

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ ПРИГОРОДНО-ГОРОДСКИХ ПОЕЗДОВ НА РАЗВЕТВЛЕННЫХ УЧАСТКАХ ПО КАЖДОМУ ИЗ ВОЗМОЖНЫХ МАРШРУТОВ

DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-11-39-45

Manuscript received 10 July 2020

Revised 21 July 2020;

Accepted 14 September 2020

Шмаль Вадим Николаевич,Российский университет транспорта, Москва, Россия,
vadim@shmal.tk**Айсина Лилия Ринатовна,**Российский университет транспорта, Москва, Россия,
aysina@mail.ru

Ключевые слова: генетический алгоритм, "вилочное" движение, железнодорожный транспорт, пригородные пассажирские перевозки, пригородно-городские пассажирские перевозки

Рассматривается проблема организации движения поездов на участках с ответвлениями, анализируются возможные отдельные маршруты на "стволовом" и "ответвленных" участках, а также маршруты с вилочным движением. К элементам научной новизны относится представленная разработка математической модели, учитывающей интересы пассажиров в качестве предоставляемого сервиса и пассажирских компаний с экономической точки зрения при организации движения пригородно-городских поездов на участках с ответвлениями. Актуальность исследования заключается в недостаточном раскрытии вопросов организации движения поездов на линиях с ответвлениями в существующей теоретической базе. Отсутствие четких требований к организации работы таких линий приводит к эмпирическим решениям при эксплуатации подобных объектов. Придерживаясь цели обеспечения комфортных условий сервиса для пассажиров и учета экономических аспектов в интересах пригородных компаний, в качестве целевой функции задается минимизация разницы пробега пустых мест (как условие, отражающее интересы пригородной компании) и перенаселенности состава (в качестве критерия, обеспечивающего комфортные условия поездки для пассажира). Для решения поставленной задачи авторы предлагают использовать генетический алгоритм, как инструмент, позволяющий производить направленный перебор конкурентоспособных вариантов. В статье описана методика применения генетического алгоритма, формирование "родительских" вариантов и вариантов "потомства", соблюдение ряда ограничений и ранжирование вариантов потомства для отбора лучших "особей". Прежде чем апробировать предлагаемую методику на реальном примере, авторами производится предварительный анализ для выявления возможных "узких" мест и недостатков, требующих доработки. Возможность применения математической модели и генетического алгоритма для нахождения оптимального (или близкого к оптимальному) варианта организации движения на линии с ответвлениями рассматривается на произвольном примере. Представленные расчеты могут производиться в любом аналитическом программном комплексе. В рамках исследования, поиск оптимального варианта организации движения на линии с ответвлениями производился в продукте MS Excel. Успешное проведение расчетов на произвольном варианте с использованием предлагаемой математической модели и генетических алгоритмов, как инструмента, позволяющего определить оптимальный (или наиболее близкий к оптимальному) вариант организации движения, позволяет предполагать возможность проведения расчетов с учетом реальных исходных данных для пригородных направлений железнодорожных узлов, имеющих линии с ответвлениями.

Информация об авторах

Шмаль Вадим Николаевич, к.т.н., доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия

Айсина Лилия Ринатовна, аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия

Для цитирования:

Шмаль В.Н., Айсина Л.Р. Поиск оптимального решения для назначения пригородно-городских поездов на разветвленных участках по каждому из возможных маршрутов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Том 14. №11. С. 39-45.

For citation:

Shmal V.N., Aysina L.R. (2020) Search for the optimal solution for assigning suburban-urban trains on branched lines on each of the possible routes. T-Comm, vol. 14, no. 11, pp. 39-45. (in Russian)

Железнодорожные линии транспортных узлов могут быть радиальными, диаметрными и кольцевыми. Радиальные и диаметрные линии могут иметь разветвления для возможности предоставления транспортных услуг на более обширных территориях.

Существует множество исследований в части поиска оптимальных решений для организации движения на радиальных и диаметрных железнодорожных линиях. Однако, вопросы организации движения и определение оптимальности различных критериев линий с ответвлениями недостаточно освещены в исследованиях российских и зарубежных ученых.

В статье рассматривается линия с ответвлениями как частный случай радиальной железнодорожной линии.

В максимально упрощенном виде радиальная железнодорожная линия может быть представлена в виде отрезка (рис. 1), где А и В – конечные станции.



