



# Способ нахождения укрупнённых железных дорог



Виктор ИВНИЦКИЙ

Victor A. IVNITSKY

## Method of Finding Solutions to Enlarge Railways

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 12)

**Автор обосновывает рациональность укрупнения железных дорог в условиях, когда растёт уровень их технической оснащённости, автоматизации процессов управления и возможностей консолидировать производственные ресурсы, благодаря прогрессирующей транспортно-логистической системе глобализации сетевых технологий. Предлагаемый при этом метод рангового позиционирования дорог, выбора оптимизирующих оценки критериев апробируется на системных и доказуемых примерах.**

Ключевые слова: модернизация, научно-технический прогресс, автоматизированные системы управления, укрупнённая железная дорога, методика, подходы.

*Ивницкий Виктор Аронович – доктор физико-математических наук, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

**Т**енденцией реформирования железных дорог в мире [напр., 1] стали различные преобразования на основе стремительно прогрессирующих вычислительных средств и автоматизированных систем [напр., 2], направленные на повышение конкурентоспособности за счёт развития инфраструктуры [3], оптимизацию железнодорожной сети и транспортно-логистических узлов с учетом факторов доступности [4–9]. Для российских железных дорог при этом особую актуальность приобрела проблема реформирования дорог посредством их укрупнения.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть имеются  $N$  железных дорог и они последовательно пронумерованы от 1 до  $N$ . Междорожные корреспонденции описываются усреднённой матрицей  $B = ((b_{ij}))$  поездопотоков за сутки, где  $i$  – номер дороги отправления,  $j$  – номер дороги назначения,  $b_{ij}$  – средняя величина поездопотока с дороги отправления  $i$  на дорогу назначения  $j$ . Ставится задача укрупнения железных дорог для более эффективного управления поездопотоками. Материальной основой перестройки являются: 1) существенное развитие вычислительных средств, используемых на

Данные о смежности железных дорог

|    |                                                                                        |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Октябрьская – Московская – Северная                                                    |
| 2  | Московская – Октябрьская – Северная – Куйбышевская – Горьковская                       |
| 3  | Горьковская – Московская – Северная – Куйбышевская – Свердловская                      |
| 4  | Северная – Октябрьская – Горьковская – Московская                                      |
| 5  | Северо-Кавказская – Юго-Восточная – Приволжская                                        |
| 6  | Юго-Восточная – Московская – Приволжская – Куйбышевская                                |
| 7  | Приволжская – Куйбышевская – Северо-Кавказская – Юго-Восточная                         |
| 8  | Куйбышевская – Московская – Юго-Восточная – Приволжская – Южно-Уральская – Горьковская |
| 9  | Свердловская – Горьковская – Южно-Уральская – Западно-Сибирская                        |
| 10 | Южно-Уральская – Приволжская – Куйбышевская – Свердловская – Западно-Сибирская         |
| 11 | Западно-Сибирская – Южно-Уральская – Свердловская – Красноярская                       |
| 12 | Красноярская – Западно-Сибирская – Забайкальская                                       |
| 13 | Забайкальская – Красноярская – Восточно-Сибирская                                      |
| 14 | Восточно-Сибирская – Забайкальская – Дальневосточная                                   |
| 15 | Дальневосточная – Восточно-Сибирская                                                   |

железнодорожном транспорте, увеличение их количества, чтобы автоматизировать перевозочный процесс; 2) значительный рост автоматизированных систем управления, что позволяет ускорить выполнение операций транспортного обслуживания; 3) укрупнение полигона управления, объединение тем самым под единым началом большого числа объектов.

По большому счёту надо ставить в этом плане цель найти оптимальное число из имеющегося состава. В качестве критерия можно взять, к примеру, минимальный обмен поездами между дорогами или минимальную стоимость перевозки единицы веса груза при разных ограничениях, в том числе ограничении на объём грузовой работы. Но реализовать такой план весьма сложно. Поэтому ограничимся лишь поиском рационального метода нахождения укрупнённых железных дорог (УЖД).

К исходным данным для решения задачи УЖД относится матрица корреспонденций  $A = ((a_{ij}))$  (с  $i$ -й железной дороги на  $j$ -ю, включая и транзитные поездопотоки с дороги отправления на дорогу назначения за сутки). Должны соблюдаться прежде всего три требования:

1. Железные дороги, претендующие считаться укрупнёнными, обязаны иметь общие границы. То есть поезд, проходящий по УЖД, не может даже временно выходить за её границы на другие, ей подобные.

