

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПІРОТЕХНІЧНОГО СКЛАДУ У ФОРМІ ТОНКОЛИСТОВОГО ВИРОБУ

Р. В. Закусило, В. К. Лукашов, Д. Р. Закусило

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0003-3823-4040; 0000-0002-9952-0158; 0000-0003-0804-9725

А. З. Маргарян, О. В. Слесарева

Державний науково-дослідний інститут хімічних продуктів

ORCID: 0000-0003-3582-8142; 0000-0001-9793-8289

Наведено теоретичний огляд проблеми формування піротехнічних безгазових складів. Виявлено, що існуюча технологія надання піротехнічному складу форми тонколистового виробу є більш перспективною, але має недоліки. Через це було теоретично досліджено основи технології формування. Досліджена існуюча технологія надання форми листа целюлозному паперу. З урахуванням специфіки піротехнічних складів, дана технологія скорегована та взята за основу для технології надання піротехнічним складам форми листу. Підбрано базовий піротехнічний склад на основі цирконію та хромату барію. Цей склад скориговано домішками у вигляді поліакриламід, колоксиліну, та склотканини для створення можливості надання форми листа. Підтверджено працездатність отриманої суміші. Розроблена блок-схема виробництва піротехнічного складу у формі тонколистового виробу. Листові піротехнічні вироби можуть стати універсальним рішенням для розігріву виробів, в яких використання порошкових сумішей неможливо або ускладнено, за рахунок еластичності виробу.

Ключові слова: технологія; піротехніка; безгазовий склад; лист; блок-схема.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Безгазові (точніше малогазові) піротехнічні склади використовують для спорядження ними різних піротехнічних уповільнювачів, а також в деяких спеціальних нагрівальних виробках. Наприклад, їх використовують в дистанційних трубках і детонаторах, у допоміжних системах ракетно-космічної техніки, а також для розігріву твердо-електричних осередків термічних батарей [1, 2].

Останнім часом постає питання про можливість надання безгазовому піротехнічному складу певної форми. Це обґрунтовується тим, що порошкоподібну суміш важко застосовувати у випадках, коли положення суміші у виробі має значення, або обмежено у просторі.

Нині існують технології надання піротехнічному складу форми листа та таблетки [3]. Форма листа є більш перспективною для подальших досліджень, оскільки вона за рахунок еластичності надає кінцевому виробу універсальності у застосуванні.

Однак існуюча технологія створення піротехнічного складу у формі тонколистового виробу має недоліки [3]:

1. Відсутність універсальності.

2. Низька якість кінцевого продукту (крихкість та нерівномірність листу призводить до різниці у піротехнічних характеристиках вздовж всій його поверхні).

Метою даної роботи є дослідження технології виробництва тонколистових виробів з піротехнічного складу та пошук можливостей її вдосконалення.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. В якості об'єкта дослідження виступає технологія виробництва піротехнічного складу у формі тонколистового виробу машинним методом.

При дослідженні технології виробництва піротехнічного складу у формі тонколистового виробу необхідно врахувати наступне:

1. Передумови для технологічних процесів (аналіз походження технологічної схеми та опис основних виробничих процесів).

2. Перенесення технології на лабораторні умови.

3. Вид складових матеріалів (аналіз оптимальних складових піротехнічного складу та домішок).

4. Опис технології виробництва.

Передумови для технологічних процесів. Основою для більшості технологічних процесів надання листової форми неметалевим виробам є технологія формування целюлозного паперу. Ця технологія складається з наступних етапів [4, 5, 6]:

- подача паперової маси у машину;

- розведення паперової маси водою до необхідної концентрації;

- очищення паперової маси від різних механічних домішок і вузликів;

- випуск маси на сітку;

- відплив паперу на сітці;

- пресування мокрої полотна паперу;

- сушіння паперу;

- машинна обробка паперу;

- намотування паперу.

