

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Транспортные системы

УДК [UDC] 656.211.5

DOI 10.17816/transsyst20228180-95

© А.Г. Филиппов, С.С. Смирнов, Д.А. Полиэктов, Г.Л. Васильев

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА УСТРОЙСТВ ДОСМОТРА ОТ ИХ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И ПАССАЖИРОПОТОКА

Обоснование: На сегодняшний день в крупных пассажирских зданиях сложилась ситуация, при которой не обеспечивается потребная пропускная способность. Данная проблема возникла в результате приведения зданий в соответствие с требованиями закона «О транспортной безопасности» и остается актуальной и требует решения.

Цель: Определить зависимость между количеством технических средств обеспечения транспортной безопасности для досмотра пассажиров (далее – ТС ОТБ), скоростью обслуживания ими пассажиров и входящим пассажиропотоком. Разработать рекомендации по изменению нормативно-правовой базы в области обеспечения транспортной безопасности. Оценить целесообразность применения ТС ОТБ на существующих объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта с учетом потребной пропускной способности пассажирских устройств.

Методы: Исследование основано на теории многоканальных систем массового обслуживания с неограниченной очередью. В основе расчетов положено обоснованное допущение, что пиковые пассажиропотоки, проходящие через пассажирские устройства, являются стационарными.

Результаты: Установлена зависимость между количеством ТС ОТБ, их пропускной способностью и количеством, а также длиной очереди в ожидании прохода через указанные устройства в пассажирское здание.

Заключение: Полученные результаты могут быть использованы в качестве технико-экономического обоснования количества ТС ОТБ, устанавливаемых на входе в пассажирское здание в ходе строительства, реконструкции или модернизации. Для существующих зданий, полученная зависимость позволит установить, имеется ли техническая возможность обеспечить потребную пропускную способность вокзала, или потребуются большие капитальные вложения на его реконструкцию.

Ключевые слова: Пассажирское здание, пропускная способность, транспортная безопасность, система массового обслуживания, технико-экономическое обоснование, пассажиропоток, очередь

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Transport systems

© A.G. Filippov, S.S. Smirnov, D.A. Poliektov, G.L. Vasiliev

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

**THE CORRELATION BETWEEN THE NUMBER
OF SECURITY SCANNING DEVICES, THEIR CAPACITY
AND PASSENGER TRAFFIC**

Background: There is a situation today where the major passenger buildings are lacking the required passenger traffic capacity. This issue has come about as a result of aligning the requirements of “the Federal Law on Transport Safety” into the buildings’ design. The problem remains relevant and therefore needs to be addressed.

Aim: The paper seeks to examine the correlation between the number of transport safety technical devices for scanning passengers’ bodies and luggage, the device operation time and incoming passenger traffic. This will be done in order to develop recommendations for changing the legislative framework in the field of transport safety and to estimate the advisability of using transport safety technical devices at railway stations, taking into account passenger traffic capacity.

Methods: The study is based on the theory of multi-channel public service system with an unlimited line. The calculations are based on the assumption, that the peak passenger traffic through the passenger devices is stationary.

Results: The paper finds the correlation between the number of transport safety technical devices, their capacity and the length of the line of passengers waiting for passing into the passenger buildings.

Conclusion: The results can be used as a feasibility study of transport safety technical devices, that are installed at the entrance of passenger buildings during their construction, reconstruction or modernization. For the existing buildings the found correlation will help to understand whether it is technically possible to provide the station with the required passenger traffic capacity or it will take capital investments for its reconstruction.

Key words: passenger building, passenger traffic capacity, transport safety, public service system, feasibility study, passenger traffic, line

ВВЕДЕНИЕ

Пассажи́рские здания во многом определяют качество транспортного обслуживания населения. В них производятся покупка билетов, ожидание посадки на поезд и заключительные операции, связанные с поездкой. В больших городах и крупнейших промышленных центрах сооружаются отдельные, обособленные от грузового движения станции. Это связано с массовостью выполнения операций, связанных с предоставлением необходимых удобств пассажирам и подготовкой поездов к перевозкам [1].

С позиции пассажира, поездка осуществляется в несколько этапов: выбор вида транспорта, покупка билета, ожидание отправления, непосредственно следование в поезде и заключительные операции. Исходя из принципов клиентоориентированности, пассажирские здания должны обеспечивать удобство и скорость покупки билетов, комфортное ожидание отправления и завершение поездки без лишних потерь времени [2].

Принимая во внимание, что пассажиров следует не только обслуживать, но и укрывать от атмосферных осадков и обеспечить им комфортное ожидание отправления, все остановочные пункты должны иметь навесы, павильоны или здания (в зависимости от пассажиропотока) [3].

В пригородном сообщении, за счет сравнительно малой продолжительности следования в поездах, пассажирам более заметны потери времени на вокзалах до и после поездки. Чтобы уменьшить затраты времени, пассажирские устройства должны обеспечивать быстрое, удобное и безопасное выполнение операций, связанных с обслуживанием людей [4].

