



ТЕРМОРЕАКТИВ ПОЛИУРЕТАНЛАРНИНГ ПОЛИКОНДЕНСАЦИЯЛАНИШ ЖАРАЁНИДА ҲОСИЛ БЎЛАДИГАН ГАЗЛАРНИ АЖРАТИБ ОЛИШ ҚУРИЛМАСИНИ ҚЎЛЛАШНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

Шодиев А.Ф. [0009-0006-7776-1950]

*Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети, Агромуҳандислик ва
коммуникатсион технологиялар факултети Агрономия кафедраси доценти.*

E mail: shodiyevasliddin22@gmail.com

Аннотация: Мазкур мақолада суюқ полиуретан таркибида мавжуд ҳаво, намлик ва реакция жараёнида ҳосил бўладиган газларни самарали ажратиб олиш учун вакуумли дегазация қурилмасини қўллаш технологияси тадқиқ қилинган. Тадқиқотларда полиуретан композицияси 60–80 °С ҳароратда 250–400 айл/мин тезликда 10–20 дақиқа давомида аралаштирилиб, кейин 0,085–0,095 МПа вакуум остида 15–30 дақиқа дегазация қилинди. Дегазация жараёнида полиуретан таркибидаги газ пуфакчалари ҳажми 92–97 % га камайиши, зичликнинг 1,08–1,12 г/см³ дан 1,14–1,18 г/см³ гача ортиши ҳамда ғовакликнинг 6,8 % дан 1,2 % гача пасайиши аниқланди. Шунингдек, дегазация жараёнидан сўнг таёрланган полиуретан материалынинг Shore A/D қаттиқлиги 78/22 бирликдан 88/26 бирликкача, чўзилишдаги мустаҳкамлиги 18–22 МПа дан 28–34 МПа гача, нисбий ейилишга чидамлилиги эса 20–30 % га ошиши кузатилди. Олинган натижалар вакуумли дегазация қурилмасини қўллаш полиуретан маҳсулотларининг ички структурасини яхшилаши, ғоваклар ва ички нуқсонларни кескин камайтириши, қуйиш жараёнининг барқарорлигини ошириши ҳамда юқори мустаҳкам ва узок муддат хизмат қилувчи полиуретан буюмларини ишлаб чиқариш учун самарали технология эканлигини кўрсатди.

Калит сўзлар: суюқ полиуретан, дегазация, вакуумли дегазация қурилмаси, газларни ажратиб олиш, полиуретан композицияси, босим, қуйиш технологияси, газ пуфакчалари, ғоваклик, зичлик, механик хоссалар, Shore A қаттиқлиги, полиуретан олигомери, полимер композитлар.

Аннотация. В данной статье исследована технология применения установки вакуумной дегазации для эффективного удаления воздуха, влаги и газов, образующихся в процессе химической реакции, из жидкой полиуретановой композиции. В ходе исследований полиуретановую композицию перемешивали при температуре 60–80 °С со скоростью 250–400 об/мин в течение 10–20 минут, после чего подвергали вакуумной дегазации при разрежении 0,085–0,095 МПа в течение 15–30 минут. Установлено, что в процессе дегазации объём газовых пузырьков в полиуретановой композиции уменьшился на 92–97 %, плотность материала увеличилась с 1,08–1,12 до 1,14–1,18 г/см³, а пористость снизилась с 6,8 % до 1,2 %. Кроме того, после проведения дегазации твёрдость полученного полиуретанового материала по шкалам Shore A/D повысилась с 78/22 до 88/26 единиц, предел прочности при растяжении увеличился с 18–22 до 28–34 МПа, а относительная износостойкость возросла на 20–30 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение установки вакуумной дегазации обеспечивает улучшение внутренней структуры полиуретановых материалов, существенное снижение пористости и количества внутренних дефектов, повышение стабильности процесса литья, а также получение высокопрочных и долговечных полиуретановых изделий.

Ключевые слова: жидкий полиуретан, дегазация, установка вакуумной дегазации, удаление газов, полиуретановая композиция, давление, технология литья, газовые пузырьки, пористость, плотность, механические свойства, твёрдость по Шору А, полиуретановый олигомер, полимерные композиты.

