

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-100-104>

УДК 688.3.072

**КОВАЛЬОВ Юрій**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-2321-6763>

e-mail: [kovalev.yuri2012@gmail.com](mailto:kovalev.yuri2012@gmail.com)

**ПЛЕШКО Сергій**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-4348-2858>

e-mail: [pleshko-s-a@ukr.net](mailto:pleshko-s-a@ukr.net)

**СУВОРОВ Іван**

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: [suv.ivan@ukr.net](mailto:suv.ivan@ukr.net)

## РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЕКСТРУДЕРА

*В роботі запропоновано роботизовано систему завантаження одного або кількох екструдерів для переробки термопластичних полімерних матеріалів у довгомірні вироби (труби, профіль, плівки і тощо). Система містить великий бункер завантажений сировиною на цілу робочу зміну. З цього бункера автоматично здійснюється наповнення робочого бункера екструдера за допомогою шнекового живильника. Автоматичний контроль стану наповнення бункерів здійснюється мікроконтролером за допомогою датчиків рівня сировини.*

*Ключові слова: екструдер, полімерні гранули, бункер, завантаження, мікроконтролер, оптичні датчики, шнековий живильник.*

KOVALYOV Yuri, PLESHKO Sergey, SUVOROV Ivan

Kyiv National University of Technologies and Design

### DEVELOPMENT OF IMPROVED ROBOTICS EXTRUDER LOADING SYSTEM

*The relevance of the study is due to the fact that the loading of granulated polymer material into the working hopper of extruders is mainly carried out manually from bags by production operators. The capacity of working hoppers of extruders is limited due to the fact that with a significant height of the bulk material, an increase in static pressure occurs in the lower layers, which leads to the formation of vaults, uneven supply of polymer into the material cylinder and deterioration of the quality of products. Since the work process of extrusion is continuous and lasts an entire work shift, there is a need to constantly control the filling level of the work hoppers of the extruders.*

*The paper proposes a robotic extruder loading system for the processing of thermoplastic polymer materials into long products (pipes, profiles, films, etc.). The paper proposes a system for loading one or more extruders, which contains a large hopper loaded with raw materials for an entire work shift. From this hopper, the working hopper of the extruder is automatically filled with the help of a screw feeder. Automatic monitoring of the filling status of the hoppers is carried out by a microcontroller with the help of raw material level sensors. The subject of the research is a robotic system for loading granulated polymers into the working hoppers of extruders. The purpose of the research is to develop a control system for devices for periodic dosing of granular polymer materials and loading them into working hoppers of limited capacity, which can be used in extruders. The task of the work is an analytical study of the effectiveness of the application of extruder loading systems based on a screw feeder and the development of its design and automatic control scheme. The methodological and theoretical basis of the research are the basic provisions of the theory of automatic control of technological processes, the design of transport equipment for loose media, and the basis of the calculation of machine parts. A scientific novelty is that the work proposed for the first time a device for automatic control of the extruder loading system based on a microcontroller with the possibility of programming the work algorithm. The results of the work can be used to create new systems for controlling the operation of equipment for processing polymer materials and creating new designs. The methodological and theoretical basis of the research are the basic provisions of the theory of automatic control of technological processes, the design of transport equipment for loose media, and the basis of the calculation of machine parts. A scientific novelty is that the work proposed for the first time a device for automatic control of the extruder loading system based on a microcontroller with the possibility of programming the work algorithm. The results of the work can be used to create new systems for controlling the operation of equipment for processing polymer materials and creating new designs.*

*Key words: extruder, polymer granules, hopper, loading, microcontroller, optical sensors, screw feeder.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Екструзійні лінії призначені для випуску довгомірних виробів. Принцип роботи обладнання точно такий, як у звичайних екструдерів для штучних виробів, проте конструкція має деякі відмінності. Комплекс обладнання включає в себе екструдер з пристроєм для завантаження полімерної сировини, формуючу головку і пристрій для охолодження виробів.

Особливістю їх експлуатації є те, що технологічний процес відбувається практично безперервно протягом робочої зміни, що вимагає постійного поповнення робочих бункерів екструдерів полімерною сировиною, або прагнути якомога збільшувати об'єм завантаження цих бункерів.