Рис. 1. Упрощенное изображение радиальной железнодорожной линии

Так же могут быть усложненные радиальные линии с развилками, где a, b, ..., n – конечные пункты на ответвлениях (рис. 2).

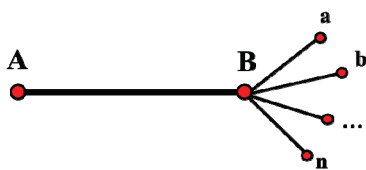


Рис. 2. Упрощенное изображение радиальной железнодорожной линии с ответвлениями

Количество ответвлений, отходящих от основного «ствола» АВ может быть различным, но наиболее распространены случаи с количеством ответвлений, равным 2.

Для случая, представленного на рисунке 1, пропускная способность участка может выражаться в поездах (парах поездов) в сутки, час и др.

Для линий с интенсивным пригородно-городским движением электропоездов, наиболее важным является освоение пассажиропотока в «пиковые» периоды. Поэтому в дальнейших расчетах будет фигурировать значение часовой пропускной способности линии для оценки возможности движения в «часы пик». Оснащение и организация технологии работы линии, позволяющие осваивать перевозки в «пиковые» периоды смогут осваивать и «непиковые» периоды.

На линии-отрезке АВ (см. рисунок 1), требуемое количество поездов в час может быть определено следующим образом [1], [2]:

$$N = \frac{Q}{\Delta t \cdot V} \quad (1)$$

где:

N – количество поездов в час;

Q – значение максимального пассажиропотока за один час пикового периода;

Δt – вместимость транспортного средства;

V – принятое значение межпоездного интервала;

Δt – максимальное количество транспортных средств в час.

Межпоездной интервал (V) задается с учетом применяемых средств интервального регулирования (СИР).

Значение пассажиропотока – прогноз спроса на перевозки конкретным видом транспорта;

Δt – вместимость транспортного средства, зависит от принятого подвижного состава и количества вагонов в нем.

Если $N > N_{max}$, то N фактически может быть принято как — или быть меньше, в зависимости от потребного освоения пассажиропотока.

Если $N < N_{max}$, то необходимо понимать, что линия не способна пропустить количество поездов, равное отношению $N_{max} - N$. В таком случае необходимо искать решения по повышению пропускной или провозной способности линии. Значение пассажиропотока (Q), так же как и параметр b_0 являются константой. Остаются переменные Δt и V . Необходимо понимать, что уменьшение параметра V потребует модернизацию СИР, что является весьма дорогостоящим. Остается параметр Δt . Изначально можно увеличивать число вагонов до тех пор, пока неравенство не станет принимать следующий вид: $N > N_{max}$. Однако, существует ограничение, связанное с длиной пассажирских платформ на участке. Если при предельном увеличении количества вагонов в составе не удалось прийти к соблюдению неравенства $N < N_{max}$, необходимо заменить применяемый подвижной состав.

Если рассматривать пропускную способность линии с «вилочным» движением, необходимо понимать, что количество поездов, направляемых на ответвления, зависит от количества поездов на основном участке.

Есть частные мнения ученых и реальные случаи применения принудительной пересадки на станции стыкования (станция В, рис. 2). Подобный опыт реализуется в железнодорожном узле Измира (Турция). Принудительная пересадка сопровождается оборотом поездов на каждом из ответвлений и основном стволе (рис. 3).

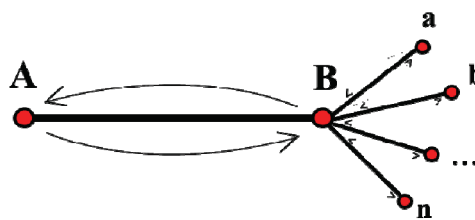


Рис. 3. Упрощенное изображение схем оборота поездов на линии с ответвлениями при «принудительной пересадке на зонной станции «В»

Безусловно, подобное решение позволит организовать комфортный интервал для отдельных участков. Но в случае возможного сбоя в движении может быть нарушен вывоз пассажиров на удаленные участки. Так же, в данном случае увеличивается загрузка мощностей зонной станции В (рис. 2), повышаются капитальные и эксплуатационные затраты на ее обслуживание. К тому же, каждое ответвление вынуждено будет эксплуатировать только подвижной состав, обращающийся именно на этой линии, не включая

данные составы в общий график оборота. Так же стоит понимать, что велика вероятность снижения величины пассажиропотока при необходимости осуществления вынужденной пересадки.