В 2007 году вступил в силу федеральный закон «О транспортной безопасности», в связи с чем, началась работа по постепенному приведению вокзалов в соответствие с требованиями нормативно-правовых актов в области транспортной безопасности. Результатом данного процесса стало нарушение многих принципов, которыми руководствовались при проектировании пассажирских зданий. Целью исследования, представленного в настоящей статье, является определение зависимости между количеством ТС ОТБ, скоростью обслуживания ими пассажиров и входящим пассажиропотоком, что необходимо для оценки целесообразности и возможности безопасного проведения мероприятий по досмотру пассажиров, ручной клади, багажа и грузобагажа. На основании полученной зависимости разработаны рекомендации по переработке нормативно-правовой базы в области обеспечения транспортной безопасности на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта.

ТРУДНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С точки зрения закона «О транспортной безопасности», пассажирские здания являются объектами транспортной инфраструктуры (далее – ОТИ) [5]. На ОТИ распространяются требования [6] о размещении на границах сектора свободного доступа, т.е. на входах в здания, пунктов досмотра. Несмотря на отсутствие в документе какой-либо методики расчета количества ТС ОТБ или ссылки на нее, ответственность за обеспеченность ими в достаточном количестве в зависимости от пассажиропотока отнесена на субъекты транспортной инфраструктуры:

перевозчиков, владельца инфраструктуры (далее – СТИ). Отсутствие методики не позволяет учитывать особенности пригородного сообщения: большие пассажиропотоки, высокая их неравномерность по часам суток, дням недели, сезонам и др. [7]. Результатом несовершенства законодательной базы являются скопления пассажиропотока перед входом в здания, отсутствие какого-либо удобства пользования пассажирскими устройствами и т.д., что хорошо видно на Рис. 1.

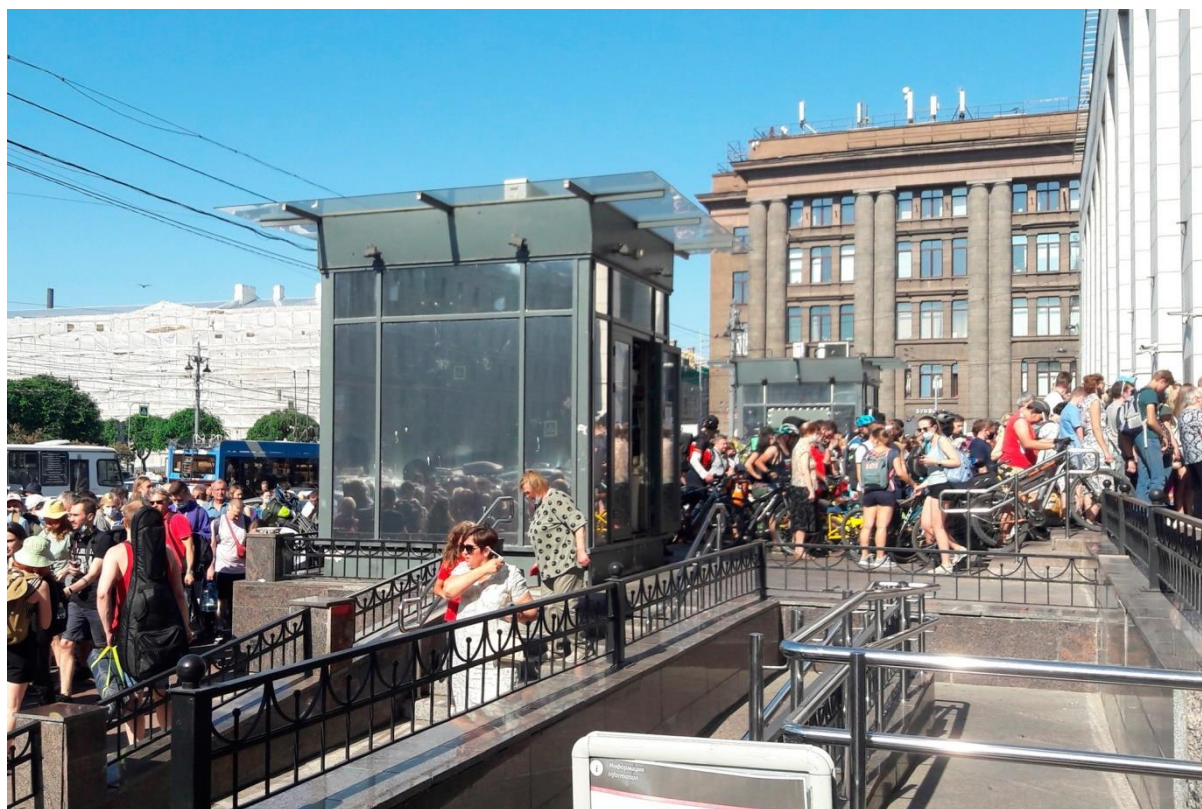


Рис. 1. Скопление пассажиров перед входом в пассажирское здание станции Санкт-Петербург-Финляндский из-за недостаточной пропускной способности ТС ОТБ

