

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК  
ТРАМВАЕМ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ  
ПОВЫШЕННОЙ ВМЕСТИМОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. МИНСКА)  
IMPROVEMENT OF PASSENGER TRAFFIC BY TRAM BY USE  
OF VEHICLES OF THE INCREASED CAPACITY (ON THE EXAMPLE  
OF MINSK)**

*Семченков С.С., Седюкевич В.Н., Капский Д.В.,*  
(Белорусский национальный технический университет)  
*Semchenkov S. S., Sedyukevich V. N., Kapski D. V.,*  
(Belarusian national technical university)

**Аннотация.** *В статье рассмотрены вопросы оптимизации перевозочного процесса в городе Минске и совершенствование пассажирских перевозок пассажиров трамваями путем применения транспортных средств повышенной вместимости.*

**Abstract.** *In article questions of optimization of transportation process in the city of Minsk and improvement of passenger traffic of passengers by trams by use of vehicles of the increased capacity are considered.*

Маршрутная сеть трамвая в г. Минске представлена двумя линиями, по которым организовано движение девяти маршрутов. Рассчитанные характеристики существующей маршрутной сети сведены в таблицу 1. Для перевозки пассажиров в настоящее время используются транспортные средства (ТС) в виде однотипных трамваев белорусского производителя «Белкоммунмаш». Эти трамваи являются односекционными, имеют длину 15 м и вместимость 121 пассажир (из расчета размещения стоячих пассажиров с плотностью 5 пасс./м<sup>2</sup>). Трамваи данной модели – трехдверные, и производителем не предусмотрена возможность их эксплуатации в составе поездов из двух и более вагонов. Исключение составляет использование на различных маршрутах одного сочлененного трамвая длиной 26 м с вместимостью 255 пассажиров.

Данные, приведенные в таблице 1, показывают, что на участке сети «ул. Красная – 3. Бядули» расписанием в утренний пик установлена интенсивность движения 55 одиночных трамваев в час в каждом направлении. В то же время, стоит заметить, что за один цикл светофорного регулирования в узле «ул. Красная – просп. Машерова» в направлении Зеленого Луга (Озера) безопасно может проследовать не более двух трамваев, причем не более одного в каждом из направлений.

Так, ограниченная пропускная способность узла «ул. Красная – просп. Машерова» часто приводит к скоплению на подъезде к остановочному

пункту «ул. Красная» в направлении Зелёного Луга (Озера) до 8 трамваев. Ежедневное нарушение регулярности движения только на данном направлении приводит к сбою установленного графика движения и к потере рейсов. Неравномерная наполняемость салонов трамваев ввиду нарушения регулярности движения трамваев, приводит, как следствие, к еще большему сбою.

Таблица 1 – Характеристики существующей маршрутной сети

Утренний час «пик»					Дневное межпиковое время				
№ м-та	Оборот, мин	Кол-во ТС	Интервал, мин	Интенс. движ., ТС/ч	№ м-та	Оборот, мин.	Кол-во ТС	Интервал, мин	Интенс. движ., ТС/ч
1	90	18	5,0	12,0	1	90	8	11,3	5,3
2	27	1	27,0	2,2	2	–	–	–	–
3	105	22	4,8	12,6	3	105	9	11,7	5,1
4	77	7	11,0	5,5	4	77	4	19,3	3,1
5	79	7	11,3	5,3	5	79	4	19,8	3,0
6	120	26	4,6	13,0	6	120	20	6,0	10,0
7	100	11	9,1	6,6	7	100	9	11,1	5,4
9	45	5	9,0	6,7	9	–	–	–	–
11	56	11	5,1	11,8	11	–	–	–	–
Итого	–	108	–	–	Итого	–	57	–	–
Интенсивность движения по отдельным участкам сети, ТС/ч					Интенсивность движения по отдельным участкам сети, ТС/ч				
Ул. Красная–Зелёный Луг					Ул. Красная–Зелёный Луг				
Ул. Красная–Озеро					Ул. Красная–Озеро				
Ул. Красная–З. Бядули					Ул. Красная–З. Бядули				
З. Бядули–Тракторный завод					З. Бядули–Тракторный завод				
Тракторный завод–Серебрянка					Тракторный завод–Серебрянка				
Ул. Захарова–ст. «Динамо»					Ул. Захарова–ст. «Динамо»				

Аналогичная ситуация наблюдается на участках «ул. Красная–ул. Волгоградская», «Тракторный завод–Серебрянка», где интенсивность движения в часы пиковых нагрузок достигает 42 и 39 одиночных трамваев в час соответственно в каждом направлении. На данных участках также систематически происходит скопление трамваев, приводящее к потерям, связанным с нарушением регулярного движения трамваев.