Abstract. This article investigates the technology of using a vacuum degassing unit for the effective removal of air, moisture, and gases generated during chemical reactions from a liquid polyurethane composition. In the course of the study, the polyurethane composition was mixed at a temperature of 60–80 °C at a speed of 250–400 rpm for 10–20 minutes and subsequently subjected to vacuum degassing at a vacuum pressure of 0.085–0.095 MPa for 15–30 minutes. It was established that, during the degassing process, the volume of gas bubbles in the polyurethane composition decreased by 92–97%, while the density of the material increased from 1.08–1.12 to 1.14–1.18 g/cm³, and the porosity decreased from 6.8% to 1.2%. In addition, following degassing, the hardness of the resulting polyurethane material according to



the Shore A/D scales increased from 78/22 to 88/26 units, the tensile strength increased from 18–22 to 28–34 MPa, and the relative wear resistance increased by 20–30%. The obtained results demonstrate that the use of a vacuum degassing unit improves the internal structure of polyurethane materials, significantly reduces porosity and the number of internal defects, enhances the stability of the casting process, and enables the production of high-strength and durable polyurethane products.

Keywords: liquid polyurethane, degassing, vacuum degassing unit, gas removal, polyurethane composition, pressure, casting technology, gas bubbles, porosity, density, mechanical properties, Shore A hardness, polyurethane oligomer, polymer composites.

Кириш

Полиуретанлар юқори молекулали полимер материал бўлиб, улар юқори механик мустаҳкамлик, эластиклик, едрилишга чидамлик, кимёвий барқарорлик ҳамда турли иқлим шароитларида ишлаш қобилияти билан ажралиб туради. Уларнинг зичлиги одатда 1,05–1,25 г/см³, чўзилишдаги мустаҳкамлиги 20–60 МПа, нисбий узайиши 250–700 %, Шор A/D қаттиқлиги эса 95/40 бирлик оралиғида бўлади. Мазкур хусусиятлар полиуретанларни машинасозлик, тоғ-кон саноати, нефть-газ тармоғи, қурилиш, транспорт, электротехника, кимё саноати, авиация ва тиббиёт соҳаларида кенг қўллаш имконини беради[1,2].

Жаҳонда полиуретан маҳсулотларига бўлган талаб йил сайин ортиб бормоқда. Саноат таҳлилларига кўра, полиуретанлар жаҳон бозорида йилига 25 млн тоннадан ортиқни ташкил этади ва бозор ҳажми ҳар йили ўртача 5–7 % суръат билан ўсмоқда. Ушбу ўсиш юқори едрилишга чидамли деталлар, қопламалар, герметиклар, эластомерлар ҳамда юқори аниқликда қўйиладиган техник буюмларга бўлган эҳтиёжнинг ортиши билан изоҳланади[3-5].

Ўзбекистонда ҳам полиуретан материалларига бўлган талаб изчил ўсиб бормоқда. Мамлакатда полиуретан хомашёсининг асосий қисми импорт ҳисобидан таъминланади. Айниқса, машинасозлик, кончилик ва гидрометаллургия корхоналарида полиуретан эластомерларидан тайёрланган элақлар, футеровкалар, роликлар, зичлагичлар, гидроциклон қисмлари, қопламалар ва турли техник деталлар кенг қўлланилади. Шу боис полиуретан композицияларини маҳаллий шароитда қайта ишлаш ва уларнинг сифати ҳамда ишончилигини ошириш долзарб вазифалардан бири ҳисобланади[6].

Навоий кон-металлургия комбинатида полиуретан материалларидан фойдаланиш йилдан-йилга кенгайиб бормоқда шу боис Комбинатнинг гидрометаллургия заводлари ва машинасозлик ишлаб чиқариш мажмуаларида полиуретандан тайёрланган юқори ейилишга чидамли элақлар, насос ғилофлари, гидроциклон футеровкалари, транспортер элементлари ва бошқа эҳтиёт қисмлар ишлатилади[7]. Корхона эҳтиёжлари учун ҳар йили тахминан 150 тонна полиуретан хомашёси импорт қилиниши ҳамда ишлаб чиқариш жараёнида сезиларли миқдорда технологик чиқиндилар ҳосил бўлиши ушбу материаллардан самарали фойдаланиш ва ишлаб чиқариш технологиясини такомиллаштириш зарурлигини кўрсатади.

Услубият

Тадқиқот объекти сифатида MDI асосидаги уч компонентли суюқ полиуретан композицияси олиниб олигамерлар белгиланган нисбатларда реакторга юкланиб, аралаштириш жараёни герметик муҳитда амалга оширилди. Аралаштириш тезлиги 250–400 айл/мин оралиғида, жараён ҳарорати эса 60–80 °C да сақланди. Бир жинсли композиция ҳосил қилиш учун аралаштириш 10–20 дақиқа давом эттирилди[8].



