

DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-1-246
УДК 656.021



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

СНИЖЕНИЕ ЗАТОРОВ НА ОСТАНОВОЧНОМ ПУНКТЕ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУПП АВТОБУСОВ В ГОРОДЕ ЧЕЛЯБИНСКЕ

Ю.И. Аверьянов, Х.М.А. Асфур

Одной из основных проблем заторных процессов на остановочных пунктах (ОП), является то, что увеличение количества автобусов и маршрутов приводит к нарушению организации их прохождения через ОП. Плохая организация прохождения автобусами ОП может привести к тому, что в часы пик очереди автобусов могут растянуться на сотни метров. Формирования автобусов в группу может снизить заторные процессы на ОП и повысить их пропускную способность, как результат одновременного заезда и выезда автобусов с него. С целью проверки высказанной гипотезы были проведены экспериментальные и теоретические исследования процесса прохождения автобусов через ОП «пл. Революции» на пр. Ленина г. Челябинска. В процессе проведенных исследований было установлено, что при использовании 3 автобусов в группе время обслуживания пассажиров на ОП будет снижена в пределах от 52-56%. Данный факт позволяет утверждать, что движение автобусов в группе через ОП повысит его пропускную способность, примерно на 50% и снизит вероятность заторных процессов на нем.

Цель – снижение заторов на остановочном пункте путем формирования групп автобусов.

Метод и методология проведения работы. В статье использовались методы наблюдения и сравнения, а также методы анализа.

Результаты. Получены диаграммы основных данных экспериментальных исследований и теоретические зависимости времени нахождения 3 автобусов в группе и 3 автобусов, прибывших один за другим, на ОП «пл. Революции» от номеров маршрутов в утреннее и вечернее время.

Область применения результатов. Полученные результаты целесообразно применять при организации движения автобусов через остановочный пункт, путем формирования автобусов в группы.

Ключевые слова: заторный процесс; формирование групп автобусов; остановочный пункт; количество остановочных мест; время обслуживания пассажиров; пропускная способность

Для цитирования. Аверьянов Ю.И., Асфур Х.М.А. Снижение заторов на остановочном пункте путем формирования групп автобусов в городе Челябинске // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 1. С. 106-120. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-1-246

Original article | Operation of Road Transport

REDUCING THE CONGESTION AT A BUS STOP BY FORMING GROUPS OF BUSES IN CHELYABINSK CITY

Yu.I. Averyanov, H.M.A. Asfoor

The one of the main problems of congestion processes at bus stopping points (SP) is that an increase in the number of buses and routes leads to a disruption in the organization of their passage through the SP. The poor organization of bus passage through the SP can lead to the fact that during peak hours, the buses queue can stretch for hundreds of meters. The forming buses into a group can reduce the congestions at the SP and increase their throughput, as a result of the simultane-

ous arrival and departure of buses from the SPs. In order to check the stated hypothesis, experimental and theoretical studies were carried out on the process of passing buses through the SP "Revolution Sq." on Lenin Ave., Chelyabinsk city, Russia. In this article was found that, when using three buses in one group, the passenger service time at the SP will be reduced in the range of (52-56) %. This result can lead to assert that the buses movement in a group through the SP will increase its capacity by approximately 50% and reducing the possibility of congestion at bus stopping points.

Purpose. *Reducing the congestion at the bus stopping points by forming groups of buses.*

Methodology. *In the article the observation and comparison methods are used as the analysis methods.*

Results. *The most informative parameters showing some aspects of carrying out the analysis of export operations are received.*

Practical implications. *The diagrams of the main data of experimental studies and theoretical dependences of the dwell time that spent by three buses in one group and three buses arriving one by one at SP "Revolution Sq." are got from the route numbers in the morning and evening.*

Keywords: *congestion process; formation buses group; bus stopping point; berths; passenger service time; throughput of bus stopping point*

For citation. *Averyanov Yu.I., Asfoor H.M.A. Reducing the Congestion at a Bus Stop by Forming Groups of Buses in Chelyabinsk City. International Journal of Advanced Studies, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 106-120. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-1-246*

