

# ENGINEER



international scientific journal

## SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**  
Tashkent state  
transport university



# **ENGINEER**

**A bridge between science and innovation**

**E-ISSN: 3030-3893**

**ISSN: 3060-5172**

**SPECIAL ISSUE**

**16-iyun, 2025**



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

**“QURILISHDA YASHIL IQTISODIYOT, SUV VA ATROF-MUHITNI ASRASH TENDENSIYALARI, EKOLOGIK MUAMMOLAR VA INNOVATSION YECHIMLAR” MAVZUSIDAGI RESPUBLIKA MIQYOSIDAGI ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA TASHKILIY QO‘MITASI**

1. Abdurahmonov O.K. – O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi ijtimoiy rivojlantirish departamenti rahbari, Toshkent davlat transport universiteti rektori
2. Gulamov A.A – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
3. Shaumarov S.S – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
4. Suvonqulov A.X. – O‘zsuvta’minoti AJ raisi
5. Xamzayev A.X. – O‘zbekiston ekologik partiyasi raisi
6. Maksumov N.E. – O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Qurilish va uy-joy kommunal xo‘jaligi sohasida nazorat qilish inspeksiysi boshlig‘i o‘rinbosari
7. Baratov D.X. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
8. Turayev B. X – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
9. Norkulov S.T. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
10. Adilxodjayev A.E. – Universitedagi istiqbolli va strategik vazifalarni amalga oshirish masalalari bo‘yicha rektor maslahatchisi
11. Negmatov S.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK ilmiy rahbari, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Akademigi
12. Abed N.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK raisi
13. Merganov A.M – Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo‘limi boshlig‘i
14. Ibadullayev A. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
15. Rizayev A. N. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
16. Xalilova R.X. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
17. Babayev A.R. – “Qurilish muhandisligi” fakulteti dekani
18. Boboxodjayev R.X – Tahririy nashriyot va poligrafiya bo‘limi boshlig‘i
19. Talipov M.M – Ilmiy nashrlar bilan ishslash bo‘limi boshlig‘i
20. Maxamadjonova Sh.I. - Matbuot xizmati kontent-menedjeri
21. Umarov U.V. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi mudiri
22. Eshmamatova D.B. – Oliy matematika kafedrasi mudiri
23. Muxammadiyev N.R. – Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrasi mudiri
24. Tursunov N.Q. – Materialshunoslik va mashinasozlik kafedrasi mudiri
25. Shermuxammedov U.Z. – Ko‘priklar va tonnellar kafedrasi mudiri
26. Lesov Q.S. – Temir yo‘l muhandisligi kafedrasi mudiri
27. Pirnazarov G‘.F. – Amaliy mehanika kafedrasi mudiri
28. Teshabayeva E.U. – Tabiiy fanlar kafedrasi professori
29. Chorshanbiyev Umar Ravshan o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi dotsent v.b.
30. Obidjonov Axror Jo‘raboy o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi assistenti

## Investigation of the triboelectrification process of composite polymer materials depending on the type and nature of polymers and fillers

**N.S. Abed<sup>1</sup>, S.S. Negmatov<sup>1</sup>, A.Y. Grigoriev<sup>2</sup>, S.O. Aminov<sup>3</sup>, V.S. Tulyaganova<sup>1</sup>,  
B.T. Jabborov<sup>1</sup>, S.A. Bazarbayev<sup>1</sup>, S.S. Shamsieva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>The state institution "Fan va tarakkiet", Uzbekistan

<sup>2</sup>V.A.Bely Institute of Mechanics and Metal Polymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarus

<sup>3</sup>Fergan State Technical University, Uzbeksitan

**Abstract:**

This paper presents theoretical and experimental studies of triboelectrification processes in composite polymer materials used as coatings in the cotton processing industry. It is shown that friction between polymers and raw cotton leads to the accumulation of electrostatic charges, deteriorating the antifriction and electrophysical properties of the materials. The influence of the chemical nature of polymers, crosslinking degree, and various fillers (kaolin, carbon black, graphite, copper oxide, etc.) on the level of electrification is investigated. The introduction of conductive fillers significantly reduces the surface charge density and improves the tribotechnical characteristics of the coatings. Thermosetting polymers epoxy oligomer (ED-16), furano-epoxy oligomer (FAED-20), and furano-epoxy-silane oligomer (FAEIS-30) are identified as the most promising for creating antistatic and wear-resistant coatings.