2. Укрупнение железных дорог не должно быть слишком малозначимым, чтобы

эффект от него был не очень заметен, и не может оказаться слишком большим, чтобы грозить потерей управляемости. Иными словами, укрупнение призвано соответствовать прогрессу вычислительных средств и автоматизированных систем, управляющих процессами перевозок, то есть отвечать современному растущему уровню руководства.

3. Все УЖД по своим масштабам не должны резко отличаться друг от друга.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ

Введём показатель «суммарный обмен поездопотоками внутри одной УЖД». Исходя из его смысла, укрупнённые дороги не должны слишком отличаться друг от друга: максимум показателя по всем УЖД не может превышать его же минимум в 1,5–1,9 раза. Это необходимо, чтобы условные партнёры и конкуренты работали в близких режимах, ибо добиться равенства показателя невозможно, потому что исходные дороги нельзя разрезать на части.

По атласу железных дорог для каждой из 15 (исключаем из рассмотрения Калининградскую железную дорогу) определяем смежные с ней (имеющие общие границы) и записываем эти данные в таблицу 1.

В качестве исходных данных используется междорожная шахматка грузопотоков за 2014 год. Далее сначала располагаем все дороги в порядке уменьшения суммарной погрузки – таблица 2, а потом относительно выгрузки – таблица 3.





Таблица 2

Таблица суммарной погрузки по железным дорогам

| Номер | Наименование железной дороги | Суммарная погрузка на дороге (число поездов в сутки) |
|-------|------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1     | Западно-Сибирская (Зсб)      | 117,1                                                |
| 2     | Свердловская (Свр)           | 68,4                                                 |
| 3     | Южно-Уральская (Юур)         | 55,8                                                 |
| 4     | Октябрьская (Окт)            | 52,4                                                 |
| 5     | Куйбышевская (Кбш)           | 50,7                                                 |
| 6     | Юго-Восточная (Ювс)          | 34,2                                                 |
| 7     | Московская (Мск)             | 34,1                                                 |
| 8     | Северная (Сев)               | 33,1                                                 |
| 9     | Красноярская (Крс)           | 31,9                                                 |
| 10    | Восточно-Сибирская (Всб)     | 28,93                                                |
| 11    | Приволжская (Прв)            | 28,9                                                 |
| 12    | Горьковская (Грк)            | 20                                                   |
| 13    | Северо-Кавказская (Скв)      | 16,9                                                 |
| 14    | Дальневосточная (Двс)        | 10,1                                                 |
| 15    | Забайкальская (Заб)          | 5,6                                                  |
|       | Суммарная погрузка на сети   | 588,13                                               |

Таблица 3

Суммарная выгрузка по железным дорогам

| Номер | Наименование железной дороги | Суммарная выгрузка на дороге (число поездов в сутки) |
|-------|------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1     | Октябрьская (Окт)            | 113,9                                                |
| 2     | Московская (Мск)             | 70,2                                                 |
| 3     | Северо-Кавказская (Скв)      | 61,3                                                 |
| 4     | Дальневосточная (Двс)        | 60,0                                                 |
| 5     | Свердловская (Свр)           | 36,2                                                 |
| 6     | Юго-Восточная (Ювс)          | 32,3                                                 |
| 7     | Южно-Уральская (Юур)         | 31,6                                                 |
| 8     | Северная (Сев)               | 25,4                                                 |
| 9     | Западно-Сибирская (Зсб)      | 23,7                                                 |
| 10    | Горьковская (Грк)            | 21,4                                                 |
| 11    | Приволжская (Прв)            | 16,8                                                 |
| 12    | Куйбышевская (Кбш)           | 15,6                                                 |
| 13    | Забайкальская (Заб)          | 12,0                                                 |
| 14    | Восточно-Сибирская (Всб)     | 10,7                                                 |
| 15    | Красноярская (Крс)           | 8,3                                                  |

**АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛИГОНОВ МЕЖДОРОЖНЫХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ**

1. Назовём количество поездов в сутки по данным междорожной шахматки поездопотоков. Поездопоток – это вектор, состоящий из трёх компонент: число поездов в сутки, наименование дороги отправления, наименование дороги назначения.

2. Расположим все элементы междорожной шахматки поездопотоков по убыванию числа поездов в сутки. Назовём получивший-

ся ряд последовательностью убывания поездопотоков.

