

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА  
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Улмасов Тулкун Усманович**

*д-р. техн. наук, философии (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [bozorboyev1983@mail.ru](mailto:bozorboyev1983@mail.ru)*

**Негматов Сайибжан Садиқович**

*академик АН Республики Узбекистан,  
д-р. техн. наук, профессор, ГУП “Фан ва тараққиёт”,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Хаминов Бурхон Турғунович**

*соискатель ГУП “Фан ва тараққиёт”,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Абед Ноди́ра Сайибжановна**

*д-р. техн. наук, профессор ГУП “Фан ва тараққиёт”,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Бозорбоев Шухрат Абдурахимович**

*д-р. техн. наук, философии (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Халимжанов Тохир Салимович**

*канд. техн. наук, доц ГУП “Фан ва тараққиёт”,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**Махаммаджонов Зоҳидулло Улугбек угли**

*докторант (PhD) ГУП “Фан ва тараққиёт”,  
Ташкентский государственный технический университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ORGANOMINERAL FILLERS  
ON THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF COMPOSITE POLYMER MATERIALS  
AND COATINGS BASED ON THEM FOR MACHINE-BUILDING PURPOSES**

**Tulkun Ulmasov**

*Doctor of technical philosophy, SUE “Fan va tarakkiyot”,  
Tashkent state technical university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Sayibjan Negmatov**

*Academician of the AS RepUz,  
Doctor of technical sciences, professor, SUE “Fan va tarakkiyot”,  
Tashkent state technical university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Burkhon Khaminov**

*Independent applicant, SUE "Fan va tarakkiyot",  
Tashkent State technical university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Hodira Abed**

*Doctor of technical sciences, professor, SUE "Fan va tarakkiyot",  
Tashkent state technical university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Shukhrat Bozorboyev**

*Doctor of technical philosophy, SUE "Fan va tarakkiyot",  
Tashkent state technical university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Tokhir Halimzhanov**

*Cand. tech. Sci., Associate Professor  
of the State Unitary Enterprise "Fan va taragiyot",  
Tashkent State Technical University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Zokhidullo Makhammadjonov**

*Doctoral student SUE "Fan va tarakkiyot",  
Tashkent State technical university,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

#### АННОТАЦИЯ

Выявлено, что на основе анализов полученных результатов исследований триботехнических свойств покрытия в зависимости от природы, вида и содержания наполнителей в композиции, низким коэффициентом трения обладает покрытие с графитом, железным порошком, тальком; значительно снижают интенсивность изнашивания также наполнители, как железный порошок и цемент, и не изменяют интенсивность изменения талька и каолина до определенного их содержания в композиции. Установлено, что для создания антифрикционных материалов целесообразно было бы применение комплексного наполнителя, то есть бинарные смеси наполнителей, которые расширяют область применения наполненных систем.

#### ABSTRACT

It was revealed that on the basis of the analysis of the obtained results of studies of the tribotechnical properties of the coating, depending on the nature, type and content of fillers in the composition, the coating with graphite, iron powder, talc has a low coefficient of friction; Fillers such as iron powder and cement also significantly reduce the wear rate, and do not change the rate of change of talc and kaolin to a certain content in the composition. It has been found that to create antifriction materials, it would be advisable to use a complex filler, that is, binary mixtures of fillers that expand the scope of filled systems.

**Ключевые слова:** триботехнические свойства, коррозионностойкость, фуранэпоксидная смола, адгезия, когезия, термореактивные полимеры.

**Keywords:** tribotechnical properties, corrosion resistance, furan epoxy resin, adhesion, cohesion, thermosetting polymers.

**Введение.** Для создания композиционно-полимерных материалов (КПМ) с заданными триботехническими свойствами, применительно к рабочим органам машин и механизмов производства и переработки хлопка, в работе [3; 4; 8; 9; 15; 1] изучена природа контактного взаимодействия полимерных материалов с хлопком, закономерности трения, изнашивания в зависимости от различных эксплуатационных и технологических факторов, образование зарядов трибоэлектричества и температура в зоне трения и их влияние на процессы трения и изнашивания.

Поэтому без проведения фундаментальных исследований по изучению основных закономерностей

трения и изнашивания полимерных материалов с хлопком и природы их контактного взаимодействия невозможно не только разработать материал с заданными триботехническими свойствами, но и оценить эффективность существующих конструкционных материалов.

