https://doi.org/10.58805/ct.V.1(32)-1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ-СТАБИЛИЗАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕГО

И. Леонтьева, **С. Масакбаева**, **Р. Несмеянова**✉, **М. Елубай**, **С. Ковтарева**, **О. Мукашев**

Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан
✉ *Корреспондент-автор: nesmeyanova.r@tou.edu.kz*

Received: 26 June 2026
Accepted: 15 September 2026
Published: 30 September 2026
Citation: R. Nesmeyanova, et al. « ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ-СТАБИЛИЗАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕГО ». Chemical Technology, vol. 1, no. 32, Sept. 2026, doi: https://doi.org/10.58805/ct.V.1(32)-1
License CC BY 4.0

В работе исследовано влияние различных УФ-стабилизаторов на физико-механические свойства полипропиленовых нитей, полотна и клапанно-коробчатых мешков, полученных методом экструзии с последующей ориентацией.

Рассмотрены механизмы фотоокислительной деградации полимеров и принципы действия светостабилизаторов на основе стерически затруднённых аминов (HALS) и УФ-абсорберов. В качестве объектов исследования использованы три промышленных светостабилизатора, введённые в полипропиленовую композицию.

Проведены испытания образцов до и после ускоренного УФ-старения (168 и 336 часов) с оценкой прочности, удлинения, линейной плотности и остаточной усадки. Установлено, что эффективность стабилизаторов существенно различается: наилучшую стойкость к фотодеструкции показал стабилизатор UV 5010 PE, тогда как POL PE 920052-UV обеспечил наибольшую технологическую стабильность переработки. Исследование влияния концентрации POL PE 920052-UV в диапазоне 1–2 % показало, что увеличение его содержания сопровождалось ростом линейной плотности и массы изделий, при этом относительное удлинение нити снижалось, а прочность сварного дна мешков уменьшалась.

В исследованном диапазоне концентраций наилучшее сочетание показателей получено при содержании стабилизатора POL PE 920052-UV 1 %.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и промышленном производстве полипропиленовой упаковочной продукции.

Ключевые слова: полипропилен, УФ-стабилизаторы, деградация полимеров, фотостарение, HALS-стабилизаторы, механические свойства, модификация.

ПОЛИПРОПИЛЕН ЖӘНЕ ОДАН ЖАСАЛҒАН БҰЙЫМДАРДЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ УФ-ТҰРАҚТАНДЫРҒЫШТАРДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

И. Леонтьева, **С. Масакбаева**, **Р. Несмеянова**✉, **М. Елубай**, **С. Ковтарева**, **О. Мукашев**

Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан
✉ *e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz*

Бұл жұмыста экструзия әдісімен алынған және кейіннен бағдарланған полипропилен жіптері, матасы және клапанды-қорапты қаптардың физика-механикалық қасиеттеріне әртүрлі УФ-тұрақтандырғыштардың әсері зерттелді.

Полимерлердің фотооксидтік деградациясының механизмдері және стерикалық тұрғыдан тежелген аминдер (HALS) мен УФ-абсорберлер

негізіндегі жарық тұрақтандырғыштардың әрекет ету принциптері қарастырылды. Зерттеу нысаны ретінде полипропилен композициясына енгізілген үш өнеркәсіптік жарық тұрақтандырғыш қолданылды.

Үлгілердің қасиеттері жеделдетілген УФ-қартаюға дейін және одан кейін (168 және 336 сағат) беріктік, үзілу кезіндегі ұзару, сызықтық тығыздық және қалдық шөгу көрсеткіштері бойынша бағаланды. Зерттеу нәтижесінде тұрақтандырғыштардың тиімділігі айтарлықтай ерекшеленетіні анықталды: фотодеструкцияға ең жоғары төзімділікті UV 5010 PE тұрақтандырғышы көрсетті, ал POL PE 920052-UV қайта өңдеу процесінің ең жоғары технологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етті. POL PE 920052-UV концентрациясының 1–2 % диапазонындағы әсерін зерттеу оның құрамын арттыру нитьтің сызықтық тығыздығы мен бұйымдар массасының өсуіне алып келетінін көрсетті, бұл ретте нитьтің салыстырмалы ұзаруы төмендеп, қаптардың дәнекерленген түбінің беріктігі азайды. Зерттелген концентрациялар диапазонында көрсеткіштердің ең қолайлы үйлесімі POL PE 920052-UV тұрақтандырғышының 1 % мөлшерінде алынды.

Алынған нәтижелер полипропиленді қаптама өнімдерін әзірлеуде және өнеркәсіптік өндірісте қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: полипропилен, УФ-тұрақтандырғыштар, полимерлердің деградациясы, фотоқартаю, HALS-тұрақтандырғыштар, механикалық қасиеттер, модификация.

STUDY OF THE EFFECT OF UV STABILIZERS ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE AND ITS PRODUCTS

I. Leonteva, **S. Massakbayeva**, **R. Nesmeyanova**✉, **M. Yelubay**, **S. Kovtareva**, **O. Mukashev**

Torayghyrov University, Pavlodar, Kazakhstan
✉*e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz*

This work investigates the effect of various UV stabilizers on the physical and mechanical properties of polypropylene tapes, fabric, and valve-type box bags obtained by extrusion followed by orientation.

The mechanisms of photo-oxidative degradation of polymers and the principles of action of light stabilizers based on sterically hindered amines (HALS) and UV absorbers are considered. Three industrial light stabilizers introduced into polypropylene composition were used as the objects of study.

The samples were tested before and after accelerated UV aging (168 and 336 hours) with evaluation of strength, elongation, linear density, and residual shrinkage. It was established that the effectiveness of the stabilizers differs significantly: the UV 5010 PE stabilizer showed the best resistance to photodegradation, while POL PE 920052-UV provided the highest technological stability during processing. The study of the effect of POL PE 920052-UV concentration in the range of 1–2 % showed that an increase in its content was accompanied by an increase in the linear density of the tapes and the mass of the bags, while the relative elongation of the tape decreased and the strength of the bag bottom welds was reduced. Within the investigated concentration range, the best combination of the studied properties was obtained at a POL PE 920052-UV stabilizer content of 1 %.

