

Самойчук Кирило Олегович, канд. техн. наук, доц., кафедра обладнання переробних і харчових виробництв, Таврійський державний агротехнологічний університет. Адреса: просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312. E-mail: Samanya_kir@mail.ru.

Самойчук Кирилл Олегович, канд. техн. наук, доц., кафедра обладнання перерабатывающих и пищевых производств, Таврический государственный агротехнологический университет. Адрес: просп. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь, Украина, 72312. E-mail: Samanya_kir@mail.ru.

Samoichuk Kirill, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department of Processing and Food Production Equipment, Tavria State Agrotechnological University. Address: B. Khmelnytskoho Av. 18, Melitopol, Ukraine, 72312. E-mail: Samanya_kir@mail.ru.

Левченко Любомир Васильович, асп., кафедра обладнання переробних і харчових виробництв, Таврійський державний агротехнологічний університет. Адреса: просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Україна, 72312. E-mail: lybomirische@mail.ru.

Левченко Любомир Васильевич, асп., кафедра обладнання перерабатывающих и пищевых производств, Таврический государственный агротехнологический университет. Адрес: просп. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь, Украина, 72312. E-mail: lybomirische@mail.ru.

Levchenko Lubomir, postgraduate student, Department of Processing and Food Production Equipment, Tavria State Agrotechnological University. Address: B. Khmelnytskoho Av. 18, Melitopol, Ukraine, 72312. E-mail: lybomirische@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 678.057.3:663.031

РОЗРОБКА РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛОБМІННОГО ПРИБОРУ ДЛЯ ЕКСТРУДЕРА З ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

В.О. Потапов, Д.В. Білий

Розроблено рекуперативний кожухозміювковий теплообмінний пристрій для модернізації одношнекового екструдера з переробки харчової сировини. Досліджено процес теплообміну за використання тепла відхідних

© Потапов В.О., Білий Д.В., 2016

газів із робочої камери екструдера для підігріву сировини в бункерній сушарці. Розроблено методику з удосконалення технологічної лінії пристрою-прототипу. Визначено конструктивні та економічні витрати на виробництво й експлуатацію теплообмінного пристрою екструдера. На підставі результатів проведено порівняльні розрахунки річного енергозбереження.

Ключові слова: теплообмінник, екструдер, екструзія.

РАЗРАБОТКА РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭКСТРУДЕРА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ

В.А. Потапов, Д.В. Белый

Разработано рекуперативное кожухомеевиковое теплообменное устройство для модернизации одношнекового экструдера по переработке пищевого сырья. Исследован процесс теплообмена при использовании тепла отходящих газов из рабочей камеры экструдера для подогрева сырья в бункерной сушилке. Разработана методика по усовершенствованию технологической линии устройства-прототипа. Определены конструктивные и экономические затраты на производство и эксплуатацию теплообменного устройства экструдера. На основании результатов проведены сравнительные расчеты годового энергосбережения.

Ключевые слова: теплообменник, экструдер, экструзия.

DESIGN OF RECUPERATIVE HEAT EXCHANGE DEVICE FOR EXTRUDER FOR PROCESSING OF FOOD RAW MATERIALS

V. Potapov, D. Bilyi

Results of research and development of recuperative heat exchanger for upgrading of single-screw extruder, for processing food materials are presented. The process of heat exchange using heat of exhaust gases from the working chamber of the extruder for heating material in the bunker dryer are worked out. As a result, research has been developed continuously operating single-phase countercurrent heat exchanger, which is a chamber with insulation jacket in a cylinder, inside which is coil. Determined the average temperature of the heating of the coolant in the annular gap is $T_{1sr} = 118^{\circ}\text{C}$. The temperature of water heated at the outlet of heat exchange tube is $T_2'' = 110^{\circ}\text{C}$. Determined the optimum temperature drying and heating the raw material is $90\text{--}110^{\circ}\text{C}$. Methodology of improve technological line of device-prototype was introduced into production. During development design of heat exchange device, thermal and structural layout calculations were conducted. The needed dimensions for modeling of heat transfer surfaces, the height of their location in the body of heat exchanger were obtained from the heat balance equation, previously has been calculated using ratios criterion for single-phase

recuperative heat exchanger. Based on the these data were made economic and hydrodynamic calculations. Estimates shows that hydraulic losses in the countercurrent flow stream along the coils are smaller than the traditional using direct flow around the tube bundle which is transversely oriented. As result, heat power and main overall parameters of the heat exchanger were found. Structural and economic costs of production and operation of heat exchanger for the extruder has been estimated. Technical and economic indicators and the annual energy saving were identified for using the upgraded extruder with high energy-saving for processing food materials. Comparative calculations of the annual energy savings are presented.

