

Михайлов Александр Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент
Научное направление – теория транспортных потоков, методы организации движения

Левашев Алексей Георгиевич.

Аспирант ИрГТУ.
Научное направление – теория транспортных потоков, методы организации движения

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ИРКУТСКА

Предстоящий ввод в действие нового моста через Ангару существенно изменит распределение потоков на территориях, прилегающих к мостовому переходу и в центральной части Иркутска. В виду ограниченности ресурсов улично-дорожная сеть (УДС) не будет подвергаться реконструкции. Поэтому оценку возможностей функционирования правобережной УДС при вводе моста можно формулировать для следующих условий:

- основным фокусом тяготения является торговое ядро центра города (участок центрального и Русиновского рынков, ул. Урицкого);
- существующая интенсивность движения в центре города превышает на 50 – 350 % прогнозные показатели генерального плана, выполненного ЦНИИП Градостроительства.
- реконструкции подвергается только участок непосредственно подхода к мосту.

Одна из возможных сетевых эффектов представлен на рис. 1. При введении нового моста через Ангару в створе 5-ой Советской связка улиц 3-го Июля - Ленина составляет наикратчайший путь следования транзита через городской центр, что может привести к перегрузке узла Ленина-3-го Июля -Седова.

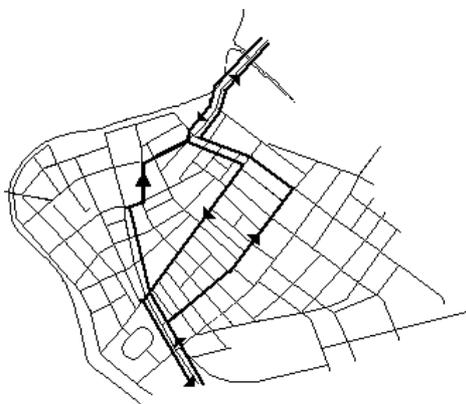


Рис. 1. Проблемы пропуска транзитных потоков через центральную часть города при вводе в действие нового моста через Ангару

Оценка пропускной способности УДС один из наименее методически обеспеченных видов расчетов на стадиях детального градостроительного проектирования.

Специалисты градостроительного профиля чаще всего пытались увязать оценку пропускной способности УДС с показателями ее плотности. Как правило, предметом исследований были статистические данные, включавшие следующие показатели: плотность УДС, протяженность улиц и дорог в расчете на одного жителя, количество зарегистрированных транспортных средств на 1 км улиц и дорог, годовой пробег транспортных средств на 1 км улиц и дорог и т.д. [1-3,6,7]. Ряд исследований посвящен установлению связи между показателями плотности и пропускной способности. Так для центров городов М.Г. Крестмейном [6] предложен относительный показатель пропускной способности, являющийся отношением входной мощности магистралей к площади центральной части города. Несколько отличающуюся методику предложила Д.Л. Гришквичене [3], в которой используются два показателя:

- плотность полос проезжих частей (отношение суммарной протяженности полос движения к территории), км полос/км²;
- уровня организации движения – количество приведенных автомобилей, которое может пропустить полоса движения на перегоне или пересечении при условии соблюдения условия безопасности движения.

Показатель емкости сети магистральных улиц, который использовался в проектных работах мастерской генерального плана ЛенНИИПроекта (1985-1986 г.г.), для оценки пропускной способности центральных районов С.Петербурга, был предложен в диссертации О.Н. Крыловой [7]. Критерием являлось отношение суммарной протяженности колонны транспортных средств, въезжающих в центр, к суммарной длине всех полос движения городского центра. Аналогичная модель оценки пропускной способности была разработана P. Olszewski, W. Suchorzewski [8] для центра Варшавы. Под пропускной способностью территории понималось максимальное количество транспортных средств, которые могут в данный момент двигаться или находиться на стоянках в пределах рассматриваемой территории.