Аралаштириш тугагач, реактор герметик ёпилди ва вакуум насоси ишга туширилди. Реактор ичида 0,085–0,095 МПа даражасида вакуум ҳосил қилиниб, дегазация жараёни 15–30 дақиқа давомида амалга оширилди. Вакуум таъсирида полиуретан таркибидаги эркин ҳаво, сув буғлари ҳамда кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўлган газлар юзага чиқиб, вакуум тизими орқали чиқариб юборилди[9]. Дегазация жараёни давомида композиция ҳажмининг ўзгариши, газ пуфакчаларининг ажралиши ва аралашманинг барқарорлиги визуал ҳамда технологик назорат қилинди.

Дегазация якунланганидан сўнг полиуретан композицияси қуйиш қолипига узатилиб, 80–100 °С ҳароратда 8–12 соат давомида полимерлантирилди. Ҳосил қилинган намунада ғоваклик, зичлик ва механик хоссалар аниқланди.

Таҳлил ва натижалар

Суюқ полиуретанни қуйиш технологиясида учрайдиган асосий муаммолардан бири композиция таркибида ҳаво, намлик ва кимёвий реакциялар натижасида ҳосил бўладиган газларнинг сақланиб қолишидир. Газ пуфакчаларининг мавжудлиги материалда ички ғоваклар, микроёриқлар ва структуравий нуқсонларнинг пайдо бўлишига сабаб бўлади. Бу эса полиуретан буюмларининг механик мустаҳкамлигини 15–30 %, ейилишга чидамлилигини 20–35 % гача пасайтириши, хизмат муддатини эса сезиларли қисқартириши мумкин[10].

Вакуум муҳитида полиуретан таркибидаги эриган ҳаво, сув буғлари ва газлар ажратиб чиқарилади, натижада композициянинг қовушқоқлиги барқарорлашади, қуйиш жараёни яхшиланади ва тайёр маҳсулотдаги ички нуқсонлар кескин камаяди. Амалиётда дегазация одатда 0,085–0,095 МПа вакуум босимида, 60–80 °С ҳароратда 15–30 дақиқа давомида амалга оширилади ва бу жараён тайёр маҳсулотнинг физик-механик кўрсаткичларини сезиларли даражада яхшилайди.

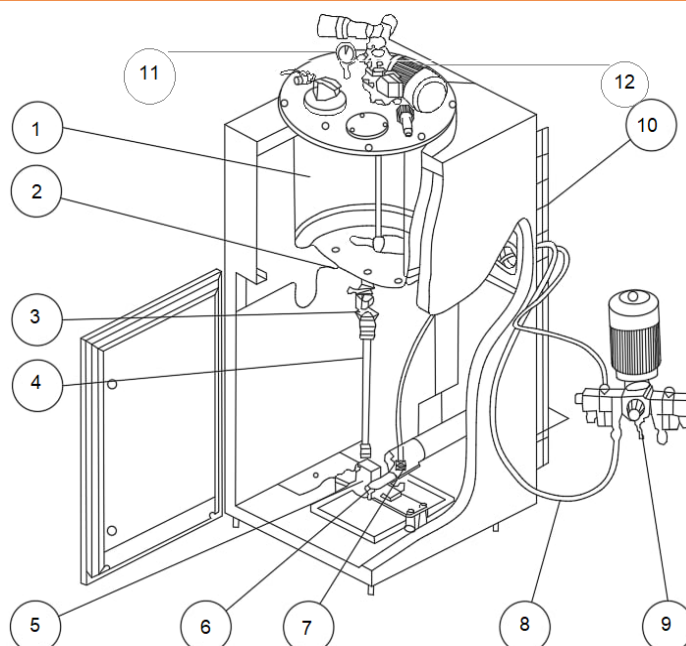
Шу муносабат билан ушбу тадқиқотнинг мақсади суюқ полиуретан таркибидан газларни самарали ажратиб олиш учун вакуумли дегазация қурилмасининг ишлаш принципини тадқиқ қилиш, технологик параметрларни оптималлаштириш ҳамда полиуретан маҳсулотларининг физик-механик хоссаларига унинг таъсирини баҳолашдан иборат[11,12].