По отношению к пригородным перевозкам в [8] предусмотрено исключение – при условии полного разделения пассажиропотоков дальнего и пригородного сообщений, когда действует уровень безопасности № 1, досмотр всех пассажиров пригородного сообщения не обязателен. Но данное исключение практически не применимо, т.к. на пассажирских станциях не всегда предусмотрена специализация путей по дальнему и пригородному сообщениям. Более того, ввиду неравномерности перевозок, специализация путей может не соблюдаться.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ТРЕБУЕМЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ТС ОТБ И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПАССАЖИРОПОТОКА

С точки зрения теории систем массового обслуживания (далее – СМО), ТС ОТБ по отдельности являются устройствами, образующими вместе систему. Пассажиры, вынужденные пользоваться устройствами этой системы, являются заявками и в совокупности образуют входящий поток заявок, а после использования устройств – выходящий поток. В основе представляемой методики лежит допущение, что входящий поток является стационарным.

Поток заявок называется стационарным, если вероятность поступления определенного количества требований за некоторый промежуток времени зависит только от длины этого промежутка и не зависит от того, где этот промежуток выбран на временной оси.

В действительности, стационарных пассажиропотоков не существует. Однако, при расчете пропускной способности пассажирских устройств следует задаться какой-либо интенсивностью потока. Очевидно, что для возможности пропуска пиковых пассажиропотоков следует проектировать устройства, рассчитанные на максимальную интенсивность пассажиропотока, которая принимается постоянной. А учитывая, что стационарный поток имеет постоянную интенсивность поступления заявок в СМО, пиковый пассажиропоток без особой погрешности может считаться стационарным [9].

Учитывая, что в любой момент времени в систему может поступить только одна заявка (т.к. пассажиры не входят на вокзал одновременно), входящий поток стационарен и ординарен, и такой поток является рекуррентным. Он может быть представлен стационарным пуассоновским потоком. Функция распределения интервалов между заявками этого потока имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где λ – интенсивность потока заявок;

t – промежуток времени, между поступающими заявками.

Дифференцируя, получим плотность распределения интервалов в виде показательного закона распределения

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0, \\ 0, & t < 0 \end{cases}, \quad (2)$$

В стационарном пуассоновском потоке число заявок, поступивших за промежуток времени t , распределено по закону Пуассона

$$P_k(t) = -\frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

где $P_k(t)$ – вероятность того, что за промежуток времени t поступит ровно k требований.

Математическое ожидание непрерывной случайной величины интервала T между моментами поступления заявок стационарного пуассоновского потока определяется интегралом [10]

$$M(T) = \int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt, \quad (4)$$

Из (2) и (4) математическое ожидание составит

$$M(T) = \lambda \int_{-\infty}^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = -t e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (5)$$

Учитывая, что интенсивность потока – величина обратно пропорциональная интервалу между моментами поступления заявок, из (5) следует

$$\lambda = \frac{1}{M(T)}, \quad (6)$$

Интенсивность потока определяет еще одну важную характеристику многоканальной СМО, состоящей из n устройств – нагрузку. Если поток рекуррентный, а продолжительности обслуживания независимые и одинаково распределенные величины, нагрузка на СМО составит

$$\rho = \frac{\lambda}{n\mu}, \quad (7)$$

где μ – скорость обслуживания;

Интенсивность потока входящих заявок в многоканальную СМО не должна превышать перерабатывающую способность устройств в ней, что определяет условие

$$\rho < 1, \quad (8)$$

Если условие (8) не будет соблюдаться, то очередь будет расти до бесконечности, что по смыслу задачи не допустимо.

Далее речь будет идти о многоканальной СМО с неограниченной очередью. Пассажиры, приходя к вокзалу, вынуждены ожидать возможность попасть в него, в результате чего очередь разрастается до

достаточно больших размеров, что позволяет сделать допущение о неограниченности очереди.

Многоканальная СМО с неограниченной очередью имеет неограниченное число мест в очереди при счетном количестве состояний и может быть изображена графом (Рис. 2).

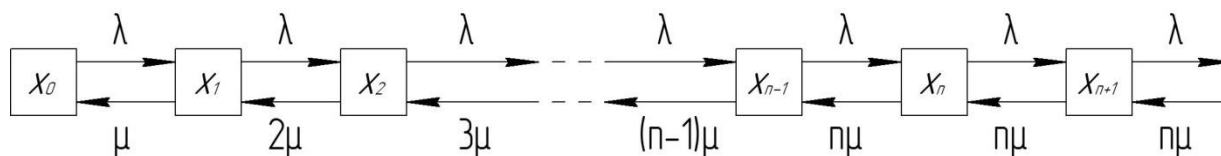


Рис. 2. Граф состояний многоканальной СМО с неограниченной очередью

Все состояния многоканальной СМО с неограниченной очередью образуют полную группу событий, из чего следует, что сумма вероятностей возникновения каждого из состояний равна единице. Это обстоятельство определяет условие нормировки

