

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Доктор техн. наук, профессор **Щипачева Е.В.**,  
Доктор техн. наук, профессор **Шаумаров С.С.**  
(Ташкентский государственный транспортный университет)

**INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THERMAL CHARACTERISTICS  
OF EXTERNAL GUARDING STRUCTURES**

Doctor (Tech), Professor **Shchipacheva E.V.**,  
Doctor (Tech), Professor **Shaumarov S.S.**  
(Tashkent State Transport University)

*Теплоустойчивость ограждений, климатические факторы, исследования, тепловая защита, изменение климата, амплитуда колебаний температуры, нормативные документы, теплотехнические характеристики материалов.*

*Thermal resistance of fences, climatic factors, research, thermal protection, climate change, the amplitude of temperature fluctuations, regulatory documents, thermal characteristics of materials.*

*В регионах с жарким климатом повышение энергоэффективности зданий в первую очередь связано с возможностью уменьшения расхода электрической энергии на кондиционирование воздуха. Способствовать этому, в частности, может повышение теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций. Многочисленные научные статьи посвящены вопросам выбора материала ограждения и разработки его конструктивного решения. Однако совершенствованию расчетных положений по определению теплоустойчивости уделяется чрезвычайно мало внимания, несмотря на усиливающуюся тенденцию глобального изменения климата. В статье представлены результаты теоретических исследований по изучению влияния изменившихся за последние десятилетия климатических факторов на теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций, выполненных на базе ранее разработанных математических зависимостей.*

*In regions with hot climates, improving the energy efficiency of buildings is primarily associated with the possibility of reducing the consumption of electricity for air conditioning. This can be facilitated, in particular, by an increase in the thermal resistance of the external building envelopes. Numerous scientific articles are devoted to the selection of fencing material and the development of its constructive solution. However, very little attention is paid to improving the design provisions for determining thermal stability, despite the increasing trend of global climate change. The article presents the results of theoretical studies on the study of the influence of climatic factors that have changed over the past decades on the thermal characteristics of external enclosing structures, made on the basis of previously developed mathematical dependencies.*

### **Введение**

При современном строительстве активно внедряются новые строительные материалы, инновационные технологии и сложные архитектурно-строительные решения. Реализация проектов на транспорте, требующих масштабных инвестиционных программ, все чаще испытывает потребность в совершенствовании действующих нормативных технических документов. При этом все нововведения должны основываться на научных теоретических или экспериментальных исследованиях, учитывающих климатические, природные и сейсмологические особенности района строительства.

Одними из наиболее часто перерабатываемых нормативов являются документы, регламентирующие проектирование тепловой защиты зданий на железнодорожном транспорте и обеспечивающие этим экономное расходование энергии в процессе их эксплуатации. В регионах с жарким климатом повышение энергоэффек-

тивности зданий на железнодорожном транспорте в первую очередь связано с возможностью уменьшения расхода электрической энергии на кондиционирование воздуха. Способствовать этому, в частности, может повышение теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций. Многочисленные научные статьи посвящены вопросам выбора материала ограждения и разработки его конструктивного решения [1 - 12]. Однако совершенствованию расчетных положений по определению теплоустойчивости уделяется чрезвычайно мало внимания, несмотря на усиливающуюся тенденцию глобального изменения климата. Нам представлялось интересным провести ряд теоретических исследований на базе разработанных математических зависимостей по изучению влияния изменившихся за последние десятилетия климатических факторов на теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций [13 - 15].

## Определение теплотехнических характеристик ограждающих конструкций

Были использованы нормативные документы:

- КМК 2.01.04-2018 Строительная теплотехника – Ташкент, Министерство строительства РУз;
- СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 – М.: Минрегион России, 2012.

В соответствии с нормативными документами теплоустойчивость ограждений определяется амплитудой колебаний температуры внутренней поверхности  $A_{тв}$ , требуемой амплитудой колебаний температуры внутренней поверхности ограждения  $A_{тв}^{TP}$ , расчётной амплитудой колебаний температуры наружного воздуха  $A_{тн}^{расч}$ , величиной затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $\nu$  в ограждающей конструкции, коэффициентом теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям  $a_n$ .

