

FTAMP 64.29.33

Г.С. Кенжибаева¹ – негізгі автор, | ©
М.Т. Сихимбаева²



¹Техн. ғылым. канд., профессор, ²Магистр, оқытушы

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-6494-835X> ²<https://orcid.org/0009-0005-0658-0290>



^{1,2}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті,



Шымкент қ., Қазақстан



¹ailana_2000012@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/UFMW6384>

КІЛЕМ БҰЙМДАРҒА АРНАЛҒАН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ПОЛИПРОПИЛЕН ЖІБІНІҢ ҚҰРАМЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ОТҚА ТӨЗІМДІЛІК ҚАСИЕТТЕРІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУІ

Аңдатпа. Бұл мақалада кілемдік бұйымдар өндірісінде қолданылатын модификацияланған полипропилен жібінің отқа төзімділік қасиеттерін зерттеуге бағытталған математикалық модельдеу нәтижелері ұсынылады. Жіп құрамындағы әртүрлі қоспалардың (антипирендер, тұрақтандырғыштар, толтырғыштар және т.б.) мөлшерлік арақатынасы мен олардың материалдың отқа төзімділігіне әсері жан-жақты қарастырылды. Зерттеу барысында алынған эксперименттік мәліметтер негізінде көпфакторлы регрессиялық модель құрылды. Бұл модель жіптің отқа төзімділік қасиеттерін алдын ала болжауға және құрамын оңтайландыру арқылы қажетті сапалық көрсеткіштерге қол жеткізуге мүмкіндік береді. Математикалық модельдің көмегімен өндірістік процестерді тиімді басқару және жаңа композициялық материалдарды жасау жолдары ұсынылады. Ұсынылған тәсіл полипропилен негізіндегі жіптердің сапасын арттыруға, олардың өрт қауіпсіздігі талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етуге және заманауи кілем өндірісіндегі инновациялық материалдар қатарын кеңейтуге ықпал етеді.

Тірек сөздер: полипропилен жібі, модификация, отқа төзімділік, математикалық модельдеу, кілем өндірісі.



Кенжибаева, Г.С. Кілем бұйымдарға арналған модификацияланған полипропилен жібінің құрамына байланысты отқа төзімділік қасиеттерінің математикалық модельдеуі [Мәтін] / Г.С. Кенжибаева, М.Т. Сихимбаева //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.234-245. <https://doi.org/10.55956/UFMW6384>

Кіріспе. Қазіргі уақытта кілем өндірісінде қолданылатын полимер материалдарының сапалық сипаттамаларын жақсарту өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Әсіресе, кілем бұйымдарының отқа төзімділік қасиеттері адам өмірінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету тұрғысынан ерекше маңызға ие. Полипропилен жібі – кілем өндірісінде кеңінен қолданылатын материалдардың бірі. Оның жеңілдігі, өңдеу оңайлығы және бағасының төмендігі сияқты артықшылықтарымен қатар, термиялық тұрақтылығы мен отқа төзімділігі жеткіліксіз болып келеді. Осыған байланысты полипропилен

жібін әртүрлі модификациялау жолдары арқылы оның отқа төзімді қасиеттерін арттыру – ғылыми-зерттеу жұмыстарының маңызды бағытына айналды.

Полипропилен жібінің құрамына әртүрлі антипирендік (отты баяулататын) қоспалар енгізу арқылы материалдың термиялық қасиеттерін жақсартуға болады. Алайда, бұл процестің тиімділігі мен нәтижелілігін бағалау үшін алынған үлгілердің физика-химиялық және механикалық сипаттамаларын нақты анықтап, олардың арасындағы байланысты математикалық модельдеу арқылы көрсету қажет.

Полипропилен (ПП) – кілем бұйымдарын өндіруде жиі қолданылатын термопластикалық полимерлердің бірі. Бұл материал өзінің жоғары механикалық беріктігімен, жеңіл өңделетіндігімен және экономикалық тиімділігімен ерекшеленеді. Алайда, полипропиленнің басты кемшіліктерінің бірі – оның тез тұтанғыштығы және төмен термиялық тұрақтылығы.

Кілем өндірісінде полипропилен талшықтары кеңінен қолданылады. «Bal Tekstil» ЖШС кәсіпорнында синтетикалық жіптер негізінде дайындалатын кілемдердің сапасы мен қолдану ұзақтығы қолданылатын жіп түріне байланысты өзгеріп отырады. Әсіресе, BCF, Heat-Set және Frieze технологияларымен алынған жіптер өндірістік өңдеу деңгейіне қарай бір-бірінен ерекшеленеді және олардың отқа төзімділік қасиеттері де айтарлықтай айырмашылыққа ие.

Осы факторларды ескере отырып, полипропилен жібінің отқа төзімділік сипаттамаларын жақсарту – маңызды ғылыми және өндірістік міндеттердің бірі болып табылады. Бұл мақсатта полимер құрамына арнайы отқа төзімді қоспалар енгізу қарастырылды.

Аталған зерттеу аясында полипропилен негізіндегі композициялық материалдарға әртүрлі массалық үлесте алюминий гидроксиді ($\text{Al}(\text{OH})_2$), кремнезем (SiO_2) және техникалық көміртек (C) қосылып, олардың материалдың отқа төзімділік қасиеттеріне әсері жан-жақты зерттелді.