Паперова маса, що надходить на папероробну машину, розбавляється водою до концентрації 0,1-1,3%. Розведення необхідно для кращого формування паперу на сітці папероробної машини. Ступінь розведення маси залежить від роду волокна, ступеня помелу маси, температури маси і конструкції сіткового столу. При однаковій масі 1м² паперу ступінь розведення знижується зі збільшенням ступеня помелу. Із підвищенням ступеню помелу розведення зменшуються. Отже, чим більше розведення маси, тим міцніше і з більш рівномірним просвітом виходить папір.

Паперова маса, підготовлена для відливу, надходить в напірний ящик, з якого безперервним потоком випливає на рухому сітку сіткового столу, де відбувається формування і відлив паперового полотна. Одночасно паперова маса інтенсивно зневоднюється, а потім утворюється паперове полотно.

Сіткова частина папероробної машини включає в себе напускний пристрій і сітковий стіл. Основними елементами сіткового столу є: грудний вал, що підт-

римує сітку на початку сіткового столу; реєстрові валики, на яких відбувається формування з паперової маси паперового полотна; відсмоктуючі ящики, призначені для зневоднення паперового полотна, гауч-вал, на якому паперове полотно зневоднюється і ущільнюється.

Сітка являє собою нескінченне ткане полотно з металевого дроту. Тут маса втрачає основну частину води. На сітці осідають волокна і утворюється вологий папір. Великі волокна маси першими осідають на сітку, утворюючи пухкий шар. Вони створюють первинну сітку шару волокон, осередки якого заповнюються більш дрібними волокнами. З ростом шару волокон на сітці умови фільтрації води ускладнюються, і вільне стікання води з паперової маси припиняється.

Швидкість зневоднення на сітці паперової маси при формуванні впливає на структуру полотна паперу. При інтенсивному зневодненні паперової маси на початку сіткового столу збільшуються втрати дрібного волокна, що проклеюють, наповнюють речовин, легко проходять крізь сітку, поки на ній не збунтувався фільтруючий шар волокон. Якість формування полотна паперу погіршується, збільшується різнобічність паперу та маркування від сітки. Крім того, при інтенсивному зневодненні деяка частина волокон може розташуватися перпендикулярно площині листа, що зменшує міцність, гладкість, компактність і провітність паперу. Уповільнення зневоднення на початку сіткової частини сприяє поліпшенню формування паперового полотна.

На сітковому столі процес зневоднення паперової маси не закінчується. Далі зневоднення паперової маси проводиться на реєстрових валиках, де зневоднення відбувається через сильну збездонювальну дію обертових валиків. При обертанні валиків попереду утворюється невелике розрідження (вакуум). Після реєстрових валиків паперове волокно містить 2-4% абсолютно сухої речовини.

Подальше видалення води з паперового полотна роблять під дією вакууму на відсмоктувальних ящиках. Вони встановлюються після реєстрової частини під сіткою. Після дії вакууму в папері вміст абсолютно сухої речовини становить від 6 до 14%. Для створення в відсмоктуючих ящиках розрідження (вакууму) застосовують водокільцеві вакуум-насоси (на машинах з малою продуктивністю) або турбоповітродувки (на машинах з великою продуктивністю).

Після відсмоктуючих ящиків паперове полотно надходить на гауч-прес, де воно зневоднюється до сухості 15-22% і ущільнюється. Нижній вал гауч-пресу, що встановлюється під сіткою, створює відсмоктувальну дію, а верхній вал здійснює легкий натиск на полотно.

Паперове полотно після гауч-преса для подальшого зневоднення надходить на пресову частину машини, де шляхом механічного віджиму зневоднюється до 32-42% абсолютно сухої речовини. Під час пресування паперове полотно не тільки зневоднюється, а й ущільнюється. При цьому збільшується площа контакту і сили зчеплення між волокнами. Крім того, покращується ряд властивостей паперу:

підвищується об'ємна маса, знижується пористість, повітропроникність, збільшується механічна міцність.

Звичайний прес має два вали: верхній гранітний і нижній металевий, облицьований гумою. Тиск між валами пресів здійснюється за допомогою гідравлічних циліндрів. З підвищенням тиску пресування сухість паперу зростає. Чим вище сухість паперу, тим він міцніше. Тому, щоб не зруйнувати паперове полотно, пресувати треба поступово, підвищуючи тиск поступово на кожному наступному пресі. Товщина паперу перед надходженням на прес повинна бути рівномірною по ширині полотна, інакше може статися місцеве руйнування паперу.