Изнашивание полимерных материалов с ростом давления и скорости скольжения увеличивается, причем с разной интенсивностью в зависимости от вида материала [13].

Взаимодействие, как металлических рабочих поверхностей, так и полимерных покрытий с хлопком-сырцом сопровождается явлением статистической

электризации. В тоже время применение полимерных материалов способствует интенсификации процесса их электризации при взаимодействии с хлопком-сырцом, а также увеличению коэффициента трения и соответственно снижению эффективности работы машин. Кроме того, при определенных условиях электростатические заряды могут стать источником воспламенения хлопка-сырца [5; 7].

Трение в значительной степени связано с износом, поэтому факторы, определяющие коэффициент трения наполненных композиций, также влияют на их износостойкость. Три фактора в основном определяют сопротивление износу наполненных полимерных композиций: твердость наполнителя, адгезионная прочность и относительная объемная доля частиц [6; 12; 16; 2; 11].

Таким образом, для разработки антифрикционно-износостойких композиционных полимерных материалов и покрытий на их основе необходимо проводить исследования триботехнических, электро-теплопроводящих и прочностных полимерных композиций. На основе комплекса анализа полученных экспериментальных исследований можно будет разработать эффективные композиционные полимерные материалы и покрытия с высокими триботехническими, электро-теплопроводящими, адгезионными и прочностными свойствами.

**Объект и методика исследований.** Композиционные полимерные материалы (КПМ), предназначенные для применения в рабочих органах хлопкоочистительных машинах, должны отличаться рядом особенностей, таких как: низкий коэффициент трения с хлопком-сырцом, хорошие демпфирующие свойства, высокие класс частоты поверхности, низкая интенсивность изнашивания и электризуемость, высокая адгезия к металлу, технологичность, недефицитность, невысокая стоимость, кроме того, должно иметь высокую ударную прочность и твердость [15].

Хотя по механическим свойствам композиции на базе эпоксидных смол уступают наполненным полиамидным при трении металлах, тем не менее в случае тонкослойных покрытий основную роль играют не только механические, а адгезионные свойства антифрикционных материалов. В этом смысле, эпоксидные смолы, отличие от многих других полимерных материалов, обладают высокой адгезией к металлам и отверждаются без выделения побочных продуктов с минимальной усадкой. Кроме того преимуществом термореактивных олигомеров является возможность достижения высокой степени наполнения [14; 17].

Таким образом, термореактивный олигомер ЭД-16 потенциально удовлетворяет требованиям к материалам покрытий с учетом их функционального назначения, условий эксплуатации, технологичности и недефицитности.

Учитывая масштабы производства, дефицитность, стоимость, технологичность, соответствие физико-механических свойств условиям эксплуатации хлопкоочистительных машин, в качестве объекта исследования были выбраны: полимерная матрица - эпоксидные олигомер ЭД-16 (ГОСТ 10587-72), отвердитель - полиэтилен полиамин (ТУ 6-02-594-78), пластификатор - дибутилфталат (ГОСТ 8723-3-3), а в качестве

наполнителей с целью повышения электропроводности, теплопроводности и прочностных свойств разрабатываемых антифрикционно-износостойких композиционных полимерных материалов были выбраны - графит кристаллический (ГОСТ 44404), железный порошок (ПМЖ-33 ГОСТ 9849-61), каолин (Ангренское месторождение, УзР), цемент (ГОСТ 10178-68), тальк (ГОСТ 8785-52).

Коэффициент трения КПМ с хлопковым сырцом, температуру на поверхности КПМ и электростатический заряд на волокнистой массе изучали на усовершенствованном дисковом трибометре [15] в соответствии с ГОСТ 23.223-85.

Перед испытанием производят приработку испытываемого образца последовательно под нагрузками, обеспечивающими минимальное и максимальное значения давлений в сочетании с минимальными и максимальными значениями скорости скольжения. Приработку на каждом режиме производят в течение не менее 60 с. В процессе приработки производят окончательную отладку измерительной аппаратуры.

Испытания повторяют не менее трех раз. Перед проведением, каждого повторного испытания о поверхности образца снимают остаточные трибоэлектрические заряды путем измерения вольтметра и амперметра. Повторное использование порции волокнистой массы не допускается.

Фиксируются результаты измерения силы трения, напряжения и емкости, среднее за время не менее 30 с. стабилизированного трения.

