

Рисунок 6 – 3d-модель поверхности излома в собственных осях

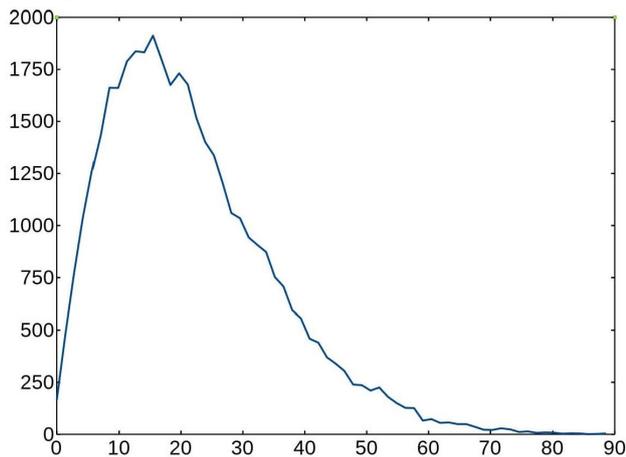


Рисунок 7 – Гистограмма отклонения нормалей к треугольникам от локальной

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Феллоу, Д. Фрактография и атлас фрактограмм. – М. : Металлургия, 1982.
2. Кудря, А. В. Оценка строения изломов и структур в конструкционных сталях с использованием компьютеризированных процедур / А. В. Кудря [и др.] // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 4(34). – С. 44–52.
3. Kosarevych, R. Y. [et al.] Computer analysis of characteristic elements of fractographic images // Materials Science. – 2013. – Т. 48. – № 4. – С. 474–481.
4. Dutta, S. Automatic characterization of fracture surfaces of AISI 304LN stainless steel using image texture analysis / S. Dutta [et al.] // Measurement. – 2012. – Т. 45. – № 5. – С. 1140–1150.
5. Bastidas-Rodriguez, M. X. Fractographic classification in metallic materials by using computer vision / M. X. Bastidas-Rodriguez, F. A. Prieto-Ortiz, E. Espejo // Engineering Failure Analysis. – 2016. – Т. 59. – С. 237–252.
6. Степанов, А. В. Основы практической прочности кристаллов / А. В. Степанов. – М. : Наука, 1974. – 132 с.
7. Полухин, П. И. Физические основы пластической деформации / П. И. Полухин, С. С. Горелик, В. К. Воронцов. – М. : Металлургия, 1981. – 584 с.
8. Фридман, Я. Б. Строение и анализ изломов / Я. Б. Фридман, Г. А. Гордеева, А. М. Зайцев. – М. : Машиностроение, 1960. – 128 с.
9. Гордеева, Г. А. Анализ изломов при оценке надежности материалов / Г. А. Гордеева, И. П. Жегина. – М. : Машиностроение, 1978. – 198 с.
10. Шеповалова, Л. П. Методы исследования материалов и деталей при проведении автотехнической экспертизы : уч. пос. / Л. П. Шеповалова, Т. Е. Лихачева. – М. : МАДИ, 2017. – 180 с.
11. Фрактография и атлас фрактограмм : справ, изд. / Под ред. Ю. П. Солнцева. – СПб. : Проффессионал, 2002. – 352 с.
12. Фрактография. Металлы и сплавы : справ, изд. / Под ред. Дж. Феллоуза; пер. с англ. – М. : Металлургия, 1982. – 489 с.
13. Мерсон, Е. Д. Количественный анализ изломов при помощи конфокальной лазерной сканирующей микроскопии / Е. Д. Мерсон, В. А. Данилов, Д. Л. Мерсон // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 4(34). – С. 68–75.
14. [Электронный ресурс.] – Режим доступа : <ftp://lsi.bas-net.by/pub/crime-fracture/info/PLY-file-format.ru.pdf>.

26.02.2020

#### PODENOK L. P. Method of investigation of morphology of fracture surfaces based on analysis of normals

A method to obtain fragility characteristics based on the analysis of a 3D-model of the fracture surface obtained using a portable metrological scanner is proposed. The fracture surface model is represented as three-dimensional triangulation with facets of approximately the same area. As a fragility characteristic, we used the distribution of the angles of deviation of the normals to the facets from the local normal to the surface. The distribution obtained using the above method for a 3D-model of the fracture surface of a structural steel specimen is presented.

656.13

. .

