

Новицкий А.В., Барташевский С.Е.
Національний гірничий університет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ-ТАКСИ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНЫХ ЗАТРАТ

Представлены результаты моделирования работы службы такси с использованием методов теории массового обслуживания. Показано, что основным критерием качества транспортного обслуживания для служб такси является вероятность отказа в обслуживании, а в качестве целевой функции для оценки эффективности работы службы такси целесообразно использовать суммарные затраты системы массового обслуживания. Установлено, что использование методов теории массового обслуживания позволяет определять оптимальное по критерию минимальных затрат значение количества работающих автомобилей для конкретных условий.

Ключевые слова: служба такси, система массового обслуживания, вероятность отказа в обслуживании, затраты.

Постановка проблемы. Одной из важнейших проблем, с которой сталкивается любое коммерческое предприятие, является снижение затрат на производство товара или услуги при условии обеспечения конкурентоспособных показателей качества. Особую актуальность данная проблема приобретает в условиях существенного превышения предложений над спросом, когда с одной стороны для привлечения клиентов необходимо повышать показатели качества, что обычно влечет за собой дополнительные затраты, с другой стороны экономическая ситуация требует снижения расходов. Именно в таких условиях приходится работать таксомоторным предприятиям.

В настоящее время по данным Профсоюза таксистов Украины частным извозом в Украине промышляют по меньшей мере 200 тыс. автовладельцев, что явно превышает потребности граждан в комфортной езде. Только в Киеве насчитывается 15–20 тыс. такси, хотя вполне хватило бы и вдвое меньшего автопарка. Причем эта цифра постоянно растет – зарабатывать на дорогах все чаще пытаются рядовые автолюбители, которые еще до кризиса приобрели авто и теперь занимаются частным извозом, чтобы обслуживать кредит. При этом увеличение количества предложений такси сопровождается снижением качества, что связано в первую очередь с низкой квалификацией сотрудников служб такси и выражается в увеличении времени ожидания и времени поездки, неоптимальных маршрутах доставки, высоких затратах на перевозку. Анализ работы служб такси крупных городов Украины показал, что большинство организационных решений принимается на основе опыта предыдущих периодов работы, а экономико-математическое обоснование если и проводится, то на основе упрощенных методик с использованием усредненных значений влияющих параметров. Так, на четырех из шести предприятий учет количества заявок осуществлялся по устным отчетам водителей. Ни на одном предприятии не собирается и не анализируется информация о времени выполнения заявок, количестве невыполненных заявок и т.д., а количество работающих в смену автомобилей зачастую определяется наличием исправных автомобилей. В результате отсутствует самая необходимая информация для разработки транспортно-технологической схемы транспортного обслуживания.

Одним из важнейших показателей качества организации работы службы такси является количество отказов в обслуживании. В борьбу за клиента в современных условиях перевозчики вкладываются значительные средства. По оценкам специалистов, привлечение нового клиента обходится фирме в 6 раз дороже, чем удержание существующего. А если клиент ушел неудовлетворенным, то на его возвращение приходится потратить в 25 раз больше средств [1]. Количество или вероятность отказа определяется количеством работающих автомобилей – чем больше автомобилей работает определенный период, тем выше вероятность выполнения поступившей заявки и меньше вероятность отказа. В благоприятной экономической ситуации задача повышения пропускной способности решается путем увеличения количества работающих автомобилей, при этом рост затрат перекрывается дополнительными доходами от выполненных заявок. Однако в условиях снижения покупательской способности населения и роста затрат на содержание подвижного состава подобное решение должно быть обосновано.

Для решение задачи обоснования параметров процесса транспортного обслуживания в настоящее время часто используют методы теории массового обслуживания, преимущество которых перед традиционными методами моделирования является учет случайного характера потока заявок и времени их обслуживания [2]. Именно это обстоятельство делает теорию массового

обслуживания мощным инструментом для моделирования различных процессов, в том числе и процесса транспортного обслуживания. Используя методы теории массового обслуживания, появляется возможность определения вероятностных параметров потоков заявок и обслуживания, а также определять параметры работы и показатели качества процесса обслуживания заявок таксомоторным предприятием.

Цель работы: обоснование эффективности использования методов теории массового обслуживания для экономико-математического моделирования процесса обслуживания заявок таксомоторным предприятием и выявление характера зависимостей технико-эксплуатационных и экономических показателей работы предприятия при использовании различных методов расчета.