Паперове волокно зневоднюється до кінцевої сухості 92-95% в сушильній частині машини. При надходженні на сушильну частину машини полотно містить 60-70% води. У процесі сушіння видаляється 1,5-2,5 кг води на 1 кг паперу.

При сушінні не тільки зневоднюється паперове полотно, але одночасно відбувається подальше ущільнення і зближення волокон. В результаті підвищується механічна міцність і гладкість паперу.

Папір сушать двома методами: контактним - на нагрітій поверхні сушильних циліндрів, і конвективним - теплим повітрям. Температура паперового полотна при контактній сушінні не перевищує 90°C (температуру сушильних циліндрів поступово збільшують від 40 до 100°C і більше).

Подальша обробка паперу після сушіння складається з наступних операцій:

- згладжування поверхні паперу;
- каландрування паперу;
- поверхнєве проклеювання;
- крейдування.

Поверхня паперового полотна після сушіння має сліди від сітки. Для усунення цього використовують офсетний прес, що встановлюється перед сушильною частиною. Він складається з двох розташованих один над одним валів із загартованого чавуну. Завдяки цьому полотно згладжується з обох сторін, що сприяє кращому прилягання полотна до поверхні сушильних циліндрів.

Далі поверхня паперу згладжується на каландрі, який представляє собою набір розташованих один над одним шліфованих чавунних валів, які усувають нерівності на поверхні паперу завдяки високому значенню лінійного тиску між валами.

Поверхнєве проклеювання здійснюється за допомогою клеїлих пресів, встановлених в сушильній частині папероробної машини. При цьому для нанесення клею використовуються спеціальне сопло, що зрощує полотно. Паперове полотно направляється в клеїлий прес при вмісті сухої речовини в межах 90%. Поверхнєве проклеювання підвищує міцність, опір стиранню, компактність паперу. Для проклеювання використовують переважно клейкі речовини: крохмаль, карбоксиметилцелюлозу, кістковий і шкірний клей. Застосування цих продуктів в суміші з парафіном або пластмасовими матеріалами в диспергованому вигляді підвищує гідрофобність паперу та надає їй поверхні еластичність.

Крейдуння - останній етап виробництва, який представляє собою нанесення тонкого шару суміші, що складається з білого пігменту (каоліну) і сполучного.

Технологія формування паперу активно використовується в харчовій промисловості (наприклад, для виробництва водоростей Норі) [7]. Тому, за основу для розробки технології виробництва піротехнічного складу у формі тонколистого виробу у лабораторних умовах взята саме ця технологія, оскільки вона доводить свою працездатність.

Перенесення технології на лабораторні умови. Для кращого розуміння всіх аспектів технології формування паперу, необхідно перенести її на лабораторні умови.

Для виробництва паперу в лабораторних умовах використовується метод ручного черпання [6].

Лист відливається в черпальній формі з сітчастим дном, в яку вручну подається певна кількість суспензії паперової маси. Кількість маси, яка подається в черпальну форму, і товщина листа визначається висотою декельної рами. При помірній і сильній трясці сітки досягається рівномірний розподіл і хороше звалювання волокна. Формування листа здійснюється в результаті проходження води крізь сітку. Зневоднення виробляють за допомогою вакуум-насоса.

Сітка або фільтрувальна перегородка є важливішим компонентом технології, і тому до неї висуваються певні вимоги. Ця сітка повинна мати наступні властивості:

1. Добре затримувати тверді частинки суспензії.
2. Мати невеликий гідравлічний опір потоку фільтрату.
3. Легко відділятися від осаду.
4. Володіти стійкістю до хімічного впливу речовин, що розділяються.
5. Мати достатню механічну міцність.