Из-за большого разнообразия маршрутных интервалов, что видно из таблицы 1, в составленных расписаниях постоянно присутствует эффект Нониуса. И даже его частичное исправление не приводит к улучшению ситуации.

Основной причиной указанных негативных явлений является применение недостаточных по вместимости трамваев для эксплуатации на загру-

женных линиях г. Минска. Для освоения мощных пассажиропотоков приходится использовать большое количество трамваев. При этом не используется одно из главных преимуществ рельсового транспорта, которое состоит в том, что один водитель может управлять сочлененным трамваем либо трамвайным поездом большой длины, ограниченной только требованиями организации движения, планировкой остановочных пунктов и другими условиями. Увеличение длины трамвая (трамвайного поезда) в условиях современного города до 45 м является допустимым. Очевидно, что большой длине поезда соответствует и высокая пассажировместимость. Кроме того использование трамвайных поездов позволяет менять составность (и пассажировместимость) поезда в течение суток, в зависимости от требуемого объема перевозок пассажиров. Например, прицепные вагоны могут быть исключены из состава трамвайного поезда по окончании времени пиковой нагрузки и оставлены на специальных площадках конечных станций или на территории парка.

Составление трамвайных поездов возможно по различным схемам: поезда с вагонами, работающими по системе многих единиц; поезда с прицепными вагонами.

По первой схеме поезда составляются из однотипных или разнотипных трамваев, унифицированных по конструкции электрических цепей управления трамваем, или имеющих узел согласования, объединяющий элементы управления трамваев, входящих в состав поезда, воедино. Таким образом, поезда с вагонами, работающими по системе многих единиц, составлены из моторных вагонов, работающих синхронно и управляемых водителем из кабины первого трамвая. В данной схеме тягово-скоростные характеристики поезда соответствуют характеристикам каждого трамвая, входящего в состав поезда.

Согласно второй схеме поезда составляются из одного моторного или нескольких моторных трамваев, сцепленных с одним или несколькими прицепными вагонами. Данная схема позволяет составлять поезда, применяя в качестве прицепных вагоны, не имеющие дорогостоящего тягового электрического привода. Эти вагоны не имеют возможности самостоятельного перемещения, но оборудованы автономным источником питания (аккумуляторной батареей), системой освещения и отопления, тормозной системой, а также специальной системой экстренной остановки вагона, приводящейся в действие автоматически в случае разрыва поезда (отрыва прицепного вагона). Тягово-скоростные характеристики данных поездов несколько отличаются от аналогичных у поездов, работающих по системе многих единиц. Однако применение данных решений оправдано снижением стоимости поезда.

Кроме того возможно решение, предусматривающее применение сочлененных вагонов, имеющих большую пассажировместимость за счет

увеличения длины вагона путем применения шарнирных сочленений составных частей вагона. При этом не все ходовые части вагона оборудуются тяговым электрическим приводом, что приводит к снижению стоимости трамваев без заметного снижения их тягово-скоростных качеств. Так же возможно использование поездов, состоящих из сочлененных моторных трамваев и прицепных безмоторных вагонов.

Следует отметить, что начиная с 1970 года до 2007 года в г. Минске использовались трамвайные поезда, составленные из двух рижских трамваев РВЗ-6М2, работающих по системе многих единиц. По аналогичной схеме трамвайным хозяйством эксплуатировались поезда из чешских трамваев Татра Т6Б5. Также на протяжении 2002–2009 гг. эксплуатировались сочлененные 26-метровые восьмиосные трамваи GT8D немецкого производства фирмы «DWM». Вывод из эксплуатации трамвайных поездов и сочлененных трамваев породил отдельные проблемы с перевозками.