Другой подход к задаче оценки пропускной способности отличает специалистов в области ОДД, которые обращаются к теории графов и теории оптимизации. Например, использование разрезов сети и максимального потока рассмотрено в ряде исследований, выполненных в университете Осака [9]. Авторами этих работ особо подчеркивается, что матрица корреспонденций и распределение потоков конкретной УДС всегда тесно связаны с характеристиками сети (т.е. пропускной способностью ее элементов), размещением крупных объектов массового тяготения, расселением. В этом контексте пропускная способность УДС определяется как максимальный поток при заданных матрице корреспонденций и пропускной способности всех элементов сети (т.е. ребер графа сети). Пропускная способность разреза оценивается суммированием пропускной способности ребер, проходящих через разрез. Величина потока, проходящего через разрез, определяется суммированием потоков, которыми обмениваются расположенные по разные стороны разреза начальные и конечные пункты корреспонденций. Основная трудность такого подхода – трудоемкость перебора всех разрезов графа, количество которых оценено как $n(n-1)/2$, где n – количество вершин графа. В этой связи авторы предложили модель частичных разрезов.

В нашей стране использование задачи максимальном потоке в проектировании УДС рассмотрено Г.Н. Зубковым [4]. Пропускная способность определяется им как максимальный поток (количество транспортных средств), который может быть реализован сетью в единицу времени (час и т.д.). Количественной оценкой является максимум функции $\max \sum_{i,j} F_{ij}$, где F_{ij} – поток, который может реализовать сеть между двумя

корреспондирующими пунктами сети i и j . По мнению автора наиболее точным представлением результатов является полный набор значений потоков F_{ij} в виде матрицы. С

целью исключения процедуры последовательно рассмотрения разрезов сети Г.Н. Зубков предлагал использовать описание ограничений пропускной способности в виде системы линейных неравенств и решать обычную задачу линейного программирования (т.е. каждое ребро и потоки на нем представляются в форме неравенства).

В ряде исследований связывает оценку пропускной способности УДС с появлением заторов. Например, в специальном отчете по проблемам управления УДС в условиях насыщения сети NCHRP Report 194 [10] признаком исчерпания пропускной способности выбран сетевой затор, т.е. ситуация, когда очередь транспортных средств достигает другой перекресток. В рассматриваемом контексте характерным является и определение пропускной способности УДС, предложенное В.Т. Капитановым и Е.Б. Хилажевым [5]. Пропускная способность понимается ими как множество векторов, компонентами которых являются величины транспортных потоков на входах сети. При этом имеется хотя бы одна компонента, минимальное увеличение, которой приводит к образованию затора на каком-либо участке УДС. Данное определение корреспондирует с положениями оценки пропускной способности УДС, сформулированными, как японскими авторами, так и Г.Н. Зубковым.

Современные методы линейного программирования, их реализация в виде пакетов и библиотек программ (подробные справочные данные и библиография представлены <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/LP>) предоставляют возможность эффективных решений так называемой задачи со смешанными ограничениями

$$\min \mathbf{c}^T \mathbf{x} . \quad (1)$$

при линейных ограничениях

$$\mathbf{A} \mathbf{x} \leq \mathbf{b} \quad (2)$$

и двухсторонних ограничениях

$$\mathbf{x}^{lb} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{ub}; \quad (3)$$

где \mathbf{x} – вектор оцениваемых параметров $m \times 1$, $\mathbf{x} \geq 0$; \mathbf{x}^0 – вектор известных начальных значений оцениваемых параметров $m \times 1$, $\mathbf{x}^0 \geq 0$; \mathbf{c} – вектор коэффициентов целевой функции $m \times 1$; \mathbf{A} – матрица коэффициентов линейных ограничений $n \times m$; \mathbf{b} – вектор правых частей линейных ограничений $n \times 1$, $\mathbf{b} \geq 0$; \mathbf{x}^{lb} – вектор нижних ограничений параметров $m \times 1$, $\mathbf{x}^{lb} \geq 0$; \mathbf{x}^{ub} – вектор верхних ограничений $m \times 1$, $\mathbf{x}^{ub} \geq 0$.

В настоящее время решение задачи (1) при ограничениях (2) и (3) выполнено, например, в математических пакетах MATLAB (версии 5.1, 5.2, 6.0, 6.5), MOSEK 2.0. Принципиально важно, что кроме набора ограничений

$$\mathbf{A} \mathbf{x} \leq \mathbf{b}; \quad \mathbf{x} \geq 0; \quad \mathbf{x}^{lb} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{ub}; \quad \mathbf{x}^{lb} \geq 0; \quad \mathbf{x}^{ub} \geq 0$$

можно вводить вектор начальных значений оцениваемых параметров \mathbf{x}^0 . Это дает возможность включать в задачу оценки пропускной способности существующую матрицу корреспонденций, которую можно преобразовать и представить в виде вектора \mathbf{x}^0 . Тогда двухсторонние ограничения \mathbf{x}^{lb} и \mathbf{x}^{ub} характеризуют эластичный спрос, другими словами границы, в которых могут изменяться значения корреспонденций \mathbf{x} .