The obtained results can be used in the development and industrial production of polypropylene packaging products.

Keywords: polypropylene, UV stabilizers, polymer degradation, photoaging, HALS stabilizers, mechanical properties, modification.

Введение. Полимерные материалы, а именно полипропилен (ПП) используются в различных областях промышленности благодаря сочетанию низкой плотности, высокой прочности, химической инертности [1]. Он обладает хорошими механическими характеристиками, устойчив к истиранию и разрыву и технологичен в переработке методом экструзии. Одним из важных направлений использования полипропилена является производство ориентированных нитей для производства стандартно-прошивных, клапанно-коробчатых мешков и мягких контейнеров, предназначенных для транспортировки и хранения сыпучих материалов [2].

Ультрафиолетовое (УФ) излучение оказывает вредное влияние на полимерные материалы, ис-

пользуемые в условиях наружного применения [3]. Пластмассы подвергаются фотостарению при воздействии солнечного света, высокой температуры и влажности в присутствии кислорода [4]. Деградация пластмассы в результате поглощения УФ-излучения приводит к появлению трещин, изменению цвета и потере механических свойств [5, 6].

Деградация пластика проходит в три этапа: инициирование, распространение (пропагация) и обрыв цепи (терминация) [7]. Первый этап инициируется под действием солнечного излучения и характеризуется образованием свободных радикалов, приводящих к разрыву связей C-H в основной цепи полимера [8]. Реакция алкильных радикалов с кислородом приводит к накоплению продуктов окисления и разрыву молекулярных цепей [9]. Разрыв цепи и сшивание кислородосодержащих соединений приводит к образованию ненасыщенных полимерных цепей, альдегидов и кетонов, как показано на рисунке 1 [10].

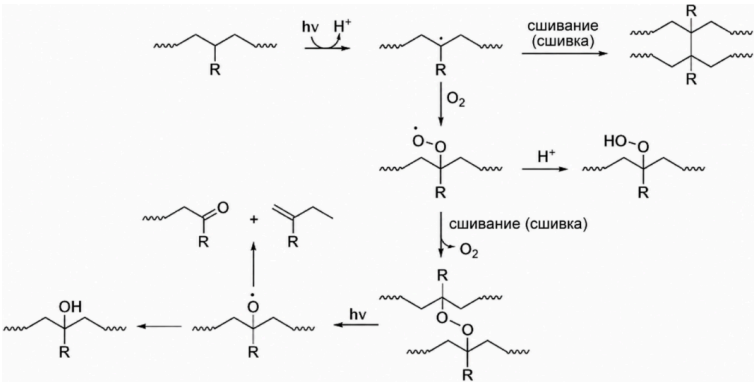


Рис. 1 - Пути абиотической деградации PE, PP и PS (адаптировано по [10])

УФ-стабилизаторы на основе стерически затрудненных аминов (HALS) относятся к числу наиболее эффективных модифицирующих добавок для полимерных материалов, в том числе и для ПП [11, 12]. Механизм действия HALS-стабилизаторов представлен на рисунке 2.

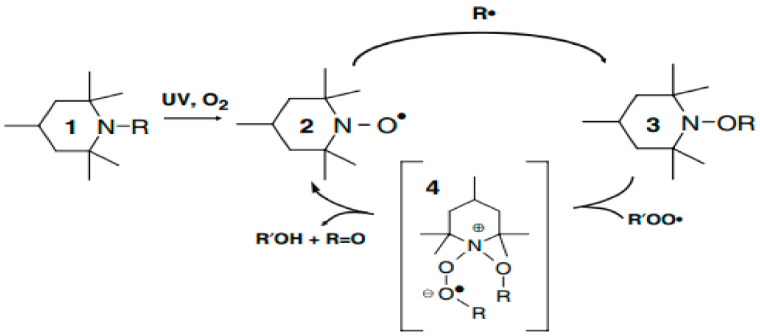


Рис. 2 - Цикл реакции HALS-стабилизаторов (адаптировано по [11])

Исходная аминная форма HALS (1) под действием УФ-излучения и кислорода превращается в нитроксильный радикал (2). Нитроксильный радикал захватывает свободный радикал полимера с образованием аминоэфирной функции (3). Далее эти промежуточные соединения подвергаются превращениям, в результате которых регенерируется активная нитроксильная форма HALS (4) [11].

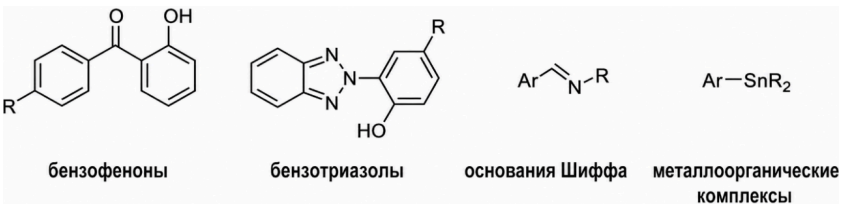


Рис. 3 - Структуры УФ-абсорберов (адаптировано по [10])

Еще одной разновидностью светостабилизаторов для полимеров являются УФ-абсорбенты. Они поглощают УФ-излучение в коротковолновой области за счет переноса протона и блокируют образование свободных радикалов ранней стадии [13]. Наиболее распространенными УФ-поглотителями являются оксид титана, бензофеноны и триазолы, основания Шиффа и металлорганические комплексы, представленные на рисунке 3 [14, 15].

Светостабилизаторы широко применяются в промышленности для обеспечения длительного срока службы полимерных изделий за счет предотвращения процессов фотоокисления и деградации [16]. Вместе с тем для полипропиленовых материалов и изделий из них, используемых в производстве ориентированных нитей, мешков, мягких контейнеров, сохраняется необходимость оценки эффективности УФ-стабилизаторов после воздействия УФ-излучения, поскольку снижение физико-механических характеристик может ограничивать срок службы готовых изделий.

