

УДК 004.942

Исследование и прогнозирование пассажиропотока с помощью системы МИКС-ПРОСТОР

Бульонков М.А. (Институт систем информатики СО РАН)

Малов В.Ю. (Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН)

Нестеренко Т.В. (Институт систем информатики СО РАН)

В статье рассматривается задача оценки возможностей ликвидации транспортной дискриминации для населения Азиатской части России. Предлагается расширение системы моделирования транспортных потоков МИКС-ПРОСТОР в части включения в нее оценок вариантов мультимодальных пассажирских перевозок.

Ключевые слова: транспортная задача, моделирование, система автоматизации научных исследований.

Введение

В последнее время резко усилилось внимание к проблеме сокращения населения в регионах азиатской части России, тем более в их северных районах. Более того, анонсируемый проект «Русский ковчег», в основе которого лежит идея создания новых городов в Сибири и на Дальнем Востоке, направлен на реализацию концепции опережающего роста восточных регионов страны [1, 6]. Суммарная численность «нового» населения этих городов оценивается более чем в один млн. человек. Современная тенденция показывает обратное: устойчивое, от года к году, сокращение населения восточных регионов страны. И это на том фоне, что население всей России не спешит расти темпами, характерными для прошлого века.

Постепенно приходит понимание, что даже простое сохранение численности населения в азиатской части России невозможно без существенного и опережающего, по сравнению с регионами Европейской части России, роста уровня жизни. Это тем более верно для создания новых рабочих мест, планируемых в новых городах. Даже если предположить, что под «новыми» городами понимается кардинальная модернизация ранее существующих городов, то и в этом случае требуется серьезное улучшение условий жизни. Вероятно, именно с этим и связаны высказывания о том, что возвращение соотечественников в Россию предполагается

именно в восточные регионы. Для реализации такой политики предполагается вводить разнообразные льготы, вплоть до подъемных, как это уже было в начале прошлого века во времена столыпинских реформ по заселению территории Сибири. В любом случае, для обоснованных предложений по организации нового этапа заселения Сибири и Дальнего Востока требуется оценка условий и возможностей всего комплекса жизнеобеспечения: организация здравоохранения, образования, создание современного ЖКХ, транспортного обеспечения. В данной статье акцент будет сделан на исследование именно последнего – условий обеспечения населения азиатской части России транспортными услугами в целях сокращения транспортной дискриминации, достаточно очевидной в настоящее время.

Понимая, насколько объемная задача (как по информационной составляющей, так и по вычислительной) «дойти» до каждого конкретного населенного пункта, тем более, до вариантов прогнозируемого будущего, невозможно. Мы ограничимся агрегированным представлением центров сосредоточения населения и маршрутов. Более того, упростим постановку задачи предположением, что само понятие «транспортной доступности» относится преимущественно к возможностям жителей Сибири и Дальнего Востока посещать центральные регионы страны: Москву, Санкт-Петербург, Крым, Сочи и т.п.

Допустимость такого упрощения требует дополнительного обоснования. Одно дело – доступность миллионов потенциальных пассажиров из крупных городов до Европейской части страны (о дальнейшем их передвижении в западном направлении пока речи нет). Другое дело – доступность до этих крупных городов со стороны средних и малых городов и еще более мелких поселений. Это, конечно, уже не миллионы людей и, возможно, для последних не так уж и важно дальнейшее путешествие в западном направлении, но требование обеспечения транспортной доступности касается всех граждан России, где бы они не жили. Поэтому настоящая задача касается только первой части. Принимается гипотеза, что в этих городах собрано всё население большого региона.

Подобные упрощения определяют и требования к использованию усредненных тарифов на отдельных маршрутах и участках транспорта. Здесь не предполагается учитывать все тонкости формирования тарифов в разных видах транспорта, которые в общем случае зависят и от времени года, и от дальности поездок (в нелинейной зависимости от расстояния), и даже от выбора верхней или нижней полки в железнодорожном вагоне пассажирского поезда. Все эти тонкости в исходной информации мы попытаемся нивелировать, используя

интервальный подход как в собственно «входной» информации, так и в интерпретации получаемых результатов¹.

На территории России выделяются следующие центры концентрации населения (конурбации):

- Москва представляет все регионы европейской части России;
- Владивосток;
- Хабаровск, который условно «объединяет» население и Комсомольска-на-Амуре и Благовещенска;
- Южно-Сахалинск, включая население Камчатки, Чукотки и Магадана;
- Якутск;
- Братск;
- Улан-Удэ;
- Иркутск;
- Красноярск;
- Абакан;
- Новосибирск;
- Новокузнецк, включая население и Кемерово, и Междуреченска;
- Барнаул.

Не охвачены такие населенные пункты, как Омск, Тюмень, Салехард и все города Урала. Такая агрегация объясняется тем, что нас в данной задаче интересует, в первую очередь, ответ на вопрос о том, насколько реализация задачи значительного повышения транспортной доступности повлияет на загруженность транссибирской магистрали пассажирскими поездами. Если, конечно, авиационный транспорт не сможет в рамках приемлемого тарифа обеспечить доступность до всех населенных пунктов Сибири и Дальнего Востока, и людям придется воспользоваться услугами железнодорожного и/или автомобильного транспорта для посещения культурных и/или оздоровительных центров европейской части России. Неявно предполагается, что уже осуществлены социологические исследования, которые определили, при каких условиях жители Сибири и Дальнего Востока готовы остаться в своих регионах на постоянное жительство. Также неявно предполагается, что количество мест работы с

¹ Данная задача имеет исключительно «пассажирскую» направленность, но она является органической частью всей системы МИКС-ПРОСТОР, предполагающей сопоставление и пассажирского, и грузового аспекта оценки возможностей транспортной системы Азиатской России [3, 5]. Предполагается в дальнейшем оценить провозные и пропускные способности отдельных участков разных видов транспорта, возможности организации мультимодальной транспортной системы для всех видов транспортной работы, как пассажирской, так и грузовой. Но это уже выходит за рамки настоящей статьи.