Рассматриваемая задача линейного программирования позволила авторам обобщить и объединить идеи и теоретические положения работ Г.Н. Зубкова, В.Т. Капитанова, Е.Б. Хилажева, Y. Asakura, Y. Hino, M. Kavaski, T. Nishimura, T. Sasaki и сформулировать оценку пропускной способности УДС в следующем общем виде. УДС, включая ее узлы, представлена в виде ориентированного графа (рис. 2), дуги которого имеют фиксированные значения пропускной способности. Пропускная способность УДС определяется, как максимумом целевой функции

$$\max \sum_j x_j, \quad j=1,2,\dots,m, \quad (4)$$

где A – матрица корреспонденций представленная в виде вектора; m – количество корреспонденций (потоков)

Линейных ограничения, учитывающих пропускную способность дуг c_k имеют следующий вид

$$\sum_i a_{ij} \leq c_i, \quad i=1,2\dots n, \quad (5)$$

где a_{ij} – имеют значение 1, если корреспонденция j проходит по дуге i , или 0., в противном случае $a_{ij} = 0$; n – количество дуг графа УДС.

Кроме условия неотрицательности оцениваемых параметров $x_i \geq 0$ разные гипотезы изменения матрицы корреспонденций (рост всех корреспонденций, рост части корреспонденций, рост одной части корреспонденций и уменьшение другой) задаются с использованием нижних x_i^{lb} и верхних x_i^{ub} ограничений.

Постановка задачи оценки пропускной способности УДС в матричной форме, векторная форма представления используемых исходных данных и получаемых оценок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные	
A – булева матрица весов (инцидентности) ранга $n \times m$, ее элементы a_{ij} имеют значение 0 или 1. если корреспонденция j проходит по дуге i , то $a_{ij} = 1$, в противном случае $a_{ij} = 0$, где $i = 1, 2, \dots, n$, n – количество дуг графа УДС, $j = 1, 2, \dots, m$, m – количество корреспонденций (потоков)	
c – вектор-столбец значений пропускной способности дуг	
x^0 – существующая матрица корреспонденций, представленная в виде вектора-столбца	
x^{lb}, x^{ub} – границы изменений корреспонденций, представленные в виде векторов-столбцов	
Получаемые оценки	
x^{max} – вектор-столбец значений реализованных корреспонденций	
d – вектор-столбец значений разностей реализованных корреспонденций и заданных исходных значений корреспонденций	$d = x^{max} - x^0$
f^{max} – вектор-столбец значений интенсивности движения	$f^{max} = A x^{max}$
g – вектор-столбец значений запаса пропускной способности дуг	$g_i = c_i - f_i^{max}$
k – вектор-столбец значений коэффициента загрузки дуг	$k_i = f_i^{max} / c_i$

Конкретный пример использования предлагаемой модели для оценки пропускной способности правобережных подходов к мосту представлен на рис. 2,3. Оценивались возможности УДС и схемы организации движения на ближайшую перспективу, что представлено следующими условиями

- сохраняется существующая схема организации движения на ул. Ленина;
- разрешено движение с нового моста на б. Гагарина и далее по ул. 5-ой Армии и в обратном направлении (б. Гагарина на всем протяжении).
- сохраняется существующая схема организации движения на ул. Кожова.