3. Первый шаг – берём максимальный элемент этой последовательности. По строке, которая его содержит, определяем железную дорогу, которая его отправляет (пункт отправления), и по столбцу, в котором он находится, называем дорогу, куда он следует (пункт назначения).

4. По таблице 1 смежности железных дорог и атласу находим кратчайший маршрут следования (в км) от дороги отправления до дороги назначения. Для краткости назовём

его полигоном междорожных корреспонденций поездопотоков, а поток поездов, следующий по этому маршруту, начальным поездопотоком от дороги отправления до дороги назначения.

5. По междорожной шахматке находим поездопотоки, следующие по маршруту начального поездопотока (возможно, частями по промежуточным дорогам). Назовём такие промежуточными поездопотоками.

6. Возможны поездопотоки, которые по кратчайшему пути следуют на дорогу назначения через дорогу отправления. Назовём эти поездопотоки попутными.

7. Беря начальный поездопоток со всеми его промежуточными и попутными вариантами, получаем суммарный поездопоток от дороги отправления до дороги назначения, который можно считать мощностью полигона междорожных корреспонденций.

8. Константируем: выделен полигон междорожных корреспонденций поездопотоков на направлении «дорога отправления — дорога назначения» и определена его мощность для максимального элемента междорожной шахматки поездопотоков.

9. Второй шаг — берём следующий по величине элемент последовательности убывания поездопотоков при условии, что он не входит в полигон, определяемый максимальным элементом междорожной шахматки поездопотоков. Это же условие должно соблюдаться и для всех последующих выбираемых элементов междорожной шахматки. Кроме того, следующий по величине элемент последовательности убывания поездопотоков берётся при условии, что его дорога назначения не является для него смежной.

10. Повторяя для обозначенного элемента пункты 3–6 приведённого алгоритма, находим следующий полигон междорожных корреспонденций поездопотоков на направлении «дорога отправления — дорога назначения» и его мощность и т.д.

11. Располагаем мощности полигонов междорожных корреспонденций поездопотоков на направлении «дорога отправления — дорога назначения» в порядке убывания.

12. Задавая порог мощности, ниже которого учитывать мощности полигонов нецелесообразно, выделяем значимые полигоны междорожных корреспонденций, которые будут далее учитываться при формировании укрупнённых железных дорог.

## АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ УЖД

1. Сначала рассмотрим случай сети железных дорог, в которой есть ветвь, представляющая собой одну линию, по которой последовательно располагаются железные дороги. На этой линии каждая дорога имеет только две смежные дороги, а именно, дорога, ей предшествующая, и дорога, расположенная после неё. Если эта линия подходит к границе сети, то последняя дорога имеет только предшествующую ей дорогу. Назовём такое расположение дорог линейным. Тогда полигон междорожных корреспонденций поездопотоков для линейного расположения дорог можно выделить в одну или несколько укрупнённых железных дорог. Это зависит от мощности такого полигона. Если мощность соответствует современным автоматизированным системам, управляющим перевозками, и качество потенциальных руководителей удовлетворяет требованиям, предъявляемым к руководителям УЖД, то целесообразно выделить этот полигон в одну укрупнённую железную дорогу. Если же мощность в разы превышает возможности качественного управления, то полигон стоит разделить на несколько УЖД.

2. Перейдём к рассмотрению ветвей сети железных дорог, которые содержат в себе несколько линий. В этом случае анализируем дороги назначения. Если на одну такую крупную дорогу следует значительная часть поездопотоков с разных достаточно крупных железных дорог, но смежных между собой, то они могут войти в состав одной укрупнённой, если та удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ней и её будущему руководителю.

3. Укрупнённая железная дорога может иметь поездопотоки не только на одну, но и на несколько дорог назначения.

4. Ни одна из рассматриваемых железных дорог не может входить в состав двух и более укрупнённых железных дорог.

5. Пункт 4 требует тщательного рассмотрения, так как здесь возможны разные варианты вхождения железной дороги в состав той или иной укрупнённой железной дороги.

6. Наиболее подходящим вариантом вхождения железной дороги в состав укрупнённой является тот вариант, при котором максимизируется суммарное количество внутренних поездопотоков, входящих в каждую укрупнённую железную дорогу.





## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ПОЛИГОНОВ

1. Составим перечень элементов в междорожной шахматке поездопотоков по убыванию их величин:  $Зсб \rightarrow Двс = 30$ ,  $Зсб \rightarrow Окт = 27$ ,  $Свр \rightarrow Окт = 21,7$ ,  $Сев \rightarrow Окт = 18,6$ ,  $Зсб \rightarrow Мск = 18,3$ ,  $Юур \rightarrow Свр = 17,8$ ,  $Прв \rightarrow Сскв = 14,2$ ,  $Окт \rightarrow Сев = 13,2$ ,  $Зсб \rightarrow Ювс = 12,6$ ,  $Кбш \rightarrow Сскв = 11,4$ ,  $Ювс \rightarrow Мск = 11,4$ ,  $Юур \rightarrow Кбш = 10,6$ ,  $Кбш \rightarrow Окт = 10,4$ ,  $Мск \rightarrow Окт = 9,6$ ,  $Ювс \rightarrow Сскв = 9,1$ ,  $Зсб \rightarrow Юур = 8,9$ ,  $Грк \rightarrow Окт = 8,4$ . Здесь цифра указывает, сколько в этом направлении ежедневно в среднем уходит поездов.

2. Найдём максимальный элемент в междорожной шахматке поездопотоков. В соответствии с пунктом 3 алгоритма им является поездопоток  $Зсб \rightarrow Двс$ . Начальный поездопоток на направлении — 30 поездов в сутки. Промежуточные поездопотоки составляют  $26,6 + 10,9 = 37,5$  поездов, попутные со всех дорог, кроме  $Зсб$ ,  $Крс$ ,  $Всб$ ,  $Заб$ , следуют на  $Двс$  через  $Зсб$ , и они набирают 13,9 поездов в сутки. Тогда мощность поездопотока  $Зсб \rightarrow Двс$ :  $30 + 37,5 + 13,9 = 81,4$  состава в сутки.

3. Следующий по убыванию элемент в междорожной шахматке поездопотоков — 27 поездов в сутки. В соответствии с пунктом 3 алгоритма — это  $Зсб \rightarrow Окт$ . Промежуточные поездопотоки:  $Юур \rightarrow Окт = 4,7$ ;  $Свр \rightarrow Окт = 21,7$ ;  $Грк \rightarrow Окт = 8,4$ ;  $Сев \rightarrow Окт = 18,6$ ;  $Зсб \rightarrow Грк = 1,5$ ;  $Зсб \rightarrow Сев = 2,3$ ;  $Юур \rightarrow Грк = 4,1$ ;  $Юур \rightarrow Сев = 1,2$ ;  $Свр \rightarrow Грк = 5$ ;  $Свр \rightarrow Сев = 2,3$ . Суммарный промежуточный поездопоток — 70 поездов в сутки. Попутный поездопоток — 2,6. И тогда мощность поездопотока  $Крс$ ,  $Зсб$ ,  $Юур$ ,  $Свр \rightarrow Грк$ ,  $Сев$ ,  $Окт$  будет составлять  $27 + 70 + 2,6 = 99,6$  поездов в сутки.

4. В соответствии с п. 9 алгоритма выделения полигонов междорожных корреспонденций поездопотоки  $Свр \rightarrow Окт$  (21,7),  $Грк \rightarrow Окт$  (8,4),  $Сев \rightarrow Окт$  (18,6) уже нельзя использовать. Следующий по убыванию элемент — 18,3 поездов в сутки. В соответствии с пунктом 3 алгоритма — это  $Зсб \rightarrow Мск$ . Промежуточные поездопотоки:  $Юур \rightarrow Мск = 3,6$ ,  $Свр \rightarrow Мск = 6,0$ ,  $Юур \rightarrow Кбш = 10,6$ ,  $Кбш \rightarrow Мск = 3,5$ . В сумме имеем 23,7. Попутные поездопотоки:  $Крс$ ,  $Всб$ ,  $Заб$ ,  $Двс \rightarrow Мск = 5,3$ . Тогда мощность поездопотока  $Зсб \rightarrow Мск$ :  $18,3 + 23,7 + 5,3 = 47,3$  поездов в сутки.

5. Следующие элементы по убыванию  $Юур \rightarrow Свр = 17,8$ ,  $Прв \rightarrow Сскв = 14,2$ ,  $Окт \rightarrow Сев = 13,2$  нельзя использовать в силу п. 9 алгоритма выделения полигонов. Остаётся брать элемент  $Зсб \rightarrow Ювс$ . Начальный поездопоток здесь 12,6. Промежуточный суммарный:  $1,8 + 1,3 + 2,3 = 5,4$ . Попутный суммарный: 0,3. Мощность поездопотока  $Зсб \rightarrow Ювс$  составляет 18,3. Далее, поскольку  $Ювс$ ,  $Прв$   $Сскв$  смежные между собой, целесообразно рассматривать суммарный поток с  $Зсб$  на полигон  $Ювс$ ,  $Прв$  и  $Сскв$ . Тогда остаётся найти мощности поездопотоков  $Зсб \rightarrow Сскв$  и  $Зсб \rightarrow Прв$  и прибавить их к мощности поездопотока  $Зсб \rightarrow Ювс$ . В итоге получаем:  $18,3 + 30,7 + 6,9 = 55,9$ .