Введение

Основным фактором роста и развития страны является транспортная система. В крупнейших городах России и развивающихся стран в связи с возрастающими темпами роста автомобилизации возникла серьезная проблема в транспортной системе [1]. Существует множество путей и способов повышения интенсивности потока автобусов на маршрутах путем создания отдельных полос,

двойных полос, нескольких посадочных площадок на остановочных пунктах (ОП) или использование адаптивных светофоров [2]. Одним из способов улучшения работы ОП является движение автобусов через ОП в составе группы с наименьшими возможными интервалами между ними в этой группе [3]. Для улучшения пропускной способности ОП предлагается информировать пассажиров о местах остановки автобусов, используя мониторы или карты указателей, напечатанные на ОП [4]. Работа автобусов в группе является одним из эффективных способов увеличения как пропускной способности автобусной полосы, с высокой интенсивностью потока, так и ОП [9 и 10]. Известно, что пропускная способность системы общественного транспорта (автобусов) состоит из физических компонентов, изображенных на рис. 1 [11].



Рис. 1. Эскиз физических элементов системы общественного транспорта [11]

Формирования групп автобусов может повысить их пропускную способность за счет снижения заторных процессов на ОП, как результат одновременного заезда и выезда автобусов с него.

Известно также, что площадка ОП может считаться занятой в любой момент, если автобус, который хочет расположиться на этой площадке, не может выполнить надлежащий маневр. Таким образом, автобус «использует» площадку ОП с того момента, когда его приближение не позволит другим автобусам сделать то же самое, до момента, когда он покинет зону, чтобы другой автобус мог приблизиться [13].

Сформированная группа автобусов может работать как «метро», в значительной степени благодаря возможности сократить общее время остановки до 40 секунд или меньше на ОП. Обычно автобусному сообщению часто требуется более 60 секунд для

остановки, хотя конкретное время будет зависеть от количества пассажиров и других факторов, например пиковых периодов, связанных с дополнительным временем, необходимым для посадки и высадки большого количества пассажиров. [5 и 14].

Согласно Szász et al (1978), [6 и 8], на автобусной полосе без светофоров один автобус может проезжать заданную точку каждые 3,5 с, что означает пропускную способность 1030 авто/ч. При наличии светофоров вышеуказанная пропускная способность должна быть уменьшена на отношение эффективного зеленого цикла к времени цикла нисходящего светофора. Например, если время зеленого света равно 50% времени цикла, можно получить пропускную способность 515 автобусов в час, что выше, чем нормальный поток автобусов практически на любом участке дорожной полосы.

Однако фактически критическими точками автобусных полос являются промежуточные ОП. Например, если четыре пассажира садятся в каждый автобус со скоростью 3 с/пасс, и каждый автобус занимает 12 с, входя в автобус, открывая и закрывая двери, и покидая автобусную остановку, то максимальная пропускная способность, равная 150 авто/ч [6].

Процесс формирования групп автобусов можно рассмотреть, например, как автобусы относятся к одной из трех групп (А, В и С) (рис. 2).

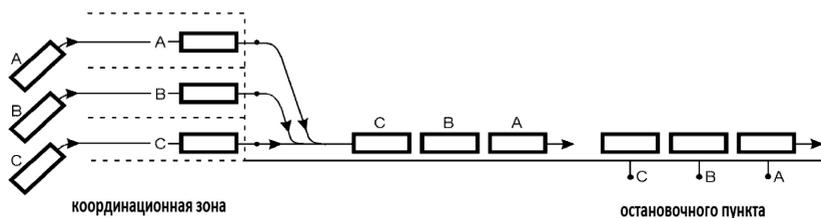


Рис. 2. Операции автобусного конвоя [7]

При таком формировании групп автобусы прибывают в координационную зону в случайном порядке и выстраиваются в предпочтительной последовательности, но не в строгие группы. Этот

способ может повысить курсовую скорость автобусов при высоком уровне пассажирского спроса [15].

На основании проведенных аналитических исследований можно выдвинуть гипотезу о том, что формирование автобусов в отдельную группу повысит пропускную способность ОП.

