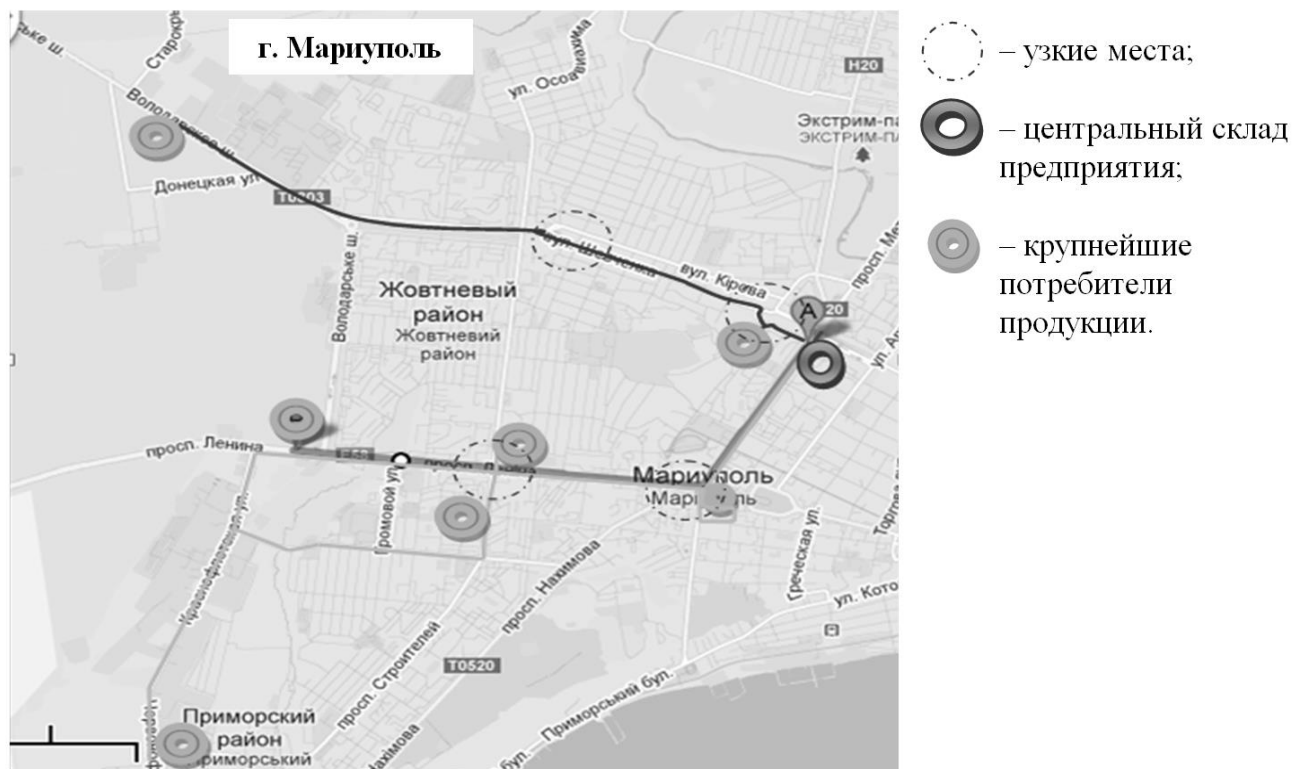
Среди входных данных выделяются: количество, названия и параметры работы светофоров; расстояния между объектами маршрутов (остановками и светофорами); количество маршрутов и маршруты транспортных средств; параметры (режим работы по времени суток) и названия мест работы; интенсивность прихода грузов на места розничной торговли по времени суток; интервалы выхода на линию транспортных средств по времени суток; маршрутные карты водителей.

В качестве объекта исследования в данной статье рассматривается транспортная система крупного индустриального центра – Мариупольского узла. В рассматриваемом индустриальном центре происходит взаимодействие автомобильного, железнодорожного, электрического и морского транспорта (рис. 2). Проблемные моменты для Мариупольского индустриального центра усугубляются особенностью его расположения, так как транспортные коммуникации города, пролегающие через плотно застроенные жилые районы, пропускают наряду с пассажиропотоками экспортные, импортные и транзитные грузопотоки.