Для того, чтобы оценить различные варианты организации движения на разветвленном участке будут проанализированы отдельные маршруты на «стволовом» и «ответвленных» участках, а также маршруты с вилочным движением.

На линии с «вилочным» движением пропускная способность каждого ответвления так же должна обеспечить освоение пассажиропотока. Суммарное количество поездов, следующих маршрутами $Aa, Ab, A\dots, An$ не должно превышать значение пропускной способности «стволового» участка АВ. Так же логично предположить, что на ветках значение величины пассажиропотока меньше, чем на участке АВ. Поэтому, необходимо предусмотреть оборот поездов на станции В.

Для того, чтобы определить количество поездов, оборачиваемых по станции В, а, b, ..., n необходимо определить пропускную способность участка АВ. При этом, значение Π_n должно быть представлено в виде густоты пассажиропотока.

Количество ниток поездов на ответвлениях при равных значениях пассажиропотока на каждом ответвлении в самом примитивном случае, при отсутствии оборота на зонной станции В может быть найдено как N/j , где j – количество ответвлений от основного ствола. Но на практике, значение пассажиропотока на каждом из ответвлений могут отличаться друг от друга. Поэтому, отношение N/j должно быть откорректировано, в зависимости от значений величины пассажиропотока на каждом из ответвлений.

Количество ниток поездов, прокладываемых на ответвления, должны относиться друг к другу так же, как относятся друг к другу значения соответствующих пассажиропотоков.

$$\frac{N_{Ba}}{N_{Bb}} = \frac{\Pi_{Pa}}{\Pi_{Pb}}; \frac{N_{Ba}}{N_{Bn}} = \frac{\Pi_{Pa}}{\Pi_{Pn}}; \dots \text{ и т. д.}$$

Если на каком-либо из ответвлений значение величины пассажиропотока значительно больше, чем на остальных, соответственно потребное количество ниток будет больше, чем на других с таким же соотношением. В таком случае, необходимо определять оптимальный набор «схем» и порядков чередования назначений в них. В качестве «схемы» понимается набор конечных станций для маршрутов поездов.

Если количество потребных поездов в час >1 , то необходимо выдерживать определенный интервал между такими поездами на ответвлениях. Так, если в частном случае, количество потребных ниток составит 2, то оптимальным интервалом между ними будет 30 минут, при трех нитках – 20 минут и так далее.

Определение количества поездов различных назначений на участках с разветвлением

Недостаточное уделение внимания вопросу организации пассажирского движения на линиях с ответвлениями в научных исследованиях способствует к эмпирическому принятию решений на практике, что может привести к неудовлетворению спроса на услуги перевозки, предоставлению некомфортного сервиса, созданию некомфортных условий

пригородными компаниями для присутствия на конкретном сегменте рынка.

Пассажирский транспорт играет социальную роль в любой агломерации. Однако бесконечное количество назначаемых поездов может негативно сказаться на финансовых показателях оператора подвижного состава. Поэтому необходимо учитывать интересы всех сторон при определении количества назначаемых поездов на каждое из направлений [3].

Для пассажиров должны быть предоставлены места в салоне подвижного состава. Для пригородной компании (оператора подвижного состава) невыгодно запускать поезда, заполняемость которых невысока.

Для решения поставленной задачи сформирована математическая модель. В качестве целевой функции задается минимизация пробега пустых мест и перенаселенности состава.

$$F = \sum_i |\sum_j \delta_{ij} l_i M_j - l_i \Gamma_i| \min, \quad (2)$$

где: j – поездное назначение;

i – номер участка;

M_j – количество предоставляемых пассажирам мест в поезде назначения j ;

l_i – длина i -го участка;

Γ_i – густота пассажиропотока на i -м участке;

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если поезд } j \text{ - го назначения следует по } i \text{ - му участку,} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Количество предоставляемых пассажирам мест в поезде назначения i определяется следующим образом:

$$M_j = \sum_k x_j m_{jk} \quad (3)$$

где: k – конфигурация пассажирского вагона;

x_j – количество поездов с j -м назначением;

m_{jk} – количество предоставляемых мест во всех вагонах поезда j -го направления.