### Аналіз досліджень та публікацій

Екструзія – метод формування в екструдері виробів або напівфабрикатів необмеженої довжини продавланною розплатою полімеру через формуючу головку з каналами необхідного профілю. Для цього використовують шнекові або черв'якові екструдери [1–3].

Сипкі матеріали мають особливості статичного, який має певний вплив на процес завантаження

екструдера [2, 3]. В наведених роботах розглянуті закономірності гравітаційного розвантаження бункерів.

Механічні живильники та дозатори, тобто такі, в яких для переміщення матеріалу використовується зусилля робочого органу, набули в промисловості найбільшого поширення як для регулювання витрат, так і як пристрої дозування [4–11].

### Формулювання цілей статті

**Метою роботи** є розробка системи керування пристроями для періодичного дозування гранульованих полімерних матеріалів і завантаження їх в робочі бункери обмеженої ємності, які можуть бути використані в екструдерах.

### Виклад основного матеріалу

На початку дослідження, була поставлена задача – розробити комбіновану схему системи завантаження екструдера на основі шнекового живильника.

Головні причини, що спонукають до необхідності удосконалення системи завантаження екструдера полягають в наступному:

- процес екструзії є практично безперервним (протягом робочого часу обладнання);
- ємність бункера екструдера обмежена по причині виникнення високого тиску в насипному шарі полімерного сипкого матеріалу, що призводить до утворення склепінь, затримок витoku гранул і до пульсацій в роботі екструдера;
- як правило, виникає необхідність періодично обслуговувати кілька екструдерів, які працюють в одному цеху, що потребує від оператора підвищеної уваги.

З метою удосконалення системи завантаження екструдера запропоновано використовувати один бункер великої ємності, який оснащений шнековим живильником для періодичного поповнення рівня матеріалу в одному або кількох малих (робочих) бункерів екструдера (групи машин). Для можливості автоматичної роботи системи завантаження пропонується оснащення робочих бункерів датчиками рівня насипного полімерного матеріалу.

На рис. 1 представлено комбіновану схему удосконаленої системи завантаження екструдера.

Система завантаження складається з екструдера 1, робочого бункера екструдера 2, шнекового живильника 3 з електроприводом 4, великого бункера 5.

В бункері 2 встановлені датчики – нижнього рівня матеріалу D3 і верхнього рівня – D2. В великому бункері встановлено тільки датчик нижнього рівня сипкого матеріалу D1 тому, що верхній рівень оператор може контролювати візуально при наповненні його матеріалом з мішків.

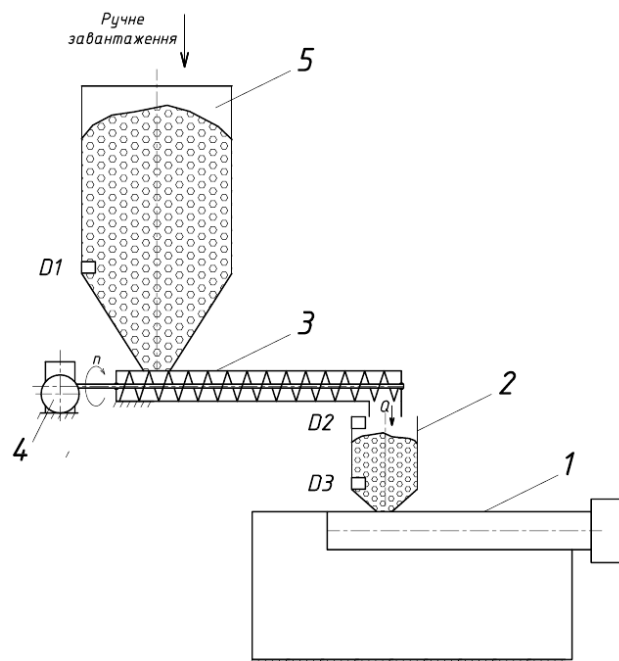


Рис. 1. Схема кінематична системи завантаження екструдера: 1 – екструдер; 2 – бункер екструдера; 3 – шнековий живильник; 4 – електропривод шнекового живильника; 5 – бункер великий; D1 – оптичний датчик нижнього рівня великого бункера; D2 – оптичний датчик верхнього рівня бункера екструдера; D3 – оптичний датчик нижнього рівня бункера екструдера; n – частота обертання шнеку живильника; Q – об'ємна продуктивність живильника

Шнек живильника 3 приводиться до обертання за допомогою приводу 4, що як правило складається з асинхронного електродвигуна і черв'ячного редуктора. Його частота обертання n може бути змінною при умові використання для живлення електродвигуна частотного перетворювача з векторним керуванням від мікроконтролера.