С целью проверки высказанной гипотезы были проведены экспериментальные исследования процесса прохождения автобусов через ОП «пл. Революции» на пр. Ленина г. Челябинска. В процессе экспериментальных исследований учитывалось: количество маршрутов; количество автобусов на маршруте; количество выходящих и входящих пассажиров и время нахождения автобуса на ОП.

Экспериментальные исследования процесса прохождения автобусов через ОП проводились по два часа в утреннее и вечернее время в период высокой интенсивности пассажиропотока.

Результаты экспериментальных исследований процесса прохождения автобусов через ОП на маршрутах №2, №4, №17, №18, №22, №64 и №92 на ОП «пл. Революции» утром 12.07.2023 представлены из рис. 3.



Рис. 3. Диаграмма основных данных экспериментальных исследований остановочного пункта «Площадь Революции» в утреннее время 12.07.2023

Результаты экспериментальных исследований процесса прохождения автобусов через ОП на маршрутах №2, №4, №64 и №92 на ОП «пл. Революции» вечером 12.07.2023 представлены из рис. 4.



Рис. 4. Диаграмма основных данных экспериментальных исследований остановочного пункта «Площадь Революции» в вечернее время 12.07.2023



Рис. 5. Диаграмма основных данных экспериментальных исследований остановочного пункта «Площадь Революции» в утреннее время 13.07.2023

Результаты проведенных экспериментальных исследований на маршрутах №2, №4, №17, №18, №22, №64, №92 на остановочном пункте «Площадь Революции» утром 13.07.2023 представлены из рис. 5.

Результаты проведенных экспериментальных исследований на маршрутах №2, №4, №64, №92 на остановочном пункте «Площадь Революции» вечером 13.07.2023 представлены из рис. 6.



Рис. 6. Диаграмма основных данных экспериментальных исследований остановочного пункта «Площадь Революции» в вечернее время 13.07.2023

С учетом полученных исходных данных экспериментальных исследований (рис. 4, 5 и 6) определим теоретическое время обслуживания пассажиров на ОП при условии движения автобусов в группе.

С этой целью выполним теоретические исследования процесса прохождения ОП автобусами, сформированными в отдельную группу. Известно, что при движении автобуса через ОП, когда посадка и высадка происходит практически одновременно через все двери, время обслуживания может быть определено из уравнения (1), [12]:

$$T_{\text{обсл}} = T_{\text{п}} + p_{\text{вх}} \cdot t_{\text{вх}} + p_{\text{вых}} \cdot t_{\text{вых}} \quad (1)$$

где $T_{\text{обсл}}$ – время обслуживания автобусов на ОП, с; $T_{\text{п}}$ – время простая (задержки) автобусов, с; $p_{\text{вх}}$, $p_{\text{вых}}$ – количество пассажи-

ров соответственно входящих и выходящих из автобусов, чел.; $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$ – среднее время соответственно посадки и высадки на одного пассажира, с;

Если посадка пассажиров в автобус производится через одни двери, а высадка через другие, то время обслуживания автобуса может быть определено из уравнения (2):

$$T_{\text{обсл}} = T_{\text{п}} + \text{Max}(p_{\text{вх}} \cdot t_{\text{вх}}) p_{\text{вых}} \cdot t_{\text{вых}} \quad (2)$$

Известно также, что время обслуживания состоит из трех отдельных составляющих: времени посадки, времени высадки и времени простоя. Время посадки и высадки может происходить одновременно, как в один автобус, так и в несколько автобусов, при их движении группой.

При этом время простоя одного автобуса без очереди на ОП зависит от его длины и может быть определено по уравнению (3):

$$T_{\text{п}} = 13 + L_{\text{авто}} \cdot 0.25 \quad (3)$$

где: $T_{\text{п}}$ – время простоя автобуса на ОП, сек; $L_{\text{авто}}$ – длина автобуса, м.

В случае заторных ситуаций на ОП время простоя для группы автобусов может быть определено по уравнению (4):

$$T_{\text{п гр авто}} = 13 + L_{\text{авто}} \cdot 0.25 + (2 + 0.17 \cdot L_{\text{авто}}) \cdot (N - 1) \quad (4)$$

где: $T_{\text{п гр авто}}$ – время простоя автобусов в группе, сек; $L_{\text{авто}}$ – длина каждого автобуса в группе (средняя длина автобусов в группе), м; N – количество автобусов в группе, ед.