Таким образом, целевая функция (2) принимает следующий вид:

$$F = \sum_i |\sum_j (\delta_{ij} l_i \sum_k x_j m_{jk}) - l_i \Gamma_i| \min, \quad (4)$$

У целевой функции необходимо учитывать ряд ограничений.

Ограничение, связанное с пропускной способностью линии:

$$\sum_j \delta_{ij} x_j \leq \frac{60}{l_j}, \quad (5)$$

где l_i – значение межпоездного интервала на i -м участке;

ограничение, связанное с провозной способностью линии:

$$x_j \geq 0; \quad x_j \leq \left\lfloor \frac{\max \{ \delta_{ij} \Gamma_i \}}{\sum_k m_{jk}} \right\rfloor, \quad (6)$$

ограничение, связанное с возможностью оборота подвижного состава на зонной станции:

$$\sum_j x_{jr} \leq \frac{N_{\text{путей } r} * 60}{t_{\text{приема } r} + t_{\text{оборота } r} + t_{\text{отправления } r}}, \quad (7)$$

где: r – станция оборота;

x_{jr} – количество поездов j -го назначения, оборачиваемых на станции r ;

$N_{\text{путей}}$ – количество оборотных путей на станции оборота r ;

60 – количество минут в одном часе;

$t_{\text{приема}}$ – время, необходимое для приема поезда;
 $t_{\text{оборота}}$ – время, необходимое для выполнения оборота подвижного состава;

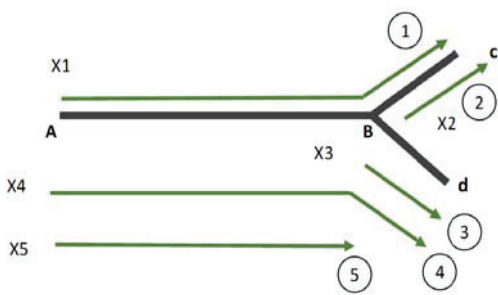
$t_{\text{отправления}}$ – время, необходимое для отправления поезда со станции.

Таким образом, для организации пассажирского движения на железнодорожном транспорте должен соблюдаться ряд условий, учитывающих интересы пассажиров и пригородных компаний.

Из-за большой размерности задачи, нахождение оптимального решения путем перебора всех возможных вариантов, является затруднительным.

Для решения данной задачи, авторами данного исследования предлагается использование генетического алгоритма, как инструмента, позволяющего производить направленный перебор конкурентоспособных вариантов [4], [5].

Возможность применения генетического алгоритма для нахождения оптимального (или близкого к оптимальному) варианта организации движения на линии с ответвлениями рассмотрена на произвольном примере (рис. 4).



Условные обозначения

- A, B, c, d Возможные конечные станции
- ① Порядковый номер возможного маршрута движения поездов
- X1 Количество поездов, назначаемых в один час «пикового» периода по определенному маршруту

Рис. 4. Возможные маршруты следования поездов на линии с двумя ответвлениями

Для линии с двумя ответвлениями заданы следующие произвольные исходные данные:

Протяженность участка «AB» составляет 30 км, «BC» – 12 км, «Bd» – 10 км.

Максимальное значение густоты пассажиропотока на участке «AB» составляет 5000 пасс/час, «BC» – 1500 пасс/час, «Bd» – 1200 пасс/час.

Минимальный межпоездной интервал на любом участке 10 минут.

Время оборота подвижного состава на зонной станции – 15 минут.

Количество оборотных путей на станции «B» – 2, «c» – 1, «d» – 1.

На линии обращаются подвижные составы унифицированной длины, включающие в себя 2 головных вагона, с вместимостью 100 пассажиров и 5 прицепных вагонов, с вместимостью 130 пассажиров в каждом. Таким образом, суммарная вместимость состава в примере составляет 850 пассажиров.

«X1» – «X5» отражают возможное количество поездов в час на конкретном маршруте.

В начале решения формируется множество из десяти возможных решений. Каждое решение представляет собой хромосому из последовательности генов (количества поездов на каждом из маршрутов).

Изначальное ограничение по максимальной пропускной способности необходимо учесть, для более быстрого поиска оптимального решения.