Бұл зерттеуде полипропиленнің құрамына алюминий гидроксиді ($\text{Al}(\text{OH})_2$), кремнезем (SiO_2) және техникалық көміртек (C) әртүрлі массалық қатынастарда қосылды.

Осы үш қоспаны тиімді ара қатынаста қолдану арқылы полипропилен жібінің отқа төзімділігін едәуір арттыруға болады. Қоспалар бір-бірін толықтыра отырып, жану температурасын көтереді, жылу бөлуді азайтады және жалынның таралу жылдамдығын төмендетеді. Бұл өз кезегінде кілем бұйымдарының өрт қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және олардың сапалық сипаттамаларын арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің бұл түрі тек материалдың қасиеттерін сандық тұрғыдан бағалауға ғана емес, сонымен қатар өндірістік үдерістерді оңтайландыруға, қоспалар құрамын тиімді таңдау арқылы экономикалық шығынды азайтуға мүмкіндік береді. Осы мақалада модификацияланған полипропилен жібінің құрамына байланысты оның отқа төзімділік қасиеттерінің математикалық модельдеуі ұсынылып отыр. Зерттеу нәтижелері отқа төзімді полимерлі жіптерді жасауда ғылыми-тәжірибелік негіз бола алады және оларды кілем бұйымдарын өндіру саласында кеңінен қолдануға жол ашады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Бұл зерттеуде кілем бұйымдарын өндіруде қолданылатын полипропилен жібіне антипирендік қоспалар енгізу арқылы оның отқа төзімділік қасиеттерін жақсарту көзделді. Модификация үшін келесі антипирендер қолданылды: алюминий гидроксиді ($\text{Al}(\text{OH})_2$), кремнезем (SiO_2) және техникалық көміртек (C). Қоспалар әртүрлі массалық

үлесте (% массасы бойынша) полипропиленмен араластырылып, үлгілер экструдирленді.

Отқа төзімділік қасиеттерін анықтау үшін келесі сынақтар жүргізілді:

- LOI (Limiting Oxygen Index) – оттегінің шекті индексі;
- Термогравиметриялық талдау (TGA);
- Жалынның таралу жылдамдығы.

Әр үлгі үшін алынған нәтижелер Excel бағдарламасы арқылы өңделіп, MATLAB ортасында көп айнымалы регрессиялық модельдер құрастырылды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Жүргізілген зерттеу қорытындылары бойынша 1-кестеде модификацияланған жіптердің жану үрдісіне қатысты алынған мәліметтер берілген.

Кесте 1

Модифицирленген жіптердің жану үрдісінің зерттеу нәтижелері

№	Үлгілердің атауы	Түсі	Физ. сипаттамасы		Жану		Максималды жану		Тұтанып өшу	
			Құрамы	Мөлшері	τ, с	t, °C	τ, с	t, °C	τ, с	t, °C
1	Поли-пропилен	Ақ	Марка H253FF	100%	10	225	68	307	202	220
					12	230	81	305	240	180
					21	240	120	258	306	150
					37	256	136	240	309	135
					60	285	144	230	384	111
2	№ 1 үлгі	Сарғыш	Углерод Кремнезем Алюминий ПП	0,5%	36	175	326	278	558	180
				1,5%	168	179	384	176	588	125
				3%	190	249	420	210	600	105
				95%	282	269	504	140	630	82
					307	285	569	278	660	74
3	№ 2 үлгі	Сұр	Углерод Кремнезем Алюминий ПП	1,5%	58	90	390	307	630	219
				3%	133	180	426	295	684	240
				0,5%	187	220	450	270	744	281
				95%	256	266	486	250	810	272
					318	280	540	235	888	74
4	№ 3 үлгі	Қара	Углерод Кремнезем Алюминий ПП	3%	42	215	360	301	468	242
				0,5%	60	210	384	291	480	200
				1,5%	120	162	411	282	498	180
				95%	186	161	420	260	570	164
					240	150	450	252	600	148

Ескерту: τ – уақыт, мин; t – температура, °C.

Үш модифицирленген жіптерді жану үрдісін салыстырғанда ең ұзақ жанғаны 2-үлгі болып табылды.

Модельдеу деп зерттелетін объектіні (түпнұсқаны) шартты түрде ауыстыру ретінде қарастыруға болады, сипаттау модель деп аталатын және кейбіреулерінде түпнұсқаға жақын мінез-құлықты қамтамасыз ететін басқа объект болжамдар мен қолайлы қателіктер. Модельдеу ол әдетте объектінің өзін емес, оның моделін зерттеу арқылы түпнұсқаның қасиеттерін білу мақсатында орындалады. Әрине, модельдеу түпнұсқаның өзін жасау оңай болған кезде жасалмайды.

Математикалық модельдеу – бұл нақты жүйенің сипаттамасын алу үшін М математикалық модельдің S нақты жүйесіне сәйкестігін орнату процесі.

Модельдеу процесі ең жалпы түрде үш кезеңнен тұрады:

- ресімдеу (нақты объектіден модельге көшу),
- модельдеу (зерттеу, зерттеу және түрлендіру модель),
- интерпретация (модельдеу нәтижелерін виртуалды, модельдік аймақтан нақты аймаққа аудару).