Из вышеуказанных теплотехнических характеристик ограждающей конструкции прямую физическую зависимость от климатологических параметров имеют  $A_{тн}^{расч}$ ,  $A_{тв}^{TP}$ ,  $a_n$ . Очевидно, что для проектирования современных теплозащитных мероприятий значения этих характеристик должны быть определены на основе фактических климатологических параметров, претерпевших изменения за последние десятилетия.

Для установления реакции теплотехнических характеристик конструкций на изменение климата они были рассчитаны по двум вариантам:

- по климатологическим данным по выборке с 1975 по 1996 годы;
- по выборке с 1997 по 2016 годы.

Исследования проводились по 44 населенным пунктам, расположенным во всех климатических зонах Республики Узбекистан.

Таблица 1.

Динамика теплотехнических характеристик ограждающей конструкции

Населенный пункт	Широта, гр. с.ш.	1975-1996	1997-2016	1975-1996	1997-2016	1975-1996	1997-2016	1975-1996	1997-2016
		$a_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> °C)	$a_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> °C)	$A_{тв}^{TP}$ , °C	$A_{тв}^{TP}$ , °C	$A_{тн}$ , °C	$A_{тн}$ , °C	$A_{тн}^{расч}$ , °C	$A_{тн}^{расч}$ , °C
Термез	37,3	27,19	19,57	1,94	1,46	27,60	28,57	19,68	22,41
Карши	38,8	17,97	24,21	2,06	1,49	31,30	32,70	24,54	22,92
Самарканд	39,3	25,89	20,05	1,67	1,99	25,20	25,98	18,77	20,92
Джизак	40,1	17,97	21,58	1,61	1,62	24,90	25,99	21,37	20,38
Фергана	40,4	17,97	20,10	2,06	1,80	23,40	24,44	20,62	20,15
Ташкент	41,3	26,22	19,62	1,78	1,73	23,70	24,77	17,84	20,35
Хива	41,7	19,53	19,13	1,89	1,70	21,70	22,90	18,19	18,78
Нукус	42,5	17,97	31,08	1,91	1,65	24,50	25,50	20,83	17,68
Муйнак	43,8	17,97	28,32	1,78	1,71	23,70	24,70	20,41	17,75
Каракалпакия	44,8	17,97	19,28	1,82	1,78	27,90	28,10	22,42	21,91
Средние значения по всей республике (с учетом 44 населенных пунктов)		<b>19,91</b>	<b>21,82</b>	<b>1,82</b>	<b>1,71</b>	<b>24,48</b>	<b>25,46</b>	<b>20,38</b>	<b>20,08</b>

Расчеты величин теплотехнических характеристик, прямо связанных с климатическими параметрами, выполнялись для однослойных ограждающих конструкций с различной толщиной (от 200 до 500 мм с шагом 50 мм) и для различных коэффициентов теплоусвоения  $Y$ , охватывающих довольно широкий диапазон строительных материалов: от  $\approx 5$  до  $\approx 25$  Вт/(м<sup>2</sup>°C). Для этого использовался разработанный программный комплекс «Расчет теплотехнических характеристик здания» [16]. В табл. приведена выборка по 10 населенным пунктам результатов выполненных расчетов (по двум вариантам) теплотехнических характеристик, имеющих прямую зависимость от климатологических параметров.

Полученные результаты показали, что имеет место реакция базовых теплотехнических характеристик ограждающих конструкций на тенденцию к глобальному изменению (потеплению) климата. В силу того что они выражаются нелинейными функциями от климатологических параметров, эта реакция различна, как относительно друг друга, так и с изменением широты. Например, если взять среднее по всем метеорологическим

станциям изменение теплотехнических параметров, то (см. таблицу 1) относительно базового периода (1975-1996 гг.) коэффициент теплоотдачи  $a_n$  за последние десятилетия увеличился почти на 2 Вт/(м<sup>2</sup>°C). При этом требуемая амплитуда температуры внутренней поверхности  $A_{тв}^{TP}$  уменьшилась на 0,11°C, а расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха  $A_{тн}^{расч}$  – на 0,3 °C.