Материалы исследования.

Объектом исследования является служба такси «Элит такси», работающая в г. Новомосковск (Днепропетровская область) и прилегающих районах. Предприятие обслуживает заявки круглосуточно в три восьмичасовых смены. Принятая технология предусматривает отказ в обслуживании при отсутствии свободных автомобилей, следовательно, предприятие может быть рассмотрено как многоканальная система массового обслуживания с отказами.

Списочный состав автомобилей составляет 27 ед. По данным финансового отдела предприятия, удельные затраты, связанные с движением автомобиля, составляют 136 грн/(авт.·час), затраты, связанные с простоем автомобиля – 41 грн/(авт.·час), затраты, связанные с отказом в обслуживании – 176 грн/(заяв.·час). Среднее количество поступающих заявок принимается равным: в I смену – 31,5 заяв./час, во II смену – 17,5 заяв./час, в III смену – 10,5 заяв./час. Среднее время выполнения заявки принимается равным: в I смену – 0,7 час (интенсивность потока обслуживания $\mu_{16} = 1,42$ заяв./час), во II и III смену – 0,5 час ($\mu_{26} = \mu_{36} = 2$ заяв./час). Первый этап исследований предусматривал сбор и анализ информации о количестве заявок и среднем времени обслуживания (рис.1). В результате обработки данных по методике [2], было установлено, что принятые на предприятии значения интенсивности потока заявок соответствуют действительности, а значения интенсивности потока обслуживания существенно отличаются. Так, фактическое среднее время выполнения заявки в I смену составило 0,73 час, во II смену – 0,47 час., в III смену – 0,34 час. Также на основании сравнения наблюдаемых и критических значений критерия Пирсона с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ было установлено, что оба потока описываются пуассоновским законом распределения со следующими интенсивностями:

- для потока заявок $\lambda_{1ф} = 31,46$ заяв./час, $\lambda_{2ф} = 17,44$ заяв./час, $\lambda_{3ф} = 10,53$ заяв./час;
- для потока обслуживания $\mu_{1ф} = 2,97$ заяв./час, $\mu_{2ф} = 1,37$ заяв./час, $\mu_{3ф} = 2,12$ заяв./час.

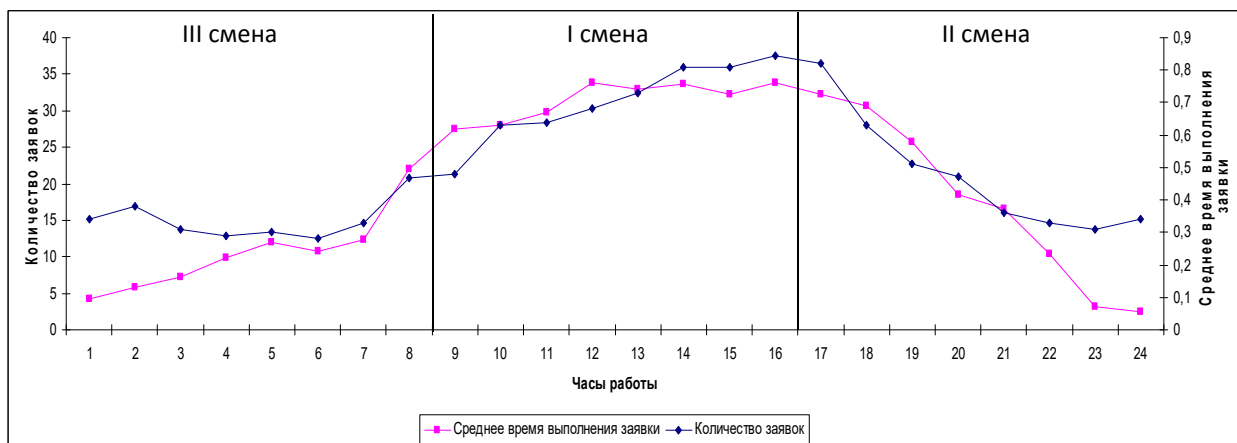


Рисунок 1 – Результаты обработки данных

Второй этап исследований предусматривал расчет основных параметров системы массового обслуживания для базового и проектного вариантов организации обслуживания заявок. К основным показателям многоканальных СМО с отказами относят [3]:

- количество каналов обслуживания – общее количество автомобилей, работающих с течение смены;
- вероятность обслуживания заявки – вероятность того, что заявка будет выполнена;
- вероятность отказа в обслуживании – вероятность того, что заявка не будет выполнена и покинет СМО;
- абсолютная пропускная способность системы – среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени.