Объектом исследования являются полипропилен, модифицированный УФ-стабилизаторами. Предметом исследования является изменение его физико-механических характеристик после УФ-старения. Целью работы является оценка влияния УФ-стабилизаторов на физико-механические показатели образцов полипропилена, моделирующих материал изделий из него после воздействия УФ-излучения. Для достижения цели были поставлены задачи: получить образцы полипропилена с УФ-стабилизаторами, провести испытания на УФ-старение, определить физико-механические показатели образцов до и после УФ-воздействия, сравнить эффективность применяемых стабилизирующих добавок. Гипотеза исследования заключается в том, что введение УФ-стабилизаторов способствует снижению фотоокислительной деградации при воздействии УФ-излучения и обеспечивает сохранение физико-механических свойств полипропилена и изделий из него. Практическая значимость работы состоит в возможности применения полученных результатов при разработке полипропиленовых материалов и изделий с повышенной устойчивостью к УФ-воздействию.

Материалы и методы. Исследование включало следующие этапы: подготовку полимерных композиций, получение ориентированных полипропиленовых нитей методом экструзии, изготовление рукавного полотна и клапанно-коробчатых мешков, проведение ускоренного УФ-старения, определение физико-механических показателей до и после старения и сравнительный анализ эффективности стабилизирующих добавок.

В качестве основного полимера использовали гомополимер полипропилена марки PP H030 производства ТОО «Компания Нефтехим LTD», обладающий показателем текучести расплава (ПТР) 12 г/10 мин при температуре 230 °C и нагрузке 2,16 кг, температурой плавления около 165 °C и плотностью 0,905 г/см³.

В качестве модификаторов использовались три промышленных светостабилизирующих продукта: POL PE 920052-UV, FMD 03.20/01-PP и UV 5010 PE.

Согласно информации производителей, содержание активной части в исследованных коммерческих продуктах составляло 20 %. POL PE 920052-UV представляет собой мастербатч, содержащий 20 % активного светостабилизирующего вещества, включающего УФ-абсорберы и HALS-стабилизаторы. Согласно информации производителей, содержание активной части в FMD 03.20/01-PP и UV 5010 PE также составляет 20 %. При этом химическая природа активных компонентов и состав полимерных носителей различаются. Все три продукты вводили в полипропиленовую композицию при одинаковой массовой концентрации 1 %, поэтому сравнительная оценка характеризует эффективность исследованных коммерческих композиций при одинаковой дозировке продукта. В качестве минерального наполнителя использовали осаждённый карбонат кальция $CaCO_3$, модифицированный стеариновой кислотой, с медианным размером частиц 2-3 мкм.

Композиции с различным содержанием компонентов (таблица 1) получали методом экструзии с использованием гравиметрической системы дозирования GraviTEC, обеспечивающей дозирование и предварительное смешение компонентов. Расплав перерабатывали на экструзионной линии StarEX 1500 ES с плоскощелевой головкой. Температурный режим от зоны шнека до плоскощелевой головки составлял 260−270 °C. Сформированное полотно охлаждали в водяной ванне при температуре 25−35 °C, после чего осуществляли его резку на ленточные нити. Полученные нити подвергали термическому вытягиванию и продольной ориентации в печи при температуре 190−195 °C. Скорость технологической линии составляла 300 м/мин. После ориентации нити стабилизировали на системе валов и наматывали на катушки. Из полученных нитей изготавливали рукавное полотно на круглоткацких станках Alpha 6 челночным методом. На заключительном этапе по-

липропиленовое полотно покрывалось ламинацией с использованием композиции из полипропилена с полиэтиленом, после чего из полученного материала изготавливали клапанно-коробчатые мешки на конверсионной машине STARLINGER ADStarKON.

Для оценки физико-механических характеристик образцов определяли прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве на универсальной разрывной машине Zwick/Roell BasicLine Z005, при скорости растяжения 250 мм/мин согласно ISO 2062-2014. Остаточную усадку нитей определяли в термоусадочной печи Testrite LTD MK 3 с автоматическим измерением деформации при температуре 130 °C в течение 2 минут.

Таблица 1 - Состав композиций

Образец	PP H030, %	$CaCO_3$, %	Вид УФ-стабилизатора	Содержание УФ-стабилизатора, %
Контрольный	95	5		0
Композиция 1	94	5	POL PE 920052-UV	1
Композиция 2	94	5	FMD 03.20/01-PP	1
Композиция 3	94	5	UV 5010 PE	1

Каждая серия образцов подвергалась ускоренному УФ-старению в климатической камере в течение 168 часов и 336 часов в соответствии с методикой ISO 4892-3. В качестве источника излучения использовали флуоресцентную УФ-лампу UVB-313 нм. Испытание проводили по циклическому режиму: 8 часов УФ-облучения при температуре 60 °C с последующей 4-х часовой конденсацией при температуре 50 °C. Поверхностная плотность излучения при длине волны 313 нм составляла 0,71 Вт/(м^2·нм).

Для оценки степени сохранения свойств анализировали изменение разрывной нагрузки, удлинения при разрыве и прочности нити до и после ускоренного старения, а также визуальное состояние полотна и стабильность технологического процесса при переработке. Данные по результатам УФ-старения представлены для единичных образцов каждого исследованного стабилизирующего варианта.

Для дальнейшего исследования влияния содержания, выбранного УФ-стабилизатора на свойства полипропиленовой нити были изготовлены композиции с различной массовой долей POL PE 920052-UV − 1 %, 1,5 % и 2 %. Целью данного этапа являлось определение изменений физико-механических характеристик нити при увеличении содержания стабилизатора в исследованном диапазоне концентраций. Контрольный вариант без введения POL PE 920052-UV в данной серии испытаний отдельно не изготавливался, поэтому результаты этого этапа рассматриваются как сравнительная оценка исследованных концентраций стабилизатора в диапазоне 1−2 %. Для каждой исследованной концентрации использовали по три образца полипропиленовой нити, результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения. Определяли ширину и толщину нити, линейную плотность, прочность на разрыв, относительное удлинение и остаточную усадку.

Мешки были изготовлены из нити с различным содержанием стабилизатора – 1; 1,5 и 2 %. Для каждого варианта определяли массу мешка, массу ламинирующего слоя на единицу площади, а также относительную прочность сварного дна по всем испытанным полоскам, отдельно по центральным и угловым.