$$\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1, \quad (9)$$

Основываясь на графе возможных состояний, составим систему уравнений Колмогорова

$$\left\{ \begin{array}{l} p'_0(t) = \mu p_1(t) - \lambda p_0(t); \\ p'_1(t) = \lambda p_0(t) + 2\mu p_2(t) - (\lambda + \mu)p_1(t); \\ \dots \\ p'_k(t) = \lambda p_{k-1}(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t) - (\lambda + k\mu)p_k(t), k = \overline{1, n-1}; \\ \dots \\ p'_n(t) = \lambda p_{n-1}(t) + n\mu p_{n+1}(t) - (\lambda + n\mu)p_n(t); \\ p'_{n+1}(t) = \lambda p_n(t) + n\mu p_{n+2}(t) - (\lambda + n\mu)p_{n+1}(t); \\ \dots \end{array} \right. \quad (10)$$

В стационарном режиме существуют конечные пределы [11]

$$p_k = \lim_{t \rightarrow \infty} p_k(t), \quad (11)$$

Из (11) следует, что

$$p'_k(t) \rightarrow 0, \quad (12)$$

Тогда при стационарном режиме работы СМО система (10) с учетом условия нормировки (9) принимает вид

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = \mu p_1 - \lambda p_0; \\ 0 = \lambda p_0 + 2\mu p_2 - (\lambda + \mu)p_1; \\ \dots \\ 0 = \lambda p_{k-1} + (k+1)\mu p_{k+1} - (\lambda + n\mu)p_k, k = \overline{1, n-1}; \\ \dots \\ 0 = \lambda p_{n-1} + n\mu p_{n+1} - (\lambda + n\mu)p_n; \\ 0 = \lambda p_n + n\mu p_{n+2} - (\lambda + n\mu)p_{n+1}; \\ \dots \\ \sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1. \end{array} \right. , \quad (13)$$

Из (13) получаем

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = (\lambda/\mu)p_0; \\ p_2 = (\lambda/\mu)^2 p_0/2!; \\ \dots \\ p_k = (\lambda/\mu)^k p_0/k!, k = \overline{1, n-1}; \\ \dots \\ p_n = (\lambda/\mu)^n p_0/n!; \\ p_{n+1} = (\lambda/\mu)^{n+1} p_0/(n \cdot n!); \\ \dots \\ \sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1. \end{array} \right. , \quad (14)$$

Уравнение для нахождения предельных вероятностей из (14) приобретает вид

$$p_k = \begin{cases} (\lambda/\mu)^k p_0/k!, k = \overline{1, n}; \\ (\lambda/\mu)^k p_0/(n^{k-n} n!), k > n. \end{cases} \quad (15)$$

Из условия нормировки (9)

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{\infty} p_k &= \sum_{k=0}^n \left(\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \cdot \frac{1}{k!} \cdot p_0 \right) + \sum_{k=n+1}^{\infty} \left(\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \cdot \frac{1}{n^{k-n} n!} \cdot p_0 \right) = \\ &= p_0 \cdot \left[\sum_{k=0}^n \left(\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \cdot \frac{1}{k!} \right) + \frac{n^n}{n!} \sum_{k=n+1}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu} \right)^k \right] = 1, \end{aligned} \quad (16)$$

Условие нормировки выполняется, если ряд (17) сходится

$$\sum_{k=n+1}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu} \right)^k, \quad (17)$$

Ряд (17) является геометрической прогрессией и сходится, если $\lambda < \mu n$, что по смыслу совпадает с условием (8). Т.е. если $\lambda \geq \mu n$, то ряд

расходится и стационарного режима работы СМО не существует ввиду бесконечного роста очереди. При $\lambda < \mu n$, принимая во внимание соотношение (7) сумма ряда (17) исчисляется как сумма всех членов бесконечно убывающей геометрической прогрессии и приобретает вид

$$\sum_{k=n+1}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{n\mu}\right)^k = \sum_{k=n+1}^{\infty} \rho^k = \frac{\rho^{n+1}}{1-\rho}, \quad (18)$$

В таком случае из (16) следует:

$$p_0 = \left[\sum_{k=0}^n \left(\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot \frac{1}{k!} \right) + \frac{n^n}{n!} \cdot \frac{\rho^{n+1}}{1-\rho} \right]^{-1} = \left[\sum_{k=0}^n \left(\frac{(n\rho)^k}{k!} \right) + \frac{(n\rho)^n \rho}{(1-\rho)n!} \right]^{-1}, \quad (19)$$

Длина очереди в СМО составляет

$$L = k - n, \quad k > n, \quad (20)$$

Средняя длина очереди определяется как математическое ожидание суммы произведений вероятностей возникновения состояний очереди на количество заявок в этих состояниях

$$L_{оч} = \lim_{t \rightarrow \infty} M(L(t)) = \lim_{t \rightarrow \infty} M\left(\sum_{k=n+1}^{\infty} ((k-n)p_k(t))\right), \quad (21)$$