Наступним етапом була розробка структурної схеми системи завантаження екструдера на основі шнекового живильника. Розроблена структурна схема на рис. 2.

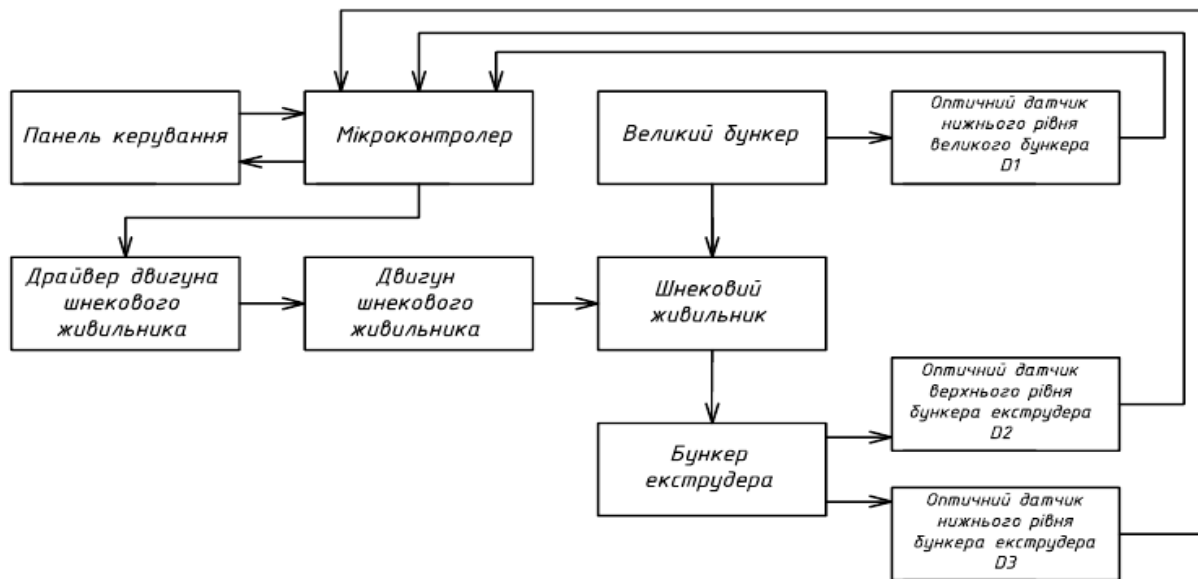


Рис. 2. Схема структурна системи завантаження екструдера

Основою структурної схеми на рис. 2 є мікроконтролер, який може бути індивідуальним (тільки для цієї системи) або частково задіяний той, що керує головними процесами роботи екструзійної лінії:

- керування температурними режимами нагрівання зон матеріального циліндра та екструзійної головки;
- температурними режимами охолодження полімерного профілю на виході з головки екструдера;
- швидкістю обертання черв'яка екструдера;
- швидкістю відведення екструдованого профілю з робочої зони екструзії;
- іншими процесами аварійних, або нештатних ситуацій, що можуть виникати при роботі обладнання.

Згідно схемі на рис. 2, мікроконтролер опитує стан датчиків D1, D2, D3, що контролюють рівні наповнення бункерів. І в залежності від їх стану подає команди на увімкнення або вимкнення електродвигуна шнекового живильника.

З панелі керування здійснюється увімкнення/вимкнення системи завантаження, а також може задаватись швидкість обертання шнеку живильника залежно від використовуваного матеріалу і продуктивності процесу екструзії.

Для створення програми, що керує роботою мікроконтролера системи завантаження екструдера було розроблено алгоритм її роботи, який представлено на рис. 3.

Згідно розробленому алгоритму система завантаження екструдера працює наступним чином.

Вмикається живлення всіх блоків і агрегатів екструдерної лінії. Мікроконтролер, згідно програми опитує стан всіх датчиків, що встановлені в бункерах екструдера.