По результатам повторных испытаний рассчитывают средние значения силы  $P$  стабилизированного трения, напряжения  $V$  и суммарной емкости  $C_{\Sigma}$ .

Среднее значение коэффициента  $\zeta$  стабилизированного трения рассчитывается по формуле

$$f = 200 \frac{F}{P}$$

Среднее значение плотности электростатических зарядов рассчитывается по формуле:

$$q = 500 C_{\Sigma} V$$

В качестве характеристики износостойкости КПП в работе исследована линейная интенсивность износа  $I$ , определяемая отношением высоты изношенного слоя  $h$  к пути трения  $S$ . Интенсивность линейное изнашивания и параметры шероховатости поверхности КПП по ГОСТ 2789-73 определяли профилометрированием на профилографе-профилометре «Калибр-252» [15].

Толщину полимерных покрытий определяли магнитным толщиномером МИП-10 и винтовым микрометром [6].

**Результаты исследований.** В работе нами было изучено влияние наиболее перспективное для антифрикционных композиций выше указанных наполнителей (графит чешуйчатый, каолин, тальк, цемент и железный порошок) при содержании пластификатора - дибутилфталата - 20 об.ч. отверждения - полиэтиленполиамин - 10 об.ч. и неизменном режиме отверждения.

Как видно из таблиц 1 кроме цемента все другие наполнители увеличением их содержания в композиции изменяют коэффициент трения экстремально проходя с минимумом при различных содержаниях конкретного наполнителя. Наименьшим коэффициентом трения обладает покрытие с графитом, наибольшим - композиции с цементом и каолином при их содержании более 30 об.ч.

С повышением содержания цемента в покрытии до 35 об.ч. коэффициент трения увеличивается монотонно, но незначительно (до 8-10%).

Картина изменения изнашиваемости покрытий с указанными наполнителями имеет иной характер. Самой высокой интенсивно изнашивания обладает композиция с графитом, далее следуют покрытия с каолином и тальком.

Низкую изнашиваемость показали покрытия с железным порошком и цементом

Все испытанные наполнители, имеющие пластинчатую структуру, снижали коэффициент трения и увеличивали интенсивность изнашивания Это связано

с тем, что пластинчатый наполнитель не позволяет создать в массе покрытия больших напряжений сдвига при трении, так как легко сдвигается по плоскостям спайности. А разная интенсивность изменения как коэффициента трения, так и изнашивания, по-видимому, связана с их разными дисперсностью (у графита дисперсность на порядок ниже; чем у каолина и талька), совершенством спайности параллельных листочков (например, кристаллы талька обладают весьма совершенной спайностью листочков), теплопроводностью и удельным поверхностным сопротивлением (эти показатели у покрытий с графитом существенно выше по сравнению покрытием, наполненным тальком или каолином)

Рост коэффициента трения и интенсивности изнашивания покрытия при дальнейшем увеличении объемного содержания пластин-наполнителей (выше 20-25 об.ч.) может быть объяснен увеличением шероховатости поверхности покрытий за счет образования агломератов частиц наполнителя и ухудшения прочностных свойств покрытий.

Таблица 1.