При поділі малоконцентрованої суспензії тонкодисперсних частинок проникання цих частинок в пори фільтрувальної перегородки можна запобігти шляхом використання фільтрувальних допоміжних речовин, які є тонкодисперсними, проникними для рідини матеріалами, що затримують тверді частинки. Швидкість фільтрування суспензій твердих частинок розміром до 5 мкм при невеликій концентрації швидко зменшується внаслідок закупорювання пір фільтрувальної перегородки проникаючими в них твердими частинками.

Ці речовини або наносять попередньо у вигляді шару на фільтрувальну перегородку, що запобігає закупорюванню її пір частинками суспензії, що розділяється, або додають до суспензії перед її поділом, що покращує структуру утворюваного осаду і зменшує його питомий опір.

В якості допоміжних речовин застосовується велика кількість різноманітних матеріалів: діатоміт, перліт, азбест, целюлоза, деревна мука, деревне вугілля, силікагель, гіпс, летюча смола, а також суміші цих матеріалів.

Допоміжна речовина має бути хімічно інертною по відношенню до рідкої фази суспензії і не розчиняється в ній.

Отже, саме це і є основною особливою фазою для виробництва піротехнічного складу у формі тонколистого виробу.

Вибір матеріалів. Під вибором матеріалів мається на увазі підбір таких важливих складових піротехнічного складу як окиснювач, пальне, та різного роду домішки для надання кінцевому продукту певних фізичних властивостей.

При виборі окиснювача особливу увагу звертають на те, щоб склад, виготовлений із застосуванням обраного окиснювача, не був надмірно чутливий до механічних імпульсів і не володів значними вибуховими властивостями, а також не розчинявся у воді. Надзвичайно важливо також, щоб окиснювач забезпечував необхідну швидкість горіння складу [8].

Виходячи з вищесказаного, в якості окиснювача був обраний хромат барію.

При розкладанні хромату барію не утворюються газоподібні або легколеткі продукти, і внаслідок цього його використовують в безгазових складах в суміші з цирконієм, сплавами цирконій-нікель, а також порошками вольфраму або марганцю. Хромат барію має дуже низьку розчинність в воді (0,0003%). У зв'язку з цим хромат барію є відповідною сировиною для отримання піротехнічного складу у формі тонколистого виробу за технологією виготовлення паперу (при фільтрації водної суспензії піротехнічного складу незначна частина хромату барію потрапляє в фільтрат, тобто втрачає його при виготовленні несуттєві).

При виборі пального необхідно враховувати всі вимоги, що пред'являються до піротехнічного складу, який повинен забезпечувати задану швидкість горіння, виділяти мало газів, бути висококалорійним [9].

Таким чином, пальне має відповідати таким вимогам:

- досить легко окислюватися за рахунок кисню окиснювача або за рахунок кисню повітря;
- вимагати для свого згоряння мінімальну кількість кисню;
- бути хімічно і фізично стійким при температурі від -60 до +60°C;
- бути негігроскопічним (або мало гігроскопічними);
- легко подрібнюватись;
- не мати токсичний вплив на організм людини.

Після проведеного аналізу було вибрано пальне у вигляді порошку цирконію, який задовольняє всім перерахованим вище вимогам.

Для збільшення міцності піротехнічного складу у формі тонколистого виробу застосовували ряд сполучних речовин, з яких найбільший інтерес представляє нітрат целюлози - колоксилін. Колоксилін є також енергетичним компонентом, що забезпечує гарне займання і горіння піротехнічного складу. Зміст азоту в колоксиліні 11,89-12,26% (190-196 мл NO на 1г). Лаковий колоксилін ПСВ (напівсекундної в'язкості) містить 12,2% азоту і при невисокій в'язкості становить інтерес для отримання складу.

Однак застосування колоксиліну в складі кількісно обмежена в зв'язку зі зростанням газовиділення при згорянні складу.

Велике значення має застосування змішаних розчинників, наприклад, сумішей спирту та ефіру, спирту і ацетону, потрібних сумішей та ін. Зі зміною складу розчинників змінюється в'язкість розчинів. Додавання малої кількості спирту знижують в'язкість, але при додаванні великої кількості в'язкість розчинів збільшується. Додавання етилацетату підвищує в'язкість розчинів колоксиліну в змішаних розчинниках.