достойной зарплатой (по крайней мере, для покрытия транспортных тарифов) не только сохраняются, но и увеличиваются.

Предполагается, что весомая, может быть, даже основная, часть пассажиропотока направляется из выделенных пунктов в «агрегированную Москву». Местные потоки пассажиров (например, Барнаул – Новосибирск) будут учитываться после решения основной задачи, формулируемой следующим образом:

- определить наиболее рациональные направления и виды используемых транспортных средств, с учетом возможных пересадок, для обеспечения транспортной доступности населения восточных регионов России к центрам культуры и отдыха европейской части страны.

Понятие «рациональные направления» включает в себя такие критерии, как стоимость переезда и время в пути. Эти два критерия рассматриваются как самостоятельные, так и в комбинации. Используемые критерии «рациональности» являются обобщенными для всех пассажиров и всех видов транспорта, что, конечно, является некоторой условностью, но, как нам представляется, допустимой для решения задачи системного представления вариантов транспортных коммуникаций. Многое будет зависеть от интерпретации получаемого решения. Акцент в последнем будет сделан на качественный результат, определяющий интервал изменений тарифов, при выходе из которого может ожидать смена маршрутов и/или видов транспорта.

Основная цель данного исследования – это оценить возможности сокращения транспортной дискриминации населения азиатской части России. Минимизация затрат на будущие перевозки – также одна из целей (или условий выбора будущих вариантов). Параллельно с этим оцениваются и варианты будущих транспортных сетей, которые включают согласованное развитие всех видов транспорта, создание современной логистики на всем пространстве азиатской части России. Полагаем, что в европейской части страны эта система складывается более рационально и «естественно», так как сделан уже серьезный задел.

Транспортная сеть работает не только для пассажиров, но и, возможно даже в большей степени, для грузоперевозок. Как разделить ограниченные мощности отдельных видов транспорта между грузами и пассажирами? Пример Транссиба говорит о многом: больше скоростных пассажирских поездов – меньше возможности провозки угля. И это на расстоянии 4-5 тыс. км., не говоря уже об оборонной значимости железнодорожных линий.

1. Моделирование

Что мы хотели бы предложить в результате решения нашей задачи, в которой параметрами являются:

- объемы перемещаемых пассажиров,
- ограниченные возможности отдельных участков (плеч) транспорта,
- тарифы на все эти операции.

Ограничениями, собственно, на «плечо», т.е. на участок транспортной линии, для авиаперевозок не имеет смысла, если не принимать во внимание ограничения на диспетчерское сопровождение. С другой стороны, для авиаперевозок существенны:

- ограниченные возможности аэропортов по приему, отправлению и/или транзиту пассажиров,
- ограничение на общий авиапарк.

Ограничения такого вида не рассматривались в наших предыдущих исследованиях [2, 4], но они концептуально не противоречат используемой модели, поскольку также выражаются как линейные ограничения над теми же переменными.

Под «тарифами» в данной задаче понимаются скорее издержки на перевозку, т.е. расходная ставка. Мы не интересуемся эффективностью отдельного участника перевозочного процесса, отдельной компании. Свою цель мы видим в оценке общих (системных, объединенных) издержек на весь перевозочный процесс, кто бы эти издержки не нес. Т.е. именно расходная ставка по всем элементам (погрузка, разгрузка, транзит, перевалка, перевозка) и должна быть главным стоимостным показателем эффективности. Инвестиции в расширение мощностей также будем пытаться перевести в расходные ставки. Стоимость билетов, варьируемых в очень больших пределах в настоящее время, может скорее сбивать с основного курса расчетов: уж больно каждая компания старается перехватить пассажиров, делая всякие «акции», предоставляя «бонусы» и т.п. Конечно, для компаний это крайне важно, но будет сильно осложнять и само решение, и интерпретацию результатов. Еще раз повторим: нам более важно оценить соотношения среднего уровня тарифов, провозных способностей и объемов, требуемых к перевозкам. В дальнейшем предполагается провести сопоставление требований, предъявляемых со стороны производств, к росту перевозимых грузов и повышения транспортной доступности населения азиатской части России. Другими словами, провозные (пропускные) способности отдельных видов транспорта и пунктов отправления (транзита, перевалок и пр.) потребуются каким-то образом «разделить» между грузами и пассажирами,

используя как критерии эффективности (минимум совокупных издержек), так и требования обеспечения транспортной доступности.

Несколько слов об использовании различных видов транспорта:

- трубопроводы – это исключительно для грузового сегмента (газ, нефть). Использование трубопроводов для пассажирских перевозок пока можно отнести к фантастическим проектам;
- морской – практически полностью для экспортных поставок грузов или (очень малая величина) – для круизов (туризм, рекреация);
- водный – возможно, в некоторых регионах, и является единственным, но таких регионов крайне мало и сравнительно мало пассажиров. Это не те суммы издержек, о которых стоит говорить;
- авиация – практически вся для пассажиров, не считая МЧС и военных;
- портовое хозяйство – практически всё нацелено на экспортно-импортные операции, т.е. на грузовой сегмент транспортной сети.