**Keywords:**

triboelectrification, polymer coatings, raw cotton, antistatic properties, conductive fillers, wear resistance, carbon black, kaolin, friction interaction.

## Исследование процесса трибоэлектризации композиционных полимерных материалов в зависимости от вида и природы полимеров и наполнителей

**Абед Н.С.<sup>1</sup>, Негматов С.С.<sup>1</sup>, Григорьев А.Я.<sup>2</sup>, Эминов Ш.О.<sup>3</sup>, Туляганова В.С.<sup>1</sup>,  
Джабборов Б.Т.<sup>1</sup>, Бозорбоев Ш.А.<sup>1</sup>, Шамсиева С.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт», Узбекистан

<sup>2</sup>Институт механики и металлополимерных систем имени В.А.Белого НАН Беларуси, Беларусь

<sup>3</sup>Ферганский государственный технический университет, Узбекистан

**Аннотация:**

В данной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов трибоэлектризации композиционных полимерных материалов, применяемых в качестве покрытий в хлопкоперерабатывающей промышленности. Установлено, что при трении полимеров с хлопком-сырцом происходит накопление электростатических зарядов, ухудшающее антифрикционные и электрофизические свойства материалов. Изучено влияние химической природы полимеров, степени сшивки, добавления различных наполнителей (каолин, сажа, графит, оксид меди и др.) на уровень электризации. Показано, что введение электропроводящих наполнителей существенно снижает плотность зарядов и улучшает триботехнические характеристики покрытий. Наиболее перспективными для создания антистатических и износостойких покрытий признаны термореактивные полимеры эпоксидный олигомер (ЭД-16), фурано-эпоксидный олигомер (ФАЭД-20) и фурано-эпоксидно-силанцевый олигомер (ФАЭС-30).

**Ключевые слова:**

трибоэлектризация, полимерные покрытия, хлопок-сырец, антистатические свойства, электропроводящие наполнители, износостойкость, сажа, каолин, трение.

### 1. Введение

Анализ теоретических и экспериментальных исследований показал, что взаимодействие полимерных покрытий с хлопком-сырцом сопровождается

электризацией, ухудшающей электрофизические и физико-механические свойства полимеров. Это снижает их износостойкость, долговечность, повышает коэффициент трения и пожароопасность при переработке хлопка. Снижение уровня электризации улучшает антифрикционные свойства покрытий.

Результаты позволяют целенаправленно регулировать антистатические и антифрикционные характеристики полимеров. Решение проблем возможно через управление свойствами материалов и разработку эффективных композиционных составов. С целью выбора наиболее активных полимерных материалов для использования в качестве покрытий, ранее нами был проведен анализ условий работы машин и механизмов хлопкозаводов, так как в конечном итоге эффективность применения полимерных покрытий зависит от конструкции и назначения машин, материала, условий эксплуатации и т.п. Как отмечено в работах [1; с.134-142; 2; с.16-17; 3; с.17-19; 4; с.32] машины и механизмы, применяемые для переработки хлопка-сырца, имеют конструктивные, технологические и целый ряд специфических недостатков, влияющих на природные свойства хлопка-сырца, и которые сводятся к следующему:

- повреждению хлопковых волокон и семян, возникновению шума и пожароопасности;
- высокий коэффициент трения;
- острые кромки заусенцев, шероховатость и субмикронеровности;
- повышенная пожараопасность, возникающая при ударении рабочих органов машин с твердыми включениями, находящимися в хлопке-сырце.