В стационарном режиме, учитывая условие (8) при нахождении суммы ряда, длина очереди составит

$$\begin{aligned} L_{оч} &= \sum_{k=n+1}^{\infty} ((k-n)p_k) = \sum_{k=n+1}^{\infty} ((k-n) \cdot (\lambda/\mu)^k \cdot p_0 / (n^{k-n} \cdot n!)) = \\ [l = k - n] &= \frac{p_0}{n!} \cdot \sum_{l=1}^{\infty} (l \cdot (\lambda/\mu)^{l+n} / n^l) = \frac{p_0(\lambda/\mu)^n}{n!} \cdot \sum_{l=1}^{\infty} (l \cdot (\lambda/\mu)^l / n^l) = \\ &= \frac{p_0(n\rho)^n}{n!} \cdot \sum_{l=1}^{\infty} (l \cdot \rho^l) = \frac{p_0(n\rho)^n}{n!} \cdot \frac{\rho}{(1-\rho)^2} = \frac{\rho(n\rho)^n}{n!(1-\rho)^2} \cdot p_0, \end{aligned} \quad (22)$$

Подставляя в (22) выражение (19), получим формулу расчета длины очереди через нагрузку на СМО и количество устройств в ней

$$L_{оч} = \frac{\rho(n\rho)^n}{n!(1-\rho)^2} \cdot \left[\sum_{k=0}^n \left(\frac{(n\rho)^k}{k!} \right) + \frac{(n\rho)^n \rho}{(1-\rho)n!} \right]^{-1}. \quad (23)$$

Данная зависимость позволяет оценить требуемое количество ТС ОТБ при нормировании длины очереди $L_{оч}$ и нагрузки на систему ρ .

ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВЛЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Формула (23) для определения количества ТС ОТБ в представленном виде объективно неудобна. Оператор суммы значительно усложняет вынос переменной n . Избавиться от этого неудобства возможно путем составления нормировочной таблицы, где количество устройств n сопоставляется со значением нагрузки на СМО ρ и ими определена средняя длина очереди $L_{оч}$. Принимая к сведению приемлемую среднюю длину очереди перед входом в пассажирское здание и нагрузку на СМО, определяемую характеристиками выбранных ТС ОТБ, по составленной таблице возможно определить необходимое количество устройств. Пример такой таблицы представлен в виде Табл.

Таблица. Зависимость длины очереди от количества устройств и нагрузки

		Нагрузка на СМО, ρ									
		0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9
Количество устройств n	1	98,0	48,0	31,4	23,0	18,1	14,7	12,4	10,6	9,2	8,1
	2	97,5	47,5	30,9	22,6	17,6	14,3	11,9	10,1	8,8	7,7
	3	97,1	47,2	30,5	22,2	17,2	13,9	11,6	9,8	8,4	7,4
	4	96,8	46,8	30,2	21,9	16,9	13,6	11,3	9,5	8,2	7,1
	5	96,5	46,6	29,9	21,6	16,7	13,4	11,0	9,3	7,9	6,9
	6	96,3	46,3	29,7	21,4	16,4	13,2	10,8	9,1	7,7	6,7
	7	96,0	46,1	29,5	21,2	16,2	13,0	10,6	8,9	7,5	6,5
	8	95,8	45,9	29,3	21,0	16,0	12,8	10,4	8,7	7,4	6,3
	9	95,6	45,7	29,1	20,8	15,9	12,6	10,3	8,5	7,2	6,2
	10	95,4	45,5	28,9	20,6	15,7	12,4	10,1	8,4	7,1	6,0

Ситуация, в которой нагрузка на СМО при изменении числа устройств остается постоянной – это перегрузка системы. Как видно из Табл., при выборе ТС ОТБ необходимо стремиться к возможно меньшей нагрузке на всю СМО, т.к. количество устройств при постоянстве нагрузки мало влияет на ситуацию. Достичь снижения нагрузки возможно за счет выбора устройств, позволяющих обеспечить высокую пропускную способность и не вызвать перегрузку системы.

Вокзалы крупнейших пассажирских станций России имеют высокую нагрузку, которая усугубляется невозможностью расширения зон досмотра в условиях сложившейся капитальной городской застройки. В свою очередь, заполнение территории контрольно-пропускных пунктов приводит к резкому снижению эффективности проведения досмотровых мероприятий. Более того, существующей нормативно-правовой базой не учитывается опасность срабатывания взрывных устройств в зоне досмотра в момент скопления на них большого количества пассажиров. Отсутствует определенность и обоснованность в вопросе размещения и конфигурации

зон досмотра [12].

Пригородному сообщению на железнодорожном транспорте свойственны несколько видов неравномерности пассажиропотока, которые могут влиять на ситуацию одновременно – сезонная, суточная и внутрисуточная. Например, в предвыходные дни летнего периода перевозок, в вечерние часы наблюдается резкое, примерно в два раза, увеличение пассажиропотока относительно будних дней этого же периода, и более чем в три раза относительно будних дней в зимний период перевозок [13]. Нежелательность скопления пассажиров перед пунктами досмотра при данном обстоятельстве требует размещения ТС ОТБ с большим запасом пропускной способности, что невозможно из-за ограниченности пространства, и вызывает сомнения в необходимости проведения процедуры досмотра в целом.