Пассажирские перевозки, по сравнению с грузовыми, имеют свою специфику. Если не учитывать миграцию населения, то в рассматриваемом нами продолжительном промежутке времени все пассажиры возвращаются в исходные пункты отправления. Таким образом, в качестве «оптимального» решения можно было бы взять такое, при котором никто никуда не ездил. Для того, чтобы избежать этого для каждой пары <пункт отправления, пункт прибытия> требуется определить свой «продукт». Это приводит к существенному увеличению количества видов перевозимых продуктов по сравнению с грузовыми перевозками и, как следствие, к увеличению размера решаемой задачи, который квадратично зависит от количества продуктов.

Эту проблему можно смягчить предположением от том, что количество пассажиров, перевозимых «туда» и «обратно», одинаковы. Например, размер пассажиропотока «Новосибирск-Москва» равен пассажиропотоку «Москва-Новосибирск». Таким образом, один из этих «продуктов» можно удвоить, а другой – исключить.

2. Исходные данные

Учитывая, что подавляющее большинство информации будет либо крайне усредненным, либо просто недоступным (секретным, коммерческой тайной, и/или просто не фиксируемой), то более важно оценить соотношение этих данных, при котором тот или иной вариант развития транспортной системы обеспечиваем минимизацию совокупных издержек. Непосредственно для какой-либо транспортной компании результаты наших расчетов могут

иметь только косвенную пользу – в качестве «информации к размышлению». Наши результаты прикладного характера скорее всего были бы полезны для РЖД, Минтранса и Минэкономразвития именно как государственных структур, озабоченные решением имеющих стратегических задач. В качестве инструментария предлагаемый подход может быть использован как имитационная основа для оценки разных вариантов формирования транспортной сети Азиатской России на период 2035-2050 гг. [1]. Интервальный формат входной информации существенно сокращает недостатки ее неточностей, поверхностного представления исходных данных.

Дополнительные требования к упрощению представления пассажиропотоков на разных видах транспорта.

1. Для авиапассажиров одним из основных ограничений является пропускная способность аэропортов в местах посадки, что эквивалентно числу самолетов, подлежащих к обслуживанию. Важен, конечно, и тип самолета, его вместимость, но, вероятно, из крупных аэропортов, представленных в задаче, они приблизительно одинаковые – от 150 до 200 пасс. Поэтому, зная число рейсов в день в аэропорты западных регионов страны (Москва, Санкт-Петербург, Сочи и т.п.), можно ориентировочно определить и объем «погрузки».

2. При пересадках с авиатранспорта на железнодорожный и автомобильный (или обратно) ограничения на провозную способность участков транспорта будет измеряться количеством пассажиров, которые могут быть перевезены по этим участкам. Для железнодорожного транспорта таким ориентиром может стать количество пар пассажирских поездов, проходящих по данному участку. Количество пассажиров в каждом поезде можно ориентировочно определить из качественного состава пассажирских вагонов (общий, плацкартный, СВ, купейный) и экспертно полученную загрузку каждого вагона в разные периоды года. Ограничения по автодорогам также можно экспертно определить по данным о характере движения пассажирского и личного автотранспорта в сопоставлении с потоком грузовых автомобилей.

3. При использовании железнодорожного транспорта требуется несколько иная оценка нагрузок и провозной (пропускной) способности. За эталон возьмем участок железной дороги Новосибирск-Омск — двухпутная электрифицированная линия, по которой есть данные и по объемам провозимых грузов, и по пропускной способности (пар поездов в сутки). Пассажирский состав имеет меньшее количество вагонов, чем, например, угольный или контейнерный, но он также является составной частью той «пары», которая должна быть пропущена, да еще в большем по времени по требованиям безопасности интервале движения. Другими словами, пара пассажирских поездов это, как минимум та же пара угольных составов,

хотя и перевозят существенно меньше тонн «полезного» груза. В задаче же требуется оценить перспективы возможных пересадок с одного вида транспорта на другой. Здесь мы вынуждены принять предположение о том, что одного пассажира условно приравниваем к 4 тоннам перевозимого груза. Это делается по аналогии с пассажирским плацкартным вагоном, перевозящим около 50 пассажиров. А состав из 20 вагонов (в том числе, СВ и купейных) перевозит 750 пассажиров. Тогда один пассажирский состав можно также условно считать за полноценный состав с грузовыми вагонами, весом 3 тыс. тонн (из расчета 50 вагонов по 60 тонн в каждом).

Во всех вышеописанных случаях будет использоваться крайне агрегированная и экспертно представляемая информация, что потребует задействование методов интервального подхода как к самим способам решений, так и к представлению и интерпретации получаемых результатов.

Например, пассажиропоток Новосибирск-ЗАПАД можно оценить следующим образом. Из аэропорта Новосибирска в 2020 г. ежедневно уходило около 40 рейсов, каждый из которых вмещал по 150-200 пассажиров. Предполагая, что заполняемость составляет 100%, получаем ежедневно 6000-8000 пассажиров, а считая, что в году 350 дней (15 дней аэропорт закрыт) – 2,1-2,8 млн. пассажиров. Это и будем принимать за объём «погрузки / разгрузки» в Новосибирске.