Таким образом, первоначальная «популяция», состоящая из 10 вариантов может состоять из наборов, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Набор «родительских» вариантов для запуска генетического алгоритма

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5
1		2	1	2	2
2		0	1	2	2
3		0	2	0	0
4		2	1	0	5
5		1	1	0	6
6		1	1	1	4
7		2	1	0	4
8		2	1	1	4
9		0	0	0	6
10		0	0	0	0

Далее каждый вариант проверяется на соответствие заданным ограничениям.

Помимо того, что количество поездов в час не может превышать 6, необходимо проверить возможность оборота составов на зонной станции «B» или конечных станциях ответвлений.

Ограничение проверяется по формуле (7) и с учетом исходных данных о количестве путей для оборота и времени оборота, обозначенном в исходных данных примера. Таким образом, имеем следующее ограничение по максимальному обороту поездов на станциях:

$$B - 8 \text{ поездов в час; } c \text{ и } d - \text{ по } 4 \text{ поезда в час.}$$

Ограничения по провозной способности линии для маршрутов, зависящие от вместимости подвижного состава и максимального значения густоты пассажиропотока приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ограничения по количеству поездов в час на каждом из рассматриваемых маршрутов в зависимости от провозной способности участков

X1	X3	X4	X5
6	2	6	6

Расчет может производиться в любом аналитическом программном комплексе. В рамках исследования, поиск оптимального варианта организации движения на линии с ответвлениями, производился в продукте MS Excel.

После формирования десяти «родительских» вариантов, каждый был проверен на соблюдение ограничений. Факт соблюдения конкретным значением «X» варианта количества поездов на определенном маршруте помечался цифрой «0», факт несоответствия ограничению – цифрой «1».

После проверки каждого маршрута по отдельности, производилась проверка на общее соответствие варианта ограничениям. Для этого суммировались все значения проверок. Если в сумме получалось значение «0» - вариант количества поездов на маршрутах проходил ограничения, в случае присвоения соответствующей ячейке значения, отличного от «0», вариант признавался не прошедшим проверку на соблюдение ограничений. Так же, для каждого варианта рассчитывалось значение целевой функции для того, чтобы затем получить сумму десяти лучших вариантов и сравнить значение с последующим или предыдущим поколением. Визуализация отображения соблюдения ограничений каждым вариантом представлена на рис. 5.

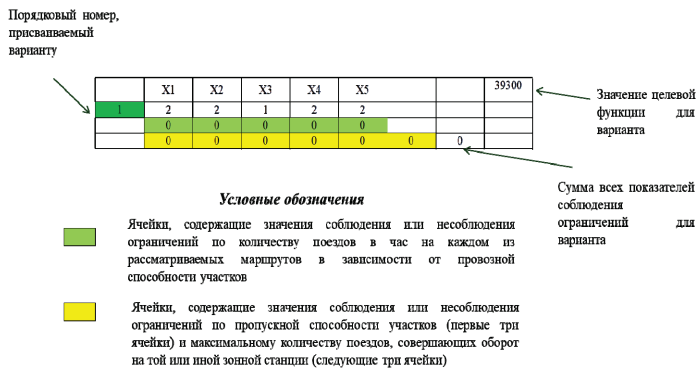


Рис. 5. Формирование и отображение данных соблюдения ограничений каждым вариантом в MS Excel

Проверка на соблюдение ограничения количества поездов в час на каждом из рассматриваемых маршрутов, в зависимости от провозной способности участка, производится следующим образом: если значение проверяемой ячейки меньше либо равно соответствующему ограничению из таблицы 2, то нижней ячейке присваивается значение «0», в противном случае – «1». Таким образом, под каждой ячейкой, содержащей информацию о количестве поездов в час на маршруте, заполняется ячейка, содержащая информацию о соблюдении данного ограничения (рис. 6).

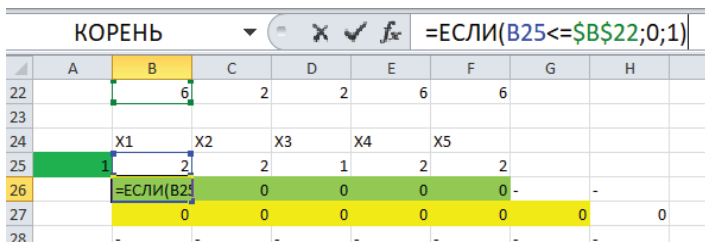


Рис. 6. Пример отображения записи функции соблюдения ограничения количества поездов в час на маршруте 1, при X1 = 2

Первые три ячейки желтого сектора определяют соблюдение ограничения пропускной способности участка. Первая желтая ячейка отражает соблюдение ограничения пропускной способности участка АВ, вторая желтая ячейка – участка Вс, третья желтая ячейка – участка Вd соответственно. Оценка соблюдения ограничения производится с помощью суммирования количества поездов, чьи маршруты проходят по рассматриваемому участку.