Встает вопрос, значимы ли эти изменения относительно принятых на сегодняшний день базовых теплотехнических параметров, приведенных в нормативном документе. Ответ на этот вопрос дают результаты расчета «производных» теплотехнических характеристик от вышеуказанных базовых.

Расчеты величины затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции  $\nu$  и температуры внутренней поверхности ограждения  $A_{тв}$  выполнялись для однослойных ограждений толщиной от 200 мм до 500 мм и для различных коэффициентов теплоусвоения материалов

$Y$  (от 5,559 Вт/м<sup>2</sup> до 25,575Вт/м<sup>2</sup>). Результаты этих исследований показали, что однозначного ответа на поставленный вопрос нет. Здесь решающую роль играют теплофизические свойства материалов и толщина ограждающей конструкции. Поэтому для возможности оценки значимости была введена критическая величина  $\Delta A_{\tau\epsilon}^{kp}$  значимости различия значений для амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции, вычисленных по данным за базовый период и период с 1997 по 2016 гг.:

$$\Delta A_{\tau\epsilon}^{kp} = \left| [A_{\tau\epsilon}^{TP}]_{\text{баз}} - [A_{\tau\epsilon}^{TP}]_x \right|, \quad (1)$$

где  $[A_{\tau\epsilon}^{TP}]_{\text{баз}}$  – требуемая амплитуда температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции, вычисленная по данным за базовый период,  $[A_{\tau\epsilon}^{TP}]_x$

– амплитуда температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции, вычисленная по данным за период с 1997 по 2016 гг.

Далее был введен в рассмотрение модуль разности  $\Delta A_{\tau\epsilon}$  между амплитудами колебаний внутренней температуры ограждающей конструкции, вычисленные по данным за базовый период  $[A_{\tau\epsilon}]_{\text{баз}}$  и период с 1997 по 2016 гг.  $[A_{\tau\epsilon}]_x$ :

$$\Delta A_{\tau\epsilon} = | [A_{\tau\epsilon}]_{\text{баз}} - [A_{\tau\epsilon}]_x | \quad (2)$$

Тогда условие значимости различия между рассматриваемыми параметрами запишется в виде:

$$\text{Если } \Delta A_{\tau\epsilon} \leq \Delta A_{\tau\epsilon}^{kp} \text{ то } [A_{\tau\epsilon}]_{\text{баз}} = [A_{\tau\epsilon}]_x; \quad (3)$$

$$\text{Если } \Delta A_{\tau\epsilon} > \Delta A_{\tau\epsilon}^{kp} \text{ то } [A_{\tau\epsilon}]_{\text{баз}} \neq [A_{\tau\epsilon}]_x. \quad (4)$$