В результаті аналізу в якості розчинника для колоксиліну була обрана суміш ацетону зі спиртом етиловим.

Для зниження крихкості листа піротехнічного складу необхідно додати пластифікатор, в якості якого виступає поліакриламід. Краще за все підходить 0,3%-ий розчин поліакриламід у воді. Розчин такої концентрації трохи густий і добре змішується з іншими компонентами суміші. Еластичність піротехнічного листу при цьому зростає.

Однак, для додання піротехнічному складу форми тонколистового виробу міцності, меншого розкиду характеристик по тепловиділенню і часу згорання, необхідно введення до його складу армуючого наповнювача. А для додання заданої еластичності та гнучкості, необхідно використання армуючого каркаса.

Армуючий наповнювач і армуючий каркас повинні бути хімічно інертними по відношенню до рідкої фази суспензії і не розчинятися в ній. В якості армуючого наповнювача для піротехнічного складу розглянуто скляні волокна (рівницю) та склотканину [10].

Рівниця обробляється зміцнювальною шліхтою, і в залежності від природи шліхт отримують рівницю двох типів: «тверду» і «м'яку». У рівниці «твердої» типу елементарні нитки пов'язані між собою в пасма-джуги таким чином, що зворотний перехід пасма в волокна утруднений. Рівниця «м'якої» типу легше розщеплюється на волокна.

Також розглядалося скляне волокно, призначене для виготовлення будь-якого сорту склотканини або склонитки, яке зазвичай покривається замаслювачем. Замаслювач перешкоджає стиранню пряжі в процесі виготовлення склотканини. В якості замаслювача використовують систему декстрину і масляної емульсії.

Існує технологія видалення замаслювача зі скловолокна. Обробка скловолокна з метою видалення замаслювача полягає в наступному:

- карамелізація (нагрівання скловолокна в печі при температурі до 300°C);
- теплове очищення (випалювання замаслювача при високих температурах до 500°C).

Однак будь-яка форма теплової обробки викликає ослаблення волокон (чим вище температура, тим більше цей вплив). Як карамелізація, так і теплове очищення дають волокно зі зниженою міцністю при розтягуванні. Так як замаслювача в скловолокні міститься тільки 3-5% і, з огляду на невелику кількість скловолокна в піротехнічному складі (4-6%), технологічно вигідно замаслювач не прибирати зі скловолокна.

В результаті проведеного аналізу для додання піротехнічному складу форми тонколистового виробу заданої еластичності і гнучкості було вирішено застосовувати при їх виготовленні скловолокно у вигляді армуючого каркаса (скловолокно) і у вигляді розпушених монониток. В якості армуючого наповнювача краще використовувати скловолокно з товщиною мононитки 2-3 мкм, а в якості армуючого каркаса - скловолокно у вигляді листів товщиною 0,05 мм.

Опис технології виробництва. Процес виробництва піротехнічного складу у формі тонколистового виробу складається з двох етапів: підготовка сировини та безпосередньо процес виробництва.

Підготовка сировини для виробництва включає в себе наступні операції:

- сушіння,
- подрібнення,
- просіювання,
- приготування лаку,
- приготування водного розчину поліакриламід,
- підготовка армирующего каркаса.

Процес безпосереднього виробництва піротехнічного складу у формі тонколистового виробу включає в себе наступні операції:

- дозування сухих компонентів;
- змішання сухих компонентів;
- приготування суспензії піротехнічного складу в воді;
- додавання розчину поліакриламід;
- вплив і формування полотна (листа) теплоізоляційної паперу заданих розмірів на сітці фільтру з фільтрацією за допомогою вакуум-насоса;
- обробка полотна лаком;
- пресування отриманого полотна на пресі;
- сушіння;
- фінальна обробка листів.

Блок-схема технологічного процесу отримання цього піротехнічного складу наведена на рис. 1.



Рисунок 1 – Блок-схема виробництва піротехнічного складу у формі тонколистового виробу

ВИСНОВКИ. Проведений аналіз технології формування паперу дозволив правильно перенести основні стадії даного процесу на технологію виробництва піротехнічного складу у формі листа. Підбрані основні компоненти піротехнічного складу, а також технологічні домішки. Їх характеристики описані, а вибір обґрунтований.