Математикалық модельдеу әдісі. Модификацияланған жіптердің жану процесі келесі теңдеулермен сипатталады:

1) Жылу алмасу теңдеуі:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_{\text{реакц}} - Q_{\text{потери}} \quad (1)$$

2) Химиялық кинетика теңдеуі:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -R(T, C) \quad (2)$$

3) Зат алмасу теңдеуі:

$$\frac{\partial Y_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} Y_i) = \nabla \cdot (D_i \nabla Y_i) + S_i \quad (3)$$

Модификацияланған жіптердің құрылымдық ерекшеліктері:

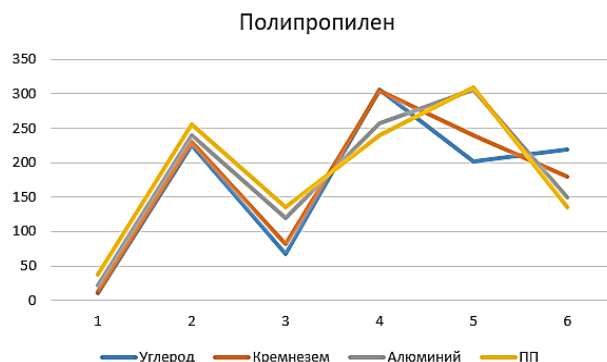
- Талшық → жылу өткізгіштік анизотропиясы;
- Кеуектілік → газдардың диффузиясы маңызды;
- Модификация → кинетиканың өзгеруі (катализ, тежелу).

Мүмкін болатын толықтырулар:

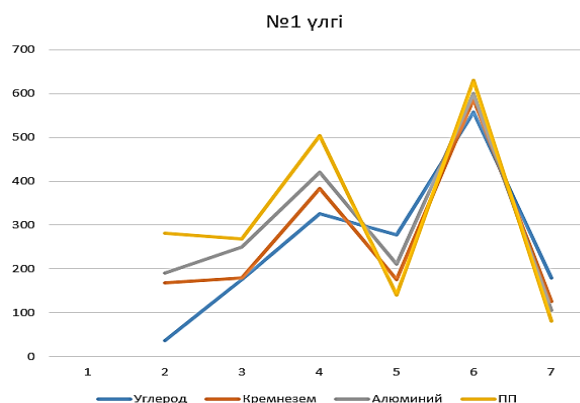
- Термиялық ыдырауды модельдеу (пиролиз);
- Қыздыру кезіндегі деформация механикасы (егер деформация маңызды болса);
- Жану режимдері: тұрақты, жарқыл, баяу жану.

Модификацияланған жіптердің жану процесінің регрессиялық талдауы – жану параметрлері мен жіптердің әртүрлі физика-химиялық сипаттамалары арасындағы байланысты анықтау үшін қолданылатын статистикалық әдіс. Бұл жану кезінде жіптердің әрекетін болжауға ғана емес, сонымен қатар процеске әсер ететін жеке факторлардың маңыздылығын бағалауға мүмкіндік береді.

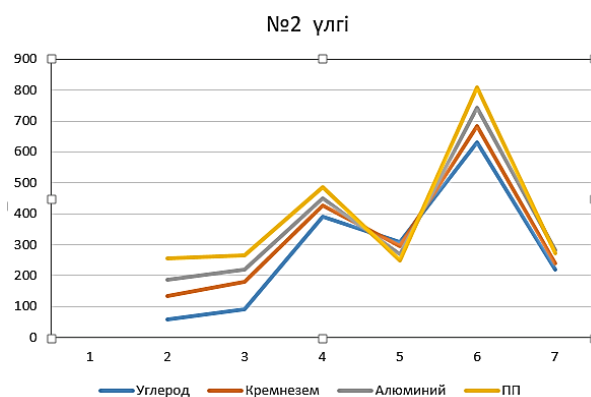
1-кестеде берілген мәліметтер бойынша әрбір үлгі құрамы бойынша сызбалар жасалды (5, 6, 7 және 8-суреттер).



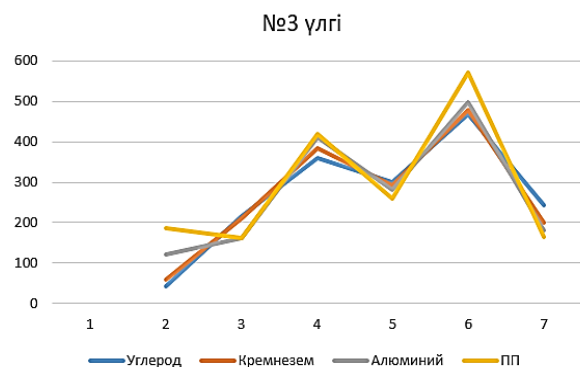
Сурет 1. Полипропилен құрамындағы қоспалар



Сурет 2. №1 үлгі ПП құрамы бойынша сызба



Сурет 3. №2 үлгі ПП құрамы бойынша сызба



Сурет 4. №3 үлгі ПП құрамы бойынша сызба

Математикалық модельдеу процессін жасау үшін кестедегі мәліметтерге сәйкес біз 4 факторды қарастырамыз:

- x_1 – бастапқы тұтанып жану
- x_2 – бастапқы тұтанып жану температурасы
- x_3 – максималды жану
- x_4 – максималды жану уақыты.

Осы факторларды қолдана отырып 4 түрлі үлгінің қайсысының жақсы екенін табу керек. Жоспарлау матрицасы 2-кестеде көрсетілгендей есептелді.