Как отмечалось ранее, применение полимерных покрытий в рабочих органах машин позволяет устраниить или минимизировать ряд недостатков. Такие покрытия работают в условиях статических и динамических нагрузок, вибраций, воздействия климатических факторов и агрессивных сред. Выбор полимерных материалов для антиэлектростатических композиций осуществлялся по следующим критериям:

1. технологичность и экономичность нанесения покрытий;
2. стабильность электрофизических и физико-механических свойств при температурах от -20 до +80 °С и влажности до 80%;
3. высокая износостойкость и низкая электризуемость при трении в диапазоне скоростей до 8 м/с (иногда до 25 м/с) и нагрузках 0,005–0,05 МПа.

Наиболее полно этим требованиям соответствуют полимеры ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭИС-30, выбранные в качестве основы для функциональных антиэлектростатических материалов. Они обладают отличными антифрикционными свойствами, теплостойкостью и хорошей технологичностью при нанесении покрытий.

## 2. Результаты исследований

Для качественной оценки процессов электризации полимерных покрытий были выполнены исследования кинетики электризации, которые показали, что наиболее быстро электризуются полярные фурано-эпоксидные олигомеры (табл.1). При этом, отмечено, что степень электризации полимерных покрытий определяется как скоростью образования, так и скоростью утечки зарядов и зависит от природы полимера. Установлено, что после прекращения фрикционного взаимодействия полимерных покрытий с хлопком-сырцом, заряды длительное время сохраняются на поверхности покрытий (табл. 2).

**Таблица 1**  
**Динамика поверхностной плотности**  
**электростатического заряда полимерных покрытий**  
**при трении с хлопком-сырцом при  $V = 6$  м/с и  $P = 0,05$  МПа**

Наименование	Время взаимодействия $t, \text{ кс}$	Поверхностная плотность заряда, $\sigma \cdot 10^6 \text{ Кл/м}^2$
ФАЭИС-30	0,05	76
	0,09	79
	0,13	78
	0,17	78
ФАЭД-20	0,03	71
	0,09	76
	0,13	75
	0,17	77
ЭД-16	0,05	36
	0,09	43
	0,13	44
	0,17	44

Исследования процессов электризации показали, что под действием температуры в зоне трения полимерные покрытия на основе ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭИС-30 незначительно изменяют электропроводность с увеличением температуры в контактной зоне полимер-хлопок.

Температурная зависимость электропроводности определяется равновесие между накоплением и утечкой электростатических зарядов. Объяснить электризацию полимерных покрытий только с позиций донорно-акцепторной теории невозможно, поскольку при трении покрытия приобретают положительный заряд, а хлопок-сырец — отрицательный. Также выявлена зависимость электризации от степени сшивки термореактивных полимеров: с увеличением сшивки (при повышении содержания отвердителя ПЭПА) усиливается электризация из-за роста микротвердости и уменьшения утечки зарядов. Однако при дальнейшем увеличении ПЭПА заряд уменьшается из-за пластифицирующего эффекта, который увеличивает электропроводность.

При введении пластификатора ДБФ в композиции наблюдается нелинейная зависимость: при 10–15 мас.ч. электризация возрастает, а при превышении этой концентрации — снижается из-за повышения подвижности макромолекул. Также установлено, что с увеличением активности полимера в реакциях термоокисления его электризация уменьшается. Структурные изменения в хлопковом волокне активируют химическое взаимодействие продуктов деструкции с целлюлозой, что подтверждается ИК-спектроскопией [5; с.235-243].