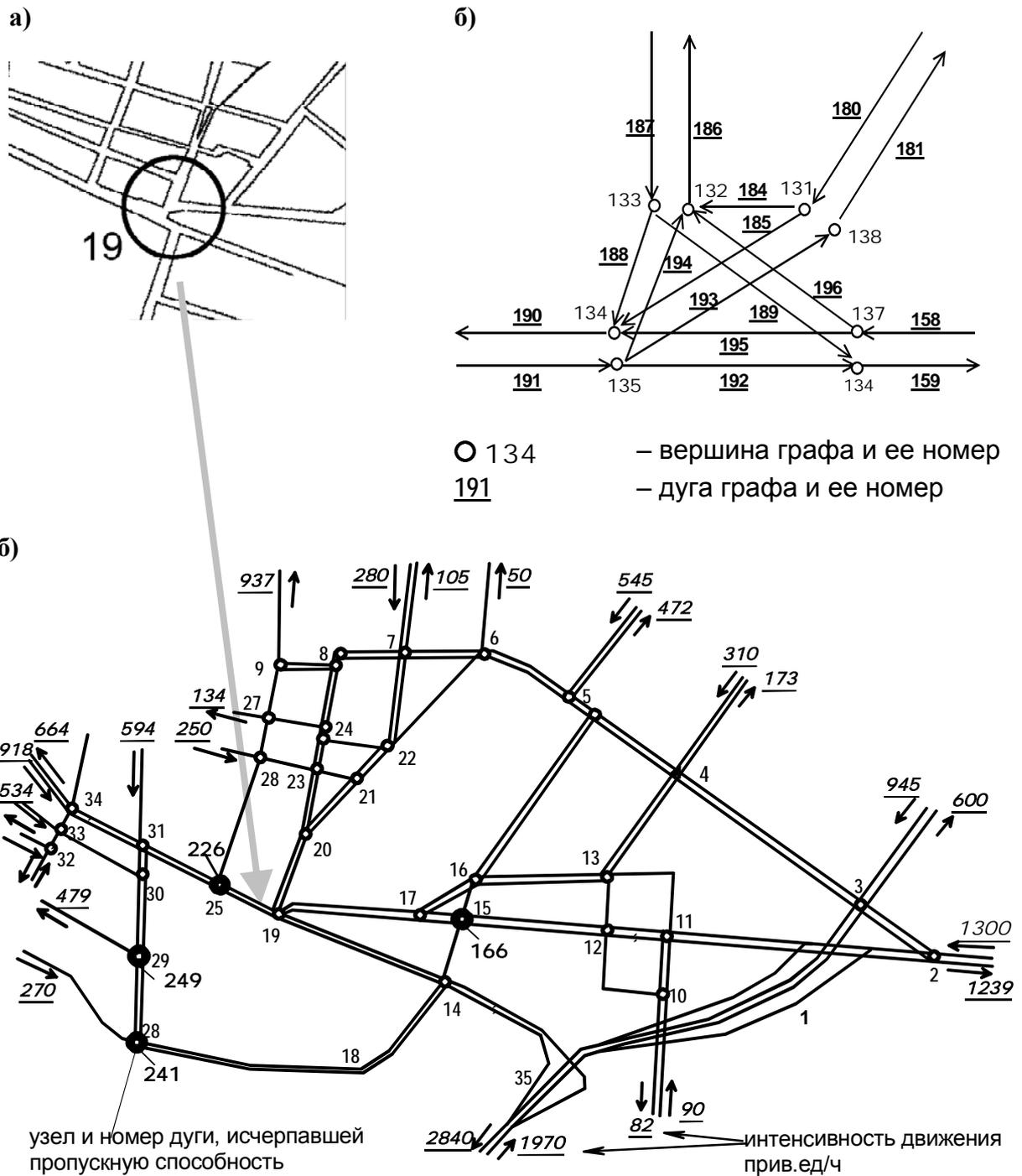


Рис. 2. Представление УДС в виде ориентированного графа и оценка ее пропускной способности (правобережные подходы к новому мосту через р. Ангара в Иркутске:
а) регулируемый перекресток;
б) его представление в виде ориентированного графа УДС;
в) результаты оценки пропускной способности УДС дуги, где исчерпана пропускная способность 35, 53, 85, 166, 241, 226 – принадлежат перекресткам 15, 25, 28, 29

В рассматриваемом примере оценка УДС выявила недостаточную пропускную способность сети на участке, расположенном между мостом и городским центром (см. рис. 2 узлы 19, 25, 31). Анализ нескольких вариантов роста транспортных потоков на правобережных подходах к мосту позволил сделать ряд выводов.

При сохранении существующей схемы организации (рис. 4) при которой запрещено движение в центр на ул. Ленина на узле 19, приводит к тому, что пропускная способность сети по направлению движения на мост (рис. 3) значительно превышает пропускную способность сети при направлении движения к городскому центру.