**Введение.** В данной работе представлен анализ применения трех способов выбора остановок для посадки-высадки пассажиров при составлении плана развозки в интеллектуальной транспортной системе, основанной на использовании беспилотных электрокаров номинальной вместимости, называемых инфобусами, принципы функционирования которой были подробно описаны в работах [1, 3–9].

Данная информационная транспортная система включает в себя:

- маршрут, состоящий из  $K$  остановок, как представлено на рисунке 1;
- парк инфобусов, которые управляются дистанционно из единого

информационного центра и высылаются на маршрут в зависимости от интенсивности пассажиропотока так, чтобы немного перекрывать его. Инфобусы движутся по выделенной полосе на проезжей части друг за другом без обгонов, при необходимости объединяясь в автопоезда, соединения в которых виртуальные [2], как представлено на рисунке 2;

- систему терминалов для оплаты и сбора заявок на доставку от пассажиров, размещенных на остановках маршрута, как представлено на рисунке 3.

**Швецова Елена Владимировна**, старший преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.  
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

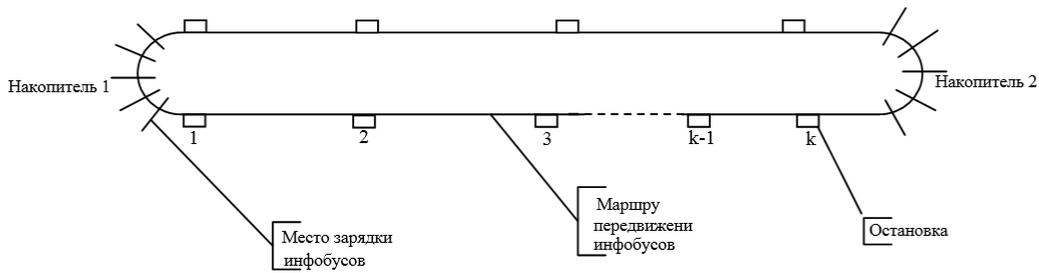


Рисунок 1 – Маршрут движения инфобусов



Рисунок 2 – Автопоезд из одного и двух инфобусов на перекрестке

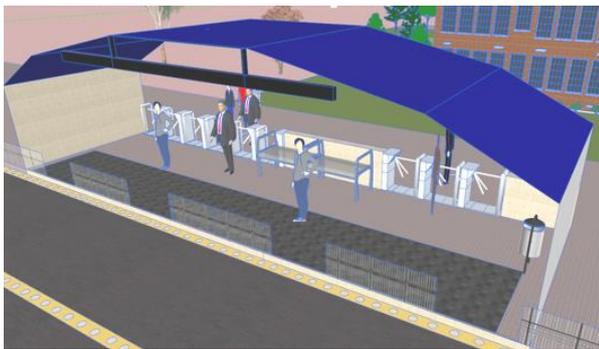


Рисунок 3 – Система терминалов на остановке для оплаты и сбора заявок

Оплатив через терминал проезд, пассажир указывает и остановку, на которую желает ехать. Заявки поступают на сервер информационной транспортной системы, и на их основании сервер информационного центра транспортной системы формирует специальную матрицу корреспонденций  $M_z, Z=1,2,\dots$ , фиксирующей каждого прибывающего на остановку пассажира, каждый элемент  $m_{ij}$  которой определяет число пассажиров, следующих с остановки  $i$  на остановку  $j, i, j = \overline{1, k}$ , где  $k$  – число остановок одного направления маршрута

$$M_z = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{j+1} & \dots & m_{jj} & \dots & m_{jk} \\ \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

В момент накопления определенного числа пассажиров в матрице корреспонденций  $M_z, Z=1,2,\dots$  формируется план развозки, который представляет совокупность множеств остановок доставки  $\bigcup_{i=1}^{k-1} J_{\dot{n}_i}, \dot{n}_i \in N, i = \overline{1, k-1}$  для инфобусов, где  $\dot{n}_i \in N$  указывает на порядковый номер инфобуса,  $i$  – на начальную остановку

развозки, а содержание множества  $J_{\dot{n}_i}$  указывает на номера остановок, на которых данный инфобус будет осуществлять высадку пассажиров.

Таким образом, при составлении плана развозки каждый инфобус получает порядковый номер  $\dot{n}_i \in N$ , а также множество остановок маршрута, на которых он будет останавливаться для посадки-высадки пассажиров во время выполнения своего плана развозки. Это множество будет включать в себя начальную остановку развозки  $i$  и множество остановок доставки  $J_{\dot{n}_i}$ , на которые транспортное средство повезет пассажиров, зашедших на остановке  $i$ .