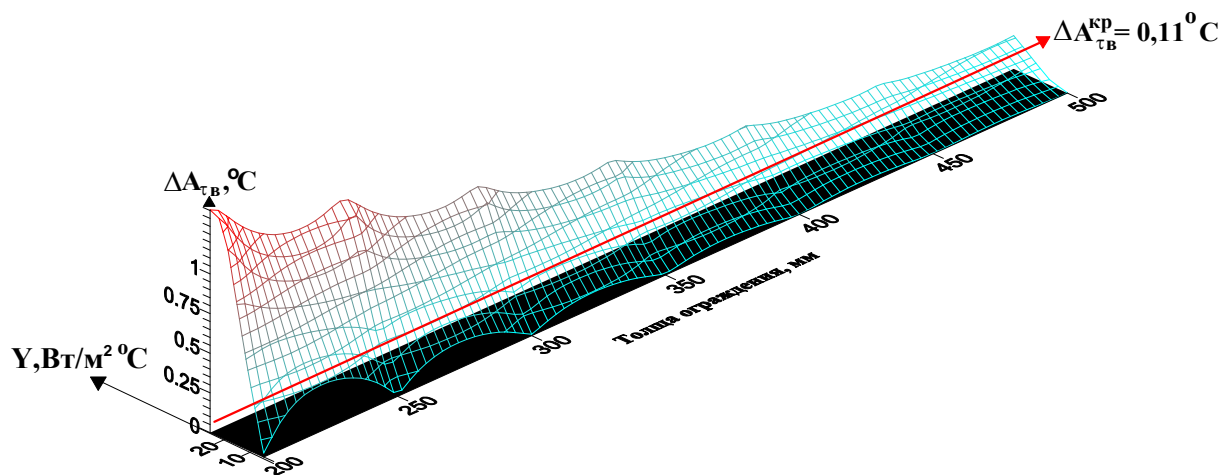


Рис. 1. Поверхность разностей амплитуд внутренней температуры ограждающей конструкции  $\Delta A_{\tau\epsilon}$ , вычисленной по климатическим данным базового периода (1975-1996 гг.) и данным за период с 1997 по 2016 гг. как функция толщи ограждения  $\delta$  и коэффициента теплоусвоения  $Y$

Таким образом, выражение (3) показывает неразличимость рассматриваемых характеристик, а выражение (4) – их различие.

На рис. 1 представлена средняя (по 44 метеорологическим станциям) поверхность  $\Delta A_{\tau\epsilon}$  как функция толщи ограждения  $\delta$  и коэффициента теплоусвоения  $Y$ . Линией на рисунке показано критическое значение  $\Delta A_{\tau\epsilon}^{kp} = 0,11^\circ\text{C}$ .

На основании выражений (3) и (4) более 90% значений  $[A_{\tau\epsilon}]_x$  существенно отличаются от аналогичного базового значения  $[A_{\tau\epsilon}]_{\text{баз}}$ . Этот результат прямо указывает на необходимость уточнения эталонных теплотехнических параметров, приведенных в действующих нормативных документах, связанных с климатологическими характеристиками.

Характер динамики основных и производных теплотехнических характеристик ограждающей конструкции как функции широты, в связи с изменениями климата, наглядно можно видеть на рисунках 2 – 4. На них все представленные теплотехнические параметры рассчитаны по данным 14 метеорологических станций Узбекистана, охватывающим практически все климатические зоны республики.

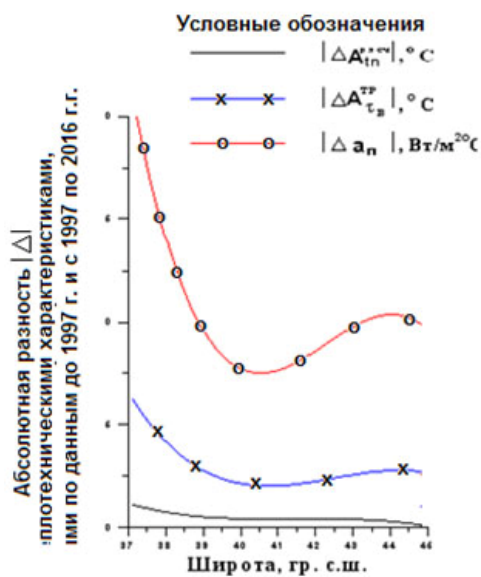


Рис.2. Характер изменения с широтой сглаженных полиномом 3-ей степени абсолютных разностей теплотехнических величин ограждающей конструкции, прямо связанных с климатическими характеристиками по данным за базовый период (1975-1996) и период с 1997 по 2016 гг.