Для обеспечения безопасности пассажиров в сложившейся ситуации, необходимо учесть особенности работы железнодорожного транспорта при больших пассажиропотоках [14]. В частности может быть рекомендовано:

1. Учесть опыт метрополитенов Москвы и Санкт-Петербурга: досмотр основного пассажиропотока ограничен проходом через рамки металлоискателей, досмотр ручной клади при необходимости производится в ходе дополнительного досмотра, а не у всех пассажиров, что снижает нагрузку на систему ввиду увеличения скорости выходящего потока. Такая процедура не вызывает больших скоплений пассажиров у входа в вестибюли станций метрополитена;

2. Разработать методику обоснования проведения досмотра пассажиров с учетом опасности совершения актов незаконного вмешательства (далее – АНВ) в зоне досмотра;

3. На вокзалах, где невозможно избежать скопления большого количества пассажиров в зоне досмотра, отменить проведение данной процедуры как потенциально опасной из-за возможности совершения АНВ в этой зоне;

4. Подготовить предложения по изменению нормативно-правовой базы в области обеспечения транспортной безопасности на железнодорожном транспорте с учетом изложенных рекомендаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неудобства в приобретении билетов, а равно пользовании услугами вокзалов достаточно сильно сказывались на пассажиропотоке и до приведения зданий в соответствие с Российским законодательством в области транспортной безопасности. При экспертной оценке снижения показателей проведенной в 2008 году установлено, что влияние неудовлетворительной организации эксплуатационной работы вокзалов на снижение пассажирооборота составило около 6 % [15]. Такой эффект от

низкого качества билетно-кассового обслуживания достаточно просто поддается объяснению: увеличение времени на покупку билета ввиду простоя в очередях и длительности самой операции покупки влияет на длительность поездки в целом. В результате, пассажиры уходят на другие виды транспорта, где время поездки меньше.

Организация очередей перед входами в пассажирские здания также негативно влияет на выбор пассажиром вида транспорта. Такое поведение пассажиров вполне логично, именно поэтому к организации пассажиропотоков на вокзалах предъявлялись требования исключения возвратных движений и чрезмерного сосредоточения пассажиров в отдельных местах [16].

На данный момент, проблема, связанная с пропускной способностью вокзалов становится более актуальной. Интеграция железнодорожного транспорта в систему городских перевозок подразумевает значительное увеличение пассажиропотока. К примеру, в Санкт-Петербургской агломерации в перспективе до 2030 года прогнозируется увеличение численности населения на 1,1 млн. чел., что окажет сильное влияние на работу пригородного железнодорожного комплекса [17]. Указанное обстоятельство требует действий по обеспечению эффективности эксплуатационной работы вокзалов. В противном случае, воздействие увеличения времени на посадку в поезд приведет к снижению эффективности работы всего пригородного железнодорожного комплекса Санкт-Петербурга.

Имитационным моделированием работы проектируемого транспортно-пересадочного узла «Волковская» было установлено, что для обеспечения пропускной способности в 2700 пасс./час требуется по крайней мере четыре пункта досмотра [18]. Такая пропускная способность приемлема для промежуточных станций, где в «пиковые» часы отправляется порядка 400...500 пассажиров в поезде с интервалом 10 минут. Но для крупных существующих пассажирских станций этой пропускной способности недостаточно, т.к. в одном электропоезде 8-вагонной составности может уехать более 2000 человек.

С пассажирских станций крупнейших городов нередко отправляются поезда нескольких направлений, что приводит к уменьшению интервалов между отправлением пассажиров и увеличению нагрузки на пассажирские устройства. Следует обратить внимание и учесть, что пригородные пассажиропотоки отличаются сильной неравномерностью, что проявляется в отправлении большей части суточного пассажиропотока в сравнительно небольшой промежуток времени. Выявлено, что около 50% от суточного прибытия пассажиров приходится на утренние «пиковые» часы. Аналогично обстоит ситуация с массовым отправлением в вечернее время [19]. Итогом наложения перечисленных факторов является то, что в существующих пассажирских зданиях оказывается невозможным

размещение ТС ОТБ в количестве, обеспечивающим пропускную способность «пиковых» пассажиропотоков, из-за чего создается потенциальная опасность совершения АНВ в зоне досмотра.