На некоторых остановках множества  $J_{\dot{n}_i}$  после высадки может быть произведена также и посадка пассажиров, желающих ехать на последующие остановки доставки инфобуса. В качестве примера можно рассмотреть четвертую строку некоторой матрицы корреспонденций  $M_z$  размерности  $10 \times 10$ , которая содержит информацию о пассажирах, пришедших на остановки 4 маршрута, состоящего из 10 остановок, и желающих ехать с нее на последующие остановки маршрута:

$$(0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 2 \ 4 \ 6 \ 3 \ 7 \ 15).$$

Так на пятую остановку маршрута желают ехать с четвертой 2 человека, на шестую – 4 и т. д.

Пусть некоторый инфобус  $\dot{n}_i, i < 4$  имеет множество остановок доставки  $J_{\dot{n}_i} = \{4, 5, 6, 7, 8, 9\}$  и на четвертой после высадки пассажиров объем свободных мест в этом инфобусе будет равен  $V_{fp} = 11$ .

В таком случае в инфобус могут войти пассажиры, едущие с четвертой остановки на остановки  $\{5, 6, 8\}$ :  $2 + 4 + 3 = 9 \leq 11$  или на  $\{6, 7\}$ :  $4 + 6 = 10 \leq 11$ , или на  $\{6, 9\}$ :  $4 + 7 = 11 \leq 11$  и т. д.

То есть набор остановок доставки электрокара для дополнительной посадки пассажиров вариативен и влияет на количество задействованных инфобусов в плане развозки. В статье представлено исследование применения трех способов выбора остановок из множества  $J_{\dot{n}_i}$  для посадки пассажиров: простого последовательного выбора остановок, жадного алгоритма и алгоритма, реализующего динамический метод задачи о рюкзаке. Анализ производится в разрезе таких характеристик, как количество использованных инфобусов в плане развозки и коэффициент использованной пассажироместимости.

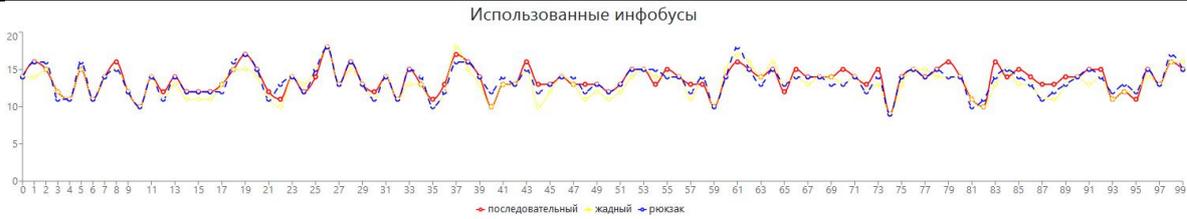


Рисунок 4 – Количество задействованных инфобусов



Рисунок 5 – Коэффициент использованной пассажироместимости

**Последовательный выбор остановок.** Данный алгоритм подразумевает последовательный перебор остановок доставки инфобуса  $J_{n_i}$ , в ходе которого выбираются остановки, суммарное количество пассажиров на которых не превышает объем свободных мест в инфобусе. Так, согласно данному принципу, в вышеприведенном примере будут последовательно выбраны остановки {5,6,8}:  $2 + 4 + 3 = 9 \leq 11$ .

**Жадный алгоритм для выбора остановок в плане развозки.** Идея жадного алгоритма заключается в последовательности шагов, в ходе каждого из которых совершается локально оптимальный выбор в надежде на получение глобально оптимального решения.

В рассмотренном примере согласно жадному алгоритму будет сделан выбор в пользу множества остановок {6,9}:  $4 + 7 = 11 \leq 11$ . Сравнение применения данного принципа выбора остановок к примеру выше приведенной строки с последовательным выбором показывает, что в данном случае этот алгоритм дает лучшую наполняемость.

Однако так бывает не всегда: следующий пример наглядно демонстрирует оптимальность последовательного алгоритма перед жадным при тех же условиях:

$$(0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 2 \ 3 \ 3 \ 3 \ 7 \ 15).$$

Так, при последовательном выборе будут выбраны остановки {5,6,7,8}:  $2 + 3 + 3 + 3 = 11 \leq 11$ , а при жадном {6,9}:  $3 + 7 = 10 \leq 11$ .

Таким образом, жадный алгоритм не всегда приводит к лучшему решению, но во многих задачах он дает нужный результат.