1-жадвал

Дегазация қилинадиган полиуретан намуналарининг миқдорий таркиби

№	Номи	Боғловчи	Занзир узайтирувчи	тармоқлантирувчи
1	ПУ-1	Desmodur S192 (гр)	DesmophenKS2001(гр)	Baytec XL35 (гр)
		75	20	5
2	ПУ-2	Боғловчи (гр)	Стабилизатор (гр)	Чиқинди (гр)
		20	2	88

Бу ерда: ПУ-1 тоза, ПУ-2 қайта ишланган полиуретан намунаси.



1-расм. Полиуретан материалнинг поликонденсатланиш жараёнида газ ажратиш қурилмаси. 1. Вакуум камераси 2. Вакуум ҳосил қилувчи клапан 3. Бир томонла клапан 4. Аралаштиргич 5. Сарф ўлчагич 6. Ҳаво филтри 7. Ҳаво филтри клапани 8. Сўрувчи клапан 9. Электродвигател 10. Иситгич 11. Вакуум монометри 12. Вакуум насос

2-жадвал

Дегазатор қурилмасининг техник параметрлари

№	Кўрсаткич номи	Қиймати	Ўлчов бирлиги
1	Қурилманинг умумий ўлчами	750×650×1550	mm
2	Реакторнинг ишчи ҳажми	35	л
3	Реактор materiali	метал	-
4	Бир циклдаги ишчи ҳажм	15–18	л
5	Электр двигатели қуввати	1,5	кВт
6	Аралаштиргич айланиш тезлиги	50–400	айл/мин
7	Вакуум насоси унумдорлиги	16	м³/соат
8	Максимал вакуум даражаси	–0,095	МПа
9	Ишчи босим	0,085–0,095	МПа
10	Ишчи ҳарорат	20–80	°С
11	Иситиш тизими қуввати	2,0	кВт
12	Ҳароратни бошқариш аниқлиги	±1	°С
13	Дегазация вақти	15–30	дақиқа
14	Бир цикл маҳсулдорлиги	15–20	кг
15	Соатлик маҳсулдорлик	30–40	кг/соат
16	Қурилма массаси	180–220	кг
17	Электр таъминоти	380 В, 50 Гц	-
18	Бошқариш тизими	Рақамли (PLC)	-
19	Вакуумни назорат қилиш	Манометр, вакуумметр	-
20	Газларни ажратиш самарадорлиги	92–97	%



Жадвалдан кўриниб турибдики, вакуумли дегазация қурилмасининг технологик параметрлари суюқ полиуретан таркибидан ҳаво, намлик ва реакция жараёнида ҳосил бўладиган газларни самарали ажратиш учун оптимал шароитларни таъминлайди. Қурилмада 0,085–0,095 МПа вакуум босими, 20–80 °С ҳарорат ва 50–400 айл/мин аралаштириш тезлиги қўлланилиши натижасида полиуретан композициясининг бир жинслилиги ошади, ғоваклик ва ички нуқсонлар сезиларли даражада камаяди[13]. Бу эса тайёр полиуретан маҳсулотларининг физик-механик хоссалари, ейилишга чидамлилиги ҳамда эксплуатацион ишончлилигини оширишга хизмат қилади.

3-жадвал

Гантелсимон шаклидаги полиуретан намунасининг ўлчамлари

№	Ўлчанадиган қисм	Белгиланиши	Қиймати	Ўлчов бирлиги
1	Намунанинг умумий узунлиги	L	108 ± 1	мм
2	Чап ушлагич қисмининг кенглиги	B ₁	24 ± 1	мм
3	Ўнг ушлагич қисмининг кенглиги	B ₂	24 ± 1	мм
4	Ишчи қисм кенглиги	b	8 ± 0,5	мм
5	Ишчи қисм узунлиги	l	53 ± 1	мм
6	Намуна қалинлиги	h	4 ± 0,5	мм
7	Кесим юзаси	S	32	мм ²

Юқоридаги жадвалда вакуумли дегазациядан сўнг тайёрланган полиуретан намунасининг асосий геометрик ўлчамлари келтирилган. Намунанинг умумий узунлиги 108 мм, ишчи қисми кенглиги 8 мм ва қалинлиги тахминан 4 мм ни ташкил этиб, унинг бир жинсли шаклланганлигини кўрсатади. Дегазация жараёни натижасида намуна ташқи юзасида ғоваклар ва газ пуфакчалари кузатилмайди, бу эса кейинги механик синовлар натижаларининг аниқлиги ва ишончлилигини таъминлайди.