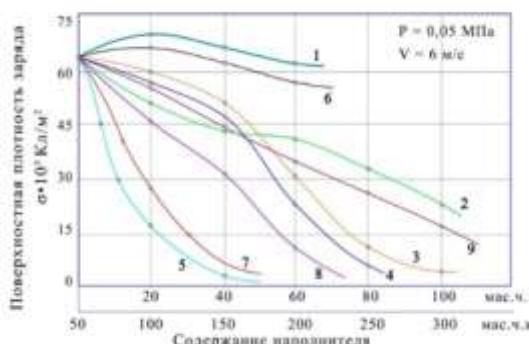
**Таблица 2**  
**Динамика снижения поверхностного заряда**  
**полимерных покрытий после трения с хлопком-**  
**сырцом при скорости 6 м/с и давлении 0,05 МПа**

Наименование	Время взаимодействия, $t, \text{ кс}$	Поверхностная плотность заряда, $\sigma \cdot 10^6 \text{ Кл/м}^2$
ФАЭИС-30	1,3	68
	2,5	63
	3,7	48
	4,9	42
	6,1	39

ФАЭД-20	1,3	63
	2,5	50
	3,7	43
	4,9	33
	6,1	30
ЭД-16	1,3	53
	2,5	46
	3,7	33
	4,9	23
	6,1	19

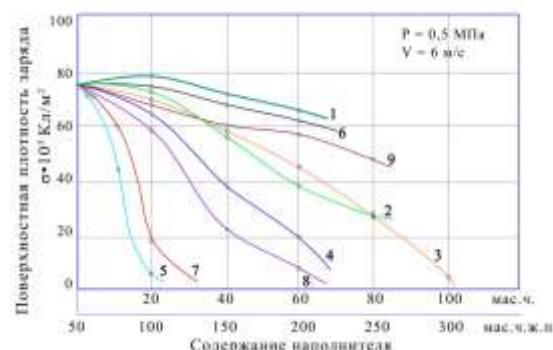
Результаты исследований позволили установить основные закономерности электризации полимерных покрытий при трении с хлопком-сырцом, в зависимости от вида и природы термореактивных материалов. Установлено, что термореактивные полимеры быстро электризуются (0,04–0,06 кс), достигая плотности заряда  $64\text{--}75 \cdot 10^6 \text{ Кл/м}^2$ . Причём заряды сохраняются длительное время: например, у покрытий из ФАЭД-20, ЭД-16 и ФАЭИС-30 спустя 6,0 кс плотность составляет  $10\text{--}28 \cdot 10^6 \text{ Кл/м}^2$ .

Одним из эффективных способов регулирования электрофизических, электростатических и антифрикционных свойств является введение электропроводящих и полупроводниковых органоминеральных наполнителей. Это также позволяет улучшить триботехнические свойства покрытий за счёт оптимизации их микротвердости, температуры стеклования и других характеристик. Исследование влияния природы и концентрации наполнителей показало, что полярность покрытий (положительная) и хлопка-сырца (отрицательная) сохраняется независимо от вида полимера. Эксперименты (рис. 1–3) показали, что добавление каолина в концентрации 20–40 мас.ч. увеличивает электризацию, а при более высоком содержании лишь незначительно снижает плотность зарядов на поверхности покрытий. Влияние каолина на электризацию полимерных покрытий связано с его высокими электроизоляционными свойствами (рис. 1). При содержании 20–40 мас.ч. в составах ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭИС-30 каолин слабо влияет на электрофизические характеристики, но изменяет физико-механические свойства (рис. 1–3), что приводит к росту плотности зарядов. Дальнейшее увеличение его содержания снижает электризацию, что обусловлено уменьшением  $\rho_v$  и  $\rho_s$  композиций (табл. 2), поскольку проводимость наполнителя ниже, чем у связующего.



1-каолин; 2-окись меди; 3-железный порошок; 4-алюминиевая пудра; 5-сажа; 6-тальк; 7-графит, 8-бронзовая мука; 9-окись железа