**Выбор остановок методом динамического программирования.** В рамках данного подхода использовался алгоритм задачи о рюкзаке, которая в общем случае описывается следующим образом. Имеется  $n$  предметов, для каждого предмета  $i$  дан его вес  $W_i$  и стоимость  $C_i$ , также имеется рюкзак вместимостью  $W$ , необходимо отобрать в рюкзак предметы так, чтобы их стоимость была максимальной.

Решение данной задачи методом динамического программирования предполагает разбиение ее на подзадачи, в которых участвует пара динамики  $(i, j)$ , где  $0 \leq i \leq n$  указывает на количество предметов, которое может быть положено в рюкзак, а  $0 \leq j \leq W$  указывает на максимальную вместимость рюкзака в данной подзадаче, а также величина  $d_{ij}$ , обозначающая максимальную суммарную стоимость, которую можно набрать, имея  $i$  предметов, в рюкзак вместимостью  $j$ , и находящуюся по формуле:

$$d_{ij} = \max\{d_{i-1,j}, d_{i-1,j-w_i} + c_i\}.$$

Во множество остановок, на которых будут забираются пассажиры согласно данному методу выбора остановок войдут остановки с количеством пассажиров 4 и 7 ( $4 + 7 = 11$ ), т. е. остановки {6,9}. А это

значит, что данный метод в рассматриваемом случае дает такой же результат, как и жадный метод.

**Сравнение эффективности применения различных методов для подбора остановок.** Применение всех трех алгоритмов было протестировано на практике. Для сравнения их эффективности применения были взяты такие показатели, как:

- количество задействованных инфобусов в плане развозки в результате применения алгоритма. Единица измерения – инфобус;
- коэффициент использованной пассажироместимости при реализации плана развозки

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (1 - V_{fpi})}{V \times n},$$

где  $n$  – общее число всех перегонов маршрута (интервалов маршрута между соседними остановками) по всем инфобусам плана развозки, на которых инфобусы перевозили пассажиров,  $V_{fpi}$  – объем свободных мест в инфобусе на перегоне.

Для каждого значения коэффициента эластичности {0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9} были произведены испытания, в которых генерировалась матрица корреспонденций с учетом условия (1.2) и составлялся план развозки согласно системе (2.7) с использованием каждого из трех алгоритмов, описанных в пунктах 5.1-5.3, и для каждого алгоритма рассчитывались показатели и .

На рисунках 4–5 проиллюстрированы графические данные 100 испытаний на входных параметрах: количество остановок  $k = 10$ , коэффициент эластичности  $\alpha = 0.7$ , объем инфобуса  $V = 15$ .

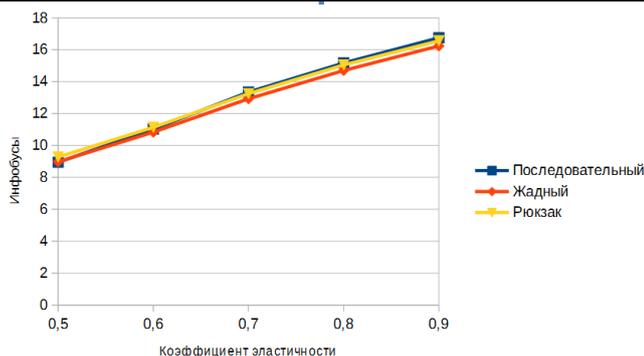
Для анализа применения эффективности алгоритма были получены средние значения для и по каждому коэффициенту эластичности  $\alpha \in \{0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$  на основании 1000 испытаний. Данные приведены в таблицах 1–2.

Таблица 1 содержит средние значения параметра , т. е. среднего количества использованных инфобусов в плане развозки по коэффициентам эластичности {0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9}.

Таблица 1 – Среднее значение параметра

	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Последовательный	8,95	11,027	13,35	15,17	16,75
Жадный	8,98	10,84	12,93	14,7	16,24
Рюкзак	9,28	11,14	13,25	15,05	16,56

Диаграмма на рисунке 6 отображает динамику изменения среднего числа использованных инфобусов в плане развозки в зависимости от коэффициента эластичности.



**Рисунок 6** – Динамика изменения в зависимости от коэффициента эластичности

Из диаграммы видно, что все три метода продемонстрировали довольно близкие результаты, однако можно видеть, что показатели жадного метода были лучше по всем значениям коэффициентов эластичности.