Keywords: heat exchanger, extruder, research and development.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Енергоефективність та економічність є пріоритетними напрямками під час модернізації та розвитку техніки і технології, а також дотримання вимог щодо охорони довкілля. При цьому ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів залишає бажати кращого: значна частина енергії, що має корисний потенціал, викидається в довкілля як теплота димових газів, стоків, теплота охолодження технологічних потоків. Це не тільки економічні втрати, але і величезний негативний вплив на довкілля. Тому актуальність проблеми підвищення ефективності нафтохімічних і харчових виробництв не викликає сумнівів [1].

Сучасні харчові екструдери застосовуються більш ніж у двох десятках виробничих напрямках технологічного розвитку екструзійних виробництв. Найбільш поширеними стали технології виробництва харчових продуктів; напівфабрикатів для м'ясної, молочної, кондитерської промисловості; кормів для КРС і більш складних кормів для домашніх тварин. Також у технічному напрямі для виробництва клейових сумішей використовують реагент, що застосовується в нафто- і газовидобутку, та суміш на основі крохмалю.

Значної популярності набули такі продукти, як кукурудзяна паличка, подушечки і трубочки з начинкою, хрусткі хлібці, фігурні сухі сніданки, пластівці з кукурудзи та інших злаків. Ці продукти можуть випускатися як дієтичними (без додавання цукру, солі, барвників), так і глазуrowаними цукровим сиропом, карамеллю або шоколадом.

У харчовій промисловості метод екструзії застосовується набагато ширше. У процесі під дією значних швидкостей зсуву, високих швидкостей і тиску механічна енергія переходить в теплову, що приводить до різних за глибиною змін у якісних показниках перероблюваної сировини, наприклад денатурації білка, клейстеризації та желатинизації крохмалю, а також до інших біохімічних змін [2; 3].

Переваги створення екструдерів із теплообмінним пристроєм полягають у зменшенні енерговитрат, металоємності установки, збільшенні продуктивності та якості готового продукту. Ця технологія найкраще вирішує проблему використання відпрацьованих теплових газів та інтенсифікації процесів розплаву термопластичних виробів під час переходу від етапу подачі сировини до етапу його екструзії. У зв'язку з цим на ТОВ «Спіропласт» міста Харкова розроблений рекуперативний однофазний теплообмінник із площею теплообміну 2,5 м², потужністю 928 Вт. Отриманий теплообмінник виконаний як змійовик, обвитий навколо матеріального циліндра в корпусі теплоізоляційного кожуха екструдера. Тому вдосконалення вузлів та агрегатів екструдера, що дозволяє підвищити продуктивність установки і за рахунок цього знизити енергоємність екструдювання виробів, є важливою і актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прикладом такої роботи служать одношнекові екструдера з переробки сировини з розміщеним усередині корпусу матеріального циліндра змійовиком для підведення і відведення теплоти, а також екструдера з теплоізоляційним кожухом, сполученим із завантажувальним бункером і вентилятором, з метою раціонального використання тепла, що виділяється від матеріального циліндра для підсушування та підігріву сировини [4; 5]. Останнім часом у Харківському державному університеті харчування та торгівлі на базі виробничого підприємства ТОВ «Спіропласт» був удосконалений одношнековий екструдер. Також розроблено рекуперативний теплообмінний пристрій – однофазний змійовиковий повітропідігрівник. Встановлено, що модернізація екструдера теплообмінним пристроєм підвищує енергоефективність установки, покращує якість і механічні властивості готового продукту, інтенсифікує процес теплообміну. Розроблено технологію акумуляції та передачі тепла до бункерної сушарки на основі розігрітих і відхідних газів, які були використані для підігріву та сушіння сировини. Проведено дослідження з конструювання і впровадження змієвидного теплообмінника для подальшого використання у виробництві.

