

# JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 2024 vol. 1  
ISSN: 2181-2438



SLIB.UZ  
Scientific library of Uzbekistan

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state  
transport university



**JOURNAL OF TRANSPORT**

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

**ISSN 2181-2438**

**VOLUME 1, ISSUE 3**

**SEPTEMBER, 2024**



[jot.tstu.uz](http://jot.tstu.uz)

# TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

## JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 1, ISSUE 3 SEPTEMBER, 2024

### EDITOR-IN-CHIEF

**SAID S. SHAUMAROV**

*Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University*

### Deputy Chief Editor

**Miraziz M. Talipov**

*Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University*

---

Founder of the scientific and technical journal “Journal of Transport” – Tashkent State Transport University, 100167, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Temiryo‘lchilar str., 1, office: 465, e-mail: [publication@tstu.uz](mailto:publication@tstu.uz).

The “Journal of Transport” publishes the most significant results of scientific and applied research carried out in universities of transport profile, as well as other higher educational institutions, research institutes, and centers of the Republic of Uzbekistan and foreign countries.

The journal is published 4 times a year and contains publications in the following main areas:

- Business and Management;
- Economics of Transport;
- Organization of the Transportation Process and Transport Logistics;
- Rolling Stock and Train Traction;
- Infrastructure;
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields:
- Technology and Organization of Construction, Management Problems;
- Water Supply, Sewerage, Construction Systems for Water Protection;
- Technosphere Safety;
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications, Electrical Engineering;
- Materials Science and Technology of New Materials;
- Technological Machines and Equipment;
- Geodesy and Geoinformatics;
- Car Service;
- Information Technology and Information Security;
- Air Traffic Control;
- Aircraft Maintenance;
- Traffic Organization;
- Operation of Railways and Roads;

---

Tashkent State Transport University had the opportunity to publish the scientific-technical and scientific innovation publication “Journal of Transport” based on the Certificate No. 1150 of the Information and Mass Communications Agency under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. Articles in the journal are published in Uzbek, Russian and English languages.

**R. Abduqayumova, S. Uktamov**  
*The role of ai in enhancing omni-channel customer support system: a study of call centers in Uzbekistan*.....150

**G. Samatov, I. Maxsumov, D. Yuldoshev**  
*Improvement of the methods of reliable delivery of cargo flows in the international direction (in the example of the Termiz-Mazari-Sharif route) Systematic analysis of the literature)*.....154

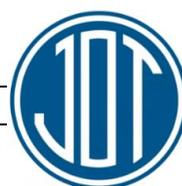
**D. Nazhenov, A. Baqoyev, A. Yusupov, Sh. Suyunbayev**  
*Development of a method for assessing the impact of organizing shunting operations with different numbers of locomotives on the quality indicators of the use of rail transport* .....165

**N. Aripov, N. Tohirov**  
*Improving Methods to Reduce Inefficient Time Losses under Speed Limit Conditions at JSC “Uzbekistan Railways”* .....172

**O. Turdiev**  
*Analysis of the optimizer's performance in solving the traveling salesman problem*.....177

**A. Babaev, A. Ibadullaev, A. Arifjanov, U. Chorshanbiev**  
*Options for solving two-dimensional elastic bodies using the finite element method* .....181

**Sh. Kayumov, A. Bashirova**  
*Automation of operational control of wagon flows in the technological cycle industrial enterprises of railway transport*.....185



# Analysis of the optimizer's performance in solving the traveling salesman problem

O.A. Turdiev<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The execution time of the algorithm depends on the optimization problem being solved, i.e., on the TSP, the structure of the computing device, the time required for elementary operations such as shifting and addition, and the required precision of the calculations. We will consider asymptotic estimates of the algorithm's execution speed for twice continuously differentiable functions.

**Keywords:** (CIS) traveling salesman problems, calculation accuracy, generation of TSP, stochastic optimizer with NP-hard problems, algorithm execution, computing device

## Анализ производительности оптимизатора при решении задачи коммивояжера

Турдиев О.А.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Время реализации алгоритма зависит от решаемой задачи оптимизации, т.е. от СКГ, структуры вычислительного устройства, времени выполнения элементарных операций: сдвига и сложения, требуемой точности вычислений. Будем рассматривать асимптотические оценки скорости выполнения алгоритма для дважды непрерывно дифференцируемых функций.