Если сумма поездов меньше либо равна пропускной способности, ячейке присваивается значение «0», в противном случае – «1». Например, в варианте 1 (табл. 1, рис. 5), соблюдение ограничения пропускной способности проверяется следующим образом:

- первая желтая ячейка (участок АВ) – сумма количества поездов на маршрутах «1», «4» и «5» составляет 6; $6=6$, следовательно, ограничение соблюдено и ячейке может быть присвоено значение «0»;
- вторая желтая ячейка (участок Вс) – сумма количества поездов на маршрутах «1» и «2» составляет 4; $4<6$, следовательно, ограничение соблюдено и ячейке может быть присвоено значение «0»;
- третья желтая ячейка (участок Вd) сумма количества поездов на маршрутах «3» и «4» составляет 3; $3<6$, следовательно, ограничение соблюдено и ячейке может быть присвоено значение «0».

Проверка на соблюдение ограничения по максимальному количеству поездов для совершения оборота на зонной станции производится с учетом прохождения маршрутов через конкретную станцию. Соблюдение ограничения по каждой станции отражается в конкретной ячейке:

- четвертая желтая ячейка характеризует соблюдение ограничение максимального количества оборачиваемых поездов по станции «В». Как видно из рисунка 4, станция является конечной для маршрутов «2», «3» и «5». Суммарное количество поездов в час на этих маршрутах для варианта 1 составляет $2+1+2 = 5$. Согласно исходным данным для рассматриваемого примера, максимальное количество оборачиваемых поездов на станции «В» составляет 8 поездов в час. $5<8$, следовательно, ограничение соблюдается и ячейке присваивается значение «0»;

- пятая желтая ячейка характеризует соблюдение ограничение максимального количества оборачиваемых поездов по станции «с». Как видно из рисунка 4, станция является конечной для маршрутов «1» и «2». Суммарное количество поездов в час на этих маршрутах для варианта 1 составляет $2+2 = 4$. Согласно исходным данным для рассматриваемого примера, максимальное количество оборачиваемых поездов на станции «с» составляет 4 поезда в час. $4=4$, следовательно, ограничение соблюдается и ячейке присваивается значение «0»;

- шестая желтая ячейка характеризует соблюдение ограничение максимального количества оборачиваемых поездов по станции «d». Как видно из рисунка 4, станция является конечной для маршрутов «3» и «4». Суммарное количество поездов в час на этих маршрутах для варианта 1 составляет $1+2 = 3$. Согласно исходным данным для рассматриваемого примера, максимальное количество оборачиваемых поездов на станции «d» составляет 4 поезда в час. $3<4$, следовательно, ограничение соблюдается и ячейке присваивается значение «0»;

После проверки каждого значения количества поездов на маршруте на соблюдение ограничений, производится суммарная проверка варианта на соблюдение ограничений (рис. 5). Суммарная проверка представляет собой сравнение суммы значений ячеек зеленого и желтого цвета со значением «0» или «1». Если сумма всех значений ячеек зеленого и желтого цвета равняется «0», то этот вариант является конкурентоспособным, если же равняется «1» – то не конкурентоспособным в виду несоблюдения ограничений.

Для последующего анализа рассчитывается значение целевой функции. Значение присваивается ячейке, напротив порядкового номера варианта (рис. 5).

После проведенной оценки на соблюдение ограничений «родительскими» вариантами, производится скрещивание вариантов между собой с формированием нового «потомства» путем частичного совмещения «генов» из двух «родительских хромосом». В конкретном примере новое «потомство» получается путем совмещения двух первых «генов» в наборе от одной «родительской хромосомы» и трех последующих – от второй «родительской хромосомы» (рис. 5).