Испытания клапанно-коробчатых мешков проводили в соответствии с СТ РК 3050-2017. Из верхней и нижней частей мешка вырезали полоски размером 350×50 мм. Испытания на растяжение проводили на универсальной разрывной машине Zwick/Roell BasicLine Z005 при зажимной длине 200 ± 1 мм и скорости растяжения 100 мм/мин. Каждую полоску растягивали до разрыва с регистрацией разрывной нагрузки. Количество испытываемых полосок определялось фактической шириной мешка. Для расчёта относительной прочности по всем испытанным полоскам определяли среднее значение разрывной нагрузки всех полосок и выражали его в процентах относительно фактически измеренной разрывной нагрузки основы соответствующего мешка. Относительную прочность угловых полосок рассчитывали аналогично, используя среднее значение разрывных нагрузок четырёх угловых полосок. Для каждого варианта концентрации исследовали один изготовленный мешок.

Целью эксперимента являлось определение степени светостойкости образцов, оцененной по изменению их физико-механических свойств до и после ускоренного старения в камере искусственного освещения, имитирующего воздействие УФ-излучения. Контрольными показателями служили: разрывная нагрузка (Н/кгс), удлинение при разрыве (%), прочность нити (г/ден), визуальное состояние полотна, стабильность технологического процесса при переработке.

Результаты и обсуждение. В таблице 2 представлены основные механические характеристики образцов после введения трех типов модификаторов и их изменение после УФ-старения.

Таблица 2 - Результаты испытаний полипропиленового полотна после введения УФ-стабилизаторов

Образец	Время старения	Разрывная нагрузка, Н (кгс)	Удлинение, %	Прочность, г/ден
PP	До старения	655,20 (66,8)	16,2	5,2
	168 ч	342,11 (34,9)	6,4	2,7
	336 ч	118,25 (12,1)	2,1	1,1
POL PE 920052-UV	До старения	692,42 (70,6)	17,5	5,50
	168 ч	568,33 (57,9)	15,2	4,33
	336 ч	252,18 (25,7)	6,12	3,00
FMD 03.20/01-PP	До старения	548,15 (55,8)	15,2	4,5
	168 ч	376,60 (38,3)	7,14	3,0
	336 ч	200,12 (20,39)	3,37	1,7
UV 5010 PE	До старения	675,25 (68,8)	15,36	5,3
	168 ч	593,23 (60,5)	14,35	4,4
	336 ч	525,25 (53,5)	10,82	3,59

До начала старения исследованные образцы демонстрировали сопоставимые механические характеристики, подтверждающие правильность подготовки композиций. Однако по результатам УФ-старения проявилась значительная разница в эффективности светостабилизирующих добавок. Наилучшую защиту от фотодеструкции показал UV 5010 PE, при котором деградация прочностных характеристик была минимальной даже после 336 часов старения. POL PE 920052-UV продемонстрировал уверенную защиту до 168 часов, однако далее наблюдалось заметное падение показателей. Наименее эффективным оказался FMD 03.20/01-PP, при котором произошло резкое снижение прочности и удлинения уже на 168 часе, а к 336 часу материал характеризовался выраженной потерей механических свойств.

Изменение показателей прочности полипропиленового полотна представлено на рисунке 4.

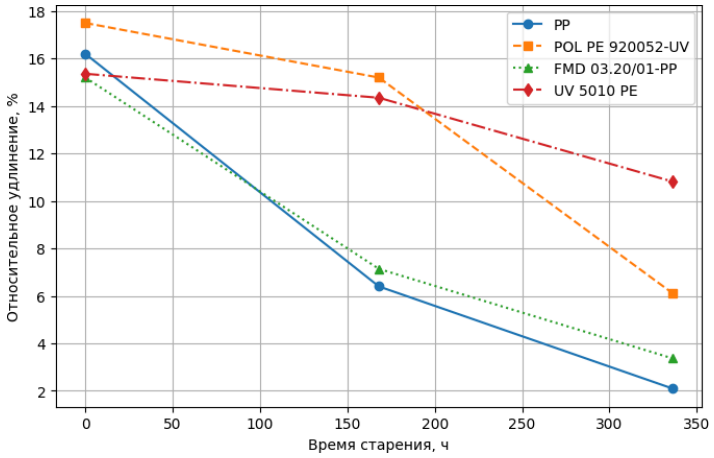


Рис. 4 - Изменение показателей прочности образцов при УФ-старении

После 336 часов УФ-старения контрольный образец PP без стабилизатора сохранил лишь около 18 % исходной разрывной нагрузки (таблица 3), образцы с POL PE 920052-UV и FMD 03.20/01-PP сохранили примерно 36 % исходного значения и образец с UV 5010 PE сохранил около 78 % разрывной нагрузки. Это свидетельствует о наиболее выраженном защитном действии UV 5010 PE в условиях ускоренного старения.

Таблица 3 - Сохранение разрывной нагрузки после 336 часов

Образец	Разрывная нагрузка до старения, Н (кгс)	Разрывная нагрузка после 336 ч старения, Н (кгс)	Сохранение прочности, %
PP	655,20 (66,8)	118,25 (12,1)	18,05
POL PE 920052-UV	692,42 (70,6)	252,18 (25,7)	36,42
FMD 03.20/01-PP	548,15 (55,8)	200,12 (20,39)	36,51
UV 5010 PE	675,25 (68,8)	525,25 (53,5)	77,79

Анализ разрушенных полотен (по характеру обрывов) позволяет предположить, что в образцах с FMD 03.20/01-PP и UV 5010 PE возможно образование поверхностной хрупкой зоны, подверженной появлению микротрещин и фрагментации при внешней нагрузке. Это согласуется с механизмом фотоокислительной деградации, при котором разрушение начинается с поверхностных слоёв и распространяется вглубь материала. Несмотря на то что UV 5010 PE обеспечил наибольшее сохранение механических свойств после УФ-старения, его применение сопровождалось технологическими затруднениями при переработке. Таким образом, в условиях промышленной переработки эффективность УФ-стабилизатора целесообразно оценивать комплексно − с учётом как сохранения физико-механических свойств после УФ-старения, так и стабильности технологического процесса переработки композиции.