**Ключевые слова:** (СНГ)-задачи коммивояжера, точность вычисления, генерация ПОЧ, стохастического оптимизатора с НПКВ, выполнения алгоритма, ВУ устройстве

### 1. Введение

Требуемая точность вычисления определяет общее количество итераций  $S$ . Структура Вычислительного устройства зависит от требуемой точности вычислений. Время выполнения элементарных операций зависит от используемой элементной базы.

Будем считать, что  $S$ ,  $n$ , разрядность регистров  $m$ , время сдвига на один разряд  $t_{сдв}$ , время суммирования  $t_{сум}$ , время пересылки  $t_{п}$  заданы.

Определим время выполнения одной итерации  $t_{ит}$ . Обозначим разрядность регистра как  $m$  (RG имя) Время выполнения итерации определяется из анализа алгоритма и структуры стохастического оптимизатора.

### 2. Методология исследования

Рассмотрим время выполнения отдельных операций.

A2:- генерация ПОЧ эквивалента сдвигу и её продолжительность  $t_{сдв}$ ; - вычисление  $d$  займёт время  $t_{п}$ ; - вычисление  $x_k^{3+1}$ ,  $\Delta b_k$ ,  $\Delta a_k$  сводится к добавлению 1 к соответствующему разряду реверсивного счётчика, что займет время не превосходящее  $t_{сдв}$ ; - вычисление нового значения  $S$  осуществляется вычитанием 1 из счётчика, что займет время не превосходящее  $t_{сдв}$ ; - вычисление среднего приращения значения сдвига  $\Delta G_k$

займёт время  $t_{сдв}$ . Т.к. все операции выполняются параллельно, то  $t_{A2} = t_{сдв}$ . A3, A4, A5, A6, A7: сравнение значения  $S$ ,  $\Delta a_k$ ,  $\Delta b_k$  с 0 производится на комбинационных схемах и можно положить  $t_{A3} = t_{п}$ .

A8: Время определения (измерения, вычисления) очередного значения СКГ  $t_{скг}$  зависит от многих факторов для каждой конкретной задачи (в системах реального времени оно может занимать до половины длительности выполнения одного шага алгоритма). Обычно  $t_{скг} > t_{сум}$ . Примем  $t_{A8} = t_{скг}$

A9: Определение значения  $D^{s+1}$  осуществляется на комбинационной схеме и полагаем  $t_{A9} = t_{п}$ .

A10: Определение значения  $a^{s+1}$  выполняется на комбинационной схеме и полагаем  $t_{A10} = t_{п}$ .

A11: Определение очередного  $\gamma_k$  на выходе ПКВ решается на комбинационных схемах и займет время  $t_{A11} = t_{п}$  ( $k = \overline{1, n}$ ).

A12: учитывая, что  $\gamma_k \in \{-2^{1+s+1}, 0, 2^{1+s+1}\}$ , то вычисление  $r_s$  и  $\Delta r$  для  $(n+1)$  слагаемых может быть реализована на сумматоре для  $(n+1)$  числа с учётом сдвига на  $1_{s+1}$  разрядов для  $\Delta x_k^{s+1}$ . При использовании сдвигателей на произвольное число разрядов длительности операции сдвига  $\Delta x_k^{s+1}$  будет равна  $t_{сдв}$ .

Время выполнения сложения  $n+1$  числа можно оценить как  $t_{сум}[\text{ent}(\log_2 n) + 1]$  и т.к.  $t_{сум} \gg t_{п}$ , то получим  $t_{A12} = t_{сдв} + t_{сум}[\text{ent}(\log_2 n) + 1]$ .

A13, A14: операция сравнения с  $q_0 = 2$  решается на

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1651-5493>



комбинационных схемах и можно принять  $t_{A13,14} = t_{\Pi}$ .

A15, A16, A17, A18: сравнение с 2 и -2 решается на комбинационных схемах, добавление или вычитание 2 из  $r_s$  займет время более  $t_{сдв}$ .

Общее время выполнения одной итерации для стохастического оптимизатора с НПКВ будет равно:

$$t_{ит} = 3t_{сдв} + 5t_{\Pi} + 3t_{сум}[\text{ent}(\log_2 n) + 1] + t_{СКГ}$$

В реальных задачах  $\max(n) = 5$  и тогда:

$$\max t_{ит} = 3t_{сдв} + 5t_{\Pi} + 3t_{сум} + t_{СКГ}$$

Общее время выполнения алгоритма будет определяться числом шагов итерации  $S$ .

$$t_0 = St_{ит} = S[t_{СКГ} + 3t_{сдв} + 5t_{\Pi} + t_{сум}(\text{ent}(\log_2 n) + 1)]$$