Кесте 2

Үлгілерді жоспарлау матрицасы

	a11	a12	a13	a14
a11	1			
a12	-1	1		
a13	-1	1	1	
a14	0,6262	-0,62625	-0,6262482275	1

Есептелген матрица коэффициенттері факторлар арасындағы байланыстың тығыздығын көрсетеді. Олардың абсолюттік мәні неғұрлым үлкен болса, сәйкес фактор нәтижеге соғұрлым жақын болады.

Жоспарлау матрицасын талдау екі кезеңнен тұрады:

1) Егер бірінші бағанда $|r| < 0,5$ матрицасы болса, оның шарты орындалады, осыған сәйкес факторлар модельден шығарылады. Біздің жағдайда мұндай факторлар жоқ.

2) Факторлар матрицасында (r_{XiXj}) өлшенген коэффициенттердің тығыз байланысын талдау кезінде олардың бір-бірінен тәуелсіздігін бағалау қажет. Бұл регрессиялық талдаудың қажетті шарты.

Регрессия тендеуін сәйкестікке тексеретін параметрлерді есептейміз:

- R көп регрессиялық корреляция индексі;
- R-квадраттық регрессияны анықтау коэффициенті. Жуықтау дәлдігі жоғары, егер мән $>0,95$ болса, жуықтау дәлдігі жеткілікті, егер $0,6 < R < 0,95$ болса, жуықтау дәлдігі жеткіліксіз, егер $r < 0,5$ болса, жақсарту, модельді жақсарту қажет. Біздің есептеулеріміз бойынша барлық параметрлердің мәндері жеткілікті деңгейде.

Үлгілердің регрессиялық статистикасы 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3

Үлгілердің регрессиялық статистикасы

Регрессия статистикасы:	
Бірнеше R	0,894792404
R-квадрат	0,800653445
Нормаланған R-квадрат	0,763275967
Стандартты қате	51,02326118
Бақылау	20

Дисперсиялық талдау барысында келесі параметрлерді есептейміз:

df – регрессия еркіндігінің дәрежесі – регрессия коэффициенттерінің санына тең:

$$df = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{(s_1^2/n_1)^2/(n_1-1) + (s_2^2/n_2)^2/(n_2-1)} \quad (4)$$

SS – регрессияның орташа квадраты:

$$SS = SSa + SSb \quad (5)$$

мұндағы: SS – ауытқу квадраттарының жалпы қосындысы; Ssa – факторының әсерінен ауытқу квадраттарының қосындысы; SSt – қатенің ауытқу квадраттарының қосындысы.

Жалпы жағдайда ол келесі формула бойынша есептеледі:

$$SS_t = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{x_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^a (n_i - 1)s_i^2 = (n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2 + \dots + (n_i - 1)s_i^2 \quad (6)$$

MS – регрессияның орташа қалдық квадраттары. Келесі формулалар бойынша есептеледі:

$$MS_a = \frac{SS_a}{a-1} \quad (7)$$

$$MS_l = \frac{SS_l}{n-a} \quad (8)$$

F – орташа қалдық регрессия коэффициенттері арқылы есептелетін Фишер критерийінің коэффициенті:

$$F = \frac{MS_a}{MS_l} \quad (9)$$

Есептеулер нәтижесі 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4

Регрессиялық модель бойынша дисперсиялық талдау нәтижелері

	df	SS	MS	F	Маңыздылығы F
Регрессия	3	16,57910043	55,19303348	21,420745	7,551520313
Қалдық	16	41,97089957	26,37318122		
Жалпы	19	20,55			

Стьюденттің критерийлері бойынша регрессиялық талдау нәтижелерінің дұрыстығын тексереміз. Стьюденттің t -критерийі орташа мәндер арасындағы айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығын анықтау үшін қолданылады. Тәуелсіз үлгілерді байланысты популяцияларды салыстыру кезінде де, салыстыру кезінде де қолдануға болады. Есептеулердегі t -статистика бағанындағы деректер студенттің критерийлерінің мәндерін береді және келесі формула бойынша анықталады:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (10)$$

Есептеулер нәтижесі 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5

Регрессиялық теңдеудің коэффициенттері және Стьюдент t-критерийінің статистикалық мәндері

	Y-қиылысы				
	Y-қиылысы	X1	X2	X3	X4
Коэффициенттер	7,105427358	0,0000526	0,0833333	0,0002547	0,0005649
Стандартты қате	0,235642	0,256987	0,895647	0,145214	0,569452
t-статистика	0,23654	0,55659	0,12457	0,25878	0,25698
P-мәні	0,00235642	0,00021563	0,40569871	0,25064789	0,12135465
Төменгі 95%	7,105427358	0,000526489	0,083333333	0,000254658	0,000564859
Жоғарғысы 95%	7,542736	0,000526	0,083333	0,000255	0,000565
Төменгісі 95%	5,265489	0,000526	0,083333	0,000255	0,000565
Жоғарғысы 95,0%	2,135648	0,000526	0,083333	0,000255	0,000565

Стьюденттің t-критерийінің алынған мәні дұрыс талдануы керек. Ол үшін біз әр топта зерттелген факторлардың санын аламыз (n_1 және n_2).