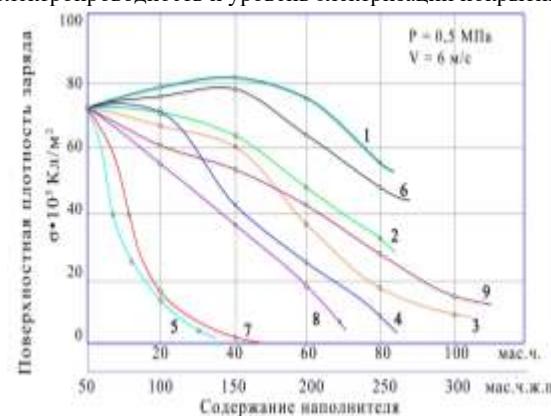
Рис. 1. Влияние типа и концентрации наполнителя на поверхностную плотность заряда полимерных покрытий на основе ЭД-16



1-каолин; 2-окись меди; 3-железный порошок; 4-алюминиевая пудра; 5-сажа; 6-тальк; 7-графит, 8-бронзовая мука; 9-окись железа

Рис. 2. Влияние типа и концентрации наполнителя на поверхностную плотность заряда полимерных покрытий на основе ФАЭИС-30

Введение каолина в эпоксидные и фурано-эпоксидные полимеры способствует образованию пространственной сетки за счёт абсорбции продуктов термодеструкции на его поверхности, что влияет на электропроводность и уровень электризации покрытий.



1-каолин; 2-окись меди; 3-железный порошок; 4-алюминиевая пудра; 5-сажа; 6-тальк; 7-графит, 8-бронзовая мука; 9-окись железа

Рис. 3. Влияние типа и концентрации наполнителя на поверхностную плотность заряда полимерных покрытий на основе ФАЭД-20

Наибольшее снижение зарядов достигается при добавлении электропроводящих наполнителей — особенно сажи и графита. Благодаря их высокой проводимости удельное сопротивление покрытий существенно снижается уже при 5 мас.ч. сажи в ПНП и 10 мас.ч. в ФАЭД-20, ФАЭИС-30 и ЭД-16.

Снижение электризации покрытий при добавлении электропроводящих наполнителей связано с увеличением путей утечки зарядов и формированием цепочечной структуры в объёме полимера. В системе хлопок-сырец–полимер–наполнитель контактные участки с наполнителем увеличиваются, что способствует отводу зарядов. Сажа снижает электризацию эффективнее графита благодаря своей активной поверхности и способности образовывать химические связи с полярными полимерами, несмотря на более высокое удельное сопротивление [6; с.45–46].

Исследования показали, что сажа эффективнее снижает электризацию в покрытиях ФАЭД-20 и ФАЭИС-30 по сравнению с ЭД-16, благодаря лучшей

совместимости с ними и более равномерному распределению частиц наполнителя. Введение алюминиевой пудры снижает электризацию, но ухудшает антифрикционные свойства из-за комкования частиц и образующихся микродефектов. Меньшая активность алюминиевой пудры по сравнению с сажей объясняется её более высоким электрическим сопротивлением.

Окись меди, являясь полупроводником, снижает электризацию, занимая промежуточное положение между каолином и алюминиевой пудрой. Железный порошок, несмотря на более высокое удельное сопротивление, незначительно увеличивает плотность электростатических зарядов, но при высоких содержаниях вызывает резкое снижение этой плотности. Это объясняется неравномерным распределением частиц в полимерном объеме. При высоких наполнениях образуется цепочечная структура, и утечка зарядов происходит как по поверхности, так и по объему. В менее вязких фурано-эпоксидных покрытиях частицы распределяются более равномерно, что приводит к большему снижению электризации.

### 3. Вывод

В результате исследования установлено, что полимерные покрытия, особенно на основе ЭД-16, ФАЭД-20 и ФАЭС-30, эффективно регулируют антифрикционные и антиэлектростатические свойства, улучшая износостойкость и снижая электризацию при трении с хлопком-сырцом. Введение электропроводящих наполнителей, таких как сажа и графит, значительно снижает уровень электризации, улучшая триботехнические характеристики покрытий. Оптимизация состава и выбор наполнителей позволяют создавать материалы с нужными электрофизическими и механическими свойствами для применения в хлопкоперерабатывающей промышленности.