Кроме этого, одной из задач исследования является обоснование оптимального количества автомобилей, работающих в течение каждой смены, по критерию минимальных общих затрат СМО.

Общие затраты СМО с отказами определяются по формуле [4]

$$C_{СМО} = C_{пр} \bar{n}_{св} + C_{ов} \bar{n}_z + C_{отк} p_{отк} \lambda,$$

где $C_{пр}$ – удельные затраты, связанные с простоем автомобиля, грн/(авт.·час); $C_{ов}$ – удельные затраты, связанные с движением автомобиля, грн/(авт.·час); $C_{отк}$ – удельные затраты, связанные с отказом в обслуживании, грн/(заяв.·час); $\bar{n}_{св}, \bar{n}_z$ – среднее количество свободных и занятых обслуживанием автомобилей, соответственно; $p_{отк}$ – вероятность отказа в обслуживании. Следовательно, целевую функцию можно записать в виде

$$[C_{пр} \bar{n}_{св} + C_{ов} \bar{n}_z + C_{отк} p_{отк} \lambda] \rightarrow \min.$$

Для базового варианта расчетов использовались данные полученные на объекте исследования. Согласно информации предприятия, в I смену работает 23 автомобиля, во II смену – 9 автомобилей, в III смену – 6 автомобилей. Результаты расчетов основных показателей работы СМО представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета показателей работы СМО (базовый вариант)

Показатель		I смена	II смена	III смена
Интенсивность входящего потока заявок, заяв./час	λ	31,5	17,5	10,5
Среднее время обслуживания, час/заяв.	$t_{обс}$	0,7	0,5	0,5
Количество работающих автомобилей, ед	n	23	9	6
Интенсивность нагрузки на систему, заяв./час	ρ	22,05	8,75	5,25
Вероятность отказа в обслуживании	$p_{отк}$	0,130	0,210	0,211
Среднее кол-во занятых автомобилей, ед	$n_{зан}$	19,25	6,89	4,15
Затраты, связанные с движением автомобиля, грн/час	$Z_{дв}$	2714	937	564
Затраты, связанные с простоем автомобиля, грн/час	$Z_{пр}$	154	87	76
Затраты, связанные с отказом в обслуживании, грн/час	$Z_{отк}$	796	645	392
Общие затраты СМО, грн/час	$C_{СМО}$	3664	1668	1032

Анализ результатов показывает низкую эффективность работы СМО при базовом варианте организации транспортного обслуживания. В каждую смену предприятие использует минимально возможное количество автомобилей, ориентируясь на интенсивность нагрузки и стремясь сократить затраты, связанные с эксплуатацией подвижного состава. В тоже время вероятность отказа в обслуживании составляет 13% в I смену и 21% во II и III смены, а показатель «потерянные деньги / заработанные деньги» составляет 0,149 в I смену и 0,260 во II и III смены.