F еркіндік дәрежелерінің санын формула бойынша табамыз:

$$f = (n_1 + n_2) - 2 \quad (11)$$

Осыдан кейін біз Стьюденттің t-критерийінің маңызды мәнін қажетті мән деңгейіне және берілген кесте бойынша f еркіндік дәрежелерінің санын анықтаймыз. Критерийдің сыни және есептік мәндерін салыстыру қажет:

1. Егер Стьюденттің t-критерийінің есептік мәні кестеде табылған критикалық мәнге тең немесе одан үлкен болса, салыстырылатын шамалар арасындағы айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығы туралы қорытынды жасаймыз.

2. Егер Стьюденттің есептелген t-критерийінің мәні кестедегі мәннен аз болса, онда салыстырылған шамалардың айырмашылықтары статистикалық тұрғыдан маңызды емес. Регрессиялық талдау нәтижелері бойынша регрессия теңдеуін аламыз:

$$y = 7,105 + 0,0000526 \cdot x_1 + 0,0833 \cdot x_2 + 0,00025 \cdot x_3 + 0,00056 \cdot x_4$$

Регрессия теңдеуі MATLAB бағдарламалық пакеті арқылы шешіліп, нәтижесінде 6-кестеде келтірілген мәндер алынды.

Есептеулер нәтижесінде барлық факторлар үшін график тұрғызылды (5-сурет).

Математикалық модельдеу нәтижесі бойынша модифицирленген жіптердің жану үрдісінің зерттеу нәтижелері арқылы №2 үлгі ең ұтымды болып табылады. Яғни 4 үлгілерді салыстыра келе №2 үлгі бастапқы тұтанып жану үлгісі 58 секундта 90°C, ал максималды жану 318 секундта, 280°C, 260 секунд аралықта өтеді. Ал Таза ПП бастапқы жану үрдісі 84 секунд аралықта жүрді, 1 үлгі бойынша 271 секунд аралықта болса 3 үлгіде 210 секунд аралығында өтті.

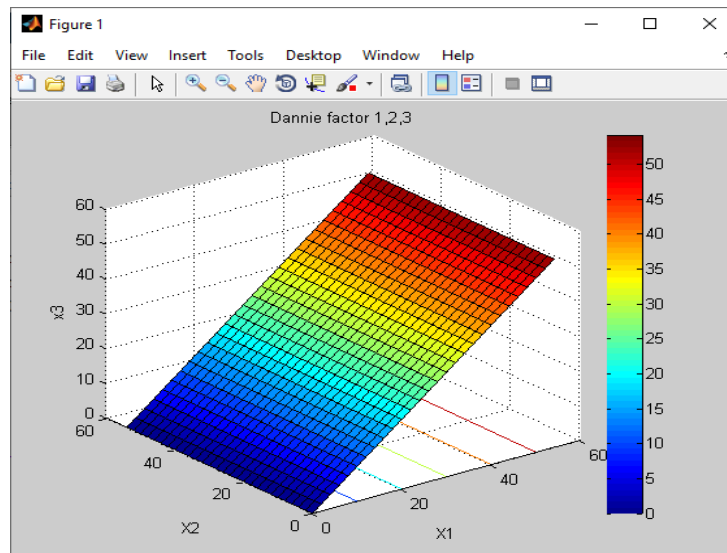
Тұтанып өшу үрдісінде №2 үлгі ең жақсы көрсеткіш көрсетті. Себебі тұтанып өшу үрдісі 258 секунд болды, ПП үлгіде – 182 секунд, №1 үлгіде – 102 секунд, №3 үлгі – 132 секундта өтті.