### Использованная литература / References

- [1] Гидротехнические сооружения. И. А. Василь Г. И Шполянский Д.М. Комплексная механизация уборки хлопка – М.: Высшая школа, 1972.- 319 с.
- [2] Раджапов У.Р. Исследование пневмотранспорта хлопковых семян в горизонтальном трубопроводе: Автореферат дис.... канд.тех наук. - Ташкент, 1974.- 23 с.
- [3] Гулямов Г. Влияние температуры и величины заряда, возникающих при взаимодействии полимерных композиционных материалов с хлопком-сырцом, на возможность его загорания // Композиционные материалы. Ташкент, 2002. - № 1.-С.10-12.
- [4] Абед - Негматова Н.С., Гулямов Г. Влияние условий эксплуатации на работоспособность деталей из композиционных полимерных материалов рабочих органов хлопковых машин и механизмов // Композиционные материалы. -Ташкент, 2010.- №2.- С. 62-68.
- [5] Дехант И., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. –М.: Химия, 1976. -472с.

[6] Трофимова А.С., Овсянникова Т.А., Майер Э.А. Влияние дисперсных, текстурных и морфологических характеристик тальков на свойства композиционных материалов на основе полипропилена // Пластические массы. – Москва, 2011. - № 11. – С. 53-56.

### Информация об авторах/ Information about the authors

**Н.С. Абед** д.т.н., профессор, директор, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

**С.С. Негматов** д.т.н., академик АН РУз, научный руководитель, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

**А.Я. Григорьев** д.т.н., проф., директор ИММС им. В.А. Белого НАН Б

**Ш.О. Эминов** PhD, преподаватель ФГТУ

**В.С. Туляганова** д.т.н., с.н.с., начальник отдела, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

**Б.Т. Джабборов** докторант Государственного учреждения «Фан ва тараккиёт»

**Ш.А. Бозорбоев** PhD, с.н.с., зам. директора, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

**С.С. Шамсиева** докторант Государственного учреждения «Фан ва тараккиёт»

# CONTEXT / MUNDARIA

**S. Negmatov, T. Ulmasov, N. Abed, V. Sergienko, S.**

**Bukharov, V. Tulyaganova, S. Bozorboev**

*Study of the influence of technological factors on the properties of acoustic composites containing natural fibers and targeted additives* ..... 231

**N. Abed, M. Tukhtasheva, S. Negmatov, K. Negmatova,**

**Sh. Kasimov, J. Negmatov, A. Abdulazibdulakahorov,**

**I. Muradov, N. Ergashev**

*Compilation of analysis of tribotechnically modified composite polymer materials and their physicochemical, tribotechnical properties used in mechanical engineering* ..... 235

**N. Abed, S. Negmatov, A. Grigoriev, S. Eminov,**

**V. Tulyaganova, B. Jabbarov, S. Bazarbayev, S. Shamsieva**

*Investigation of the triboelectrification process of composite polymer materials depending on the type and nature of polymers and fillers* ..... 239

**Z. Negmatov, A. Khursanov, K. Negmatova**

*Investigation of the physico-chemical properties and flotation ability of the developed experimental batches of composite chemical flotation reagents-foamers KHF-VS-B* ..... 243

**D. Musabekov, K. Negmatova, D. Raupova, H. Rakhimov**

*Creation and development of a technological line for the production of composite chemical reagents-demulsifiers used in the technology of dehydration and desalination of petroleum emulsion* ..... 247

**M. Ulugova, S. Negmatov, N. Talipov**

*Investigation of physico-chemical processes forming the structure of water-resistant composite materials based on modified gypsum binders* ..... 251

**M. Kasimova, K. Negmatova**

*Research and development of effective dye composition formulations for use in the dyeing process of cotton fabric* ..... 255

**B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandahorov**

*Analysis of the technological properties of industrial waste-based structural gasobeton* ..... 259

**B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandahorov**

*Evaluation of spatial-structural properties and thermal technical indicators of autoclave-free aerated concrete produced from industrial waste* ..... 264