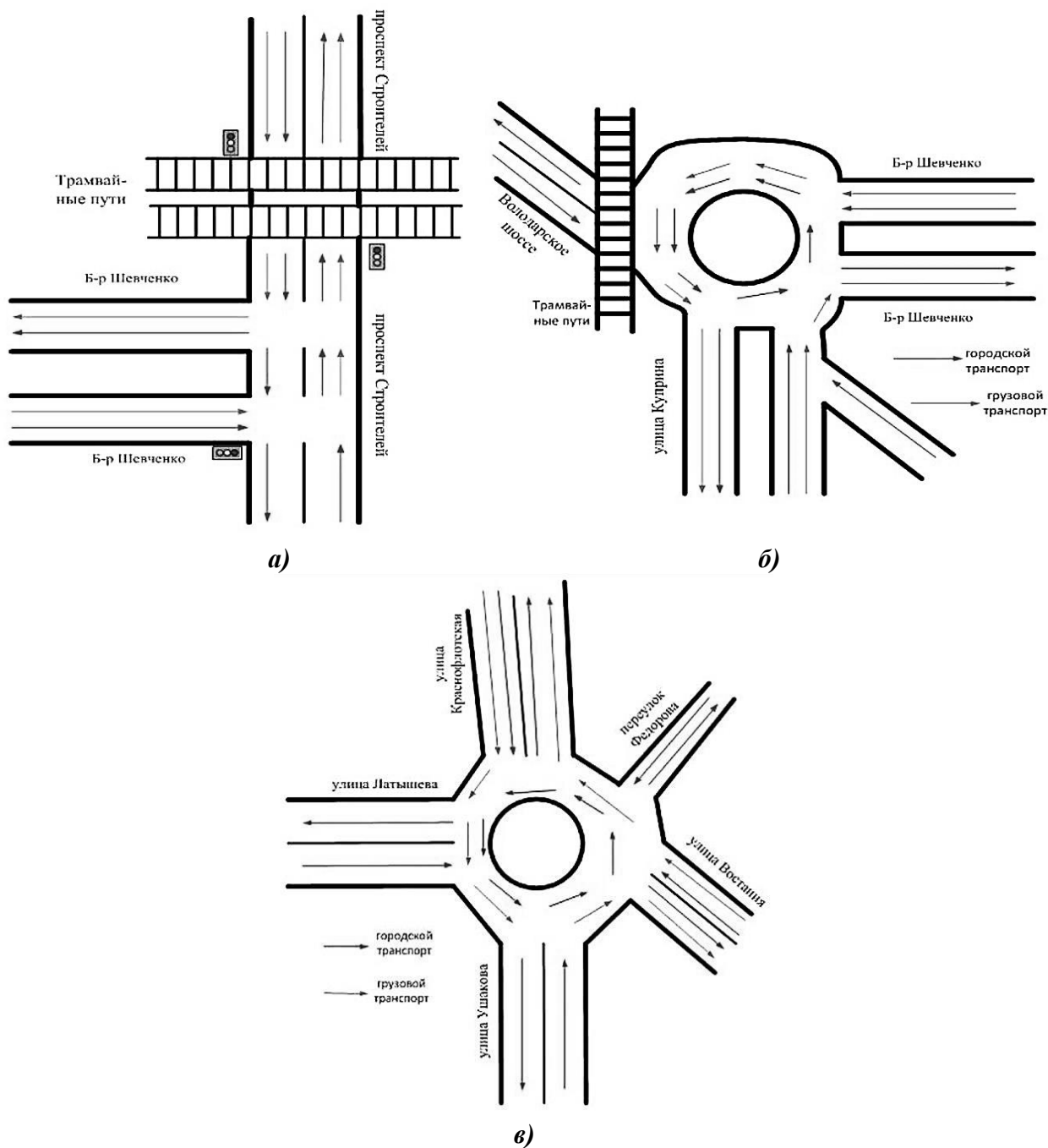


**Рис. 2. Транспортные единицы городской системы Мариупольского узла**

Например, система обслуживания потребителей кондитерских изделий ООО «Рошен - Мариуполь» включает доставку продукции к потребителям, расположенным в зоне города и области, в районы рекреационной зоны Азовского побережья, в логистический центр «ROSHEN» (г. Киев) и в ближнее зарубежье через МАПП «Новоазовск». В пределах Мариупольского промышленного центра транспортировка товара со склада осуществляется к крупнейшим потребителям, в качестве которых выступают ТЦ «Обжора», ГМ «Амстор», ТЦ «Приморье», ГМ «Метро», ГМ «Велика Кишеня» и т. д. (рис. 3), по городским магистралям, на которых грузопотоки пересекаются с городским пассажирским транспортом (рис. 4, табл. 2)).