Если посадка и высадка пассажиров осуществляется одновременно в несколько автобусов, сформированных в группу, то время их обслуживания может быть определено из уравнения (5):

$$T_{\text{обсл } N \text{ мест}} = T_{\text{п}} + \frac{3}{N+2} \cdot \sum_{i=1}^N T_i \quad (5)$$

где: $T_{\text{обсл } N \text{ мест}}$ – среднее время обслуживания автобусов в группе на ОП с N местами (уравнение будет содержать 2^N членов); N – количество автобуса в группе; $T_{\text{п}}$ – время простоя (задается уравнением 4); T_i – переменное время обслуживания для i -го места на ОП, рассчитанное отдельно (задается уравнением 2 без учета $T_{\text{п}}$).

Используя исходные данные (табл. 1), полученные в процессе экспериментальных исследований на маршруте №2 за два дня в утрен-

нее и вечернее время 12.07.2023 и 13.07.2023 года на ОП «пл. Революции» г. Челябинск, выполним расчеты времени обслуживания пассажиров для одного автобуса, на примере микроавтобуса. Приняв его длину 7 метров и средние значения данных из табл. 1 и используя уравнение 3 получим, что время простоя автобуса составит $T_n = 14.75$ сек., а используя уравнение 2, определим время обслуживания пассажиров, которое составит $T_{\text{обсл}} = 14,75 + (53/11) \cdot 3 = 29$ сек.

Таблица 1.

Исходные данные, полученные в процессе экспериментальных исследований на маршруте №2

Номер Маршрута №2				
Дата исследования	Пассажиры		Количество автобусов	Время входа и выхода автобуса (сек)
	Вышло	Зашло		
12.07 утром	49	48	13	38
12.07 вечером	69	52	11	36
13.07 утром	41	48	10	35
13.07 вечером	53	41	10	43
Средние	53	47	11	38

Если к расчетной величине времени обслуживания пассажиров добавить 5 секунд на открытие и закрытие дверей, и вход-выход с ОП 5 секунд, тогда расчетное время входа и выхода автобуса с ОП составит $T_{\text{вх.вых}} = 29 + 5 + 5 = 39$ сек., что совпадает с исходными данными табл. 1.

В случае использования автобусов в группе, например 3-х автобусов, можно рассчитать время их простоя на ОП с учетом уравнения 4:

$$T_n = 14,75 + (2 + 0,17 \cdot 7) \cdot (3 - 1) = 21,2 \text{ сек}$$

Используя уравнение 5 рассчитаем время обслуживания пассажиров на ОП для трех автобусов в группе:

$$T_{\text{обсл}} = 21,2 + (3/5) \cdot (29 - 14,75) \cdot 3 = 46,85 \text{ сек}$$

Приведенный теоретический расчет времени обслуживания пассажиров на ОП одного автобуса, с учетом исходных данных табл. 1, показал, что это время равно 29 сек, а расчет того же вре-

мени по уравнение 5 для трех автобусов в группе составило 46,85 сек, как показано на рис. 7.

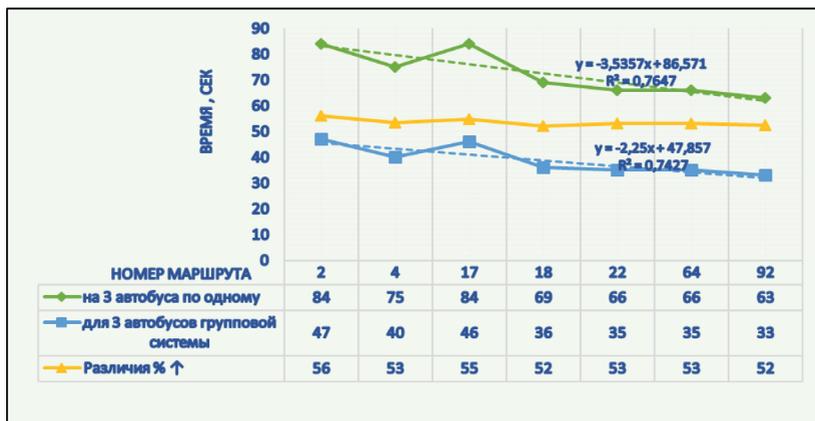


Рис. 7. Зависимости времени нахождения 3 автобусов в группе и 3 автобусов, прибывши один за другим, на ОП «пл. Революции» от номеров маршрутов в утреннее время 12.07.2023 г.