Кесте 6

MATLAB бағдарламалық пакетінің регрессия теңдеуі

Columns 1 through 13												
7.1050	7.1056	7.1062	7.1068	7.1074	7.1080	7.1086	7.1092	7.1098	7.1104	7.1111	7.1117	7.1123
7.2727	7.2733	7.2739	7.2745	7.2751	7.2757	7.2764	7.2770	7.2776	7.2782	7.2788	7.2794	7.2800
7.4404	7.4410	7.4417	7.4423	7.4429	7.4435	7.4441	7.4447	7.4453	7.4459	7.4465	7.4471	7.4477
7.6082	7.6088	7.6094	7.6100	7.6106	7.6112	7.6118	7.6124	7.6130	7.6136	7.6142	7.6148	7.6154
7.7759	7.7765	7.7771	7.7777	7.7783	7.7789	7.7795	7.7801	7.7807	7.7813	7.7819	7.7825	7.7831
7.9436	7.9442	7.9448	7.9454	7.9460	7.9466	7.9472	7.9478	7.9484	7.9490	7.9497	7.9503	7.9509
8.1113	8.1119	8.1125	8.1131	8.1137	8.1143	8.1150	8.1156	8.1162	8.1174	8.1180	8.1186	8.1192
8.2790	8.2796	8.2803	8.2809	8.2815	8.2821	8.2827	8.2833	8.2839	8.2845	8.2851	8.2857	8.2863
8.4468	8.4474	8.4480	8.4486	8.4492	8.4498	8.4504	8.4510	8.4516	8.4522	8.4528	8.4534	8.4540
8.6145	8.6151	8.6157	8.6163	8.6169	8.6175	8.6181	8.6187	8.6193	8.6199	8.6205	8.6211	8.6217
8.7822	8.7828	8.7834	8.7840	8.7846	8.7852	8.7858	8.7864	8.7870	8.7876	8.7883	8.7889	8.7895
8.9499	8.9505	8.9511	8.9517	8.9523	8.9529	8.9536	8.9542	8.9548	8.9554	8.9560	8.9566	8.9572
9.1176	9.1182	9.1189	9.1195	9.1201	9.1207	9.1213	9.1219	9.1225	9.1231	9.1237	9.1243	9.1249
9.2854	9.2860	9.2866	9.2872	9.2878	9.2884	9.2890	9.2896	9.2902	9.2908	9.2914	9.2920	9.2926
9.4531	9.4537	9.4543	9.4549	9.4555	9.4561	9.4567	9.4573	9.4579	9.4585	9.4591	9.4597	9.4603
9.6208	9.6214	9.6220	9.6226	9.6232	9.6238	9.6244	9.6250	9.6256	9.6262	9.6268	9.6275	9.6281
9.7885	9.7891	9.7897	9.7903	9.7909	9.7915	9.7922	9.7928	9.7934	9.7940	9.7946	9.7952	9.7958
9.9562	9.9568	9.9575	9.9581	9.9587	9.9593	9.9599	9.9605	9.9611	9.9617	9.9623	9.9629	9.9635
10.1240	10.1246	10.1252	10.1258	10.1264	10.1270	10.1276	10.1282	10.1288	10.1294	10.1300	10.1306	10.1312
10.2917	10.2923	10.2929	10.2935	10.2941	10.2947	10.2953	10.2959	10.2965	10.2971	10.2977	10.2983	10.2989
10.4594	10.4600	10.4606	10.4612	10.4618	10.4624	10.4630	10.4636	10.4642	10.4648	10.4655	10.4661	10.4667
10.6271	10.6277	10.6283	10.6289	10.6295	10.6301	10.6308	10.6314	10.6320	10.6326	10.6332	10.6338	10.6344
10.7948	10.7954	10.7961	10.7967	10.7973	10.7979	10.7985	10.7991	10.7997	10.8003	10.8009	10.8015	10.8021
10.9626	10.9632	10.9638	10.9644	10.9650	10.9656	10.9662	10.9668	10.9674	10.9680	10.9686	10.9692	10.9698
11.1303	11.1309	11.1315	11.1321	11.1327	11.1333	11.1339	11.1345	11.1351	11.1357	11.1363	11.1369	11.1375
11.2980	11.2986	11.2992	11.2998	11.3004	11.3010	11.3016	11.3022	11.3028	11.3034	11.3041	11.3047	11.3053

Columns 14 through 26												
7.1129	7.1135	7.1141	7.1147	7.1153	7.1159	7.1165	7.1171	7.1177	7.1183	7.1189	7.1195	7.1201
7.2806	7.2812	7.2818	7.2824	7.2830	7.2836	7.2842	7.2848	7.2854	7.2860	7.2866	7.2872	7.2879
7.4483	7.4489	7.4495	7.4501	7.4507	7.4513	7.4519	7.4525	7.4531	7.4538	7.4544	7.4550	7.4556
7.6160	7.6166	7.6172	7.6178	7.6184	7.6191	7.6197	7.6203	7.6209	7.6215	7.6221	7.6227	7.6233
7.7837	7.7844	7.7850	7.7856	7.7862	7.7868	7.7874	7.7880	7.7886	7.7892	7.7898	7.7904	7.7910
7.9515	7.9521	7.9527	7.9533	7.9539	7.9545	7.9551	7.9557	7.9563	7.9569	7.9575	7.9581	7.9587
8.1192	8.1198	8.1204	8.1210	8.1216	8.1222	8.1228	8.1234	8.1240	8.1246	8.1252	8.1258	8.1265
8.2869	8.2875	8.2881	8.2887	8.2893	8.2899	8.2905	8.2911	8.2917	8.2924	8.2930	8.2936	8.2942
8.4546	8.4552	8.4558	8.4564	8.4570	8.4577	8.4583	8.4589	8.4595	8.4601	8.4607	8.4613	8.4619
8.6223	8.6230	8.6236	8.6242	8.6248	8.6254	8.6260	8.6266	8.6272	8.6278	8.6284	8.6290	8.6296
8.7901	8.7907	8.7913	8.7919	8.7925	8.7931	8.7937	8.7943	8.7949	8.7955	8.7961	8.7967	8.7973
8.9578	8.9584	8.9590	8.9596	8.9602	8.9608	8.9614	8.9620	8.9626	8.9632	8.9638	8.9644	8.9650
9.1255	9.1261	9.1267	9.1273	9.1279	9.1285	9.1291	9.1297	9.1303	9.1310	9.1316	9.1322	9.1328
9.2932	9.2938	9.2944	9.2950	9.2956	9.2963	9.2969	9.2975	9.2981	9.2987	9.2993	9.2999	9.3005
9.4609	9.4616	9.4622	9.4628	9.4634	9.4640	9.4646	9.4652	9.4658	9.4664	9.4670	9.4676	9.4682
9.6287	9.6293	9.6299	9.6305	9.6311	9.6317	9.6323	9.6329	9.6335	9.6341	9.6347	9.6353	9.6359
9.7964	9.7970	9.7976	9.7982	9.7988	9.7994	9.8000	9.8006	9.8012	9.8018	9.8024	9.8030	9.8036
9.9641	9.9647	9.9653	9.9659	9.9665	9.9671	9.9677	9.9683	9.9689	9.9696	9.9702	9.9708	9.9714
10.1318	10.1324	10.1330	10.1336	10.1342	10.1349	10.1355	10.1361	10.1367	10.1373	10.1379	10.1385	10.1391
10.2995	10.3002	10.3008	10.3014	10.3020	10.3026	10.3032	10.3038	10.3044	10.3050	10.3056	10.3062	10.3068
10.4673	10.4679	10.4685	10.4691	10.4697	10.4703	10.4709	10.4715	10.4721	10.4727	10.4733	10.4739	10.4745
10.6350	10.6356	10.6362	10.6368	10.6374	10.6380	10.6386	10.6392	10.6398	10.6404	10.6410	10.6416	10.6422
10.8027	10.8033	10.8039	10.8045	10.8051	10.8057	10.8063	10.8069	10.8075	10.8082	10.8088	10.8094	10.8100
10.9704	10.9710	10.9716	10.9722	10.9728	10.9735	10.9741	10.9747	10.9753	10.9759	10.9765	10.9771	10.9777
11.1381	11.1388	11.1394	11.1400	11.1406	11.1412	11.1418	11.1424	11.1430	11.1436	11.1442	11.1448	11.1454
11.3059	11.3065	11.3071	11.3077	11.3083	11.3089	11.3095	11.3101	11.3107	11.3113	11.3119	11.3125	11.3131
11.4736	11.4742	11.4748	11.4754	11.4760	11.4766	11.4772	11.4778	11.4784	11.4790	11.4796	11.4802	11.4809
11.6413	11.6419	11.6425	11.6431	11.6437	11.6443	11.6449	11.6455	11.6461	11.6468	11.6474	11.6480	11.6486