Описанный выше метод оценки объёма перевозок не единственный. Имеет место быть гравитационная модель, при которой объём перевозок между двумя узлами пропорционален произведению их совокупного дохода и обратно пропорционален расстоянию между узлами. Кроме того, в качестве минимизируемого показателя может быть использовано суммарное время, затрачиваемое на перевозку. При этом, конечно, надо учитывать не только время, скажем, на перелёт, но и время на дорогу в аэропорт, регистрацию, посадку, а также и время между стыковочными рейсами, например, время переезда от вокзала до аэропорта. Здесь нужно использовать комбинированную стоимость, включающую как собственно расходы на перевозку, так и стоимость потраченного времени, которое, естественно, зависит от доходов населения в конкретном узле.

3. Варьирование параметров

Прогнозирование развития транспортной системы осуществляется путём варьирования выбранных экспертом входных параметров, к которым относятся:

- пропускная способность для данного вида транспорта и выбранному плеча или узла;

- стоимость перевозки (тарифа) данного продукта и вида транспорта по выбранному плечу или его обработки в данном узле.

Оказалось полезным расширение системы реализацией вариаторов новых типов, которые не увеличивают принципиально возможности системы, но существенно упрощают её использование. Введены следующие коэффициенты:

- коэффициент для вида транспорта, на который умножаются все базовые тарифы, связанные с этим транспортом;
- коэффициент для вида транспорта, на который умножаются все пропускные способности, связанные с этим транспортом.
- коэффициент, на который увеличивается пассажиропоток по всем направлениям, входящим или исходящим из данного узла.

Для каждого варьируемого параметра задаётся интервал допустимых значений. Обычно такой интервал содержит значение этого параметра на текущий момент, а границы интервала отражают экспертные оценки на период прогнозирования. Получившееся многомерный прямоугольник [2] покрывается множеством комбинаций значений параметров. МИКС-ПРОСТОР допускает два способа такого покрытия:

- *пошаговое*, при котором каждый параметр изменяется в своём интервале с задаваемым шагом, и
- *стохастическое*, при котором указывается количество точек, случайно выбираемых внутри многомерного прямоугольника.

Стохастический способ может оказаться более эффективным с практической точки зрения.

Для каждой комбинации параметров ищется решение задачи линейного программирования, минимизирующее суммарную стоимость перевозок. В настоящее время МИКС-ПРОСТОР использует для этой цели решатель Google OR [8].

Множество полученных решений может оказаться очень большим, что делает практически невозможным его анализ экспертом. Поэтому мы используем кластеризацию множества решений, сравнивая их по степени схожести транспортных потоков по отдельным плечам. Затем из каждого кластера выделяется наиболее типичный представитель, который и предоставляется эксперту для анализа.

4. Эксперимент и результаты

Ниже рассматривается один из проведённых экспериментов, в котором исследуются влияние на пассажиропоток параметров железнодорожного транспорта. Сначала мы

(достаточно грубо) задаём коэффициенты изменения пропускной способности и тарифов для всей железнодорожной сети, как показано на рис. 1.

Транспортная сеть		Д	Х
Вариатор	Диапазон	#	
Железнодорожный - увеличение проп. спос.	1-10	10	
Железнодорожный - удорожание	1-10	10	

Рис. 1. Задание интервалов значений параметров

Таким образом, всего получается 100 вариантов, в которых как пропускная способность, так и тариф по ж/д увеличиваются вплоть до 10 раз. Далее все эти варианты просчитываются и из множества решений выделяются наиболее типичные способы перевозки

Всё множество решений разделилось на три типичных способа перевозки, обозначаемые красным, жёлтым и зелёными цветами, которые распределяются как показано на рис. 2.

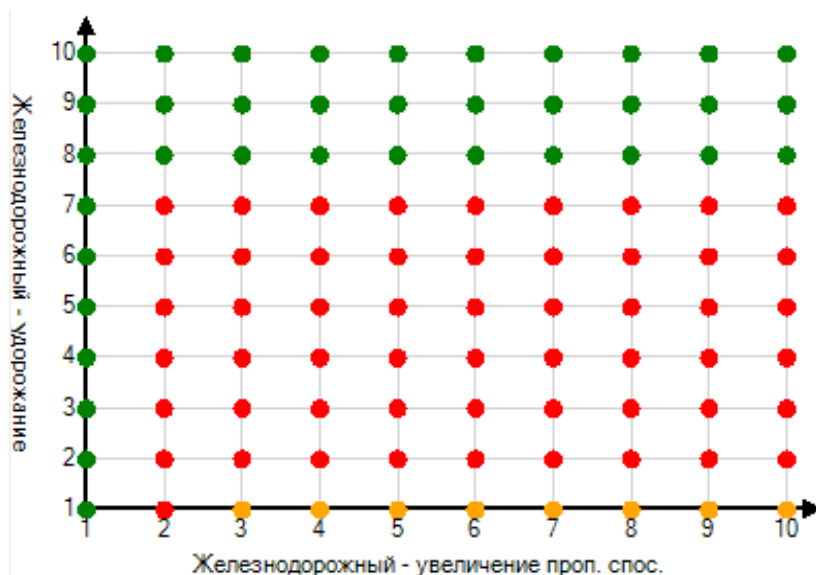


Рис. 2. Разбиение на кластеры при грубой оценке

Эту информацию можно использовать как оценку для более точного определения интервала варьирования, например, ограничив максимальные коэффициенты до 3 и, сохраняя общее количество решений, сделать меньше шаг изменения параметров. В результате разбиение на кластеры получается более детальным (рис. 3).