Если сравнить теоретические расчеты, времена обслуживания пассажиров на ОП для 3 автобусов в группе, равное 46,85 сек, и для 3 автобусов, прибывающих один за другим, равное $29 \cdot 3 = 84$ сек то можно утверждать, что второе время превышает первое примерно на 55,8%.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований времени обслуживания пассажиров на ОП с учетом автобусов, которые относятся к микроавтобусам и средним автобусам, на маршрутах №2, №4, №17, №18, №22, №64 и №92, с высокой интенсивностью и пассажиропотоком, показали, что времена обслуживания пассажиров на ОП для 3 автобусов в группе ниже, чем для 3 автобусов, прибывшими один за другим, в пределах от 52% до 56% рис. 7.

На рис. 8 показаны зависимости времени нахождения 3 автобусов в группе и 3 автобусов, прибывающих один за другим, на ОП «пл. Революции» от номеров маршрутов в вечернее время 12.07.2023 г.

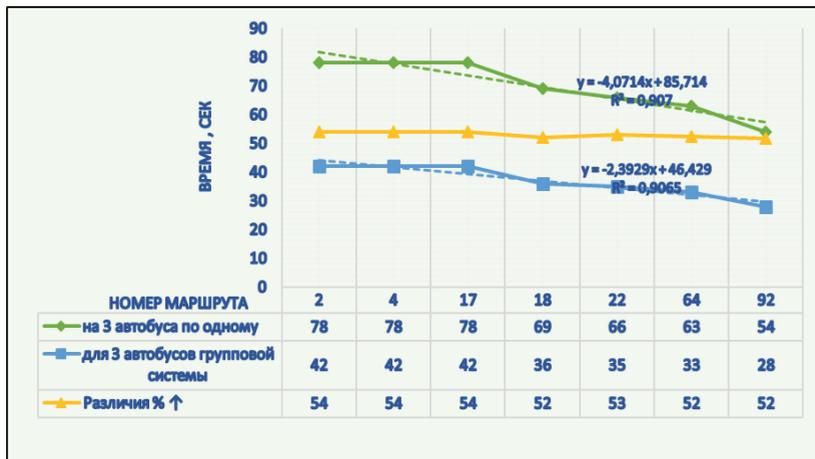


Рис. 8. Зависимости времени нахождения 3 автобусов в группе и 3 автобусов, прибывши один за другим, на ОП «пл. Революции» от номеров маршрутов в вечернее время 12.07.2023 г.

Из рис.7 и 8 зависимостей времени нахождения 3 автобусов в группе и 3 автобусов, прибывающих один за другим, от номеров маршрутов, как в утреннее, так и вечернее время 12.07.2023 г. видно, что при использовании 3 автобусов в группе время обслуживания пассажиров на ОП будет снижена в пределах от 52-56%.

Данный установленный факт позволяет утверждать, что движение автобусов в группе через ОП повысит его пропускную способность, примерно на 50% и снизит вероятность заторных процессов на нем.

Список литературы / References

1. Averyanov Y.I., Asfoor H.M.A, Golenyaev N.S. Influence of the Speed of Motion of Public Motor Transport and the Time of the Green Signal of the Light Traffic on the Formation of Their Transport Flow. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 666, no. 4, p. 042085. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042085>