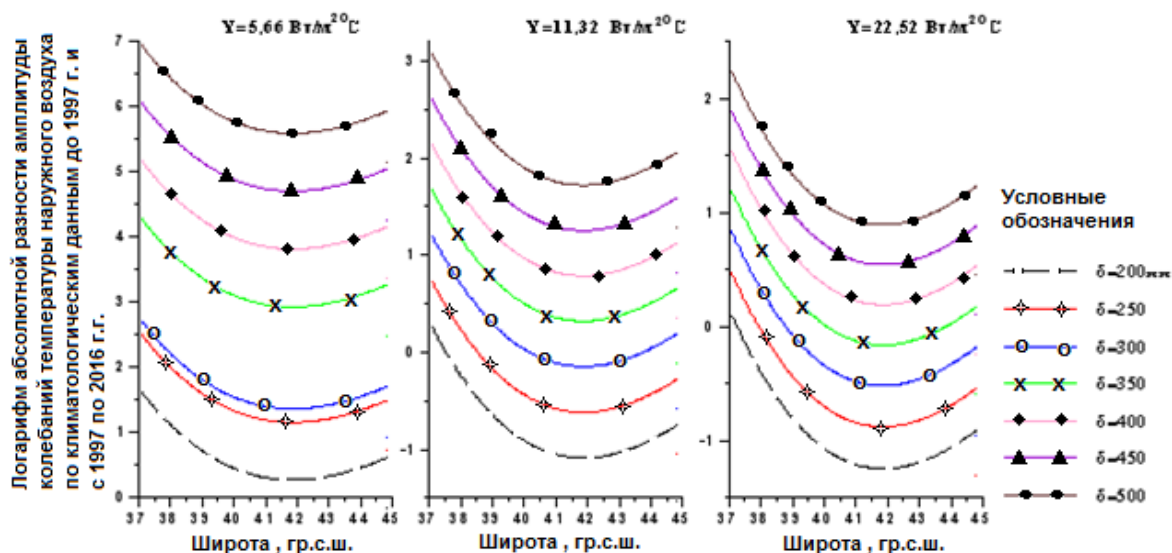
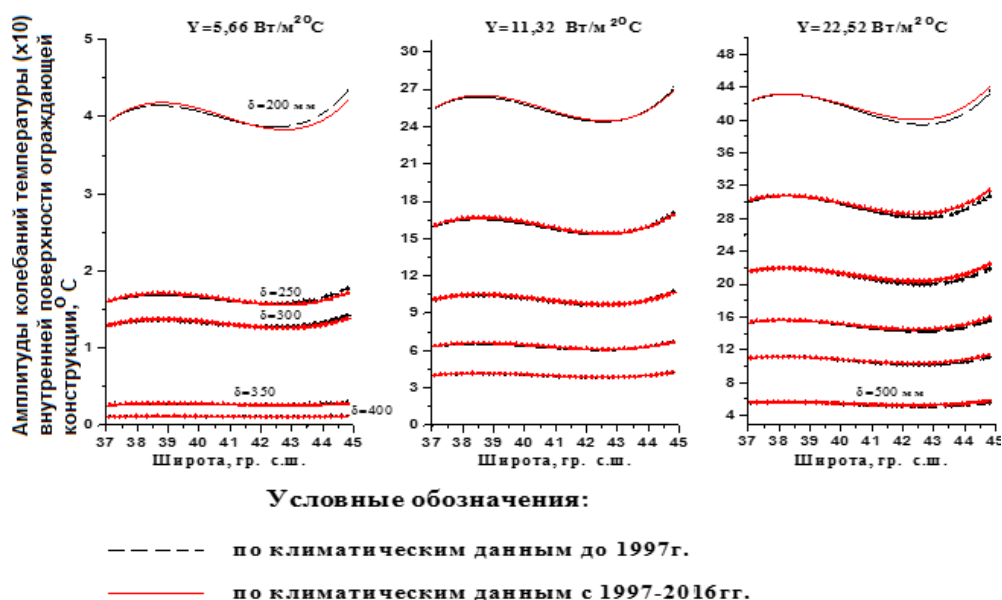


Рис. 3. Сглаженные полиномом 3-ей степени абсолютные разности между затуханием расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха, вычисленные по климатическим данным за базовый период (1975-1996 гг.) и период 1997 - 2016 гг. как функции широты



**Примечание:** амплитуды рассчитаны для трех значений коэффициента теплоусвоения  $Y$ .

Рис.4. Сглаженные полиномом 3-ей степени амплитуды колебаний внутренней поверхности ограждающей конструкции с различной толщиной  $\delta$ , вычисленные по данным за базовый период (1975-1996 гг.) и период 1997 - 2016 гг. как функции широты

### Вывод

Выполненные исследования по установлению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий на железнодорожном транспорте в связи с климатическими особенностями Республики Узбекистан позволяют сделать вывод, что изменения климатических параметров за последнее время, а также связанные с ними изменения теплотехнических характеристик ограждений требуют обязательного учета при разработке новых нормативных документов по тепловой защите зданий.