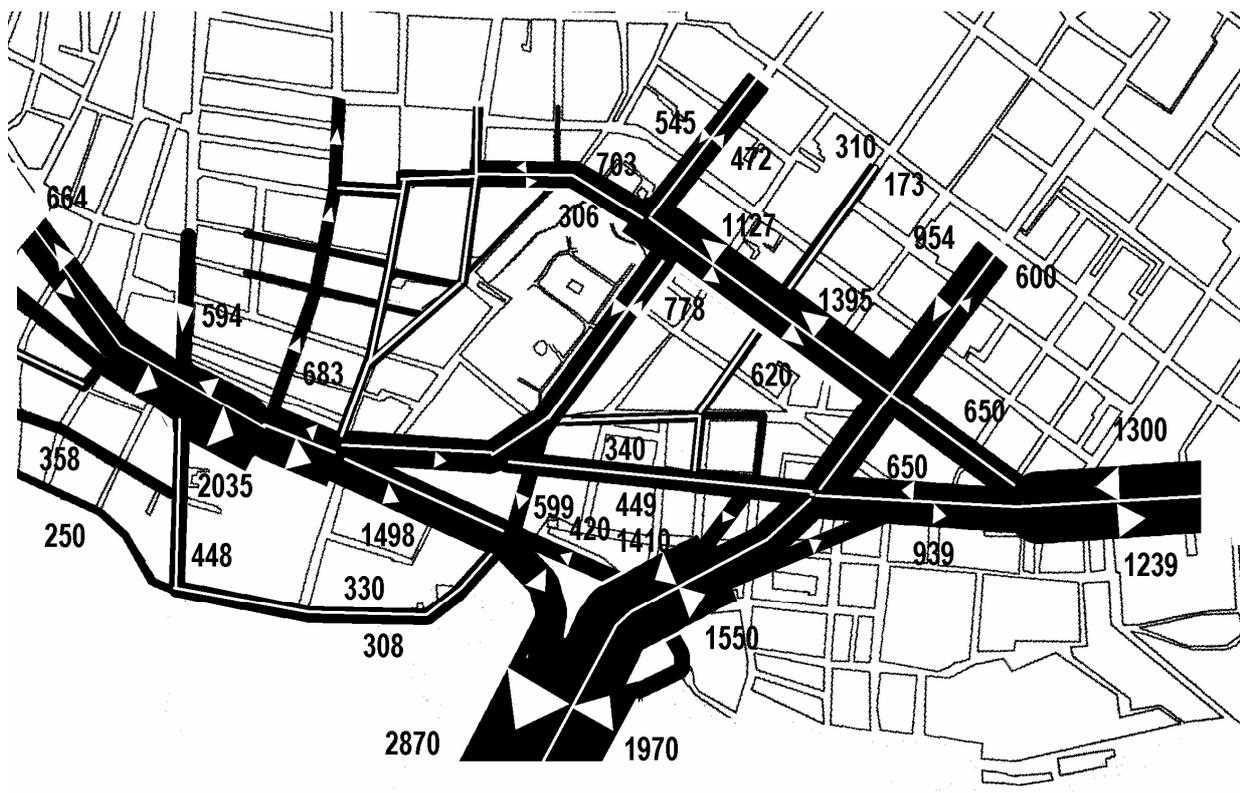


Рис. 3. Транспортные потоки при исчерпании пропускной способности узлов 15, 25, 28, 29 (см. рис. 2) правобережных подходов к мосту новому мосту

Узел 25 (перекресток ул. Ленина и ул. Дзержинского) принадлежит к числу наиболее сложных с позиций возможности ОДД и проведения реконструкции участков УДС (см. рис. 2-4). При вводе в эксплуатацию нового моста через Ангару связка улиц 3-го Июля - Ленина образует кратчайший путь следования транзита через городской центр (рис. 4), что спровоцирует рост транзитных потоков через городской центр. Кроме того, узел 25 находится пути следования из левобережной части города к торговому ядру городского центра (рис. 4). В результате потоки транзита через центр и к торговому центру. Таким образом на рассматриваемом участке УДС может произойти перегрузка ул. Ленина от узла 31 (пересечения ул. Ленина – ул. К. Маркса) до узла 19 (пресечение ул. Ленина - ул. Тимирязева- ул. 3-го Июля – ул. Седова).