На підставі результатів аналізу розроблена блок-схема процесу виготовлення піротехнічного складу у формі тонколистового виробу та зазначені основні її стадії.

Подальші дослідження даної теми дозволять розвинути можливості використання піротехнічних сумішей як для народного господарства, так і для оборонної промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

- Закусило В. Р., Ефименко А. О., Закусило Р. В., Слесарева О. В. Піротехнічні нагрівачі для термічних джерел струму. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць*. Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновібух», 2012. Вип. 22. С. 82–89.
- Закусило В. Р., Желтоножка А. А., Закусило Р. В., Бойко Л. В., Узжина Л. М., Маргарян А. З. Дослідження по розробці вибухових зарядів для відколу блочного каменю та технології їх виробництва. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. Кременчук: КДПУ, 2005. Вип. 5/2005 (34). С. 88–90.
- Взрывчатые вещества, пиротехника, средства инициирования в послевоенный период: Люди. Наука. Производство. 2-е изд. М.; СПб.: Гуманистика, 2002. 936 с.
- Смолин А.С. О развитии технологии бумаги и картона. *Известия ВУЗов. Лесной журнал*. 2013. № 2(332). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/orazvitii-tehnologii-bumagi-i-kartona> (дата звернення: 18.03.2021).
- Мисак М. Розвиток паперового виробництва: культурно-історичний аспект. *Вісник Львівської національної академії мистецтв*, 2016. Вип. 28. С. 239–251. doi: 10.5281/zenodo.51668
- Иванов С. Н. Технология бумаги. Изд. 3-е, переработ. М.: Лесная промышленность, 2006. –696 с.
- Herawati, H., Kamsiati, E. (2020). Production process technology and characteristics of cassava nori. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 443, 012033. doi: 10.1088/1755-1315/443/1/012033
- Мельников В. Э. Современная пиротехника. М.: 2014. 480 с.
- Романов П. С., Бурдикова Т. В., Павловец Г. Я., Мелешко В. Ю., Романова И. П., Тихомирова М. А. Направления модификации компонентов для пиротехнических малогазовых составов. *Известия МГТУ*. 2014. №3 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-modifikatsii-komponentov-dlya-pirotehnikeskikh-malogazovykh-sostavov> (дата звернення: 18.03.2021).
- Вавилова М. И., Кавун Н. С. Свойства и особенности армирующих стеклянных наполнителей, используемых для изготовления конструкционных стеклопластиков. *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №3 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-i-osobennosti-armiruyuschih-steklyannyh-napolniteley-ispolzuemyh-dlya-izgotovleniya-konstruktsionnyh-stekloplastikov> (дата звернення: 18.03.2021).

THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF PYROTECHNIC COMPOSITION IN THE FORM OF THIN SHEET RESEARCHING

R. Zakusylo, V. Lukashov, D. Zakusylo

Sumy State University

ORCID: 0000-0003-3823-4040; 0000-0002-9952-0158; 0000-0003-0804-9725

A. Marharian, O. Slesareva

State Research Institute of Chemical Products

ORCID: 0000-0003-3582-8142; 0000-0001-9793-8289

Purpose. To conduct theoretical research of the forming of pyrotechnic gasless compositions, which can be used both in the manufacture of fireworks and for other purposes. To identify the technology of forming the pyrotechnic composition in the form of a thin sheet, its prospects, advantages, and disadvantages. To research the basics of forming. **Methodology.** The primary method was a chemical-technological comparative analysis of existing and proposed technology. Functional modeling of the chemical-technological process, with the selection of the main components, was used to perform a set of technological operations and show the links between them. Theoretical analysis of sources was also used. **Results.** Based on the analysis, the materials for the pyrotechnic composition were selected, the block diagram of the process of production was developed, and its stages were indicated. The scheme includes basic operations performed and their sequence. **Originality.** The analysis of the technology of paper formation allowed adapting the main stages of this process to the technology of production of pyrotechnic composition in the form of a thin sheet. The main components and technological additives for the pyrotechnic composition were selected. Their characteristics were described, and the choice was justified. The pyrotechnic composition in the form of the thin sheet seems promising for further research due to its elasticity and versatility in use. **Practical value.** The technology of production of pyrotechnic composition in the form of a thin sheet was developed. Further research in this area will establish an opportunity of using pyrotechnic mixtures for both the national economy and the military industry. **Conclusions.** The primary and secondary components of the pyrotechnic composition are selected, and the choice is justified. Theoretical parameters of paper forming technology are taken as a basis and adapted to create a technology for the production of pyrotechnic composition in the form of a sheet. References 10, figures 1.