Триботехнические и динамические свойства композиционных эпоксидных покрытий

| Наименование     | Показатели свойства материала | содержание наполнителей в композиции, об.ч. |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |                               | 5   | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    |
| графит           | $f$                           | 0,268                                       | 0,26  | 0,253 | 0,248 | 0,247 | 0,251 | 0,257 |
|                  | $I, 10^{-10}$                 | 0,9   | 1,05  | 1,25  | 1,50  | 1,75  | 2,1   | 2,55  |
|                  | $\delta_э$                    | 0,17  | 0,206 | 0,234 | 0,260 | 0,284 | 0,304 | 0,32  |
| каолин           | $f$                           | 0,273                                       | 0,269 | 0,267 | 0,269 | 0,278 | 0,290 | 0,303 |
|                  | $I, 10^{-10}$                 | 0,82  | 0,86  | 0,90  | 0,92  | 0,01  | 0,14  | 1,3   |
|                  | $\delta_э$                    | 0,18  | 0,22  | 0,25  | 0,268 | 0,268 | 0,284 | 0,288 |
| тальк            | $f$                           | 0,273                                       | 0,268 | 0,264 | 0,263 | 0,265 | 0,274 | 0,282 |
|                  | $I, 10^{-10}$                 | 0,82  | 0,74  | 0,89  | 0,94  | 0,03  | 1,16  | 1,29  |
|                  | $\delta_э$                    | 0,126                                       | 0,146 | 0,158 | 0,158 | 0,148 | 0,132 | 0,112 |
| цемент           | $f$                           | 0,275                                       | 0,279 | 0,282 | 0,284 | 0,286 | 0,288 | 0,290 |
|                  | $I, 10^{-10}$                 | 0,7   | 0,62  | 0,58  | 0,52  | 0,51  | 0,54  | 0,58  |
|                  | $\delta_э$                    | 0,126                                       | 0,144 | 0,158 | 0,158 | 0,147 | 0,13  | 0,106 |
| железный порошок | $f$                           | 0,273                                       | 0,268 | 0,264 | 0,254 | 0,257 | 0,257 | 0,260 |
|                  | $I, 10^{-10}$                 | 0,73  | 0,66  | 0,59  | 0,54  | 0,49  | 0,47  | 0,46  |
|                  | $\delta_э$                    | 0,10  | 0,086 | 0,064 | 0,050 | 0,038 | 0,030 | 0,024 |
| без наполнителя  | $f$                           | 0,27  |       |       |       |       |       |       |
|                  | $I, 10^{-10}$                 | 0,8   |       |       |       |       |       |       |
|                  | $\delta_э$                    | 0,10  |       |       |       |       |       |       |

При увеличении объемного содержания наполнителя выше определенного для каждого наполнителя значения вследствие недостатка связующего происходят изменения структурных элементов в межфазных прослойках, уменьшение их толщины вплоть до нарушения непрерывности среды связующего, в результате чего резко ведают прочностные и защитные свойства покрытий.

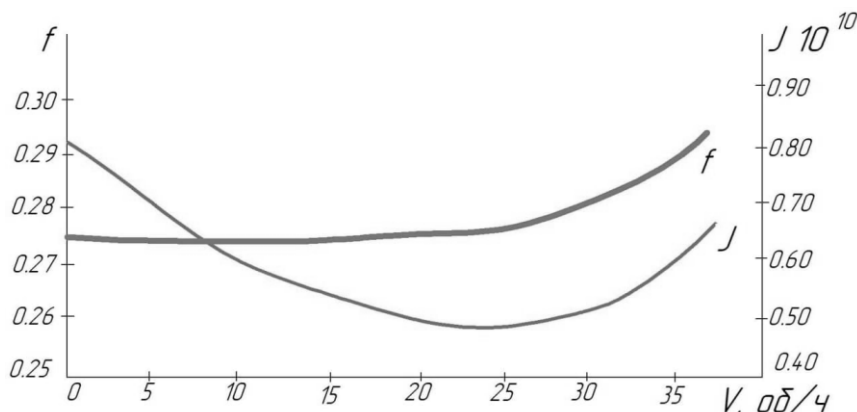
Снижение коэффициента трения и интенсивности изнашивания при введении железного порошка в эпоксидное покрытие обусловлено улучшением его механической прочности, тепло- и электропроводности.

Уменьшение же изнашивания покрытий с цементом, по-видимому, в основном связано с увеличением модуля упругости, микротвердости покрытия и чистой его поверхности.

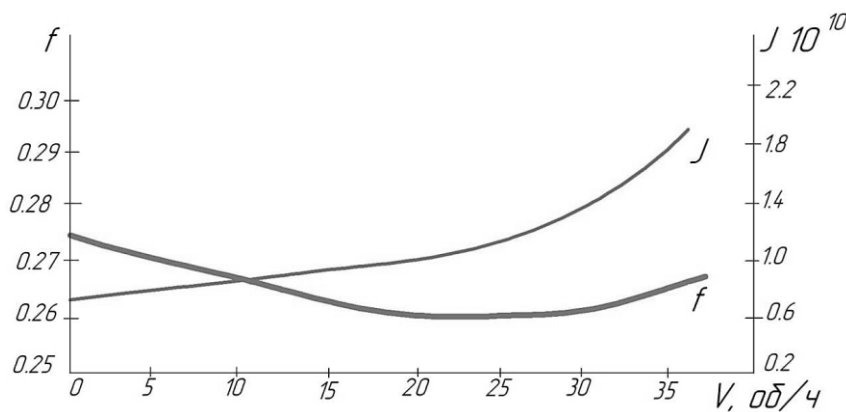
Таким образом, исследование триботехнических свойств покрытия в зависимости от природы и содержания наполнителя в композиции показали, что низким коэффициентом трения обладают покрытия с графитом, железным порошком, тальком; значительно снижают интенсивность изнашивания также наполнители, как железный порошок и цемент, и не изменяют интенсивность изнашивания тальк и каолин до определенного их содержания в композиции. Однако, эти антифрикционно-износостойкость недостаточно отвечает требованиям рабочих органах хлопкоочистительных машин и механизмов.