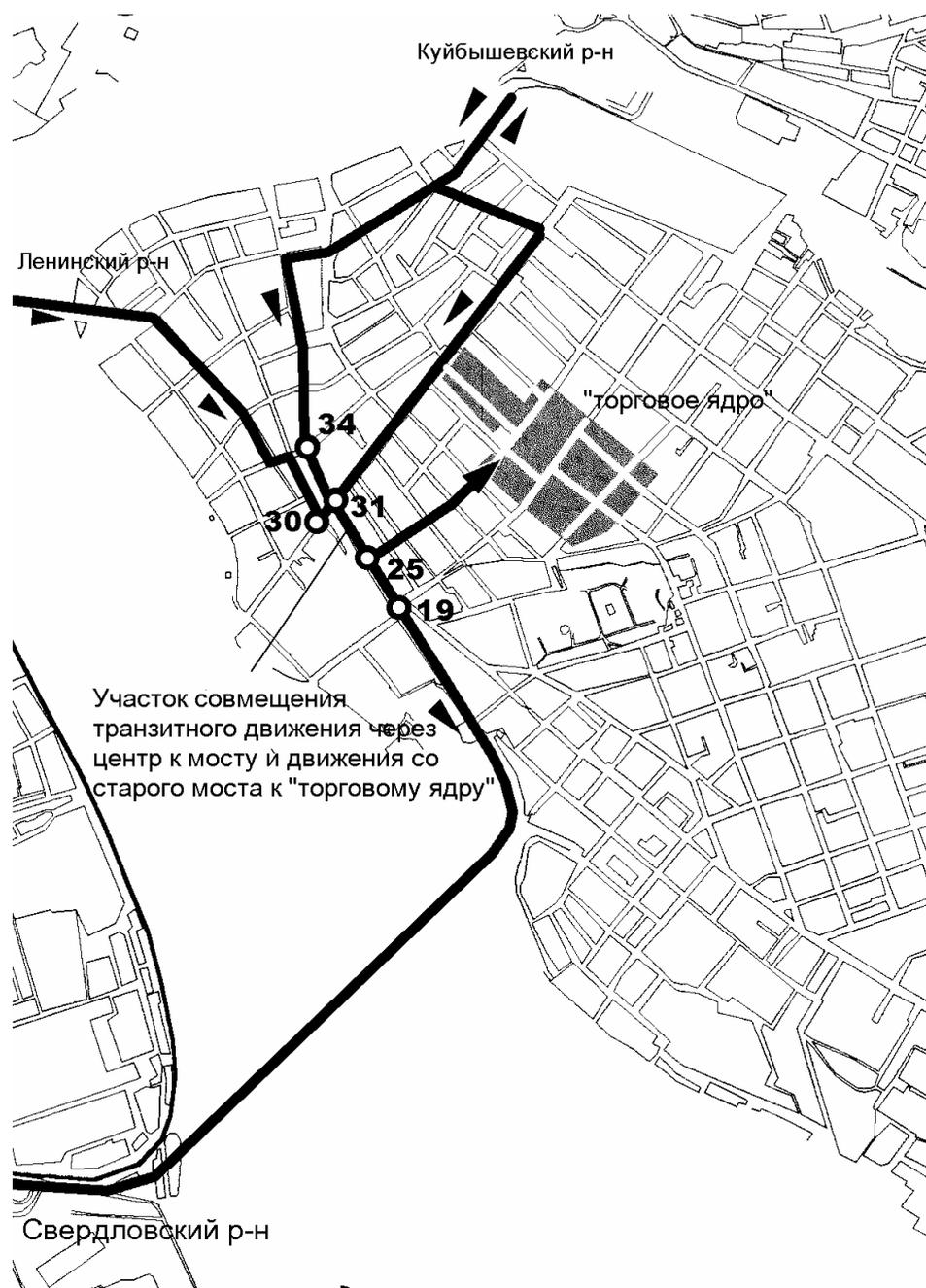


Рис. 4. Новый мост создает новое транзитное направление север-юг в городском центре Иркутска, которое на отдельных участках УДС совпадает с движением к торговому ядру

Оценка пропускной способности сети позволила выявить еще один проблемный участок УДС – ул. Кожова (рис. 2,3,5.). Регулируемые перекрестки на ул. Ленина (на участке от ул. Тимирязева до пл. Кирова) с запрещенными левыми поворотами в сторону набережной (б. Гагарина) затрудняют транспортное обслуживание территории центра между ул. Ленина и набережной Ангары. Существующая схема ОДД создает сетевой эффект, в результате которого для попадания в рассматриваемую зону используется связка ул. Кожова – б. Гагарина (рис. 5). Рост интенсивности движения по ул. Седова, требующий ввода светофорного регулирования, приводит к снижению пропускной способности по ул. Кожова на узле 19. Таким образом, возникает проблема обеспечения доступа к зоне набережной из Октябрьского района Иркутска (рис. 5).