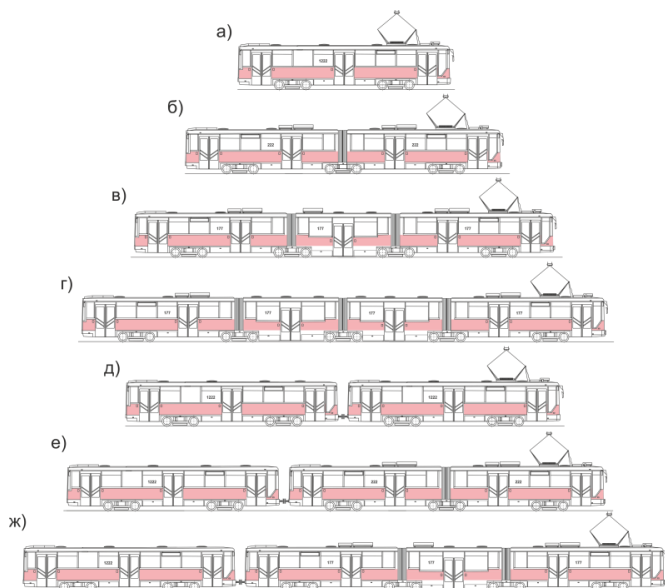
Из анализа мирового опыта городов, осуществляющих перевозки пассажиров трамваями, можно сделать вывод о широком использовании трамвайных поездов различной составности. Например, в г. Вена (Австрия) с 1966 года широко используются трамвайные поезда « $E_1+C_3/C_4$ », составленные из моторных двухсекционных сочлененных трамваев серии  $E_1$  с прицепными безмоторными вагонами серий  $C_3/C_4$ . В часы снижения пассажиропотока, в выходные дни прицепные вагоны на части линий исключаются из работы, и перевозки пассажиров выполняются моторными вагонами серии  $E_1$ . Длина поезда « $E_1+C_3/C_4$ » составляет 35 м. Также в г. Вена с 1976 года используются трамвайные поезда « $E_2+C_5$ », составленные из моторных двухсекционных сочлененных трамваев серии  $E_2$  с прицепными безмоторными вагонами серий  $C_5$ . Трамваи данных серий отличаются уменьшенными передними и задними свесами, что улучшает вписывание трамваев в кривые участки пути в условиях напряженного городского движения. В этом случае также в часы снижения пассажиропотока прицепные вагоны серии  $C_5$  исключаются из работы и перевозки пассажиров осуществляются только моторными вагонами серии  $E_2$ . Длина поезда « $E_2+C_5$ » составляет 32 м. Всего в г. Вена в эксплуатации находится 249 поездов серий « $E_1+C_3/C_4$ » и « $E_2+C_5$ ».

Составленные по описанным схемам трамвайные поезда эксплуатируются в г. Краков, г. Катовице (Польша), г. Мишкольц (Венгрия), г. Крайова, г. Брэила (Румыния).

Чешское предприятие «Pragoimex» разработало проектное решение и производит модернизацию односекционных четырехосных трамваев моделей Т3 (Т6) путем постройки из них сочлененных трехсекционных восьмиосных трамваев с низкопольной секцией-вставкой в центральной части трамвая. По подобной схеме в г. Киеве (Украина) на протяжении 2004–2012 гг. было модернизировано 28 трамваев Т3, из которых было построено 14 трамваев

КТЗУА «Кобра». Данные трамваи эксплуатируются депо им. Шевченко г. Киева на линиях скоростного трамвая по маршрутам № 1 и № 3.

На рисунке 1 представлен возможный модельный ряд ТС трамваев, который можно получить модернизацией их существующего парка. Прицепные вагоны для вариантов *д*, *е*, *ж* могут быть изготовлены путем демонтажа с существующих трамваев (вариант *а*) тягового электрического оборудования. Сочлененные трамваи вариантов *б*, *в*, *г* могут быть изготовлены с использованием двух трамваев варианта *а* путем их реконструкции в заводских условиях.



**Рисунок 1** – Схемы компоновки трамвайных вагонов и поездов

В моторных трамваях, построенных по схемам *в*, *г*, *ж*, тяговым электрическим приводом оснащено 6 осей из 8 (10) осей. В трамваях, построенных по схемам *а*, *б*, *д*, *е* тяговым электрическим приводом оснащено 4 оси из 4 (6) осей.

Токосъем в данных трамваях может производиться с помощью токоприемников, имеющих два контактных полоза, что позволит снизить величину тока в точке одного контакта до пикового значения 300–450 А и не создаст излишнюю или недопустимую нагрузку на токосъемное оборудование трамваев и существующую электрическую контактную сеть.

Расчеты, связанные с характеристиками возможных поездов, сведены в таблицу 2. Особое внимание следует уделить необходимым тягово-

скоростным свойствам трамваев (поездов) по условиям сцепления. Трамвай имеет некоторые специфические особенности, обусловленные низким коэффициентом сцепления стального колеса со стальным рельсом ( $\varphi = 0,15$  и менее). Данное свойство накладывает ограничения по условию сцепления.