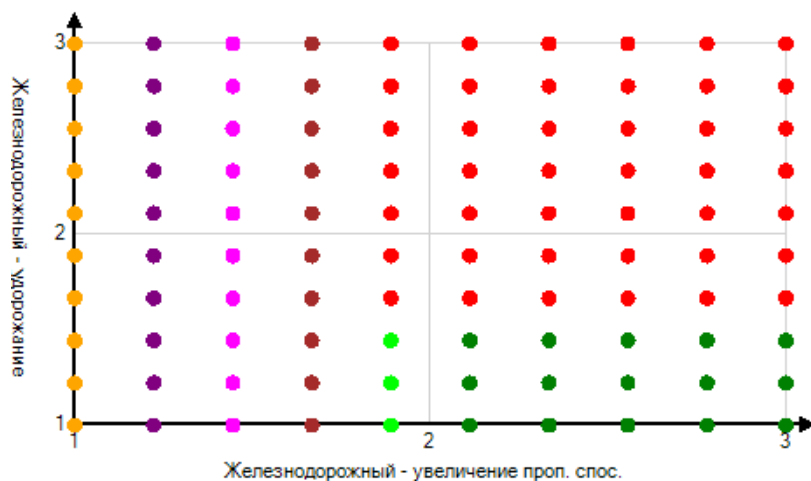


Рис. 3. Разбиение на кластеры при точной оценке

Далее, эксперт может перейти к анализу отдельных решений. Например, при базовом состоянии (оба коэффициента увеличения равны 1), который входит в желтый кластер, транспортная сеть выглядит, как показано на рис. 4.

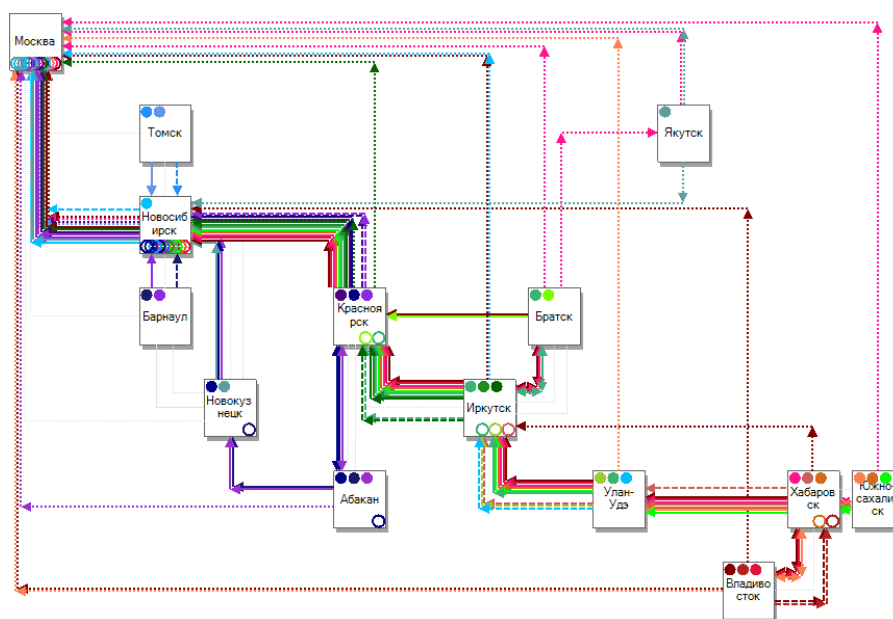


Рис. 4. Базовый вариант

Здесь сплошными линиями отображается железнодорожный транспорт, штриховыми — автомобильный, и пунктирными — авиационный.

Если пропускная способность возрастает в 1.4 раза (фиолетовый кластер), то использование авиационного транспорта существенно сокращается, как показано на рис 5.