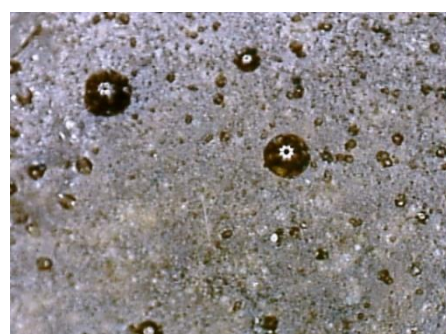
2-расм. Дегазацияланган ва дегазацияланмаган полиуретан намуналари



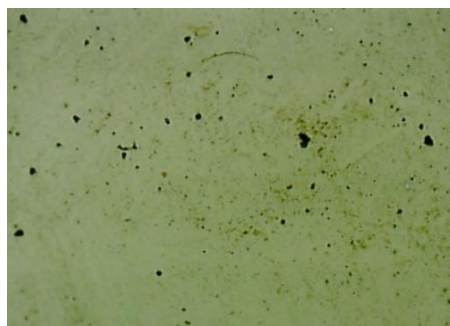
А-расмда вакуумли дегазация жараёнидан кейин олинган тоза полиуретан намунасининг умумий кўриниши келтирилган бўлиб дегазация 0,085–0,095 МПа вакуум босимида 15–30 дақиқа давомида амалга оширилиши натижасида намунада газ пуфакчалари ва ички ғоваклар кескин камайганлигини ҳосил қилинган полиуретан намунаси бир жинсли структурага эга бўлиб, унинг зичлиги 1,14–1,18 г/см³ гача ошган ва Shore A/D қаттиқлиги 88/26 бирликни ташкил этган, бу эса материалнинг юқори механик мустаҳкамлигини таъминлайди. Б-расмда еса қайта ишланган полиуретан намунасининг дегазация қилинмасдан олдинги ташқи кўриниши келтирилган бўлиб намуна вакуумли дегазация жараёни қўлланилмасдан тайёрланганлиги сабабли материал юзасида ғоваклар, газ пуфакчалари ва структуравий нуқсонлар борлиги аниқланди бундай намуналарда ғоваклик 6,0–7,0 %, зичлик 1,08–1,12 г/см³, Shore A/D қаттиқлиги 78/22 бирлик, чўзилишдаги мустаҳкамлик эса 18–22 МПа атрофида бўлиб, бу кўрсаткичлар дегазация қилинган намуналарга нисбатан паст эканлиги аниқланди.



а)



б)



в)



г)

3-расм. Дегазацияланган ва дегазацияланмаган полиуретан намуналарининг микроскопдаги тасвири

Бу ерда а расмда вакуумли дегазациядан ўтказилган полиуретан намунасининг микроскопик тасвири келтирилган бўлиб микротузилма таҳлили натижалари дегазация жараёнидан сўнг материалнинг бир жинсли полимер матрицаси шаклланганлигини ҳамда газ пуфакчалари ва микроғоваклар сонининг сезиларли даражада камайганлигини кўрсатади. Дегазация натижасида умумий ғоваклик 6,8 % дан 1,2 % гача камайиб, материал зичлиги 1,14–1,18 г/см³ гача ошганлиги ўрганлиди. б расмда дегазацияланмаган полиуретан намунасининг микроскопик тасвири ҳамда микротузилиш таҳлили материал таркибида кўп сонли сферик газ пуфакчалари ва микроғоваклар мавжудлигини кўрсатиб, намуна таркибида ҳаво ва учувчан компонентларнинг сақланиб қолганлигини кўрсатади. Бундай структура намунасининг ғоваклигини 6,0–7,0 % гача ошириб, зичлигини 1,08–1,12 г/см³



даражасида сақлаб қолади ҳамда Shore A/D қаттиқлигининг 78/22 бирлик, чўзилишдаги мустаҳкамлигининг эса 18–22 МПа атрофида бўлишига сабаб бўлади. Газ пуфакчалари концентрациясининг юқорилиги полимер матричасида ички кучланишлар ҳосил қилиб, материалнинг механик мустаҳкамлиги ва едрилишга чидамлилигини пасайтиради.