Если задана погрешность вычисления  $\theta$ , то из формулы получим:

$$M\|x^{3+1} - x^*\|^2 \leq \frac{1,56n\sigma^2}{(S+1)B^2} = \theta, \text{ т.к. } S \gg 1, \text{ то имеем}$$

$$S = \frac{1,56n\sigma^2}{\theta B^2}$$

Из формулы получим, что

$$t_{СКГ} = \frac{t_0}{S} - 3t_{сдв} - 5t_{\Pi} - t_{сум}\text{ent}(\log_2 n) \text{ Очевидно,}$$

что  $t_{СКГ} > 0$  и тогда критерием физической реализуемости стохастического оптимизатора будет выполнение следующего неравенства:

$$t_0 > t_{min} = \frac{1,56n\sigma^2}{\theta B^2} [3t_{сдв} + 5t_{\Pi} + t_{сум} + t_{сум}(\log_2 n)]$$

При аппаратной реализации, как и ранее (п.2) технические параметры наиболее распространённых схем регистров и сумматоров можно определить следующим образом [1]:

$t_{сдв} = 3\tau, t_{сум} = 3m\tau, t_{\Pi} = \tau$ , где  $\tau$  – длительность такта,  $m$  – разрядность последовательного арифметико-логического устройства. Отсюда получим:

$t_{min} = \frac{1,56n\sigma^2}{\theta B^2} [14 + 3m + 3m \cdot \text{ent}(\log_2 n)]\tau$  При использовании сумматоров с групповым переносом  $t_{сум} = 2\sqrt{m}\tau$  [95] и тогда:

$$t_{min} = \frac{1,56n\sigma^2}{\theta B^2} [14 + 2\sqrt{m} + 2\sqrt{m} \cdot \text{ent}(\log_2 n)]\tau$$

В таблицах 1 и 2 приведены значения  $t_{min}/(S\tau)$  для вариантов последовательных и параллельных сумматоров.

Таблица 1

$m$	$n$	$14 + 3m + 3m \cdot \text{ent}(\log_2 n)$
8	1	38
8	2	62
8	3	62
8	4	86
8	5	86
16	1	62
16	2	110
16	3	110
16	4	158
16	5	158
32	1	120
32	2	216
32	3	216
32	4	312
32	5	312

Таблица 2

$m$	$n$	$14 + 2\sqrt{m} + 2\sqrt{m} \cdot \text{ent}(\log_2 n)$
8	1	19,6
8	2	25,2
8	3	25,2
8	4	30,9
8	5	30,9
16	1	22
16	2	30
16	3	30
16	4	38
16	5	38
32	1	26,3
32	2	38,6
32	3	38,6
32	4	50,9
32	5	50,9

### 3. Результаты исследования

Рассмотрим пример расчёта быстродействия стохастического оптимизатора при следующих исходных данных:  $\sigma = 0,3, B = 1, \tau = 5\text{нс}$ , тогда имеем

$$\frac{1,56n\sigma^2\tau}{\theta B^2} = 0,87\frac{n}{\theta} \text{ нс.}$$

На рис.1. показана зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n, m = 16$  для последовательного арифметико-логического устройства.

На рис.2. показана зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n, m = 32$  для последовательных устройств.

На рис.3. показана зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n, m = 16$  для сумматоров с групповым переносом.

На рис.4. дана зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n, m = 32$  для сумматоров с групповым переносом.

Как видно из приведённых зависимостей, наиболее существенно время счёта зависит от требуемой точности вычислений и от размерности пространства  $n$ .

Допустимая погрешность определяет количество шагов итерации. Для приведённого выше примера, при  $\sigma = 0,3, \theta = 0,001, n = 1, B = 1$ , из получим:

$$S = \frac{1,56n\sigma^2\tau}{\theta B^2} = 173$$

Минимальное время выполнения одного шага итерации  $t_{итmin}$  (без учета  $t_{СКГ}$ ) будет:

$$t_{итmin} = [14 + 3m + 3m \cdot \text{ent}(\log_2 n)]\tau$$

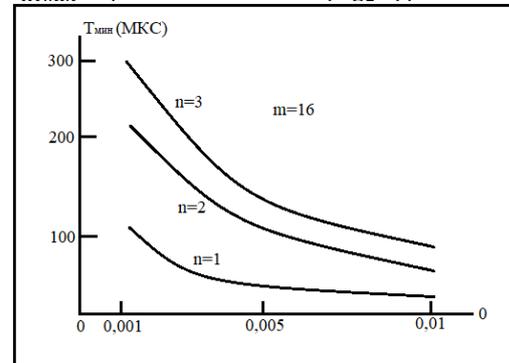


Рис. 1. Зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n, m=16$  для последовательного арифметико-логического устройства