Якщо стан датчика великого бункера  $D1=0$ , то це свідчить про наявність в ньому матеріалу, якщо ні ( $D1=1$ ), то мікроконтролер дає команду на увімкнення звукового або світлового сигналу про необхідність його наповнення.

В процесі роботи мікроконтролером постійно оцінюється стан датчика наповнення робочого бункера D3. Якщо  $D3=1$ , то рівень матеріалу в бункері недостатній то подається команда на увімкнення двигуна шнекового живильника і відбувається наповнення робочого бункера екструдера матеріалом.

Процес наповнення робочого бункера триває до тих пір доки стан другого датчика (верхнього рівня) не становитиме  $D2=0$ . Тоді подається команда на вимкнення електродвигуна шнекового живильника.

Після зупинення подачі матеріалу живильником в робочий бункер продовжується процес контролю стану датчиків D1, D3.

Процес нормальної роботи екструдера продовжується до тих пір доки не відбудеться зміна стану одного з датчиків.

Були розроблені оптичні датчики системи завантаження екструдера на основі шнекового живильника. Ці датчики мають переваги:

- висока роздільна здатність і точність при роботі з будь-якими матеріалами (матовими, блискучими, світлими і темними поверхнями);
- висока надійність вимірювань навіть при сильній контрастності;
- портативність габаритних розмірів датчиків.