В связи с этим целью более полной реализации преимуществ каждого наполнителя с учетом результатов исследований были составлены пары наполнителей: графит-железный порошок, графит-цемент, железный порошок-цемент, графит-каолин, железный порошок-каолин.

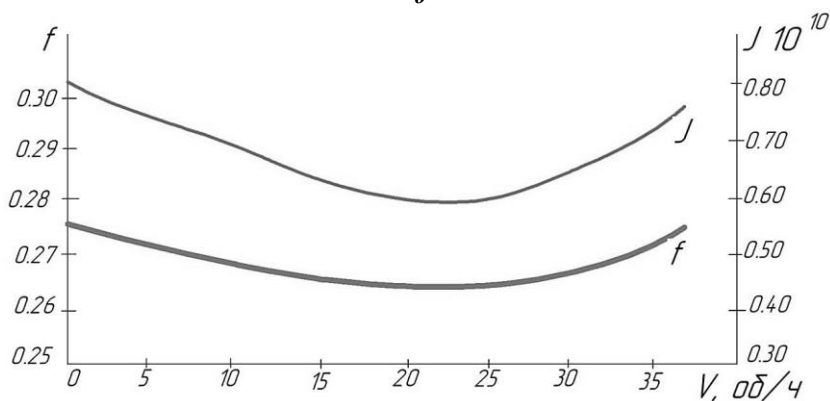
На рисунке 1 представлены зависимости коэффициента трения  $f$ , интенсивности изнашивания  $I$  от содержания бинарных наполнителей при их равном соотношении.



а



б



в

**Рисунок 1. Зависимость коэффициента трения  $f$  и интенсивности изнашивания  $I$  полимерных покрытий от содержания наполнителей: железный порошок+цемент (а); графит+каолин (б); железный порошок+каолин (в) при их равном соотношении**

Все значения свойств  $f$  и  $I$  - бинарных наполнителей занимают промежуточное положение между значениями соответствующих одинарных наполнителей, при этом несколько отличаясь от аддитивности свойств.

Вместе с тем бинарные смеси расширяют зону с хорошей оценкой качества, например, антифрикционно-износостойких покрытий.

По обобщенной функции выбрано оптимальное объемное содержание бинарных наполнителей в оксидной композиции: 20 об.ч. - для смесей графита с каолином и каолина с железным порошком (рис. 1. б,в), а для смеси цемента с железным порошком оптимальным оказалось содержание 25 об.ч. (рис. 1. а).

Далее была изучена зависимость коэффициента трения, интенсивности изнашивания покрытий от соотношения наполнителей при оптимальной степени наполнения (20 или 25 об. ч), в зависимости от конкретной пары наполнителей.

Исследование также показало, что если наполнители, составляющие бинарную смесь, резко отличаются по триботехническим свойствам, то при

изменении соотношения этих наполнителей в покрытиях происходит значительное изменение коэффициента трения и интенсивности изнашивания.

**Заключение.** На основе исследований влияния смеси наполнителей можно сделать следующее заключение:

- для составления эффективных бинарных смесей необходимо выбирать наполнители улучшающие физико-механические свойства и соответственно триботехнические свойства композиционных полимерных покрытий;

- при подборе пары наполнителей необходимо учитывать их тепло- и электропроводность, а также дисперсность, позволяющих увеличить плотность упаковки частиц наполнителя.

- установлено, что специальным подбором можно добиться высокоэффективной бинарной смеси наполнителей позволяющих получить покрытий с высокими антифрикционными и антифрикционно-износостойкими свойствами.