Публикуемые в настоящей статье результаты исследования следует применять при расчете количества ТС ОТБ в ходе модернизации, реконструкции или проектирования пассажирских зданий. Расчет количества ТС ОТБ выполняется требование к проверке пропускной способности всех элементов на пути следования пассажиров [20]. Оценка результатов расчета по данной методике должна включать в себя обоснованность и анализ безопасности проведения мероприятий по досмотру пассажиров, ручной клади, багажа и грузобагажа с учетом потенциальной опасности совершения АНВ в зоне досмотра.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья опубликована при поддержке ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» инициативных научных работ, выполняемых студенческими научными коллективами.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Филиппов М.М., Уздин М.М., Подвязкин К.А. и др. Железные дороги. Общий курс: учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Транспорт, 1968. – 272 с. [Filippov MM, Uzdin MM, Podvyazkin KA, et al. Zheleznnye dorogi. Obshchii kurs: schoolbook. Moscow: Transport; 1968. (In Russ.)].
2. Шнейдер М.А., Проскурякова Е.А. Рынок пригородных железнодорожных перевозок: управление и экономика (монография) – СПб.: НП-Принт, 2012. – 288 с. [Shneider MA, Proskuryakova EA. Rynok prigorodnykh zheleznodorozhnykh perevozok: upravlenie i ekonomika (monograph). St. Petersburg: NP-Print; 2012. (In Russ.)].
3. Никифоров Б.Д., Пашинин С.А., Скабалланович В.С. и др. Техническая эксплуатация железных дорог: учеб. пособие. – М.: Транспорт, 1982. – 343 с. [Nikiforov BD, Pashinin SA, Skaballanovich VS, et al. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya zheleznykh dorog. Moscow: Transport; 1982. (In Russ.)].
4. Буканов М.А. Педь Л.И., Шрамов А.А. Справочник дежурного по станции. – М.: Транспорт, третье издание, перераб. и доп., 1987. – 239 с. [Bukanov MA, Ped' LI, Shramov AA. Spravochnik dezhurnogo po stantsii. Moscow: Transport; 1987. (In Russ.)].
5. Федеральный закон Российской Федерации №16-ФЗ от 9 февраля 2007 г. «О транспортной безопасности». [Federal Law of Russian Federation №16-FZ of 9

- February 2007. “O transportnoj bezopasnosti” (In Russ.)). Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_66069/ Дата обращения: 05.12.2021.
6. Приказ Минтранса России №227 от 23.07.2015 г. «Об утверждении Правил проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности». [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation №227 of 23 July 2015. “Ob utverzhdenii Pravil provedeniya dosmotra, dopolnitel'nogo dosmotra, povtornogo dosmotra v celjah obespecheniya transportnoj bezopasnosti”. (In Russ.)]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196007/ Дата обращения: 05.12.2021.
 7. Зубков И.И., Угрюмов А.К., Романов А.П. Организация движения на железнодорожном транспорте: Учебник для технич. школ ж.-д. транспорта. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 232 с. [Zubkov II, Ugryumov AK, Romanov AP. Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte: schoolbook. 5th ed. Moscow: Transport; 1981. (In Russ.)].
 8. Постановление Правительства Российской Федерации №1633 от 8 октября 2020 г. «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры железнодорожного транспорта». [Resolution of the Government of the Russian Federation №1633 of 8 October 2020. “Ob utverzhdenii trebovanij po obespecheniju transportnoj bezopasnosti, v tom chisle trebovanij k antiterroristicheskoy zashhishhennosti ob#ektov (territorij), uchityvajushhih urovni bezopasnosti dlja razlichnyh kategorij ob#ektov transportnoj infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta”. (In Russ.)]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365316/ Дата обращения: 05.12.2021.
 9. Платонов Г.А., Файнберг М.А., Штильман М.С. Поезда, пассажиры..., и математика. – М.: Транспорт, 1977. – 240 с. [Platonov GA, Fainberg MA, Shtil'man MS. *Poezda, passazhiry..., i matematika*. Moscow: Transport; 1977. (In Russ.)].
 10. Гмурман В.Е. Введение в теорию вероятностей и математическую статистику: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1963. – 239 с. [Gmurman VE. *Vvedenie v teoriyu veroyatnostei i matematicheskuyu statistiku*: schoolbook. Moscow: Vysshaya shkola; 1963. (In Russ.)].
 11. Дегтярев В.Г. Специальные разделы математики для транспортных специальностей: учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2007. – 79 с. [Degtyarev VG. *Spetsial'nye razdely matematiki dlya transportnykh spetsial'nostei*: schoolbook. St. Petersburg: PGUPS; 2007. (In Russ.)].
 12. Шумов С.Н., Лобачев А.В., Муштренко С.В. К вопросу обеспечения транспортной безопасности на объектах железнодорожного транспорта // Специальная техника и технологии транспорта. – СПб.: ВИ ЖДВ и ВОСО, 2021. – №11(49). – С. 91–96. [To the question of ensuring transportation security at railway facilities. *Special technic and transport technology*. 2021;11(49):91-96. (Russ., Engl.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46712247>. Ссылка активна на 23.01.2022.
 13. Филиппов А.Г., Смирнов С.С., Язев Д.В., Александров И.П. Определение потребных размеров движения пригородных поездов с учетом суточной и внутрисуточной неравномерностей распределения пассажиропотока //

- Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 528–536. [Determination of the required amount of traffic of suburban trains, taking into account all-day and intraday irregularities in passenger traffic distribution. *Proceedings of Petersburg State Transport University* 2021;18(4):528-536. (Russ., Engl.). doi: 10.20295/1815-588X-2021-4-528-536]
14. Тунева Т.С. Транспортная безопасность на железнодорожном транспорте: проблематика и пути решения / Материалы IV Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности». 30 марта 2021 года; СПб. М.: Институт развития дополнительного профессионального образования, 2021. – Т. 1. – С. 147–148. [Tuneva T.S. Transport safety on railway transport. Problems and solutions. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Theoretical and applied problems of integrated safety”*. 2021 Mar 30; St. Petersburg. Moscow: IAPPE; 2021. p. 147-148. (In Russ., Engl.). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46284777>. Ссылка активна на 23.01.2022.
 15. Грачев А.А., Котенко А.Г., Кудрявцев В.А. и др. Проектирование технологий организации пригородных перевозок: учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2009. – 54 с. [Grachev AA, Kotenko AG, Kudryavtsev VA, et al. *Proektirovanie tekhnologii organizatsii prigorodnykh perevozok*. St. Petersburg: PGUPS; 2009. (In Russ.)].
 16. Верховых Г.В., Зайцев А.А., Котенко А.Г. и др. Железнодорожные пассажирские перевозки / под ред. Г.В. Верховых. – СПб: СЗРЦ «РУСИЧ», «Паллада-медиа», 2012. – 520 с. [Verkhovyykh GV, Zaitsev AA, Kotenko AG. *Zheleznodorozhnye passazhirskie perevozki*. Verkhovyykh GV, editor. St. Petersburg: “RUSICH”, “Pallada-media”; 2012. 520 p. (In Russ.)].
 17. Четчуев М.В., Костенко В.В., Хомич Д.И. Санкт-Петербургский железнодорожный узел: перспективы развития // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 86. – С. 8–10. [Chetchuev MV, Kostenko VV, Khomich DI. *Sankt-Peterburgskii zheleznodorozhnyi uzel: perspektivy razvitiya*. *Transport Rossiiskoi Federatsii*. 2020;1(86):8-10. (In Russ.)].
 18. Марченко М.А., Костенко В.В. Моделирование работы проектируемого транспортно-пересадочного узла Волковская // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сб. трудов LXXXI Всероссийской научно-технич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб: ПГУПС, 2021. – С. 256–260. [Marchenko MA, Kostenko VV. *Modelirovanie raboty proektiruемого transportno-peresadochnogo uzla Volkovskaya* In: *Proceedings of the LXXXI Vserossiiskoi nauchno-tekhnich. konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. St. Petersburg: PGUPS; 2021. pp. 256-260. (In Russ.)].
 19. Кочнев Ф.П. Оптимальные параметры пригородных пассажирских перевозок. – М.: Транспорт, 1975. – 304 с. [Kochnev FP. *Optimal'nye parametry prigorodnykh passazhirskikh perevozok*. Moscow: Transport; 1975. (In Russ.)].
 20. Правдин Н.В. Пассажирские станции. – М.: Транспорт, второе издание, перераб. и доп., 1973. – 272 с. [Pravdin NV. *Passazhirskie stantsii*. 2nd ed. Moscow: Transport; 1973. (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Филиппов Антон Геннадьевич, к.т.н.;

eLibrary SPIN: 9847-9306; ORCID: 0000-0002-4404-6591;

E-mail: tigropard10@mail.ru

Смирнов Сергей Сергеевич, студент;

eLibrary SPIN: 5446-6499; ORCID: 0000-0002-9633-1861;

E-mail: sss1999@inbox.ru

Полиэкттов Дмитрий Александрович, студент;

eLibrary SPIN: 5294-4880; ORCID: 0000-0001-6104-104X;

E-mail: dipol_polipiter@mail.ru

Васильев Григорий Леонидович, студент;

ORCID: 0000-0003-3644-4271;

E-mail: grigoriy_vasiliev@mail.ru

Information about the authors:

Anton G. Filippov, Ph.D. in Technology;

eLibrary SPIN: 9847-9306; ORCID: 0000-0002-4404-6591;

E-mail: tigropard10@mail.ru

Sergey S. Smirnov, student;

eLibrary SPIN: 5446-6499; ORCID: 0000-0002-9633-1861;

E-mail: sss1999@inbox.ru

Dmitrii A. Poliektov, student;

eLibrary SPIN: 5294-4880; ORCID: 0000-0001-6104-104X;

E-mail: dipol_polipiter@mail.ru

Grigoriy L. Vasiliev, student;

ORCID: 0000-0003-3644-4271;

E-mail: grigoriy_vasiliev@mail.ru

Цитировать:

Филиппов А.Г., Смирнов С.С., Полиэкттов Д.А., Васильев Г.Л. Установление зависимости потребного количества устройств досмотра от их пропускной способности и пассажиропотока // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 80–95. doi: 10.17816/transsyst20228180-95

To cite this article:

Filippov AG, Smirnov SS, Poliektov DA, Vasiliev GL. The correlation between the number of security scanning devices, their capacity and passenger traffic. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2022;8(1):80-95. doi: 10.17816/transsyst20228180-95