Хулоса

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида суюқ полиуретан таркибидан газларни вакуумли дегазация қурилмаси ёрдамида ажратиб олиш материалнинг физик-кимёвий ва механик хоссаларини сезиларли даражада яхшилаши аниқланди. Оптимал дегазация параметрлари деб 0,085–0,095 МПа вакуум босим, 15–30 дақиқа вақт олинди. Амалга оширилган дегазация натижасида полиуретан композициясидаги газ пуфакчалари 92–97 % га камайди, материал зичлиги 1,08–1,12 г/см³ дан 1,14–1,18 г/см³ гача ошди, ғоваклик эса 6,8 % дан 1,2 % гача пасайди. Дегазация жараёни полиуретан занжирларининг бир жинсли полимер түри ҳосил қилишини таъминлаб, ички микроғоваклар ва структуравий нуқсонларнинг шаклланишини чеклади. Натижада Shore A/D қаттиқлиги 78/22 дан 88/26 бирликкача, чўзилишдаги мустаҳкамлик 18–22 МПа дан 28–34 МПа гача ортди, нисбий ейилишга чидамлик эса 20–30 % га яхшиланди. Олинган натижалар вакуумли дегазация қурилмасини полиуретан эластомерлари ва полимер композитларини ишлаб чиқариш технологиясига жорий этиш тайёр маҳсулот сифати, эксплуатацион ишончилиги ва хизмат муддатини сезиларли даражада оширишини тасдиқлайди.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати:

- [1] А.Ф. Шодиев, докторант; Б.Ф. Мухиддинов, проф.; Х.М. Вапоев, проф.; Б.Е. Юсупов, зам. гл. инженера; Ф.Ж. Оликулов, ассист. (НМЗ НГМК, г. Навои, Ўзбекистон) устройство для переработки отходов полиуретана Белорусский государственный технологический университет 31 января 12 февраля 2022 года с.167-169
- [2] Линдсэй К. Я. и др. Сшиваемые термопластичные полиуретаны. – 2015.
- [3] Levytskyi V. Y. et al. Combined composites based on polylactide 3D materials and polyurethane //Materials Science. – 2025. – Т. 60. – №. 6. – С. 722-728.
- [4] Asliddin, Shodiyev, Mukhiddinov Bakhodir, and Kiyomov Sharifjon. "Effect of change of polyethropoliol amount on the physical-mechanical properties of thermoreactive polyurethane". Universum: технические науки 10-7 (103) (2022): 22-26.
- [5] Bulut M. O., Cire A. A Research on Polyamide6. 6/Polyurethane Blends in Finishing Process Which Are Used for Sportswear //Humidity Sensors-Types and Applications. – IntechOpen, 2021.
- [6] Комаров Ф. Ф. и др. Исследование полиуретана наполненного углеродными наночастицами. – 2017.
- [7] Чухланов В. Ю. и др. Разработка и исследование свойств защитного покрытия на основе модифицированного полиуретана //Фундаментальные исследования. – 2014. – №. 6-7. – С. 1365-1368.
- [8] Пономаренко С. А., Лонский С. Л. Исследование стойкости термопластичного полиуретана при термоокислительной и термохимической обработке в среде диэтиленгликоля методами гель-проникающей хроматографии и микроструктурного анализа //труды виам. – 2026. – №. 1 (155). – С. 67-84.



- [9] ЖУКОВ Г. А. Экспериментальное исследование свойств полиуретана ску-7лм. – зао" университетская книга", курск конференция: будущее науки: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества Курск, 30 мая 2025 года Организаторы: Вольное экономическое общество России, Курская региональная общественная организация, Курск Северо-Кавказский федеральный университет, Пятигорский институт, Пятигорск.
- [10] Абидова Ф. А., Абидов А. Б. Кимё саноати ишлаб чиқариш корхоналарининг экологияси кимёвий хавфли объектларнинг барқарорлиги ва хавфсизлигини таъминлаш усуллари.
- [11] Грабловитц Х. Г. и др. Неионно-гидрофилизированные связующие дисперсии. – 2013.
- [12] Bakirova I. N., Mineeva T. A. Синтез термопластичного полиуретана с использованием в качестве удлинителя цепи ароматического диола и разработка на его основе клеевых композиций //известия высших учебных заведений. Серия «химия и химическая технология». – 2024. – Т. 67. – №. 11. – С. 106-113.
- [13] Радюк А. Н. Получение гранулята из отходов пенополиуретана для литья подошв обуви //Технологии и качество. – 2024. – Т. 1. – №. 63. – С. 32.