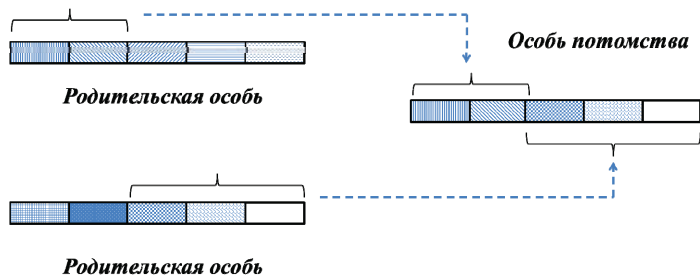


Рис. 5. Схематичное изображение формирования «особи» потомства

«Хромосомы потомства» проверяются на соблюдение ограничений. Для формирования следующего поколения учитываются как потомство, так и родительские особи. С помощью функции (4) производится оценка каждого решения (особи). Те решения, которые не прошли ограничение, в поколение потомства не включаются. Далее отбирается из всех решений 10 с минимальным значением целевой функции и рассчитывается суммарная оценка (Q) этих особей. После чего производится следующая итерация алгоритма. Итерации производятся до тех пор, пока суммарная оценка 10-ти лучших особей не будет равняться суммарной оценке предыдущего поколения.

где: q – порядковый номер поколения.

В рассматриваемом примере в 10-ку лучших из первого поколения вошли наборы, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Набор лучших особей из первого поколения

Присвоение новых номеров	№п/п родительских особей из таблицы 1	X1	X2	X3	X4	X5	Значение целевой функции
*	6-4	1	1	1		5	8900
*	6	1	1	1		4	10400
*	6-8	1	1	1		4	10400
*	5	0	1	1		6	14300
*	4-9	0	2	0		6	17400
*	7-9	0	2	0		6	17400
*	8-9	0	2	0		6	17400
*	5-9	0	1	0		6	22800
*	9-5	0	0	1		6	24500
*1	10-5	0	0	1		6	24500
Сумма							168000

В 10-ку лучших второго поколения вошли варианты, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Набор лучших особей из второго поколения

№ варианта	X1	X2	X3	X4	X5	Значение целевой функции
*2	1	1				8900
*3	1	1				8900
64	1	1				8900
*1	1	1				10400
*1	1	1				10400
*2	1	1				10400
*3	1	1				10400
6	1	1				10400
68	1	1				10400
*4	0	1				14300
Сумма						103400

У третьего поколения лучшими вариантами стали «особи с одинаковыми наборами хромосом», полученные путем «скрещивания» различных «родительских особей» (табл. 5).

Таблица 5

Набор лучших особей из третьего поколения

№ варианта	X1	X2	X3	X4	X5	Значение функции
*21 *31	1	1				8900
*21 64	1	1				8900
*31 *21	1	1				8900
*31 *64	1	1				8900
64 *21	1	1				8900
64 *31	1	1				8900
*12 *21	1	1				8900
*12 *31	1	1				8900
*12 64	1	1				8900
*13 *21	1	1				8900
Сумма						89000

У четвертого поколения лучшими вариантами стали «особи с одинаковыми наборами хромосом», полученные путем «скрещивания» различных «родительских особей». Суммарное значение целевой функции для 10-ти лучших особей четвертого поколения совпадает со значениями суммы в третьем поколении и составляет 89000, следовательно, процесс скрещивания подошел к завершению и оптимальный набор поездов на каждом из направлений найден.

Предложенная математическая модель с применением генетических алгоритмов в результате вычислений позволяет получить достоверный результат и может быть апробирована на реальном объекте.

Модель определения оптимального решения для назначения пригородно-городских поездов на разветвленных участках по каждому из возможных маршрутов использует в качестве исходных данных значения густот пассажиропотоков, характеристики подвижного состава и инфраструктурные ограничения линии. При необходимости осуществления расчетов для перспективных направлений, следует оперировать прогнозными значениями.

Использование предлагаемой математической модели позволяет получать обоснованный результат количества поездов на каждом из возможных маршрутов при организации движения на линиях с ответвлениями. Применение генетических алгоритмов позволяет сократить время поиска конкурентоспособных и отбора оптимальных вариантов в решении описанной задачи.

Вычисления могут проводиться в любом аналитическом программном комплексе, однако написание простейшей программы для вычислений позволит значительно сократить время, необходимое для формирования новых поколений и отбора лучших вариантов.