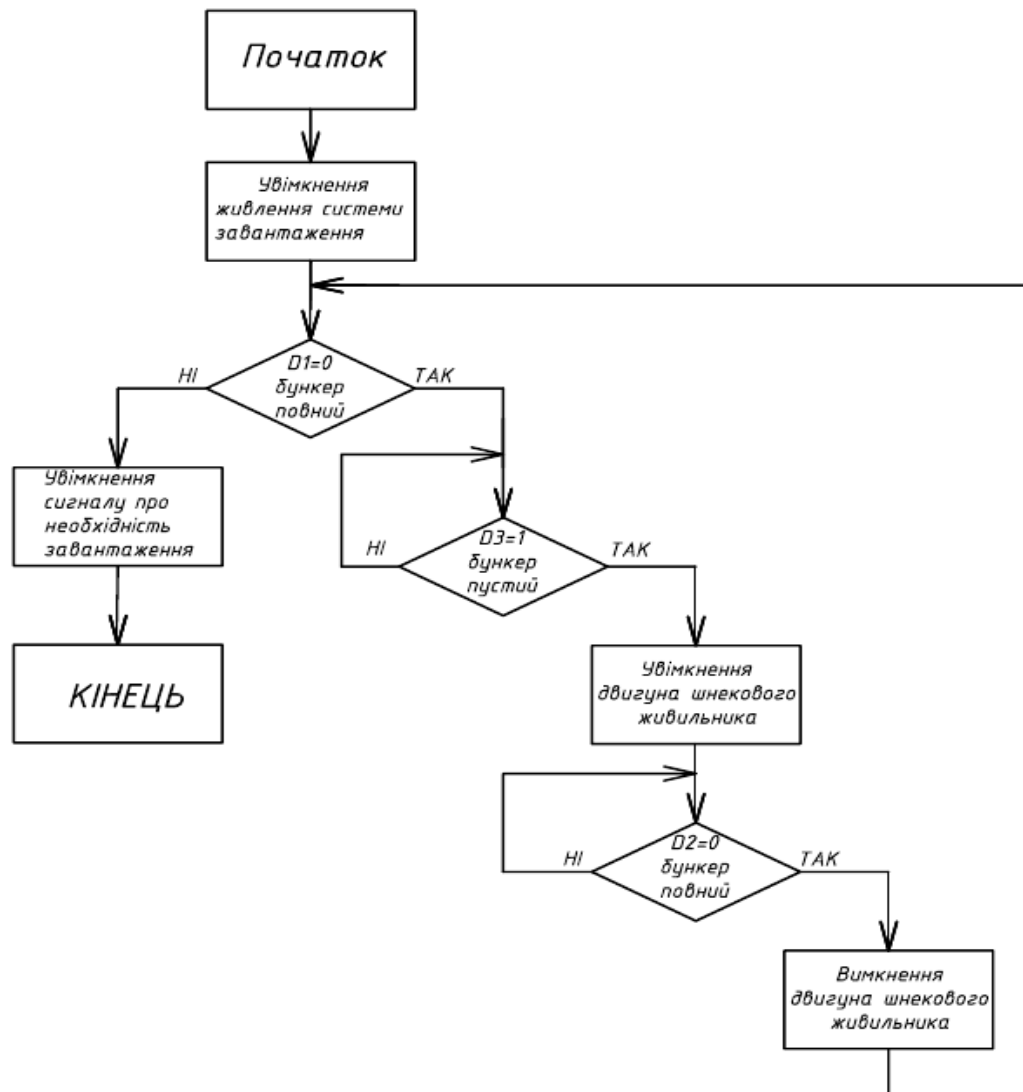


Рис. 3. Алгоритм роботи системи завантаження екструдера

Необхідність розробки конструкції чутливого елемента оптичного датчика, що встановлюється в бункері екструдера обумовлена наступними особливостями його роботи:

- світловий потік оптичної пари повинен перериватись тільки тоді, коли рівень гранульованого полімеру досягне певного значення;
- оптична пара датчика повинна бути захищена від випадкових переривань світлового потоку падаючими гранулами матеріалу, що подається в бункер шнековим живильником.

Запропоновано конструкцію чутливого елемента оптичного датчика, що представлена на рис. 4.

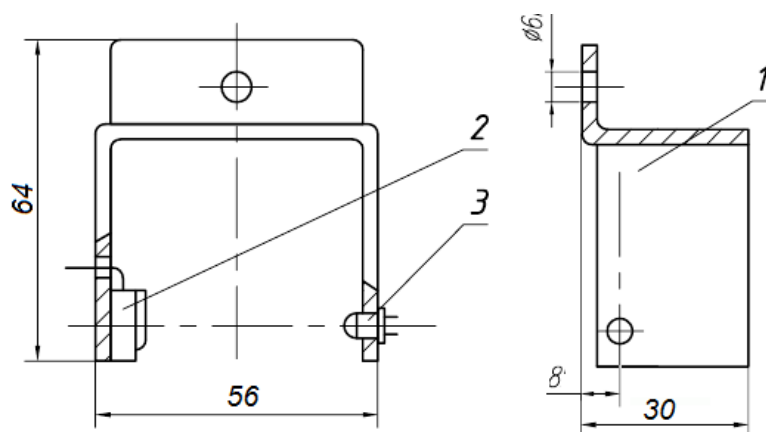


Рис. 4. Складальний кресленник чутливого елемента оптичного датчика для контролю рівня полімерних гранул в бункері екструдера: 1 – кронштейн; 2 – інфрачервоний фотоелемент; 3 – інфрачервоний світлодіод

Кронштейн 1 (рис. 4) виготовлений з алюмінієвого або сталюого листа товщиною 3 мм.

Конструкція датчика передбачає закріплення інфрачервоного фотоелементу 2 і інфрачервоного світлодіоду 3 у відповідних позиціях на кронштейні 1 за допомогою клею, наприклад епоксидної смоли.

Чутливі елементи кріпляться на внутрішній бічній поверхні бункерів за допомогою гвинтів М6.

Завдяки такій конструкції чутливого елемента гранули матеріалу потрапляють в чутливий оптичний проміжок тільки при наповненні і спустошенні бункера.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. З метою удосконалення системи завантаження екструдера розроблено структурну схему системи завантаження екструдера і алгоритм роботи розробленої системи, який може бути основою для розробки програмного забезпечення мікроконтролера.

2. Розроблено конструкцію і запропоновано електричну схему оптичних датчиків системи завантаження екструдера на основі шнекового живильника.