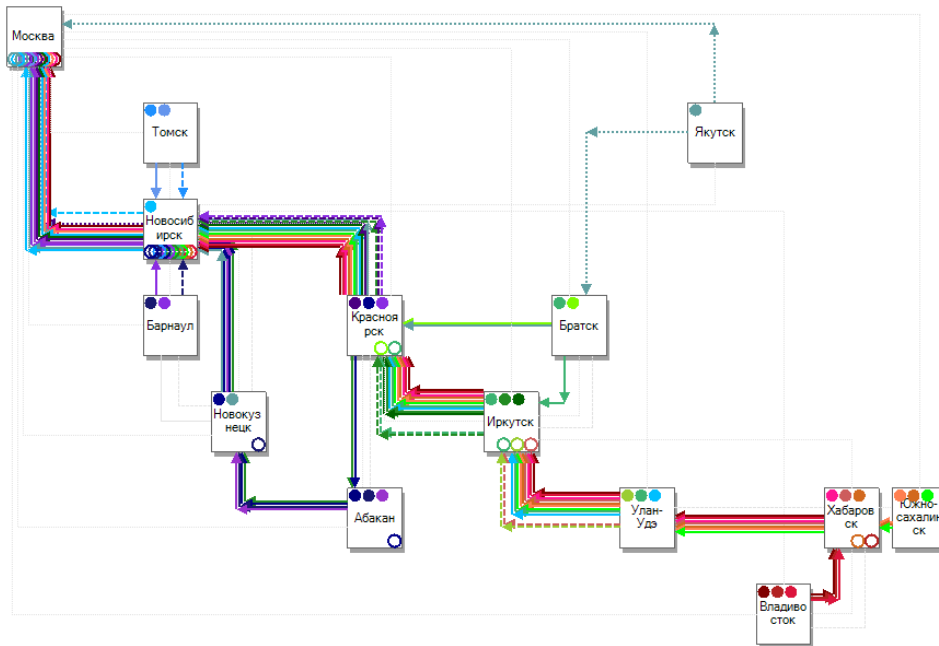


Рис. 5. Увеличение пропускной способности ЖД в 1.4 раза

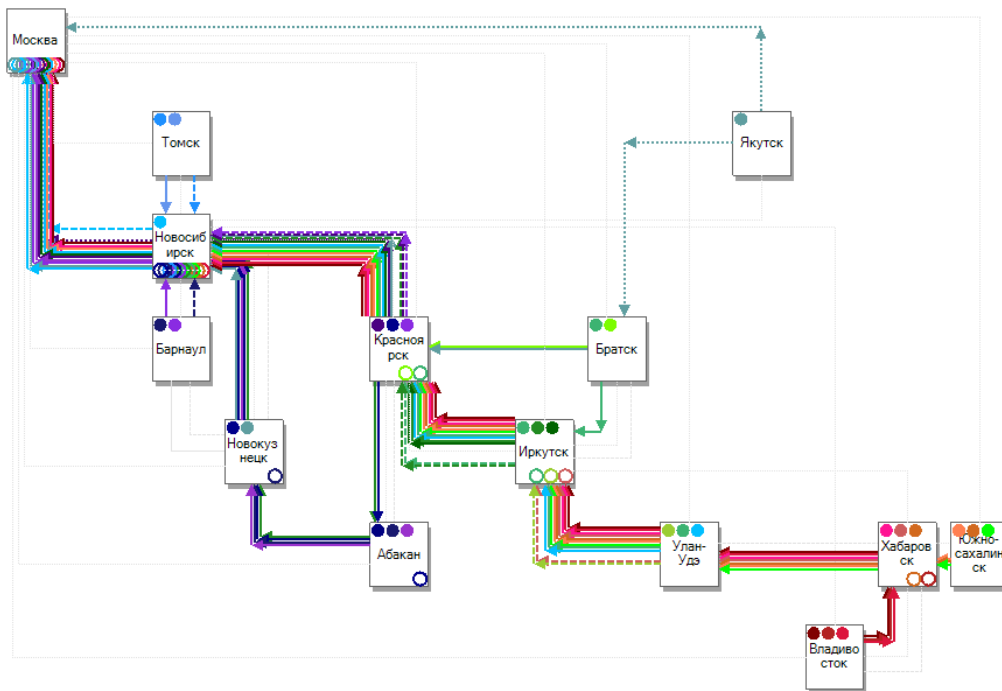


Рис. 6. Увеличение пропускной способности ЖД в 1.6 раз

Использование авиаперевозок исчезает практически полностью при увеличении пропускной способности железной дороги в 1.6 раз. Исключение составляет Якутск, до которого практически нет другого сообщения, кроме авиационного (рис. 6).

5. Транспортная доступность

Система МИКС-ПРОСТОР получила развитие в части визуализации транспортной доступности. В качестве определяющего показателя была выбрана средняя стоимость перевозки пассажиров (ССПП) для пары <пункт отправления, пункт назначения>. Несложно показать, что она может быть вычислена для каждого полученного решения как средневзвешенная сумма перевозки пассажиров этого типа по всем транспортным плечам.

Для графического отображения транспортной доступности и конурбаций были рассмотрены несколько вариантов и проведены соответствующие эксперименты. Первая попытка состояла в использовании анаморфических карт, основная идея которых состоит в смещении узлов так, чтобы расстояние между ними соответствовало ССПП, по возможности сохраняя взаимное расположение. Поскольку ССПП не является метрикой, и для него не выполняется неравенство треугольника, то такое отображение может быть только приближительным. Для решения этой задачи мы использовали силовые методы размещения графов, но результаты оказались неудовлетворительными для поставленных выше целей.

Вторая попытка состояла в том, чтобы показывать транспортную доступность с точки зрения жителя конкретного узла. Метод отображения состоит в следующем:

- рассматриваемый узел помещается в центр;
- все остальные узлы размещаются относительно него в направлении, соответствующем реальному географическому;
- расстояние до смежных узлов пропорционально ССПП, а до остальных – длине кратчайшего относительно ССПП пути;
- объём перевозки отображается размером вершины – площадь соответствующего кружочка пропорциональна объёму погрузки/разгрузки.

Это хорошо работает в случае, когда величины ССПП не сильно разбросаны. К сожалению, в нашем случае это не так. В некоторых экспериментах из Новосибирска в Москву можно доехать за 700 руб., а из Москвы в Якутск за 60 000 руб. В результате при отображении Новосибирск и Москва находятся вплотную друг к другу, а Якутск — где-то у противоположной стороны диаграммы.

Для решения этой проблемы была использована технология «рыбьего глаза» (fish-eye view), при которой расстояния на изображении увеличиваются в центре и сжимаются по краям. Существуют множество разных способов сделать это. Мы остановились на методе, описанном в [9], где расстояние d трансформируется по следующей формуле:

$$T(d) = d_{max} * \frac{dist + 1}{dist + \frac{d_{max}}{d}}$$

где

d_{max} – максимальное расстояние между узлами;

$dist$ – коэффициент искажения.

При $dist = 0$ отображение тождественно, то есть картинка оказывается неискажённой. Мы позволяем варьировать параметр $dist$ интерактивно.