Литература

1. Панова О.Н. Методологические основы оптимизации параметров системы освоения дальних пассажиропотоков. М.: Издательство ЛКИ, 2007. 159 с.
2. Krstanoski N. Practical Algorithm for Scheduling a Public Transport Line with Integer Solution // *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 8, Issue 8. 2017. P. 775-780.
3. Krstanoski N. Trunk with Branches Public Transport Line Scheduling under Condition of Uniform Headway Operation // *International journal for traffic and transport engineering*. Vol. 5. 2015. P. 400-409.
4. Shahram Saeidi. A genetic algorithm for route optimization in public transportation problem // *International Conference on Business and Information*, Osaka, Japan, 2014. P. 326-335.
5. Piotr Lesiak, Piotr Bojarczak. Application of Genetic Algorithms in Design of Public Transport Network // *Logistics and Transport* №26 (2). 2015. P. 75-82.

SEARCH FOR THE OPTIMAL SOLUTION FOR ASSIGNING SUBURBAN-URBAN TRAINS ON BRANCHED LINES ON EACH OF THE POSSIBLE ROUTES

Vadim N. Shmal, Russian University of transport, Moscow, Russia, vadim@shmal.tk
Liliya R. Aysina, Russian University of transport, Moscow, Russia, l.r.aysina@mail.ru

Abstract

The article describes the problem of organizing train traffic on line with branches, analyzes possible separate routes on the "trunk" and "branch" sections, and branched routes. The development of a mathematical model which consider the interests of passengers in a service provided and economic interest of passenger companies are elements of scientific novelty of presented researching. The insufficient disclosure in the existing theoretical base of the issues of train traffic organization on lines with branches confirms the relevance of the research. The deficit of clear requirements for the organization of such lines leads to empirical decisions when operating such facilities. Adhering to the goal of providing a comfortable service for passengers and taking into account economic aspects in the interests of suburban companies, the objective function is minimize the difference between the mileage of available seats (as a condition that reflects the interests of a commuter company) and the overcrowding of the train (as a criterion that ensures a comfortable ride for the passenger). The authors suggest using a genetic algorithm for solve this problem. Genetic algorithm is a tool that allows you to perform a directed search of competitive options. The article describes the method of applying the genetic algorithm, the formation of "parent" variants and "offspring" variants, compliance with a number of restrictions and ranking of offspring variants for the selection of the best "individuals". Before testing the proposed method on a real example, the authors make a preliminary analysis to identify possible shortcomings that require improvement. The possibility of using a mathematical model and a genetic algorithm to find the optimal (or close to optimal) option for organizing traffic on a line with branches is considered on an arbitrary example. The presented calculations can be performed in any analytical software package. In this research, the search for the optimal method to organize traffic on a line with branches was performed in the MS Excel product. Successful calculations on an arbitrary option using the proposed mathematical model and genetic algorithms (as a tool to determine the optimal option of movement), allows us to assume that calculations can be made based on real source data for suburban directions of railway junctions that have lines with branches.

Keywords: genetic algorithm, railway line with branches, railway transport, suburban passenger transportation, suburban-urban passenger transportation.

References

1. Panova O.N. Metodologicheskie osnovy optimizacii parametrov sistemy osvoeniya dal'nih passazhiropotokov. Moskva: Izdatel'stvo LKI, 2007. 159 p. (in Russian)
2. Krstanoski N. Practical Algorithm for Scheduling a Public Transport Line with Integer Solution. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 8, Issue 8. 2017. p.775-780.
3. Krstanoski N. Trunk with Branches Public Transport Line Scheduling under Condition of Uniform Headway Operation. *International journal for traffic and transport engineering*. Vol. 5. 2015. p. 400-409.
4. Shahram Saeidi. A genetic algorithm for route optimization in public transportation problem. *International Conference on Business and Information*, Osaka, Japan, 2014. p. 326-335.
5. Piotr Lesiak, Piotr Bojarczak. Application of Genetic Algorithms in Design of Public Transport Network. *Logistics and Transport*. No.26 (2). 2015. p. 75-82.

Information about authors:

Vadim N. Shmal, PhD in Technical Sciences, associate professor of the Russian University of transport, Moscow, Russia

Liliya R. Aysina, post-graduate student of the Russian University of transport, Moscow, Russia