При применении УФ-стабилизаторов FMD 03.20/01-PP и UV 5010 PE во время изготовления нити на экструзионной линии происходили обрывы нити в печи и на намоточном устройстве, появлялись дыры в полотне после выхода из плоскощелевой головки, наблюдалась нестабильность давления расплава до и после автоматического фильтра. В отличие от них, при использовании модификатора марки POL PE 920052-UV технологический процесс протекал стабильно: скачков давления перед и после фильтрующей сетки не наблюдалось, полотно формировалось без дефектов, обрывы нити в печи и на намоточном устройстве отсутствовали. С учетом результатов УФ-старения и выявленных технологических особенностей переработки выбор стабилизатора для дальнейшего исследования осуществляли по совокупности критериев светостабилизирующей эффективности и технологической стабильности процесса экструзии, принципиальным условием при этом являлась возможность стабильного получения ориентированной нити без обрывов и дефектов полотна. В результате для дальнейшего исследования влияния концентрации был выбран УФ-стабилизатор POL PE 920052-UV, обеспечивавший стабильную переработку композиции при экструзии.

Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 4. В таблице приведены средние значения показателей и соответствующие стандартные отклонения, рассчитанные по результатам испытаний трёх образцов для каждой концентрации стабилизатора.

Таблица 4 - Результаты испытаний ПП нитей с разной концентрацией УФ-стабилизатора POL PE 920052-UV

Концентрация УФ-стабилизатора, %	Ширина, мм	Толщина, мкм	Линейная плотность, денье	Прочность, г/ден	Относительное удлинение, %	Остаточная усадка, %
1	3,00±0,00	36,47±0,21	867,03±1,11	5,83±0,25	30,30±0,95	6,90±0,17
1,5	3,00±0,00	37,50±0,20	872,53±1,42	5,60±0,10	30,10±0,40	7,73±0,15
2,0	3,00±0,00	37,07±0,64	874,87±2,77	5,67±0,06	27,43±0,50	7,43±0,31

В результате эксперимента установлено, что изменение содержания POL PE 920052-UV в полипропиленовой композиции в исследованном диапазоне от 1 % до 2 % по-разному отражается на отдельных характеристиках полученной нити. Ширина нити во всех исследованных образцах сохранялась на уровне 3,0 мм. При увеличении концентрации стабилизатора от 1 до 2 % наблюдалось увеличение средней линейной плотности нити с 867,03±1,11 до 874,87±2,77 ден, что влечёт за собой рост массы конечных изделий. Толщина нити изменялась менее однозначно: максимальное значение 37,50±0,20 отмечено при концентрации 1,5 %, а при 2 % показатель составил 37,07±0,64.

Прочность нити при увеличении концентрации стабилизатора изменялась в относительно узком диапазоне - от 5,60±0,10 до 5,83±0,25 г/ден - без выраженной направленной тенденции. При этом относительное удлинение при концентрации 1 и 1,5 % практически не различалось и составляло соответственно 30,30±0,95 и 30,10±0,40, тогда как при увеличении содержания стабилизатора до 2 % показатель снижался до 27,43±0,50, чт может свидетельствовать о повышении жесткости нити. Таким образом, наиболее заметное изменение при увеличении содержания УФ-стабилизатора до 2 % наблюдалось по относительному удлинению нити.

Подобные изменения могут негативно сказаться на эксплуатационных свойствах нити, особенно в условиях динамических нагрузок, изгибов, растяжений и вибрационных воздействий. На рисунке 5 показана диаграмма изменения относительного удлинения при повышении концентрации модификатора в составе нити.

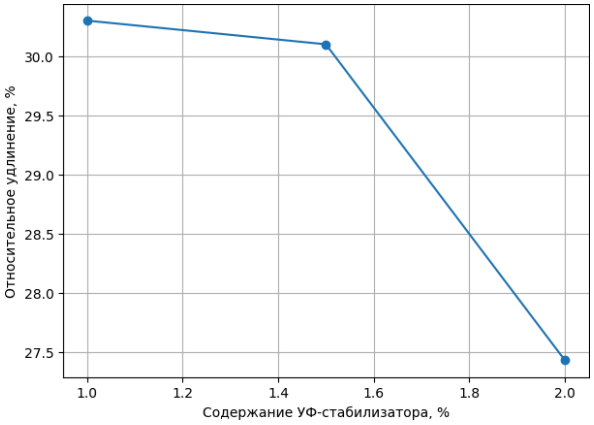


Рис. 5 - Изменение относительного удлинения при повышении концентрации модификатора

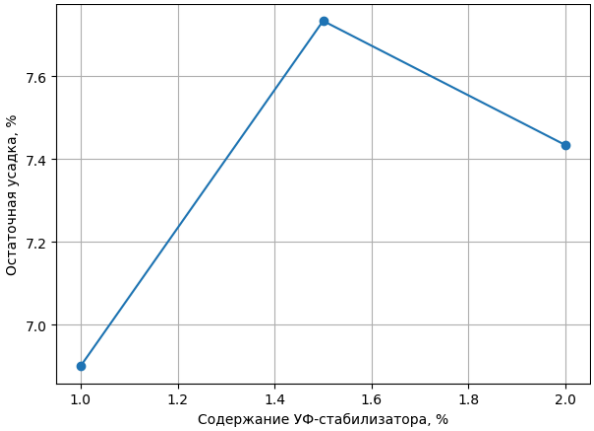


Рис. 6 - Изменение остаточной усадки при повышении концентрации модификатора

Изменение остаточной усадки (рисунок 6) имело немонотонный характер. По сравнению с концентраций 1 % среднее значение усадки увеличивалось при 1,5 % с 6,90±0,17 до 7,73±0,15 %, а при 2 % составляло 7,43±0,31 %. Наибольшее значение остаточной усадки отмечено при концентрации 1,5 %. Такое изменение может быть связано с изменением структуры, размеров и степени ориентации макромолекул полипропилена, однако подтверждение данного предположения требует дополнительных структурных исследований.