**Рис. 3. Схема доставки продукции ООО «Рошен – Мариуполь» к крупнейшим потребителям**



**Рис. 4. Схемы транспортных пресечений маршрута доставки продукции ООО «Рошен» с городским транспортом:**

- а) пр. Строителей – бр. Шевченко; б) бр. Шевченко – ул. Куприна;  
в) ул. Краснофлотская – ул. Восстания*

Моделирование транспортных потоков ООО «Рошен» показало, что в процессе доставки продукции возникает проблема согласования функционирования всех компонентов транспортной сети.

Для решения данной проблемы целесообразно рассмотрение городской сети как сложной системы в виде графа гиперсети индустриального центра  $HS = (X; V; R; P; F; W)$ , включающего следующие объекты:

- $X = (x_1; \dots; x_n)$  – множество вершин (перекрестки и развязки);
- $V = (v_1; \dots; v_g)$  – множество ветвей (дороги местного значения);
- $R = (r_1; \dots; r_m)$  – множество ребер (заданный маршрут перевозки).

Таблица 2

**Характеристика транспортных пересечений маршрута доставки продукции ООО «Рошен»**

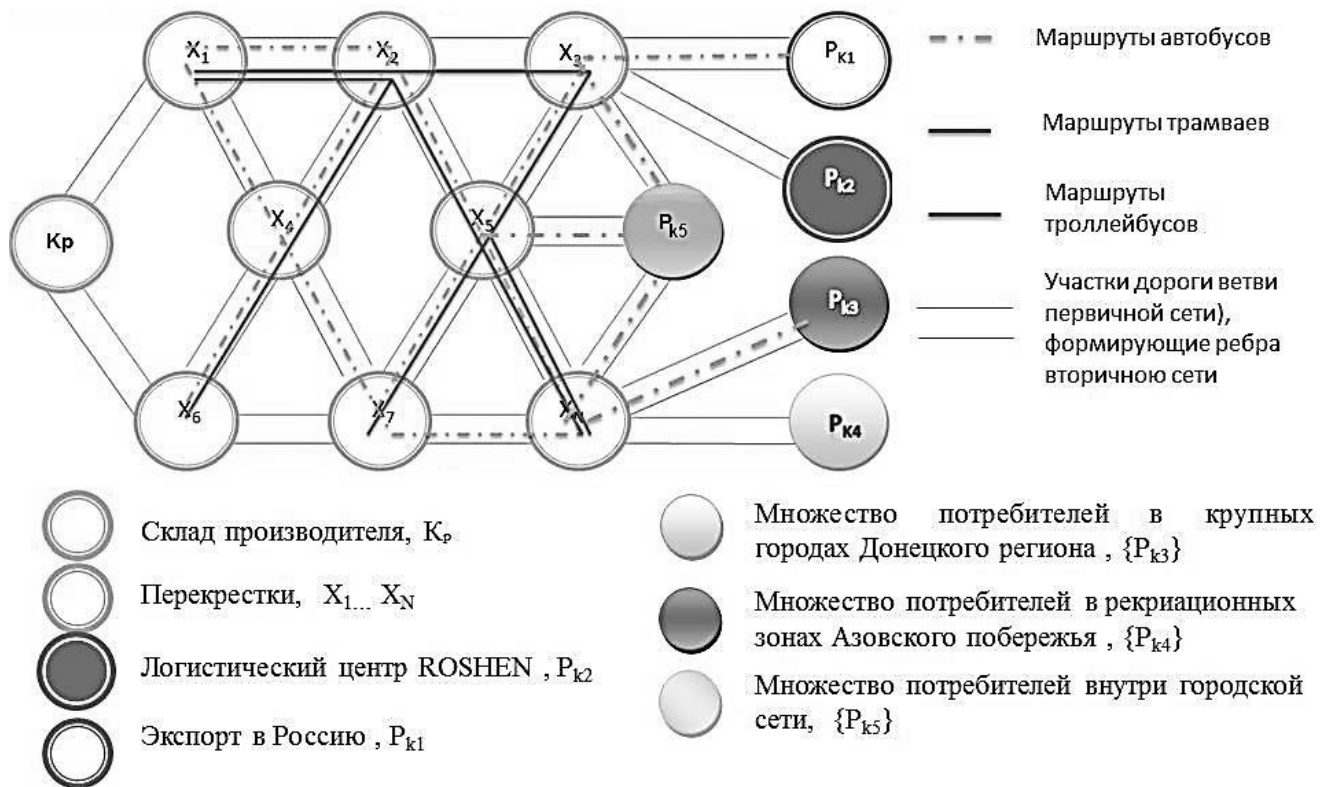
№ маршрута	Наименование маршрута
	пр. Строителей – бр. Шевченко
101	ПМР «Черемушки» – ЖМР «Западный»
111	ЖМР «Западный» – Третьи проходные порта
117	ЖМР «Западный» – пл. Освобождения
124	ОМР «Восточный» – ЖМР 23
146	Ильичевский рынок – ЖМР Западный
150	ЖМР «Западный» – Ж/д вокзал
211	ЖМР 23 – пос. Моряков
	бр. Шевченко – ул. Куприна
58 Т	АС-2 – пос. Старый Крым
126	ул. Солнечная – ул. Брестская
	ул. Краснофлотская – ул. Восстания
12	ул. Варганова – ул. Красной Азовской флотилии
34	ул. Варганова – ЖМР «Черемушки»
101	ПМР «Черемушки» – ЖМР «Западный»
104	ПМР «Черемушки» – Правый берег
105	ПМР «Черемушки» – Правый берег
107	ПМР «Черемушки» – Ж/д вокзал
108	пос. Южный – ул. Ровная
115	ПМР "Черёмушки" – пл. Освобождения
131	Центральный рынок – пос. Моряков
154а	ЖМР 17, 18 – квартал «Азовье»