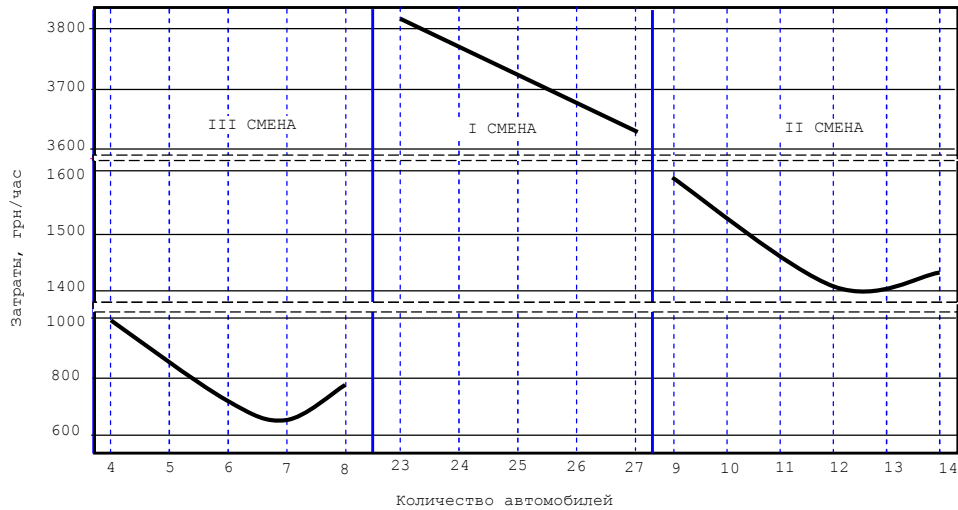
Последующие расчеты выполнялись по той же методике, однако задачей расчетов являлось определение оптимального количества работающих автомобилей, при котором обеспечивается условие минимума общих затрат. Для этого проведены расчеты основных показателей работы многоканальной СМО с отказами при различном количестве работающих автомобилей. Учитывая то, что фактические значения интенсивности потока обслуживания заявок существенно отличаются от принятых ранее, интенсивность нагрузки на систему для проектного варианта составит в I смену $\rho_{0,73} = 31,5 / 0,73 = 22,97$ заяв./час; во II смену $\rho_{0,47} = 17,5 / 0,47 = 8,22$ заяв./час; в III смену $\rho_{0,37} = 10,5 / 0,37 = 3,55$ заяв./час.

Исходя из условия устойчивой работы многоканальной СМО $\rho / n \leq 1$, принимаем минимальное количество работающих автомобилей в I смену – 23 автомобиля, во II смену – 9 автомобилей, в III смену – 4 автомобиля. Пример результатов расчета приведен в таблице 2.

Как показал анализ результатов, при увеличении количества работающих автомобилей вероятность отказов обслуживания уменьшается по экспоненциальному закону, среднее количество автомобилей, занятых обслуживанием заявок, также увеличивается нелинейно, что приводит к пропорциональному росту затрат, связанных с движением и простоем подвижного состава. График зависимости $C_{СМО}(n)$ имеет минимум при $n = 7$ ($C_{СМО} = 678$ грн/час), следовательно, можно утверждать, что при рассматриваемых условиях работы оптимальное количество работающих в III смену автомобилей составит 7 единиц, в I смену – 27 единиц, во II смену – 13 единиц (рис.2).

Таблица 2 Результаты расчета показателей работы СМО (проектный вариант, III смена)

Показатель		Количество автомобилей					
		4	5	6	7	8	9
Вероятность отказа в обслуживании	$p_{отк}$	0,265	0,158	0,086	0,042	0,018	0,007
Среднее кол-во занятых автомобилей, ед	$n_{зан}$	2,606	2,985	3,243	3,399	3,483	3,522
Затраты, связанные с движением, грн/час	$Z_{дв}$	354	406	441	462	474	479
Затраты, связанные с простоем, грн/час	$Z_{пр}$	57	83	113	148	185	225
Затраты, связанные с отказом, грн/час	$Z_{отк}$	491	293	159	77	34	13
Общие затраты СМО, грн/час	$C_{смо}$	903	782	713	687	692	717

Рис.2. График зависимости $C_{смо}(n)$

Сравнительный анализ базовых и расчетных параметров работы предприятия показал, что использование уточненных данных о средней продолжительности выполнения заявок, полученных в результате статистической обработки данных, позволяет скорректировать интенсивность нагрузки на СМО, что позволяет получить более адекватные результаты, учитывающие случайный характер потока обслуживания заявок. Использование средних показателей при расчете интенсивности потока обслуживания дает отклонение до 40 % для пиковых периодов работы. Также установлено, что для всех трех смен целесообразно увеличить количество работающих автомобилей, поскольку в этом случае появляется возможность уменьшить вероятность отказа в обслуживании и увеличить пропускную способность системы. При этом, несмотря на увеличение затрат $Z_{дв}$ и $Z_{пр}$, суммарные затраты уменьшаются за счет снижения потерь от отказов (табл.3).