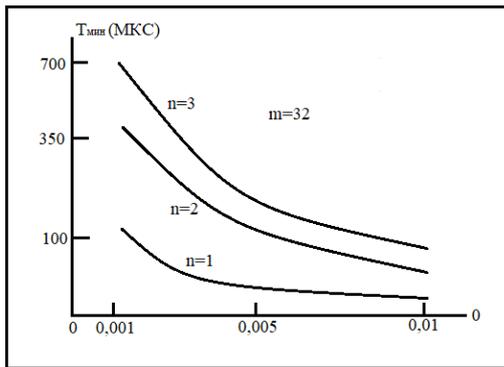


Рис. 2. Зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n$ ,  $m=32$  для последовательных устройств.

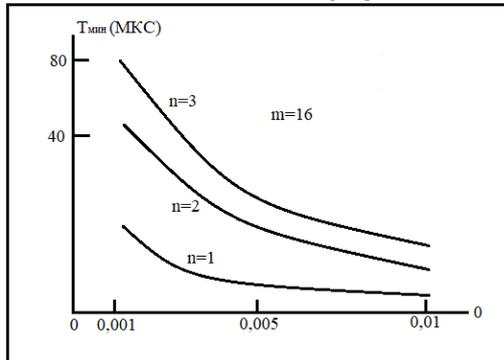


Рис. 3. зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n$ ,  $m=16$  для сумматоров с групповым переносом

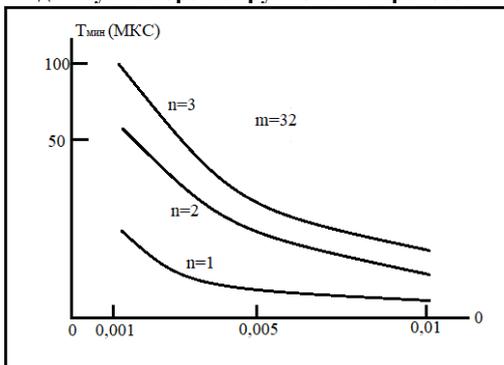


Рис. 4. Зависимость  $t_{min}$  от  $\theta$  при разных  $n$ ,  $m=32$  для сумматоров с групповым переносом

Например, при  $\tau = 5$ нс,  $m = 16$ ,  $n = 1$  имеем для последовательных арифметико-логических устройств  $t_{ITmin} = 310$ нс. Для сумматоров с групповым переносом будет  $t_{ITmin} = 110$  нс.

**Оценки предлагаемого метода реализации стохастического оптимизатора**

Для оценки предлагаемого метода реализации стохастического оптимизатора необходимо сравнить его с реализацией алгоритма на «традиционном» ВУ устройстве. Разумеется, для сравнения необходимо задать одинаковые исходные условия задачи. Пусть длительность машинного такта ВУ равна  $\tau_M$ , а разрядность регистров  $m$ . По формуле длительность одной итерации для ВУ:

$$t_{им} = t_{СКГ} = [(4n + 38)m + (10n + 12)\sqrt{m} + 9n + 10]\tau_M$$

При одинаковых длительностях такта ( $\tau = \tau_M$ ) величина отношения  $t_{ИМmin}/t_{ИТmin}$  для различных

разрядностей регистра и размерности пространства для СтВУ на сумматорах с групповым переносом приведена в таблице 3.

Таблица 3

$m$	$n$	$t_{ИМmin}/t_{ИТmin}$
8	1	21,3
8	2	19,3
8	3	22,0
8	4	20,2
8	5	22,4
16	1	35,4
16	2	29,7
16	3	33,5
16	4	29,4
16	5	32,4
32	1	79,4
32	2	59,1
32	3	64,1
32	4	50,4
32	5	54,2

Пусть выполняется условие, что  $M[\xi_k^s - \hat{f}_k(x^s)]^2 < \epsilon$  еренируемой функции  $f(x)$  находится внутри области  $X$ :  $S/N = 1,56$ , где  $S$ – число шагов итерации в стохастическом оптимизаторе,  $N$ – число итерации. При решении задач в реальном масштабе времени  $t_{СКГ}$ , обычно, равно времени выполнения остальных шагов алгоритма и тогда отношение времени решения задачи на стохастическом оптимизаторе и на «традиционном» ВУ будет:

$$\frac{t_o}{t_{oM}} = \frac{S[14+2\sqrt{m}+2\sqrt{m} \cdot ent(\log_2 n)]\tau}{N[(4n+38)m+(10n+12)\sqrt{m}+9n+10]\tau_M}$$

Использование специализированного стохастического оптимизатора даёт выигрыш во времени вычислений при условии  $(t_o/t_{oM}) < 1$ .