С ростом содержания POL PE 920052-UV наблюдается увеличение линейной плотности нити, тогда как изменение её толщины носит менее выраженный и немонотонный характер. Линейная плотность нити - один из ключевых параметров, определяющих массу нити на единицу длины и влияющих как на переработку материала в последующих операциях, так и на массу и механические свойства конечного изделия.

При содержании 1 % стабилизатора линейная плотность нити находилась в диапазоне от 866,0 до 868,2 ден, со средним значением около 867,03 ден. При увеличении дозировки до 1,5 %, линейная плотность составила от 871,0 до 873,8 ден, в среднем - 872,53 ден. При максимальной концентрации стабилизатора 2 % линейная плотность находилась в пределах 872,3-877,8 ден, со средним значением 874,87 ден. Таким образом, увеличение концентрации стабилизатора с 1 до 2 % сопровождалось ростом средней линейной плотности с 867,03 до 874,87 ден, что соответствует увеличению примерно на 0,9 %. Наблюдаемое увеличение линейной плотности может быть связано как с увеличением массы композиции за счёт введения стабилизатора, так и с возможными изменениями реологических характе-

ристик расплава. Подтверждение влияния реологических факторов требует дополнительных исследований.

В продолжение исследований полипропиленовой нити, модифицированной различным количеством УФ-стабилизатора, была проведена серия испытаний клапанно-коробчатых мешков, изготовленных на её основе. Целью этих испытаний являлось сравнение физико-механических характеристик готовой упаковочной тары при различном содержании УФ-стабилизатора POL PE 920052-UV. Клапанно-коробчатые мешки представляют собой тип широко применяемой полипропиленовой тары, предназначенной для упаковки, транспортировки и хранения сыпучих и порошкообразных материалов. В данном исследовании особое внимание было уделено трём показателям: массе мешка, массе ламинирующего слоя на единицу площади и прочности сварного дна, которое является критическим элементом конструкции, определяющим надёжность и герметичность упаковки при нагрузке.

Мешки были изготовлены из нити с различным содержанием стабилизатора – 1 %, 1,5 % и 2 %. Для каждого варианта определяли массу мешка, массу ламинирующего слоя на единицу площади (ламинация), а также относительную прочность сварного дна по всем испытанным полоскам, отдельно по центральным и угловым полоскам. Результаты представлены в таблице 5. Испытания клапанно-коробчатых мешков проводили в соответствии с СТ РК 3050-2017. Из верхней и нижней частей мешка вырезали полоски размером 350х50 мм. Испытания на растяжение проводили на универсальной разрывной машине Zwick/Roell BasicLine Z005 при зажимной длине 200±1 мм и скорости растяжения 100 мм/мин. Каждую полоску растягивали до разрыва с регистрацией разрывной нагрузки. Количество испытываемых полосок определялось фактической шириной мешка. Для расчёта относительной прочности по всем испытанным полоскам определяли среднее значение разрывной нагрузки всех полосок и выражали его в процентах относительно фактически измеренной разрывной нагрузки основы соответствующего мешка. Относительную прочность угловых полосок рассчитывали аналогично, используя среднее значение разрывных нагрузок четырёх угловых полосок. Относительную прочность рассчитывали, как отношение среднего значения разрывной нагрузки соответствующей группе полосок к фактически измеренной разрывной нагрузке основы того же мешка, выраженное в процентах.

Таблица 5 - Результаты испытаний клапанно-коробчатых мешков

Концентрация УФ-стабилизатора, %	Масса мешка, г	Ламинация, г/м²	Относительная прочность всех полосок, %	Относительная прочность центральных полосок, %	Относительная прочность угловых полосок, %
1	79,2	25,4	109,2	109,6	109,1
1,5	80,5	26,2	101,0	101,7	100,8
2	81,8	26,4	90,4	90,3	90,2

Полученные данные позволяют сделать несколько наблюдений. Прежде всего, с увеличением содержания УФ-стабилизатора наблюдается поступенное увеличение массы мешка. Если при 1 % стабилизатора масса мешка составляла 79,2 г, при 1,5 % - 80,5 г, а при 2 % - 81,8 г. Таким образом, при увеличении концентрации стабилизатора от 1 до 2 % масса мешка увеличилась на 2,6 г, или примерно на 3,3 % относительно значения при концентрации 1 %. Увеличение массы мешка, согласуется с изменением линейной плотности нити, установленным по результатам предыдущей серии испытаний. Масса ламинирующего слоя также увеличивалась с повышением концентрации стабилизатора: с 25,4 г/м² при 1 % до 26,2 г/м² при 1,5 % и 26,4 г/м² при 2 %. Таким образом, повышение содержания стабилизатора сопровождалось увеличением как общей массы мешка, так и массы ламинирующего слоя. В данном контексте увеличение массы является нежелательным с производственной точки зрения, т. к. означает увеличение расхода полимерного материала на единицу продукции, а в условиях массового производства даже небольшая прибавка веса приводит к увеличению расхода сырья, снижению технологичности (особенно на упаковочных и швейных линиях), а также к росту себестоимости продукции.

Наиболее существенным изменением, зафиксированным в ходе испытаний, стало снижение относительной прочности сварного дна по мере увеличения

дозировки стабилизатора. При содержании 1 % относительная прочность всех испытанных полосок составляла 109,2 % от фактически измеренной разрывной нагрузки основы мешка; для центральных и угловых полосок значения составляли соответственно 109,6 % и 109,1 % (с запасом, превышающим нормативные требования). При увеличении концентрации стабилизатора до 1,5 % соответствующие показатели снижались до 101,0; 101,7; 100,8 %. При концентрации 2 % относительная прочность снижалась до 90,4 % по всем испытанным полоскам, 90,3 % по центральным и 90,2 % по угловым полоскам. Таким образом, увеличение содержания POL PE 920052-UV от 1 до 2 % сопровождалось снижением относительной прочности сварного дна по отношению к прочности основы мешка. При этом значения, полученные для центральных и угловых полосок, изменялись согласованно, что указывает на сходный характер изменения прочности сварных соединений в исследованных зонах и свидетельствует о заметном ухудшении спаиваемости материала и, как следствие, о возможном снижении надёжности упаковки в реальных условиях эксплуатации. Диаграмма изменения относительной прочности сварного дна клапанно-коробчатых мешков представлена на рисунке 7.