#### Список литературы:

1. Антистатические свойства композиционных полимерных материалов, работающих при контактном взаимодействии с волокнистой массой (на примере хлопка-сырца) / М.Н. Тухташева, Ш.А. Бозорбоев, Ш.О. Эминов, С.С. Негматов [и др.] // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование и внедрение инновационных идей в области химии и химической технологии» (Фергана, 23–24 октября 2020 г.). – С. 55.
2. Антифрикционно-износостойкие композиционные полиэфинные материалы для применения в рабочих органах хлопкоперерабатывающих машин и механизмов / Т.С. Халимжанов, Н.С. Абед, С.С. Негматов, М.М. Содикова [и др.] // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование и внедрение инновационных идей в области химии и химической технологии» (Фергана, 23–24 октября 2020 г.). – С. 488.
3. Болдинский Г.И. О коэффициенте трения многокомпонентных тел // Хлопковая пром-ть. – 1977. – № 4. – С. 23.
4. Бурнашев Р.З., Лугачев А.Е., Фазылов С. Экспериментальные исследования ударного взаимодействия летучек хлопка-сырца с колосником очистителя крупного сора // Хлопковая пром-ть. – 1980. – № 1.
5. Джалилов Н.Х., Негматов С.С., Джумабаев А.Б. Электростатические явления при трении хлопка-сырца с полимерными покрытиями, применяемыми на рабочих органах машин и механизмов // Хлопковая пром-ть. – 1981. – № 6. – С. 17–18.
6. Джумабаев А.Б., Негматов С.С., Цирлина Э.Б. Исследование триботехнических свойств композиционных материалов при фрикционном взаимодействии с хлопком-сырцом // Международная конф. по трению, износу и смазочным материалам: тез. докл. Т. I. – Ташкент, 1985. – С. 66–71.
7. Зуйков Г.Б., Мальцев В.Е. Распределение потенциала электростатического электричества вдоль технологической линии переработки хлопка-сырца // Хлопковая пром-ть. – 1972. – № 4. – С. 9–10.
8. Исмаилов А.А., Азимов Х.О. Исследование влияния хромированной поверхности на силу трения с хлопковым волокном // Сб. научн. трудов ИГВМ. – ТашПИ, 1977. – Вып. 29.
9. Исмаилов А.А., Азимов Х.О. Исследование силы трения при движении хлопка по различным покрытиям // Хлопковая пром-ть. – 1979. – № 2. – С. 14.
10. Исследование вязкоупругих и адгезионно-прочностных свойств и разработка эффективных вибропоглощающих композиционных полимерных материалов и покрытий машиностроительного назначения / С.С. Негматов, Н.С. Абед, Р.Х. Сайдахмедов, Т.У. Улмасов [и др.] // Пластические массы: научно-технический журнал. – М., 2020. – С. 32.
11. Исследование процессов конспектного взаимодействия поверхности рабочих органов очистителей с хлопком-сырцом / Э.Б. Цирлина, А.А. Иргашев, С.С. Негматов [и др.] // Международная научная конф. по трению, износу и смазочн. материалам: тез. докл. Т. 5. – Ташкент, 1985. – С. 103–104.
12. Исследование технологического процесса контактного взаимодействия поверхностей металлических рабочих органов машин с хлопком-сырцом / С.С. Негматов, Г. Гулямов, Т.У. Улмасов, Н.С. Абед [и др.] // Композиционные материалы. – Ташкент, 2020. – № 1. – С. 120.

13. Колокольников М.Г. Влияние механических свойств полимерных материалов на их износостойкость. – Ташкент, 1983.
14. Ли Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Х. Ли, К. Невиля. – М. : Энергия, 1973. – 415 с.
15. Негматов С.С. Основы процессов контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с волокнистой массой. – Ташкент : Фан, 1984. – С. 296.
16. Разработка технологии получения композиционных полимерных материалов и деталей из них машиностроительного назначения / Т.С. Халимжанов, С.С. Негматов, Н.С. Абед, Ш.О. Эминов [и др.] // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование и внедрение инновационных идей в области химии и химической технологии» (Фергана, 23–24 октября 2020 г.). – С. 485.
17. Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М. : Химия, 1982. – 232 с.
18. Adhesion-strength and tribotechnical properties of machine-building composite polymer coatings / S. Negmatov, T. Ulmasov, M. Karshiyev, Z. Makhammadjonov [et al.] // E3S Web of Conferences 264, 05032 (2021) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405032> CONMECHYDRO-2021.
19. Vibration damping composition polymer materials and coatings for engineering purpose / S. Negmatov, T. Ulmasov, F. Navruzov, S. Jovliyev // E3S Web of Conferences 264, 05034 (2021) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405034> CONMECHYDRO-2021.