6. Следующие элементы по убыванию:  $Кбш \rightarrow Сскв = 11,4$  уже использовался в п. 5;  $Ювс \rightarrow Мск = 11,4$  входит в поток  $Юг \rightarrow Мск$ , который равен 18,5, т.е. слишком мал по сравнению с другими поездопотоками;  $Юур \rightarrow Кбш = 10,6$  есть в полигоне п. 4. Тогда на очереди  $Кбш \rightarrow Окт$ . Он входит в полигон ( $Юг$ —Северо-Запад):  $Сскв$ ,  $Прв$ ,  $Ювс$ ,  $Мск$ ,  $Кбш \rightarrow Окт$ ,  $Сев$ . Сначала рассмотрим суммарный поездопоток  $Сскв$ ,  $Прв$ ,  $Ювс$ ,  $Мск$ ,  $Кбш \rightarrow Окт$ :  $9,6 + 10,4 + 0,7 + 2,8 + 5,4 = 28,9$ . Затем  $Сскв$ ,  $Прв$ ,  $Ювс$ ,  $Мск$ ,  $Кбш \rightarrow Сев$ :  $1,6 + 0,4 + 1,8 + 0,7 + 1,3 = 5,8$ . Суммарный поездопоток равен 34,7.

7. Фиксируемые поездопотоки между тремя смежными дорогами  $Сскв$ ,  $Прв$ ,  $Ювс$  (полигон  $Юг$ ) составляют 36,8 поездов/сутки. Через полигон проходит также часть междорожного поездопотока полигона  $Юг$ —Центр ( $Сскв$ ,  $Прв \rightarrow Сев$ ,  $Окт$ ) и полигона Восток—Юго-Запад ( $Крс$ ,  $Зсб$ ,  $Юур \rightarrow Сскв$ ,  $Ювс$ ). Всего междорожных корреспонденций 72,6 поездов/сутки.

8. В среднем поездопотоки между тремя смежными дорогами  $Зсб$ ,  $Юур$ ,  $Свр$  составляют 43 поездов/сутки. Через полигон также следуют корреспонденции направлений:  $В$ — $СЗ$  ( $Крс$ ,  $Зсб \rightarrow Окт$ ,  $Зсб \rightarrow Грк$ ,  $Зсб \rightarrow Сев$ ,  $Юур \rightarrow Грк$ ,  $Юур \rightarrow Сев$ ) = 38,7;  $В$ — $Ц$  ( $Крс$ ,  $Зсб \rightarrow Мск$ ,  $Кбш$ ) = 51,2;  $В$ — $ЮЗ$  ( $Крс$ ,  $Зсб \rightarrow Прв$ ,  $Сскв$ ,  $Ювс$ ) = 39,5. Всего междорожных корреспонденций — 129,4 поездов/сутки.

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА УЖД

1. Объединяем два поездопотока: 1) восток (В) на северо-запад (СЗ) европейской

части России — Крс, Зсб, Юур, Свр→Грк, Сев, Окт; 2) восток (В) в центр (Ц) европейской части России — Крс, Зсб, Юур, Свр, Кбш→Мск. Это целесообразно потому, что исходные дороги почти те же самые, только из второго поездопотока добавляется Кбш. Ещё изменение: в конечные дороги из второго поездопотока добавляется Мск. Оба варианта достаточно естественные. Тем более, что поток с Зсб на Окт немного проходит и по Мск. В этом плане Мск всё-таки связана с Грк, Сев, Окт, в том числе она граничит со всеми тремя дорогами.