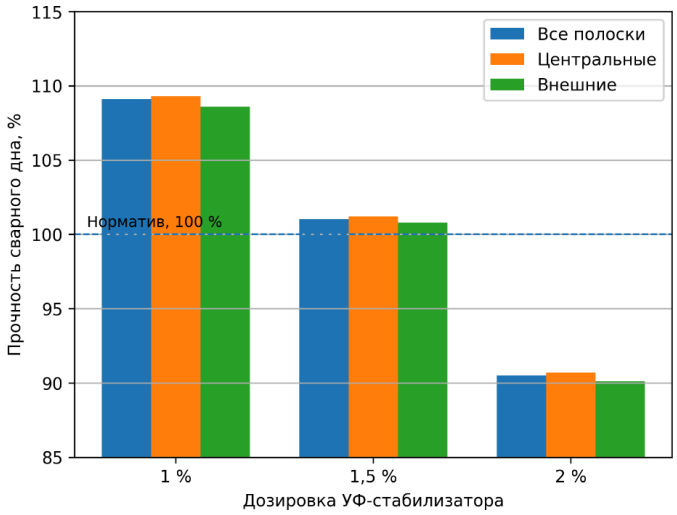


Рис. 7 - Изменение прочности сварного дна клапанно-коробчатых мешков

Предполагаемой причиной снижения относительной прочности сварных соединений при увеличении содержания УФ-стабилизатора может быть изменение условий термосваривания модифицированного материала. Наблюдаемое изменение прочности сварных соединений может быть связано с изменением структуры материала и условий оплавления в зоне сварки. Подтверждение конкретных структурных и термических механизмов выявленной зависимости требует дополнительных исследований.

Проведённые испытания мешков показали, что увеличение содержания стабилизатора в исследованном диапазоне от 1 до 2 % сопровождалось увеличением массы мешка и снижением относительной прочности сварного дна. При этом мешки, изготовленные при концентрации УФ-стабилизатора 1 %, характеризовались наименьшей массой и наиболее высоким значением относительной прочности сварного дня среди исследованных вариантов. Таким образом, в рассмотренном диапазоне концентраций наилучшее сочетание этих показателей было получено при содержании POL PE 920052-UV 1 %, что делает данный вариант предпочтительным для промышленного производства.

Полученные результаты согласуются с литературными данными о том, что УФ-стабилизаторы на основе HALS и УФ-абсорберов замедляют фотоокислительную деградацию полипропилена и способствуют сохранению его механических свойств при воздействии УФ-излучения. Эффективность стабилизации зависит не только от химической природы добавки, но и от её совместимости с полимерной матрицей, степени диспергирования в расплаве и влияния на технологические свойства материала. Результаты настоящего исследования подтверждают комплексный характер оценки стабилизатора: UV 5010 PE обеспечил наибольшее сохранение прочности после УФ-старения, но POL PE 920052-UV оказался более приемлемым для промышленной переработки благодаря стабильности экструзионного процесса.

В целом результаты исследования показывают, что выбор УФ-стабилизатора для промышленной переработки должен основываться не только на его светостабилизирующей эффективности, но и на технологической стабильности процесса и свойствах готового изделия. В исследованном диапазоне концентраций POL PE 920052-UV обеспечивал более высокую стабильность переработки, а при концентрации 1 % позволял получать клапанно-коробчатые мешки с наилучшим сочетанием массы изделия и прочности сварного дна.

Выводы. Проведенное исследование позволило оценить влияние УФ-стабилизаторов разных марок на технологический процесс изготовления продольно-ориентированных плоских полипропиленовых нитей, а также на физико-механические свойства нитей, полипропиленового полотна и готовых изделий из него. В ходе исследования определены основные характеристики полипропиленовой нити, включая линейную плотность, прочность, относительное удлинение при максимальной нагрузке и остаточную усадку, а также показатели готовых клапанно-коробчатых мешков - массу мешка, массу слоя ламинирующего покрытия и относительную прочность сварного дна.

В результате сравнения трёх коммерческих УФ-светостабилизирующих продуктов установлена различная эффективность их действия при ускоренном УФ-старении. Наибольшее сохранение разрывной нагрузки после 336 часов старения обеспечивал UV 5010 PE - 77,79 % исходного значения. При этом его применение, как и FMD 03.20/01-PP, сопровождалось технологическими нарушениями процесса экструзии и формирования нити. POL PE 920052-UV характеризовался более стабильной переработкой композиции, что послужило основанием для его дальнейшего исследования при различных концентрациях.

Сравнение концентраций стабилизатора POL PE 920052-UV (1; 1,5 и 2 %) показало, что изменение содержания стабилизатора по-разному отражается на отдельных характеристиках полипропиленовой нити. При увеличении концентрации от 1 до 2 % наблюдалось увеличение линейной плотности нити и снижение относительного удлинения, тогда как изменение толщины и остаточной усадки носило немонотонный характер, а прочность нити изменялась без выраженной направленной тенденции. На уровне готового изделия увеличение содержания стабилизатора сопровождалось увеличением массы мешка и снижением относительной прочности сварного дна.

Наиболее неблагоприятная динамика была зафиксирована при содержании УФ-стабилизатора 2 %, при котором относительная прочность сварных швов снизилась по сравнению с образцами при 1 % стабилизатора с 109,2 до 90,4 %, т. е. на 18,8 процентных пункта, а масса изделия увеличилась на 2,6 г. Таким образом, увеличение содержания стабилизирующей добавки до 2 % сопровождалось снижением прочности сварного дна и увеличением массы готового изделия, что с технологической точки зрения является неблагоприятным. При содержании стабилизатора 1,5 % масса изделия также увеличивалась, а относительная прочность сварного дна снижалась по сравнению с вариантом 1 %.