На основании понятий сетевых моделей раскрытых Попковым А.П. и Юргенсоном А.Ю.[8,9] гиперсеть может быть представлена в виде двухслойной модели, построенной на базе эвристического алгоритма выбора приоритетных маршрутов (рис. 5). При этом в качестве первичного слоя выступает «физическая сеть» (ветви гиперсети соответствуют городской сети), а вторичного слоя – «логистическая сеть» (каждое ребро логистической сети состоит из множества ветвей физической сети и имеет заданную пропускную способность).

Следовательно, граф первичной сети промышленного центра  $P$  можно представить в виде  $PS = (X; V)$ , а вторичную сеть  $W$  в виде орграфа  $WS = (X; R)$ .

Каналами распределения продукции ООО «Рошен–Мариуполь» являются логистические цепочки, описывающие доставку продукции со склада производителя через звенья физической сети (рис. 5) – последовательность ветвей сети, формирующих ребра каналов распределения логистической сети.

При этом каждая ветвь  $v_j \in V$  обладает пропускной способностью  $\alpha_j \geq 0$  и каждому ребру  $r_k \in R$  сопоставлена пропускная способность  $\delta_k \geq 0$ , такая, что для всех ветвей  $v_j \in F(r_k)$  должно соблюдаться условие  $\delta_k \leq \alpha_j$ . Однако, исследование реальных условий функционирования каналов распределения продукции ООО «Рошен-Мариуполь» показало, что данное условие часто не выполняется, так как транспортная нагрузка на физическую сеть промышленного центра значительно возрастает и в определенные моменты времени пропускная способность вершин и ребер логистической сети превышает допустимую пропускную способность вершин и ветвей физической сети.



**Рис. 5. Схема гиперсети г. Мариуполя при транспортировке готовой продукции ООО «Рошен-Мариуполь»**

Решение данной проблемы возможно за счет формирования рационального маршрута перевозки на основе рассмотрения городской сети как сложной системы в виде графа гиперсети индустриального центра, позволяющего объединить все возможные компоненты сети в единую схему и управлять процессом функционирования доставкой продукции ООО «Рошен-Мариуполь» в режиме реального времени (рис. 5).