Key words: technology; pyrotechnic; gasless composition; sheet; block diagram.

REFERENCES

- Zakusylo, V. R., Yefymenko, A. O., Zakusylo, R. V., Slesareva, O. V. (2012). Pirotehnicheskie nagrevateli dlya termicheskikh istochnikov toka [Pyrotechnic heaters for thermal power sources] / *Visnyk KPI. Seriya: «Hirnyctvo»*. No. 22, pp. 82-89. [in Russian]
- Zakusylo, V. R., Zheltonozhko, A. A., Zakusylo, R. V., Boiko L. V., Uzzhyna, L. M., Marharian, A. Z. (2005). Doslidzhennia po rozrobttsi vybukhovyykh zariadiiv dlia vidkolu blochnoho kameniu ta tekhnolohii yikh vyrobnyctva [Research on the development of explosive charges for chipping block stone and technology of their production]. *Transaction of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*. Vol. 5 (34), pp. 88-90 [in Ukrainian]
- Vzryivchatyie veschestva, pirotehnika, sredstva initsirovaniya v poslevoennyiy period [Explosives, pyrotechnics, systems of initiation] (2002): *Lyudi. Nauka. Proizvodstvo*. 936 p. [in Russian]
- Smolin, A. S. (2013). O razvitii tekhnologii bumagi i kartona [About development of technology of paper and cardboard] // *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal*. No 2 (332). Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-razvitii-tehnologii-bumagi-i-kartona> (access date: 18.03.2021). [in Russian]
- Mysak, M. (2016). Rozvytok paperovoho vyrobnyctva: kulturno-istorychnyi aspekt [Development of paper production: cultural and historical aspect] / *VISNYK Lvivskoi natsionalnoi akademii mystetstv*. No 28, pp. 239-251. Retrieved from: doi.org/10.5281/zenodo.51668
- Ivanov, S. N. (2006). Tehnologiya bumagi [Technology of paper]. *Lesnaya promyshlennost*. – 696 p [in Russian].
- Herawati, H., Kamsiati, E. (2020). Production process technology and characteristics of cassava nori. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 443, 012033. doi: 10.1088/1755-1315/443/1/012033
- Melnikov, V. E. (2014). Sovremennaya pirotehnika [Modern pyrotechnics]. Moscow, 480 p. [in Russian]
- Romanov, P. S., Burdikova, T. V., Pavlovets, G. Ya., Meleshko, V. Yu., Romanova, I. P., Tihomirova, M. A. (2014) Napravleniya modifikatsii komponentov dlya pirotehnicheskikh malogazovykh sostavov [Ways of modification of components for pyrotechnic low-gas compositions]. *Izvestiya MGTU*. No 3 (21). Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-modifikatsii-komponentov-dlya-pirotehnicheskikh-malogazovykh-sostavov> (access date: 18.03.2021). [in Russian]
- Vavilova, M. I., Kavun, N. S. (2014). Svoystva i osobennosti armiruyuschih steklyannykh napolniteley, ispolzuemykh dlya izgotovleniya konstruktivnykh stekloplastikov [Properties and features of reinforcing glass fillers used for the manufacture of structural fiberglass]. *Aviatsionnyie materialy i tekhnologii*. No 3 (32). Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-i-osobennosti-armiruyuschih-steklyannykh-napolniteley-ispolzuemykh-dlya-izgotovleniya-konstruktivnykh-stekloplastikov> (access date: 18.03.2021).

Стаття надійшла 17.03.2021.