2. Freeman J. Technical Memorandum–Transit Signal Priority Implementation on International Drive: TSP Evaluation Summary Draft. Kittelson and Associates. Inc. 2013.
3. Fernandez R., Planzer R. On the capacity of bus transit systems. *Transport reviews*, 2002, vol. 22(3), pp. 267-293. <https://doi.org/10.1080/01441640110106328>
4. Romea G., Estrada M. Analysis of an autonomous driving modular bus system. *Transportation Research Procedia*, 2021, vol. 58, pp. 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.025>
5. Аверьянов Ю.И. Теоретическое обоснование скоростного режима общественного автотранспорта для безостановочного проезда регулируемого перекрестка / Ю. И. Аверьянов, Х. М. А. Асфур, Н. С. Голеняев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2021. Т. 15, № 1. С. 182-188. <https://doi.org/10.14529/em210119> [Averyanov Yu.I., Asfoor H.M.A., Golenyayev N.S. Theoretical Rationale of the Speed Mode of Public Transport for Non-stop Passage at a Signal-Controlled Crossing. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2021, vol. 15, no. 1, pp. 182-188. <https://doi.org/10.14529/em210119>]
6. Szasz P.Á., de Carvalho Montans L., Ferreira E. O. COMONOR: ordained bus convoy (No. 9). Companhia de Engenharia de Tráfego. 1978.
7. Meirelles A. A review of bus priority systems in Brazil: from bus lanes to busway transit. *Smart Urban Transport Conference, 2000, Brisbane, Queensland, Australia*, 2000.
8. Asfoor H.M.A., Averyanov Y.I. Bus Stop Points for Urban Passenger Transport and the Factors That Influence Their Capacity. *2021 International Conference on Advance of Sustainable Engineering and its Application (ICASEA)*. IEEE, 2021, pp. 137-140. <https://doi.org/10.1109/ICASEA53739.2021.9733084>
9. Gibson J., Fernández R. Recomendaciones para el diseño de paraderos de buses de alta capacidad. *Apuntes de ingeniería*, 1995, vol. 18(1), pp. 35-50.

10. Jacques K.S., Levinson H.S. Operational analysis of bus lanes on arterials. Report 26. Transportation Research Board, 1997. https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_26-a.pdf
11. Daganzo C.F. Structure of competitive transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2010, vol. 44(4), pp. 434-446. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.11.001>
12. Highway capacity manual. Washington, DC, 2000. https://snavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/highway_capacital_manual.pdf
13. Germani E., Szasz P.A. COMONOR-A bus convoy system. *30th IEEE Vehicular Technology Conference*, 1980, vol. 30, pp. 413-417. <https://doi.org/10.1109/VTC.1980.1622844>
14. Çalıřkanelli S. P., Cořkun Atasever F., Tanyel S. Start-up lost time and its effect on signalized intersections in Turkey. *Promet – Traffic&Transportation*, 2017, vol. 29, no. 3, pp. 321-329. <https://doi.org/10.7307/ptt.v29i3.2214>
15. Asfoor H.M.A., Averyanov Y.I., Golenyaev N.S. Improving the Bus Stops Capacity Depending on Capacity of Bus Lane and Regulated Intersection Capacity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1232, no. 1, p. 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1232/1/012050>

ДАНИЕ ОБ АВТОРАХ

Аверьянов Юрий Иванович, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», доктор технических наук
Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)
пр. Ленина, 76, г. Челябинск, Челябинская область, 454080, Российская Федерация
aver541710@mail.ru

Асфур Хасананн Мухи Асфур, соискатель кафедры «Автомобильный транспорт»
Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)

*пр. Ленина, 76, г. Челябинск, Челябинская область, 454080,
Российская Федерация
iraqieng2003@yahoo.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yuri I. Averyanov, Professor of the Department of Life safety, Doctor of Technical Sciences

South Ural State University

76, Lenin Ave., Chelyabinsk, Chelyabinsk Region, 454080, Russian Federation

aver541710@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5934-4436>

Scopus Author ID: 57202610487

Asfoor Hasanain Muhi Asfoor, Department Applicant in the Department of Automobile Transport

South Ural State University

76, Lenin Ave., Chelyabinsk, Chelyabinsk Region, 454080, Russian Federation

iraqieng2003@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3448-101X>

Scopus Author ID: 57222469510

Поступила 13.02.2024

После рецензирования 01.03.2024

Принята 07.03.2024

Received 13.02.2024

Revised 01.03.2024

Accepted 07.03.2024