Такое представление сети позволит произвести градуляцию систем первичной и вторичной сети и охватить все факторы, воздействующие на процесс транспортировки готовой продукции в логистической цепи «предприятие – потребитель».

### Выводы

1. С целью достижения эффективных управляющих решений в ситилогистической системе индустриального центра проведено моделирование транспортной системы Мариупольского центра с использованием теории графов и гиперсетей.

2. Моделирование функционирования транспортной системы Мариупольского индустриального центра на примере грузопотоков ООО «Рошен-Мариуполь» показало низкий уровень эффективности управления транспортными потоками, обуславливающий неравномерное распределение нагрузки на транспортную сеть.

3. В качестве пути повышения эффективности управления процессом функционирования ситилогистической системы индустриального центра в режиме реального времени обоснована необходимость формирования рациональных маршрутов движения в логистической цепи «предприятие – потребитель» на основании математического аппарата гиперсетей.

## Список литературы

1. Губенко В.К. Безопасность дорожного движения в системе городской логистики / В.К. Губенко, А.А. Лямзин, Е.А. Украинский // *Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти: VI Міжнародна науково-практична конференція, 2011 г.: докл. – Д., 2011. – С. 178–180.*
2. Мероприятия по улучшению дорожно-транспортной ситуации [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.gucodd.ru/about/activity/projects>
3. Нефёдова Я.И. Формирование рациональных маршрутов движения транспортных средств в условиях индустриального центра Формирование рациональных маршрутов движения транспортных средств в условиях индустриального центра / Я.И. Нефёдова, А.А. Лямзин, М.С. Мнацаканян, Е.А. Украинский // *Наукові вісті Давілівського університету. – 2012. – № 7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nbuiv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_7/12nyiuiic.pdf](http://www.nbuiv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/12nyiuiic.pdf)*
4. Нефёдова Я.И. Управление транспортными потоками индустриальных центров Донецкого региона / Я.И. Нефёдова, А.А. Лямзин, М.С. Мнацаканян // *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – Донецьк: «Рекламно-видавнична фірма «Молнія», 2012. – № 1. – С. 19 – 23.*
5. Попков Г.В. Применение теории гиперсетей в задачах оптимизации систем сетевой структуры // *Проблемы оптимизации сложных систем: Матер. III Азиатской Междунар. школы\_семинара. – г. Бишкек, Кыргызская Республика, 1–12 июля 2007. – Новосибирск, 2007. – С. 87–92.*
6. Чечет П.Л. Реализация имитационной модели сети городского пассажирского транспорта // *Известия ГГУ им. Ф. Скорины. Гомель. 2006. – № 4(37). – С. 102–104.*
7. Левчук В.Д. Программно-технологические комплексы имитации сложных дискретных систем / В.Д. Левчук, И.В. Максимей. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. – 263 с.
8. Попков В.К., Соколова О.Д., Юргенсон А.Н. «Максимальный поток и минимальный разрез в гиперсетях»//*Материалы 9-й межд.конф.ПФИС-2006, Новосибирск – С. 242–246.*
9. Юргенсон А.Н, "Поиск простой (s-t) цепи с максимальной пропускной способностью в нестационарной гиперсети" // *Материалы конференции молодых ученых ИВМиМГ (апрель 2005) – С. 264–274.*

## Нефёдова Я.И., Мнацаканян М.С. Моделювання транспортних потоків системи індустріального центру

*Анотація.* Проаналізована робота сітілогістичної системи Маріупольського індустріального центру. Проведено моделювання потоків вантажного транспорту, на підставі якого запропоноване використання математичного апарату гіпермереж з метою створення нової системи керування процесом функціонування транспортної системи в режимі реального часу шляхом формування раціональних маршрутів руху в логістичному ланцюзі «підприємство – споживач».

*Ключові слова:* транспортні системи, реальний режим часу, гіпермережа індустріального центру

## Nefyodova Ya.I., Mnatsakanian M.S. Modeling transport flows of industrial centre

*Abstract.* The work of the sitilogistic system of Mariupol industrial center is analysed. The modeling of freight transport flows, based on which the proposed use of mathematical tools of hypernetworks to create a new system of process control operation of the transport system in real time by forming rational routes in the logistics chain «the company – the consumer».

*Keywords:* transport systems, the real time mode, the industrial center hypernetwork

Стаття надійшла до редакції 25.08.2013 р.