Объединённый поездопоток из исходных дорог Крс, Зсб, Юур, Свр, Кбш на конечные дороги будет иметь мощность 97,8 для первого поездопотока и 36,7 для второго (общая мощность составляет  $134,5+62,2$  (внутренний поездопоток между Зсб, Юур, Свр, Кбш) = 196,7). К преимуществу такого подхода относится то обстоятельство, что в результате можно сформировать две сильные укрупнённые дороги: первая состоит из исходных дорог Зсб, Юур, Свр, Кбш, а вторая — из конечных дорог Мск, Грк, Сев, Окт. Вместе они будут обслуживать самый крупный поездопоток на территории Российской Федерации. Внутренний обмен поездопотоками для первой составляет 66,4, для второй — 44,0.

2. Следующий по мощности полигон Зсб→Двс:  $31,4 + 35,5 + 3,9 = 70,8$  поездов в сутки (Зсб, Крс, Всб, Заб, Двс). Так как Зсб уже попала в первую укрупнённую, то она удаляется, и третья укрупнённая железная дорога получает себе Крс, Всб, Заб, Двс. Её внутренний обмен поездопотоками 40,8 поездов в сутки, а общий — 111,6.

3. Ещё один полигон — Зсб, Свр, Юур, Кбш→Прв, Скв, Ювс — имеет мощность поездопотока  $18,3 + 30,7 + 6,9 = 55,9$ . Четвёртую укрупнённую железную дорогу формируем в составе Прв, Скв, Ювс. Междорожные корреспонденции внутри неё — 36,8 поездов в сутки. В сумме получаем 92,7.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен рациональный метод решения важной в настоящее время проблемы — укрупнения железных дорог, ко-

торое необходимо производить в связи: а) с существенным развитием как вычислительных средств, используемых на железнодорожном транспорте, так и увеличением их количества; б) со значительным ростом доли автоматизированных систем, управляющих процессами перевозок; в) с укрупнением полигонов управления, совершенствованием ресурсной базы производства.

Метод нахождения рациональных форм организации транспортных структур основан на использовании матрицы междорожных поездопотоков, алгоритмов выделения полигонов корреспонденций, дающих возможность обоснованно выбирать варианты укрупнённых железных дорог.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рачек С. В. Зарубежный опыт реформирования железных дорог // Известия Уральского государственного экономического университета.— 2013.— № 6.— С. 62—66.
2. Wenzel, B. Digitale Planungsprozesse für die Bahnausrüstungstechnik — Barrieren und Ansätze. *Signal + Draht*, 2016, 108, № 7–8, pp. 6–10.
3. Smith, K., Vosman, Q. SZDC delivers big improvements to Czech network. *International Railway Journal*, published September 07, 2015 [Электронный ресурс]: <https://www.railjournal.com/index.php/europe/szdcdelivers-big-improvements-to-czech-network.html>. Доступ 04.08.2017.
4. Jiao Jingjuan, Wang Jiaoe, Jin Fengjun, Dunford, M. Impacts on accessibility of China's present and future HSR network. *Journal of Transport Geography*, Vol. 40, October 2014, pp. 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.07.004>.
5. Qi Yuanjing, Jin Fengjun, Liu Tao, Jiao Jingjuan. Implementation methods and economic impacts of national node strategies. *Journal of Geographical Sciences* [Acta Geographica Sinica], 2016, Vol. 71 (12), pp. 2103–2118. DOI: 10.11821/dlxb201612003.
6. Jin Fengjun, Jiao Jingjuan, Qi Yuanjing, Yang Yu. Evolution and geographic effects of high-speed rail in East Asia: An accessibility approach. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, Vol. 27, Issue 5, pp. 515–532. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1390-8>.
7. Rotoli, F., Malavasi, G., Ricci, S. Complex railway systems: capacity and utilization of interconnected networks. *European Transport Research Review*, 2016, Vol. 8, 8: 29. DOI 10.1007/s12544-016-0216-6.
8. Rotoli, F., Ricci, S., Navajas Cawood, E., Malavasi, G. Capacity versus punctuality assessment procedures and accessibility measures for rail networks. *Ingegneria Ferroviaria*, 2015, Iss. 12, pp.1011–1040.
9. Ricci, S., Luptak, V., Chovancová, M. Baseline Model to Increase Railway Infrastructure Capacity on a Single-Track Section: a Case Study. *Scientific Journal on Transport and Logistics*, Vol. 8, Iss. 2, pp. 69–80, ISSN (Online) 2336–3037, DOI: <https://doi.org/10.1515/logi-2017-0018>.

Координаты автора: **Ивницкий В. А.** – [ivnitsky.viktor@vniizht.ru](mailto:ivnitsky.viktor@vniizht.ru).

Статья поступила в редакцию 11.04.2017, принята к публикации 04.12.2017.