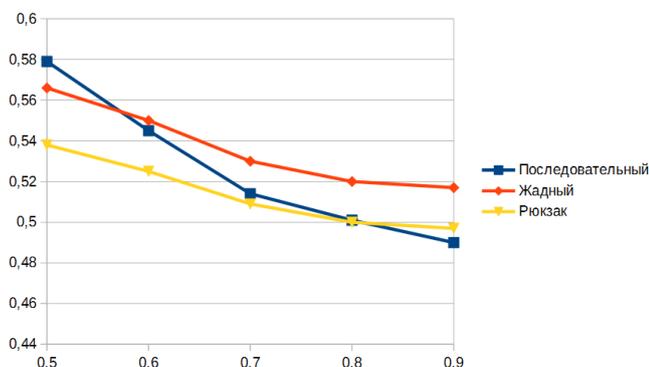
В таблице 2 представлены данные среднего коэффициента использования пассажироместности инфобусов в плане развозки по тому же набору коэффициентов эластичности.

**Таблица 2** – Среднее значение параметра

	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
<b>Последовательный</b>	0,579	0,545	0,514	0,501	0,49
<b>Жадный</b>	0,566	0,55	0,53	0,52	0,517
<b>Рюкзак</b>	0,538	0,525	0,509	0,5	0,497

Диаграмма на рисунке 7 отображает динамику изменения в зависимости от коэффициента эластичности.

Лучшие показатели заполнения салона инфобуса в большинстве случаев и в этом случае дало применение выбора остановок для посадки пассажиров по жадному методу.



**Рисунок 7** – Динамика изменения в зависимости от коэффициента эластичности

Из анализа данных 1000 испытаний следует, что жадный метод показал наилучшие результаты применения как по показателю числа

использованных транспортных средств, так и по использованию пассажироместности салона.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жогал, А. Н. Автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт / А. Н. Жогал, В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Транспорт и инновации: вызовы будущего: материалы Международной научной конференции. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2019. – С. 82.
2. Проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Электронный ресурс]. – Режим доставки : [http://en.wikipedia.org/wiki/Safe\\_Road\\_Trains\\_for\\_the\\_Environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment). – Дата обращения : 19.02.2019.
3. Швецова, Е. В. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Вестник Херсонского национального технического университета. – Т. 2(69). – Ч. 3. – Херсон : ХНТУ, 2019. – С. 222–230.
4. Швецова, Е. В. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Материалы XX Международной конференции по математическому моделированию : сборник материалов конференции. – Херсон : ХНТУ, 2019. – С. 115.
5. Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. – Ternopol : TNTU, 2019 – С. 172–184.
6. Шуть, В. Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта "Инфобус" / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // ACTUAL PROBLEMS OF FUNDAMENTAL SCIENCE: third international conference. – Луцк : Вежа-Друк, 2019 – С. 222–226.
7. Shuts, V. Cassette robotized urban transport system of mass conveying passenger based on the unmanned electric cars / V. Shuts, A. Shviatsova // Science. Innovation. Production. Proceedings of the 6th Belarus-Korea Science and Technology Forum. – MINSK : BNTU, 2019. – С. 81–83.
8. Shuts, V. Intelligent system of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // Abstracts of the 16th European Automotive Congress (EAEC 2019) hosted jointly the Academic Automotive Association (Belarus), the European Automobile Engineers Cooperation (EAEC) and the Federation Internationale des Societes d'Ingenieurs des Techniques de l'Automobile (FISITA). – Минск : БНТУ, 2019. – С. 18.
9. Буров, А. А. Алгоритмы функционирования беспилотных городских пассажирских транспортных систем / А. А. Буров, Д. О. Бойко, Е. В. Швецова // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов. – Брест : Издательство БрГТУ, 2019. – С. 62–65.
10. Буров, А. А. Алгоритм построения плана развозки пассажиров на маршруте / А. А. Буров, Д. О. Бойко, Е. В. Швецова // Сборник тезисов научной студенческой конференции "Неделя науки - 2019". – Брест : Издательство БрГТУ, 2019. – С. 11–12.

26.02.2020

#### SHVETSOVA E. V. Infobus delivery stop selection algorithms for boarding passengers

This article is a continuation of a series of articles describing the principles of operation of an intelligent transport system based on the use of unmanned electrocars, which presents a comparison of the effectiveness of three methods of selecting intermediate stops for boarding passengers in the implementation of the delivery plan. The work shows the results of testing algorithms with the help of software and on the basis of them the analytical conclusions are presented.