Если положить  $t_o/t_{oM} = 1$ , тогда имеем зависимость

$$\frac{\tau}{\tau_M} = \frac{10 + (4n + 38)m + (10n + 12)\sqrt{m} + 9n}{1,56[14 + 2\sqrt{m} + 2\sqrt{m} \cdot ent(\log_2 n)]}$$

В таблице 4. приведены эти значения для различных размерностей пространства  $n$  и разрядности регистров  $m$  для параллельных сумматоров. При программной реализации арифметических действий на ВУ отношение  $\tau_M / \tau$  может быть больше 10 [9]. Как видно из таблицы 4., при использовании стохастического оптимизатора с НКВВ выигрыш во времени решения задачи может быть весьма значительным.

Таблица 4

$m$	$n$	$\tau/\tau_M$
8	1	13,9
8	2	12,3
8	3	13,9
8	4	13,1
8	5	14,6
16	1	22,3
16	2	19,2
16	3	21,6
16	4	19,2
16	5	20,8
32	1	18,5
32	2	37,3
32	3	40,8
32	4	32,3
32	5	34,6



Очевидно, предел  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\tau}{\tau_M}$  т.к. [3]  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log_2 n}{n} = 0$ , при больших размерностях пространства стохастический оптимизатор с НПКВ имеет преимущество в быстродействии над ВУ.

Например, при  $m = 16$  и  $n = 32$  из (3.36) получим  $\tau/\tau_M = 43,9$ .

#### 4. Выводы

Задача коммивояжера (TSP) является одной из наиболее известных и сложных задач в области оптимизации. В этом контексте анализ производительности оптимизатора включает в себя оценку эффективности различных алгоритмов, которые могут быть использованы для поиска оптимального решения. Рассмотрим несколько аспектов этого анализа.

Задача коммивояжера имеет экспоненциальную сложность, и для точного решения требуется большое количество вычислений.

Для небольших задач подходят точные методы, такие как динамическое программирование и полный перебор.

Для крупных задач необходимы эвристики и метаэвристики, которые могут давать хорошие приближенные решения за полиномиальное время.

Для анализа производительности оптимизаторов при решении задачи коммивояжера можно использовать как классические работы по теории динамического программирования и точным методам, так и современные методы эвристики и метаэвристики, такие как алгоритм муравьиной колонии и генетические алгоритмы.

#### Использованная литература / References

[1] Odilzhan A. Turdiev., Vladimir A. Smagin. Investigation of the computational complexity of the formation of checksums for the Cyclic Redundancy Code algorithm depending on the width of the generating polynomial. Международная научно-методическая

конференция. Models and Methods for Researching Information Systems in Transport // СПб – 2020. (индексирована в SCOPUS).

[2] Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). "Solution of a large-scale traveling-salesman problem."

[3] Held, M., & Karp, R. (1962). "A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems."

[4] Турдиев О.А., Хомоненко А.Д., Гофман М.В. Сравнение моделей вероятного кода числа ПНС и циклического избыточного кода CRC. // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». №4-1 2021 года.

[5] Dorigo, M. (2004). "Ant Colony Optimization."

[6] Турдиев О.А., Сейтманбитов Д.А., Кадилова Ш.Ш. Методика снижения вычислительной сложности формирования контрольных сумм вероятного кода числа на основе стохастических вычислений. // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». №4-2. 2021 года.

[7] Goldberg, D. E. (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning."

[8] Blum, C., & Roli, A. (2008). "Metaheuristics for the Traveling Salesman Problem."

[9] Турдиев Одилжан Акрамович. Исследование вычислительной сложности формирования контрольных сумм для алгоритма CRC в зависимости от разрядности порождающего полинома. // Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики». Серия «Естественные и технические науки». №2. 2022 года.

#### Информация об авторах/ Information about the authors

Турдиев Одилжан / Turdiev Odilzhan / Турдиев Одилжан Акрамович. Ташкентский государственный транспортный университет, в.б. доцент кафедры «Информационные системы и технологии в транспорте», к.т.н., (PhD)  
E-mail: odiljan.turdiev@mail.ru  
Tel.: +998974607179  
<https://orcid.org/0000-0002-1651-5493>