На рис. 7 серые концентрические окружности отображают ССПП, и в реальности идут с равным шагом. То есть, то, что находится в серой зоне на краю окружности для жителя, расположенного в центре узла, означает «очень далеко и дорого».

Такое отображение может быть полезно для экспертной оценки конурбаций, с точки зрения транспортной доступности. Например, на рис. 7(б) явно выделяется конурбация Иркутск – Братск – Улан-Удэ. С другой стороны, Красноярск принадлежит как Иркутской, так и Новосибирской конурбациям.

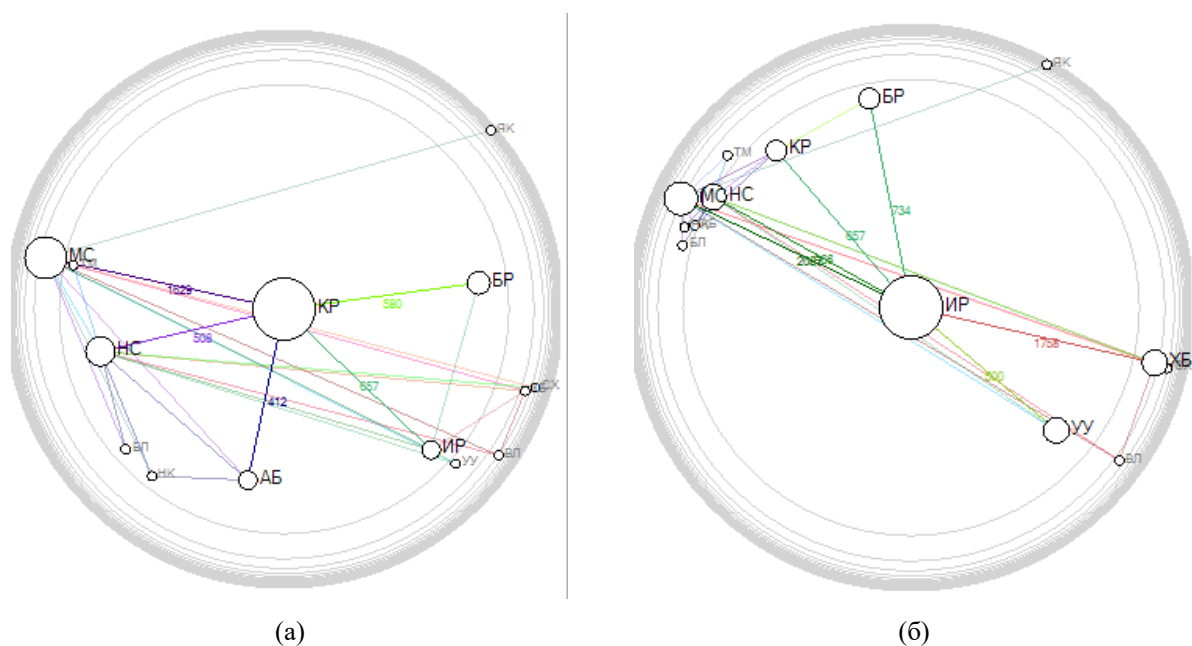


Рис. 7. Отображение транспортной доступности: (а) Красноярск, (б) Иркутск

Система МИКС-ПРОСТОР позволяет прогнозировать изменение состава конурбаций при варьировании параметров транспортной системы. Например, в описываемом ниже эксперименте одновременно варьировались стоимость и пропускная способность ЖД. На рис. 8 показаны результаты эксперимента, где в качестве центрального узла выбран Иркутск.

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать следующие выводы:

1. Верхняя левая картинка (малая пропускная способность – большая цена) фактически изолирует данную конурбацию от остальной части страны.
2. Верхняя правая (большая пропускная способность – большая цена) сближает её с Дальним Востоком.
3. Нижняя левая (малая пропускная способность – малая цена) поддвигает конурбацию к европейской части.
4. Наконец, нижняя правая, когда совсем всё хорошо, сближает всю страну, за исключением Якутска.