Таблица 3 – Сравнение показателей эффективности СМО для базового и проектного вариантов

Показатель	I смена		II смена		III смена	
	Базовый вариант	Проектный вариант	Базовый вариант	Проектный вариант	Базовый вариант	Проектный вариант
Интенсивность входящего потока заявок	31,46	31,46	17,44	17,44	10,53	10,53
Среднее время обслуживания	0,70	0,73	0,50	0,47	0,50	0,34
Интенсивность обслуживания заявок	1,42	1,37	2,00	2,12	2,00	2,97
Интенсивность нагрузки на СМО	22,12	22,97	8,72	8,22	5,26	3,55
Количество работающих автомобилей	23	27	9	13	6	7
Вероятность отказа в обслуживании	0,130	0,934	0,210	0,035	0,211	0,042
Абс. пропускная способность системы	27,38	29,38	13,77	16,82	8,30	10,09
Затраты, связанные с движением автомобиля	2714	2906	937	1078	564	462
Затраты, связанные с простоем автомобиля	154	180	87	208	76	148
Затраты, связанные с отказом в обслуживании	796	630	645	108	392	77
Общие затраты СМО	3664	3657	1668	1394	1032	687
Изменение затрат СМО, грн/час	-7		-274		-345	

Выводы: в результате моделирования процесса обслуживания заявок службой такси с использованием методов теории массового обслуживания установлено следующее:

1) для обоснованного выбора рациональных параметров технологической схемы таксомоторных перевозок целесообразно применять методы теории массового обслуживания, поскольку в этом случае появляется возможность учета случайного характера потока входящих заявок и времени обслуживания;

2) наряду со сбором и анализом информации о количестве заявок на перевозку необходимо вести постоянные наблюдения за временем выполнения заявки, в противном случае возможны значительные отклонения полученных параметров от оптимальных значений;

3) снижение общих затрат таксомоторного предприятия возможно за счет привлечения дополнительного подвижного состава для обслуживания заявок, что позволяет за счет повышения вероятности обслуживания уменьшить потери, связанные с отказами в перевозках.

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: пер. с англ./ Л.Клейнрок. – М.: Машиностроение. – 1979. – 432 с.
2. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и её инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384с.
3. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
4. Хинчин А.Я. Математические методы теории массового обслуживания/ А.Я. Хинчин. – М.: Наука, 1963. – 248 с.

REFERENCES

1. Kleinrock, L. (1979). *Queueing theory*. [Теория массового обслуживания]. Moscow, Engineering Publ. 432 p.
2. Wentzel, E. (1991). *Theory of random processes and its engineering applications*. [Теория случайных процессов и её инженерные приложения]. Moscow, Higher school Publ. 384 p.
3. Koroliuk, V. (1985). *Directory to the theory of probability and mathematical statistics*. [Справочник по теории вероятностей и математической статистике]. Moscow, Science. 640 p.
4. Khinchin, A. (1963). *Mathematical methods of queueing theory*. [Математические методы теории массового обслуживания]. Moscow, Science. 248 p.

Новицкий О.В., Барташевский С.Е. Визначення оптимальної кількості автомобілів-таксі за критерієм мінімальних витрат.

Наведено результати моделювання роботи служби таксі з використанням методів теорії масового обслуговування. Показано, що основним критерієм якості транспортного обслуговування для служб таксі є імовірність відмови в обслуговуванні, а в якості цільової функції для оцінки ефективності роботи доцільно використовувати сумарні витрати системи масового обслуговування. Встановлено, що використання методів теорії масового обслуговування дозволяє визначати оптимальну за критерієм мінімальних витрат кількість працюючих автомобілів, для конкретних умов.

Ключові слова: служба таксі, система масового обслуговування, імовірність відмови в обслуговуванні, витрати.

O. Novytski, S. Bartashevski. Determination of the optimal number of taxis by the criterion of minimum cost.

The results of the simulation of a taxi service using the methods of queueing theory. It is shown that the main criterion for the quality of transport service for taxi services is the possibility of a denial of service, as well as an objective function for evaluating the performance of taxi services appropriate to use the total cost of queueing system. It was found that the use of the methods of queueing theory allows to determine the optimal by criterion of minimum cost for the number of working vehicles for specific conditions.

Keywords: taxi service, queueing system, the probability of failure in service, costs.

АВТОРИ:

НОВИЦЬКИЙ Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: novitsk_a@mail.ru

БАРТАШЕВСЬКИЙ Станіслав Євгенович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і технологій, Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: xfiles07@mail.ru.

AUTHORS:

Alexey Novytski, PhD, Assoc. Professor of Transport Management Department, National Mining University, e-mail: novitsk_a@mail.ru;

Stanislav Bartashevski, PhD, Assoc. Professor the Department of Transport Systems and Technologies, National Mining University, e-mail: xfiles07@mail.ru.