### Литература

1. Wang, N. N., Chang, Y. C., and Dauber, V., Carbon Print Studies for the Energy Conservation Regulations of the UK and China, *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 5, pp. 695–698, 2010.

2. Zeng, R. L., Wang, X., Di, H. F., Jiang, F., and Zhang, Y. P., *New Concepts and Approach for Developing Energy Efficient Buildings: Ideal Specific Heat for Building Internal Thermal Mass, Energy and Buildings*, vol. 43, no. 5, pp. 1081–1090, 2011.

3. Ghoneim, A. A., Klein, S. A., and Duffie, J. A., *Analysis of Collector–Storage Building Walls Using Phase Change Materials*, *Solar Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 237–242, 1991.

4. Cheng, R, Wang, X, Zhang Y. *Energy-Efficient Building Envelopes with Phase-Change Materials: New Understanding and Related Research*, Department of Building Science and Key Laboratory of Eco Planning & Green Building, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing, China, *heat transfer engineering*, vol. 35 nos. 11–12, p.p. 970-984, 2014.

5. F. Kheiri, "A review on optimization methods applied in energy-efficient building geometry and envelope design," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 897–920, 2018.
6. Vural, I., Akgül T., Aydın E., Aydın F., Examination of the Energy Efficiency of Wall Building Elements Used in Dwellings, *Acta Physica Polonica Series*, 127(4):p.p.1417-1420, 2015.
7. Broun R., Babaizadeh H., Zakersalehi A., Menzies G.F. Integrated Life Cycle Energy and Greenhouse Gas Analysis of Exterior Wall Systems for Residential Buildings, *Sustainability* 2014, 6(12), p.p. 8592-8603
8. Azari R. Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes. *Build. Environ.* 2014, 82, 156–162. [Google Scholar] [CrossRef]
9. Девятникова А, Зайцева М., Мухин С. Анализ теплотехнических свойств наружной стены на основе тепловизионной съемки// *Resources and Technology* 13 (3): 30-41, 2016.
10. Горшков А. С., Ливчак В. И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 3. С. 7–37.
11. Ватин Н. И. Горшков А. С., Корниенко С. В., Песряков И. И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 1. С. 78–101.
12. Барабанщиков Ю. Г. Ограждающие конструкции и материалы. – С-Пб.: Государственный Политехнический Университет, 2005.- 24 с.
13. Щипачева Е.В. Новые требования к материалам ограждающих конструкций при оценке энергоэффективности зданий // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. – Москва, РААСН, 2008.- № 2.- С. 62 - 63.
14. Щипачева Е.В. Современный подход к оценке теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций зданий// *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. – Москва, РААСН, 2007.- № 4.- С. 60 - 62.
15. Тахиров М.К., Щипачева Е.В. К вопросу оптимизации теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий// *Проблемы механики*.- Ташкент, 2008.-№ 1.- С. 14 - 17.
16. Щипачева Е.В. Основы тепловой защиты зданий в условиях сухого жаркого климата/ Дис.... докт. техн. наук – Ташкент.: ТашИИТ, 2009. – 273 с.

#### Сведения об авторах

**Шаумаров Саид Санатович**, доктор техн. наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, Ташкентский государственный транспортный университет,

100167, г. Ташкент, Мирабадский район, ул. Адълходжаева 1.

Телефон: +998-71-299-00-29

E-mail: shoumarovss@gmail.com

**Щипачева Елена Владимировна**, профессор кафедры «СЗиПС», доктор техн. наук, Ташкентский государственный транспортный университет. 100167, г. Ташкент, Мирабадский район, ул. Адълходжаева 1.

Телефон: +998-71-299-05-64,

E-mail: eshipacheva@mail.ru.