### Література

1. <http://uk.plasticextrusion.net/product/pvc-pipe-extrusion-machine>
2. Коваленко І.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв : підручник / І.В. Коваленко, В.В. Малиновський. – Київ : Інрес : Воля, 2005.
3. Коваленко І.В. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв : навч. посіб. / І.В. Коваленко, В.В. Малиновський. – Київ : Норіта-плюс, 2007. – 104 с.
4. Гвинтовий живильник–дозатор : Заявка на винахід № UA 53988 А Україна, МПК В65G 33/24, В65G 33/26 / Д.Л. Радик, В.В. Васильків – Опубл. 17.02.2003
5. Гвинтовий транспортер для дозованого транспортування сипких матеріалів : Заявка на патент № UA 27245 С2 Україна, МПК В65G 33/14 / Валлнер Фелікс (АТ), Кепплінгер Леопольд Вернер (АТ), Бьом Христиан (АТ). – Опубл. 15.08.2003.
6. Андрейко С.В. Особливості конструкції гвинтового живильника з гвинтом з еластичними пластинами / С.В. Андрейко, І.О. Казак // Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки : зб. наук. праць за матеріалами XI Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 4-5 червня 2020 р.). – К. : НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2020. – С. 50-51.
7. <https://polymers.com.ua/>
8. <https://dalgakiran.ua/uk/statti/ekstruzijni-liniyi-dlya-virobnitstva-vsih-vidiv-polimernih-trub/>
9. Рубанка М. М. Відходи легкої промисловості, способи переробки та області подальшого використання / М. М. Рубанка, В. П. Місяць // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 4 (88). – С. 34-39.
10. Рубанка М. М. Способи переробки і області подальшого використання відходів матеріалів швейної промисловості / М. М. Рубанка // Легка промисловість. – 2017. – № 2. – С. 48-55.
11. Misiats O. Determination of bulk density of mixtures of fractions of crushed polymeric materials / O. Misiats, V. Misiats, M. Rubanka, A. Polishchuk, M. Skyba // Actual problems of modern science : monograph / edited by S. Matiukh, M. Skyba, J. Musial, O. Polishchuk. – Bydgoszcz, Poland : Bydgoszcz University of Science and Technology, 2021. – P. 462-466.

### References

1. <http://uk.plasticextrusion.net/product/pvc-pipe-extrusion-machine>
2. Kovalenko I.V. Osnovni protsesy, mashyny ta aparaty khimichnykh vyrobnytstv : pidruchnyk / I.V. Kovalenko, V.V. Malynovskyi. – Kyiv : Inres : Volia, 2005.
3. Kovalenko I.V. Rozrakhunki osnovnykh protsesiv, mashyn ta aparativ khimichnykh vyrobnytstv : navch. posib. / I.V. Kovalenko, V.V. Malynovskyi. – Kyiv : Norita-plus, 2007. – 104 c.
4. Hvyntovyi zhyvylnyk–dozator : Zaiavka na vynakhid № UA 53988 A Ukraina, MPK B65G 33/24, B65G 33/26 / D.L. Radyk, V.V. Vasylykiv – Opubl. 17.02.2003
5. Hvyntovyi transporter dlia dozovanoho transportuvannya sypanykh materialiv : Zaiavka na patent № UA 27245 C2 Ukraina, MPK B65G 33/00, B65G 33/14 / Vallnier Feliks (AT), Kepplinher Leopold Verner (AT), Bom Khrystyan (AT). – Opubl. 15.08.2003.
6. Andreiko S.V. Osoblyvosti konstruktsii hvyntovoho zhyvylnyka z hvyntom z elastychnymy plastynamy / S.V. Andreiko, I.O. Kazak // Efektyvni protsesy ta obladnannya khimichnykh vyrobnytstv ta pakuvalnoi tekhniki : zb. nauk. prats za materialamy XI Vseukr. nauk.-prakt. konf. (Kyiv, 4-5 chervnia 2020 r.). – K. : NTUU «KPI imeni Ihoria Sikorskoho», 2020. – S. 50-51.
7. <https://polymers.com.ua/>
8. <https://dalgakiran.ua/uk/statti/ekstruzijni-liniyi-dlya-virobnitstva-vsih-vidiv-polimernih-trub/>
9. Rubanka M. M. Vidkhody lehkoï promyslovosti, sposoby pererobky ta oblasti podalshoho vykorystannia / M. M. Rubanka, V. P. Misiats // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2015. – № 4 (88). – С. 34-39.
10. Rubanka M. M. Sposoby pererobky i oblasti podalshoho vykorystannia vidkhodiv materialiv shveinoï promyslovosti / M. M. Rubanka // Lehka promyslovist. – 2017. – № 2. – С. 48-55.
11. Misiats O. Determination of bulk density of mixtures of fractions of crushed polymeric materials / O. Misiats, V. Misiats, M. Rubanka, A. Polishchuk, M. Skyba // Actual problems of modern science : monograph / edited by S. Matiukh, M. Skyba, J. Musial, O. Polishchuk. – Bydgoszcz, Poland : Bydgoszcz University of Science and Technology, 2021. – P. 462-466.