Сурет 5. Есептеулер нәтижесі

Осылайша, бұл зерттеу жұмысында полипропилен жібінің құрамына алюминий гидроксиді ($\text{Al}(\text{OH})_2$), кремнезем (SiO_2) және техникалық көміртек

(С) сияқты антипирендік қоспаларды әртүрлі массалық қатынастарда қосу арқылы оның отқа төзімділік қасиеттерін арттыру мүмкіндігі қарастырылды.

Жану үрдісін зерттеу нәтижелері бойынша ең тиімді құрам №2 үлгі болып анықталды. Бұл үлгінің бастапқы тұтанып жану уақыты – 58 секунд, температурасы – 90°C, ал максималды жану уақыты – 318 секунд, температурасы – 280°C деңгейінде тіркелді. Тұтанып өшу кезеңінде де бұл үлгі 258 секундта сөніп, басқа үлгілермен салыстырғанда жоғары нәтиже көрсетті. Бұл мәліметтер №2 үлгінің отқа төзімділігі жағынан ең жоғары көрсеткішке ие екенін дәлелдейді.

Математикалық модельдеу нәтижелері мен регрессиялық талдау деректері отқа төзімділікке әсер ететін факторлар арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік берді. Модельдеу нәтижелерінің дұрыстығы Стьюденттің және Фишердің критерийлері арқылы расталды, ал регрессия теңдеулері MATLAB бағдарламалық ортасында есептеліп, жану үрдісін болжау мен оңтайландыру үшін қолдануға болатындығы көрсетілді.

Осылайша, антипирендік қоспалар арқылы модификацияланған полипропилен жіптері кілем өндірісінде қолдануға жарамды, әрі олардың отқа төзімділігі едәуір жақсартылған. Бұл зерттеу нәтижелері өндірістік технологияны оңтайландыруға және қауіпсіздік талаптарына сай өнім шығаруға негіз бола алады.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеуде полипропилен жіптердің отқа төзімділік қасиеттерін арттыру мақсатында антипирендік қоспалар (алюминий гидроксиді, кремнезем және көміртек) қолдану арқылы олардың құрамын модификациялау мәселесі қарастырылды. Зерттеу барысында алынған үлгілердің жану үрдісі әр түрлі параметрлер бойынша бағаланады: тұтану уақыты, жану температурасы, жалынның таралу жылдамдығы және тұтанып өшу кезеңі. Эксперименттік деректер негізінде жүргізілген термогравиметриялық талдау мен оттегінің шекті индексі жіптедің отқа төзімділік деңгейін нақты анықтауға мүмкіндік берді.

Математикалық модельдеу және регрессиялық талдау әдістерін қолдану арқылы жану сипаттамалары мен жіп құрамындағы антипирендік компоненттердің арасындағы функционалдық байланыстар сипатталды. Құрастырылған регрессиялық модельдер жану процесін болжау мен оны басқаруға негіз бола алады. Нәтижесінде, алынған математикалық модельдердің сәкестігі жоғары деңгейде расталды. Зерттеу нәтижесі бойынша ең тиімді отқа төзімділік қасиеттерін №2 үлгі көрсетті. Бұл үлгінің құрамында 1,5% көміртек, 3% кремнезем және 0,5% алюминий гидроксиді бар жіп полипропиленнің 95% негізінде дайындалды. Аталған үлгі жану процесінің барлық кезеңдерінде тұрақты әрі кешіктірілген реакция көрсетіп, қауіпсіздік талаптарына сай материал ретінде ерекшеленеді.