Установленные результаты свидетельствуют о том, что в исследованном диапазоне концентраций наилучшее сочетание механических показателей и массы готового изделия было получено при добавлении 1 % УФ-стабилизатора марки POL PE 920052-UV. Данная концентрация позволила получить клапанно-коробчатые мешки с наименьшей массой и наиболее высокой относительной прочностью сварного дна среди исследованных вариантов. Полученные результаты могут быть использованы для практического применения УФ-стабилизатора POL PE 920052-UV при производстве полипропиленовой упаковочной продукции.

Перспективой дальнейшей работы является проведение длительных натурных испытаний полипропиленовых изделий в производственных условиях и более детальное изучение структурных изменений материала после УФ-старения.

Финансирование: *данное исследование финансируется ГУ «Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан» (ИРН AP26199041).*

Литература

1. Hossain M.T., Shahid M.A., Mahmud N., Habib A., Rana M.M., Khan S. A., Hossain M.D. Research and application of polypropylene: a review \// Discover nano. - 2024 - Vol. 19(1). DOI 10.1186/s11671-023-03952-z.
2. Tajeddin B. & Arabkhedri, M. Polymers and food packaging \// Polymer Science and Innovative Applications. −2020. - P. 525-543. DOI 10.1016/B978-0-12-816808-0.00016-0.
3. Venkateshaiah A., Padil V. V., Nagalakshmaiah M., Waclawek S., Černík M., & Varma R. S. Microscopic techniques for the analysis of micro and nanostructures of biopolymers and their derivatives // Polymers. - 2020. - Vol. 12(3):512. DOI 10.3390/polym12030512.
4. Mao R., Lang M., Yu X., Wu R., Yang X. & Guo X. Aging mechanism of microplastics with UV irradiation and its effects on the adsorption of heavy metals // Journal of Hazardous Materials. - 2020. - Vol.393: 122515. DOI 10.1016/j.jhazmat.2020.122515.
5. Chamas A., Moon H., Zheng J., Qiu Y., Tabassum T., Jang J. H., Abu-Omar M., Scott S. L. & Suh S. Degradation rates of plastics in the environment // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. - 2020. - Vol. 8(9). - P. 3494−3511. DOI 10.1021/acssuschemeng.9b06635.
6. Ainali N. M., Bikiaris D. N. & Lambropoulou D. A. Aging effects on low- and high-density polyethylene, polypropylene and polystyrene under UV irradiation: An insight into decomposition mechanism by Py-GC/MS for microplastic analysis // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. - 2021. - Vol. 158: 105207. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105207.
7. Albertsson A. C. & Karlsson S. The three stages in degradation of polymers - polyethylene as a model substance // Journal of Applied Polymer Science. - 1988. - Vol. 35(5). - P. 1289-1302. DOI 10.1002/app.1988.070350515.
8. Vohidal J. Polymer degradation: a short review // Chemistry Teacher International. - 2021. - Vol. 3(2). - P. 213-220. DOI 10.1515/cti-2020-0015.
9. Lv Y., Huang Y., Yang J., Kong M., Yang H., Zhao J. & Li G. Outdoor and accelerated laboratory weathering of polypropylene: A comparison and correlation study // Polymer Degradation and Stability. - 2015. Vol. 112. - P. 145-159. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2014.12.023.
10. El-Hiti G. A., Ahmed D. S., Yousif E., Al-Khazrajy O. S. A., Abdallh M. & Alanazi S. A. Modifications of polymers through the addition of ultraviolet absorbers to reduce the aging effect of accelerated and natural irradiation// Polymers. - 2022.-Vol. 14(1):20. DOI 10.3390/polym14010020.
11. Brostow W., Lu X., Gencel O., Osmanson A. T. Effects of UV stabilizers on polypropylene outdoors // Materials. - 2020. Vol.13(7). - P. 1626. DOI 10.3390/ma13071626.
12. Chen W., An P., Chen Y. X., Li Y., Yan X. L., Chen L. G. Synthesis and light-stabilizing ability of a series of hindered piperidine derivatives // Synthetic Communications. - 2012. - Vol. 42(10). - P. 1419-1425. DOI 10.1080/00397911.2010.540693.
13. Yaqoob A. A., Noor N. H. B. M., Umar K., Adnan R., Ibrahim M. N. M., Rashid M. Graphene oxide-ZnO nanocomposite: An efficient visible light photocatalyst for degradation of rhodamine B //Applied Nanoscience. - 2021.-Vol.11(4). -P.1291-1302. DOI 10.1007/s13204-020-01665-8;.
14. Lu T., Solis-Ramos E., Yi Y., Kumosa M. UV degradation model for polymers and polymer matrix composites // Polymer Degradation and Stability. - 2018. - Vol.154.- P.203-210. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2018.06.004.
15. Ahmed D. S., El-Hiti G. A., Hameed A. S., Yousif E., Ahmed A. New Tetra-Schiff bases as efficient photostabilizers for poly (vinyl chloride) // Molecules. - 2017. - Vol. 22(9): 1506. DOI 10.3390/molecules22091506
16. Marturano V., Cerruti P., Ambrogi V. Polymer additives // Physical Sciences Reviews. - 2017. - Vol. 2(6). DOI 10.1515/psr-2016-0130

Информация об авторах

Леонтьева И.Л.- магистрант, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: brightmiss3107@gmail.com;;

Масакбаева С.Р.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: sofyamassakbayeva@gmail.com;

Несмеянова Р.М.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz;

Елубай М.А - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан. e-mail: madik_chimik@mail.ru;;

Ковтарева С.Ю.- магистр химической технологии органических веществ, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: kovtarsw@gmail.com;;

Мукашев О.Е.- магистр, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: mukashev.o@teachers.tou.edu.kz.

Information about the authors

Leonteva I.L - master's student, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: brightmiss3107@gmail.com;;

Massakbayeva S. R. – candida te of Chemical Science, associate Professor, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: sofyamassakbayeva@gmail.com;;

Nesmeyanova R.M. - candidate of Chemical Science, associate Professor, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz;;

Yelubay M.A.- candidate of Chemical Science, associate Professor, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: madik_chimik@mail.ru;;

Kovtareva S.Yu. - master of Chemical Technology of Organic Substances, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: kovtarsw@gmail.com;;

Mukashev O. E. - master, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: mukashev.o@teachers.tou.edu.kz.