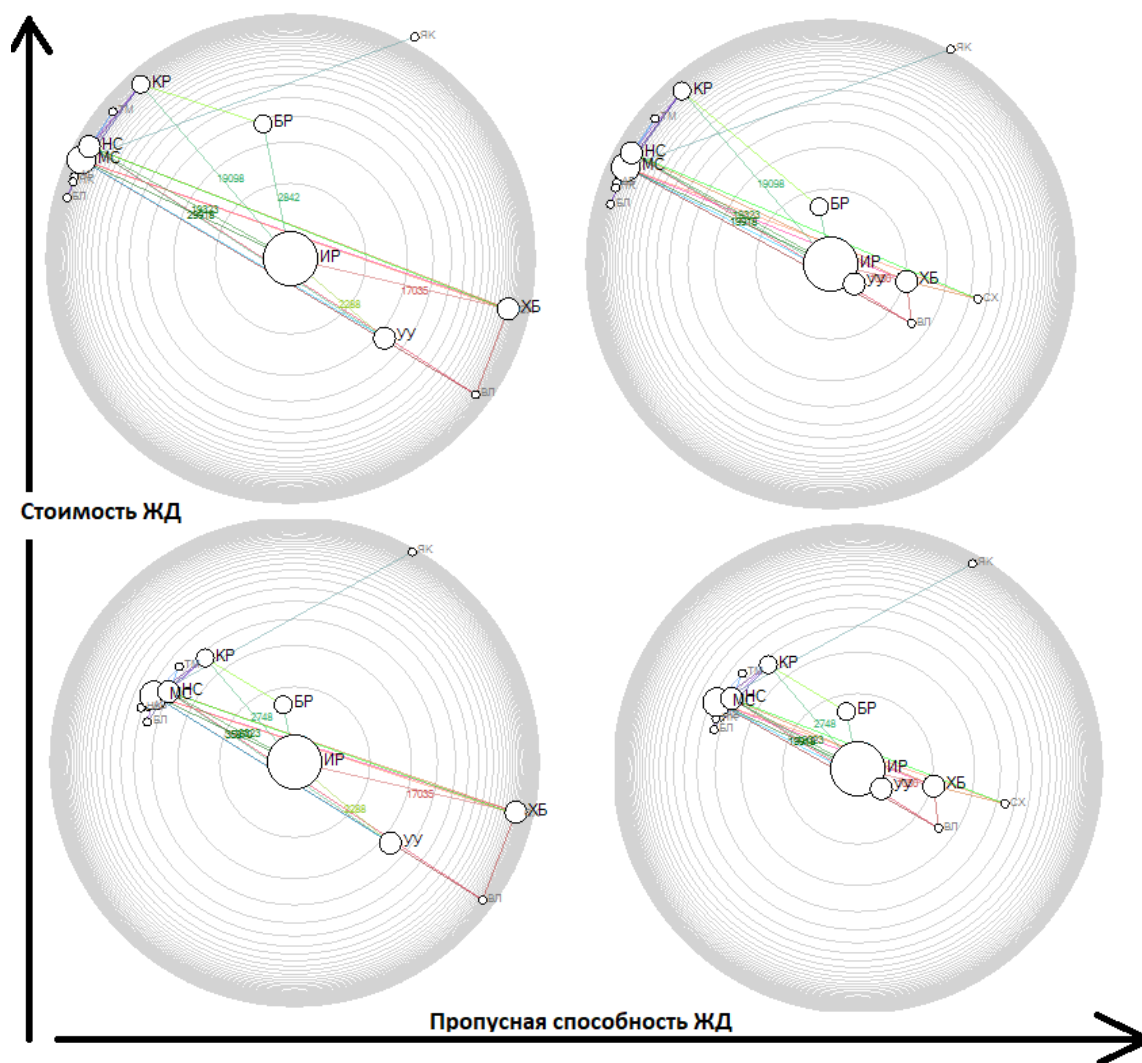


Рис. 8. Прогнозирование изменения конурбаций

Заключение

В данной работе рассмотрены некоторые вопросы прогнозирования развития опорной транспортной сети в Азиатской части России в части пассажирских перевозок. Используемая

система МИКС-ПРОСТОР показала себя как мощный инструмент [2, 4, 7], позволяющий выделить и сконцентрировать эксперта на наиболее значимых аспектах. Дальнейшие исследования могут быть связаны как с интегрированным исследованием пассажирских и грузовых перевозок, так и с расширением транспортной сети и увеличением номенклатуры перевозимых продуктов.

Список литературы

1. Азиатская часть России: моделирование экономического развития в контексте опыта истории : сб. науч. тр. / отв. ред. В.А. Ламин, В.Ю. Малов; РАН, Сиб. Отд-е, ИЭОПП, Ин-т истории, Ин-т геогр. им. В.Б. Сочавы, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева, Ин-т динамики систем и теории упр-я. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 463 с. (Интеграционные проекты; Вып. 34).
2. Бульонков М.А., Нестеренко Т.В. Автоматизация исследований развития опорной транспортной сети // Вестник СибГУТИ №3(47) 2019. - С.45-54.
3. Бульонков М.А., Карпан В.В., Малов В.Ю., Марусин В.В., Радченко В.В. Концептуальные вопросы построения Модельно-Информационно-Картографической Системы (МИКС) // Моделирование производственных и региональных систем на основе ГИС и информационных технологий: сб. науч. тр. / под ред. Ю.Ш. Блама, В.В. Радченко. - Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2011. - С. 5-28.
4. Бульонков М.А., Филаткина Н.Н. Ситуационный анализ в системе транспортного прогнозирования МИКС-ПРОСТОР // Информационные технологии – 2013 - №8. - С. 43 – 52.
5. Воробьева В.В., Малов В.Ю., Радченко В.В., Поттер М.В., Серебрянников И.Е. Модель прогнозирования развития опорной транспортной сети // Моделирование производственных и региональных систем на основе ГИС и информационных технологий: сб. науч. тр. / под ред. Ю.Ш. Блама, В.В. Радченко. - Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2011. - С. 68-96.
6. Проблемные регионы ресурсного типа: Азиатская Россия // отв. ред. В.А. Ламин, В.Ю. Малов – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005.
7. Ситуационная комната как элемент организации экспертного сообщества: задачи планирования и прогнозирования / под ред. Г.А. Унтура; – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2018.
8. Google OR-Tools. [Электронный ресурс]. URL: <https://developers.google.com/optimization/> (дата обращения 03.03.2022).
9. Sarkar, Manojit, Brown, Marc (1992): Graphical Fisheye Views of Graphs. In: Bauersfeld, Penny, Bennett, John, Lynch, Gene (eds.). Proceedings of the ACM CHI 92 Human Factors in Computing Systems Conference June 3-7, 1992, Monterey, California. pp. 83-91. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.acm.org/pubs/articles/proceedings/chi/142750/p83-sarkar/p83-sarkar.pdf>