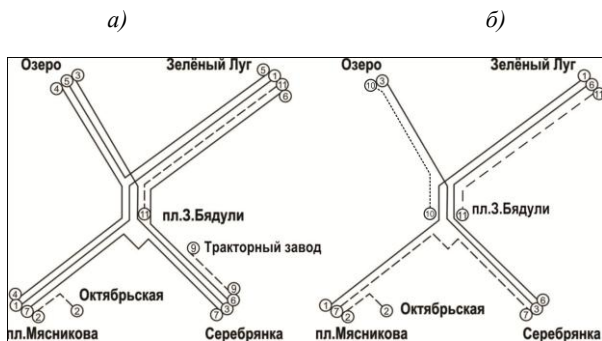
Таблица 2 – Характеристики возможных трамваев и поездов

№ варианта	Длина поезда, м	Количество тележек всего	Количество моторных тележек	Пассажироместимость	Полная масса, т	Среднее ускорение на чистых рельсах (без подачи песка), $\text{м/с}^2$	Среднее ускорение на загрязненных рельсах (без подачи песка), $\text{м/с}^2$
а	15	2	2	121	28	1,57	0,69
б	23	3	2	182	40	1,05	0,46
в	30	4	3	242	53	1,18	0,51
г	38	5	3	303	68	0,94	0,41
д	31	4	2	242	49	0,90	0,39
е	39	5	2	303	61	0,69	0,30
ж	46	6	3	363	74	0,84	0,37

Наибольший интерес для организации перевозок в г. Минске с учетом строительства новых посадочных площадок на остановочных пунктах представляют трамвайные поезда, сформированные по вариантам *б*, *в*, *д* и *е*. При этом схемы *в* и *д* взаимозаменяемы по пассажироместимости. В часы пиковой нагрузки поезда могут эксплуатироваться по схеме варианта *е*, а в межпиковое время прицепной вагон исключается из состава поезда, который начинает эксплуатироваться по схеме *б*. Причем расцепка поезда происходит на конечной станции, где прицепной вагон находится до момента прицепки в начале следующего пика.

Применение указанных поездов позволит сократить маршрутную сеть до 3 основных маршрутов (№ 1, 3, 6) с маршрутным интервалом  $7\frac{1}{2}$  минут, и 2 вспомогательных маршрутов (№ 7, 11), работающих только в часы пиковой нагрузки, с маршрутным интервалом  $7\frac{1}{2}$ –15 минут (рисунок 2). Маршрут № 2 без изменений. Характеристики возможной маршрутной сети с указанием используемых схем компоновки приведены в таблице 3. По окончании пиковых нагрузок из состава поездов маршрута № 3 исключаются прицепные вагоны.

Реализация данных предложений позволит поднять провозную способность трамвайных линий, повысить регулярность движения трамваев и безопасность дорожного движения, увеличить производительность труда и тем самым снизить затраты на выполнение перевозок пассажиров.



а) существующая разветвленная сеть маршрутов; б) возможный вариант линейно-осевой сети маршрутов  
**Рисунок 2 – Схемы маршрутной сети**

**Таблица 3 – Характеристики возможной маршрутной сети**

№ м-та	Утренний час «пик»					Дневное межпиковое время				
	Оборот, мин	Кол-во ТС (схема)	Интервал, мин	Интенс. движ., ТС/ч	Привед. интенс. движ. *, ТС/ч	Кол-во ТС	Интервал, мин	Интенс. движ., ТС/ч	Привед. интенс. движ. *, ТС/ч	
1	90	12 (в***)	7½	8,00	16,00	9 (в)	10,0	6,00	12,00	
2	30	1 (а)	30	2,00	2,00	—	—	—	—	
3	113	15 (е)	7½	8,00	20,00	11 (б)	10,0	6,00	9,00	
6	120	16 (в)	7½	8,00	16,00	12 (в)	10,0	6,00	12,00	
7	105	7** (в) (14 (а))	15** (7½)	4,00 (8,00)	8,00	—	—	—	—	
10	40	—	—	—	—	4 (б)	10,0	6,00	9,00	
11	60	8 (б)	7½	8,00	12,00	—	—	—	—	
Итого	—	59 67	—	—	—	32 (б/в)	—	—	—	
Интенсивность движения по участкам сети, ТС/ч					Утренний час «пик»		Дневной межпик			
					Абс.	Приведенная*	Абс.	Приведенная*		
ул. Красная–Зелёный Луг					24,00	44,00	12,00	24,00		
Ул. Красная–Озеро					8,00	20,00	6,00	18,00		
Ул. Красная–З. Бядули					32,00	52,00	18,00	33,00		
Ул. Платонова–Серебрянка					20,00	44,00	12,00	21,00		
Ул. Захарова–ст. «Динамо»					12,00	24,00	6,00	12,00		

\*Приведенная к существующим сейчас трамваям (для сравнения с таблицей 1);

\*\*Возможен вариант использования по маршруту № 7 трамваев длиной 15 м для поддержания единого интервала 7½ минут;

\*\*\*Схемы в и д взаимозаменяемы по пассажировместимости.