Рис. 5. Связка ул. Кожова – б. Гагарина – ул. 5-ой Армии используется в результате сетевого эффекта создаваемый схемой ОДД:

- регулируемые перекрестки на ул. Ленина (на участке от ул. Тимирязева до пл. Кирова) с запрещенными левыми поворотами в сторону набережной (б. Гагарина)
- запрещено движение на ул. Ленина на узле 19

Представляется, что следует максимально снизить интенсивность движения на рассматриваемом участке УДС и создать благоприятные условия для транзитного движения по периферии центра. С этой целью (рис. 6) можно использовать ориентированные по направлению центр - ул.5 Советская (т.е. новый мост через Ангару) улицы: Дек.Событий, К.Либкнехта, Партизанская, Байкальская). В качестве канала транзита предлагается использовать связку улиц одностороннего движения К.Либкнехта -Дзержинского - Ф.Каменецкого и ул. Дек. Событий (с изменением направлений движения) Предлагаемая зона пропуска транзита - бывшая граница Куйбышевского и Кировского районов и северная граница городского центра (набережная и ул. Сурнова). Представляется, что такое решение

транзитной связи новый мост через Ангару (в створе 5-ой Советской) – мост через Ушаковку (у Знаменского монастыря) позволяет максимально использовать существующую сеть и требует наименьших реконструктивных мероприятий.

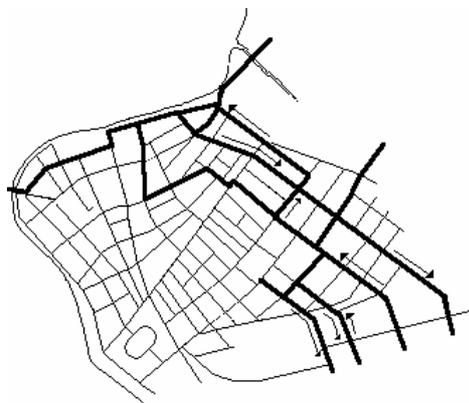


Рис. 6. Снижение транспортных нагрузок на центр и вытеснение транзита на внешний периметр городского центра.

Выполненные тесты предложенной модели позволяют делать следующее заключение. Сформулированная в настоящей работе модель оценки пропускной способности УДС отвечает задачам и целевым установкам проектов детальной планировки, проектов реконструкции УДС и может использоваться для практических задач. В дальнейшем авторы планируют приступить к разработке специального приложения к среде

ЛИТЕРАТУРА.

1. Агасьянц А.А. Основные предпосылки повышения эффективности улично-дорожной сети. //Совершенствование транспортных систем городов. Тезисы сообщений Всесоюзного научно-технического семинара. Суздаль. 9 – 11 ноября 1989. – М. ЦНИИП градостроительства 1989. с. 20 – 23.
2. Горбанев Р.В., Ваксман С.А., Глухарева Т.А. Проблемы загрузки сети магистральных улиц и дорог больших городов автомобильным транспортом. Проблемы больших городов. // ГОСИНТИ. 1979. – вып. №21. – 27 с.
3. Гришквяючене Д.Р. Критерий полосности и уровня организации движения при оценке пропускной способности улично-дорожных сетей городов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1980. 22 с.
4. Зубков Г.Н. Применение моделей и методов структурного анализа систем в градостроительстве. – М.: Стройиздат, 1984. – 152 с.
5. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
6. Крейтмейн М.Г. Исследование систем магистральных улиц центров крупных городов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1980, с. 17.
7. Крылова О.Н. Методы расчета емкости сети магистральных улиц и автостоянок в центральном районе крупного города (на примере Ленинграда): Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Л., 1978. – 20 с.
8. Olszewski P., Suchorevsky W. Traffic capacity of the city center. Traffic Eng. and Contr., v. 28, N6, p. 336 – 343, 339 – 343, 348.
9. Takashi Nishimura, Yasuo Hino, Jun Kawanishi Analysis of the Road Network Capacity and Intensive by Cut Theory with Partial Cut// Mem. Fac. Eng. Osaka Univ. 1990, Vol. 32, p. 87 – 95 .
10. Traffic control in oversaturated streetnetworks. / NCRHP report N194, 1978. – 152 p