Антипирендік модификацияланған полипропилен жіптердің жану кезіндегі физика-химиялық қасиеттерін жүйелі түрде зерттеу оларды сандық модельдеуге және өндірістік мақсатта қолдануға ғылыми негіз береді. Алынған нәтижелер кілемдік бұйымдар өндірісінде отқа төзімді, қауіпсіз әрі технологиялық тиімді жіптерді әзірлеуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Назарбеков, Қ.Ж. Полимерлер химиясы және технологиясы [Мәтін] / Қ.Ж. Назарбеков. – Алматы: ҚазҰУ, 2018. – 356 б.
2. Сейілов, Қ.М. Материалдардың жану қасиеттері және отқа төзімділігін бағалау әдістері [Мәтін] / Қ.М. Сейілов. – Алматы: Технополис, 2020. – 242 б.

3. Абдуллаев, Е. Жалынға төзімді қоспалардың полипропилен талшықтарының жылулық қасиеттеріне әсері [Мәтін] / Е. Абдуллаев, А. Ибрагимов // Қолданбалы полимерлер ғылымы журналы. – 2022. – № 139(4). – Б. 482-489.
4. Власов, А.С. Термостойкие полимеры: Свойства, получение, применение [Текст] / А.С. Власов. – Москва: Химия, 2019.
5. Smith, R., Jones, P. Thermal degradation of modified polypropylene with nanofillers // Polymer Degradation and Stability. – 2021. – Vol. 180. – P. 109298.
6. MathWorks. MATLAB құжаттамасы [Электрондық ресурс]. – Қол жетімділік режимі: <https://www.mathworks.com/help/>.
7. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments (10th ed.). – New York: Wiley, 2020.
8. ISO 4589-2:2017 Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 2: Ambient-temperature test. – Geneva: International Organization for Standardization, 2017.

Материал редакцияға 12.08.25 түсті, 18.09.25 қабылданды.

Г.С. Кенжибаева¹, М.Т. Сихимбаева¹

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ НИТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ДЛЯ КОВРОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В данной статье представлены результаты математического моделирования, направленного на исследование огнестойких свойств модифицированной полипропиленовой нити, используемой в производстве ковровых изделий. Всесторонне рассмотрено количественное соотношение различных добавок в составе нити (антипирены, стабилизаторы, наполнители и др.) и их влияние на огнестойкость материала. На основе экспериментальных данных, полученных в ходе исследования, была построена многофакторная регрессионная модель. Эта модель позволяет заранее прогнозировать огнестойкие свойства нити и достигать необходимых качественных показателей путем оптимизации её состава. С помощью математической модели предлагаются способы эффективного управления производственными процессами и создания новых композиционных материалов. Предлагаемый подход способствует повышению качества нитей на основе полипропилена, обеспечению их соответствия требованиям пожарной безопасности, а также расширению ассортимента инновационных материалов в современном ковровом производстве.

Ключевые слова: полипропиленовая нить, модификация, огнестойкость, математическое моделирование, производство ковров.

G.S. Kenzhibayeva¹, M.T. Sikhimbayeva¹

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

MATHEMATICAL MODELLING OF THE FIRE-RESISTANT PROPERTIES OF MODIFIED POLYPROPYLENE YARN DEPENDING ON ITS COMPOSITION FOR CARPET

Abstract. This article presents the results of mathematical modeling aimed at studying the fire-resistant properties of modified polypropylene yarn used in the production of carpet products. The quantitative ratio of various additives in the yarn

composition (flame retardants, stabilizers, fillers, etc.) and their effect on the fire resistance of the material are comprehensively examined. Based on the experimental data obtained during the study, a multifactorial regression model was constructed. This model allows predicting the fire-resistant properties of the thread in advance and achieving the necessary quality indicators by optimizing its composition. Using a mathematical model, methods are proposed for the effective management of production processes and the creation of new composite materials. The proposed approach contributes to improving the quality of polypropylene-based yarns, ensuring their compliance with fire safety requirements, and expanding the range of innovative materials in modern carpet production.

Keywords: polypropylene yarn, modification, fire resistance, mathematical modeling, carpet production.

References

1. Nazarbekov, Q.Zh. Polimerler khimiyasy zhane tekhnologiyasy [Chemistry and Technology of Polymers]. – Almaty: KazNU, 2018. – 356 p. [in Kazakh].
2. Seilov, Q.M. Materialdardyn zhanu qasietteri zhane otka tozimdiligini bagalau adisteri [Combustion Properties of Materials and Methods for Assessing Fire Resistance]. – Almaty: Tekhnopolis, 2020. – 242 p. [in Kazakh].
3. Abdullaev E., Ibragimov A. Zhalynga tozimdi qospalardyn polipropilen talshyqtarynyn zhylylyq qasietterine aseri [Effect of Flame-Retardant Additives on the Thermal Properties of Polypropylene Fibers] // Journal of Applied Polymer Science. – 2022. – No. 139(4). – P. 482-489. [in Kazakh].
4. Vlasov, A.S. Termostoikiye polimery: Svoystva, poluchenie, primeneniye [Heat-Resistant Polymers: Properties, Production, Application]. – Moscow: Khimiya, 2019. [in Russian].
5. Smith R., Jones P. Thermal degradation of modified polypropylene with nanofillers // Polymer Degradation and Stability. – 2021. – Vol. 180. – P. 109298.
6. MathWorks. MATLAB Documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mathworks.com/help/>.
7. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments (10th ed.). – New York: Wiley, 2020.
8. ISO 4589-2:2017 Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 2: Ambient-temperature test. – Geneva: International Organization for Standardization, 2017.