Мета статті – виклад основних результатів роботи з розробки і впровадження рекуперативного кожухозмійовикового теплообмінного пристрою для модернізації одношнекового екструдера з переробки харчової сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Екструдер – машина для розм'якшення (пластифікації) матеріалів і надання їм форми шляхом продавлювання через профілюючий інструмент (екструзійну головку), перетин якого відповідає конфігурації виробу.

В екструдерах отримують головним чином вироби з термопластичних матеріалів (пластичних мас), широко використовують у комбікормовій і харчовій промисловості, які призначені для екструзійної обробки зерна пшениці, ячменю, кукурудзи, гороху, жита, бобів і сої. Крім того, екструдери застосовують для одержання гранул, підготовки композицій для каландрування, формування різноманітних виробів тощо.

Об'єктом дослідження була розробка рекуперативного кожухозмійовикового теплообмінного пристрою (повітропідігрівника). Змійовик виготовлений із труби інструментальної сталі У-8 товщиною 4 мм, отриманої в ТОВ «Спіропласт» за технологією вигину (ГОСТ 8732-78) на гарячедеформовані безшовні сталеві труби загального призначення.

В основу методу з удосконалення одношнекового екструдера для переробки харчових матеріалів із підвищеними енергозбережними характеристиками покладено впровадження рекуперативного теплообмінного пристрою шляхом модернізації установки на базі пристрою-прототипу. Ця конструкція забезпечує підвищення енергоефективності, а саме інтенсифікації теплообмінних процесів, можливість максимального відбору, збереження та раціонального використання теплової енергії, оптимальну конструкцію для зручного використання і обслуговування, поліпшення якості переробки сировини.

Оскільки методом дослідження виступає харчовий екструдер, найбільш простим обладнанням для екструзії є одношнековий (одночерв'ячний) екструдер без зони дегазації. Такі екструдери широко застосовуються для виробництва харчових виробів, полімерних плівок, листів, труб, профілів як одна із складових частин ліній-грануляторів [6].

На рис. 1 наведено схему одношнекового екструдера.

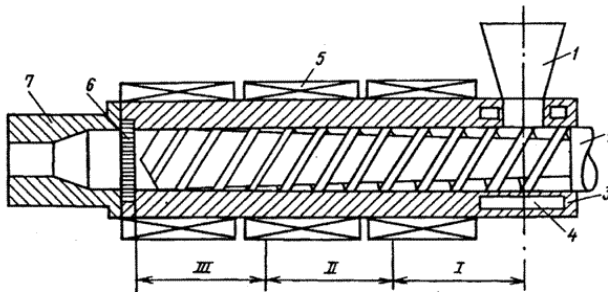


Рис. 1. Схема одношнекового екструдера

На схемі можна виділити основні елементи конструкції: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – циліндр; 4 – порожнина для циркуляції води; 5 – нагрівач; 6 – сітка з сітками; 7 – формуюча головка.

Технологічний процес екструзії складається з послідовного переміщення матеріалу обертовим шнеком у його зонах: харчування (I), пластифікації (II), дозування (III), а потім просування розплаву в каналах формуючої головки.

Вихідна сировина для екструзії, що подається в бункер, може бути у вигляді порошку, гранул, стрічок. Рівномірне дозування матеріалу з бункера забезпечує високу якість екструдата.

Сипучість матеріалу залежить здебільшого від вологості: чим більша вологість, тим менше сипучість. Тому матеріали повинні бути спочатку підсушені. Для збільшення продуктивності машини гранули можна попередньо підігріти [7].

Підвищена вологість може змінити властивості матеріалів, здатних її вбирати з довкілля. Матеріал, який вбрав вологу негативно впливає на кінцевий продукт. На поверхні виробу з'являються сріблясті смуги, а його структура може бути з порожнинами і порами. Для сушіння сировини використовують бункер-сушарки, які можуть бути як автономними, так і частинами технологічної лінії [8].

Висушування сировини безпосередньо в зоні завантаження екструдера дозволяє уникнути повторного забруднення матеріалу і просочення його вологою, під час транспортування від сушильної камери до бункера машини.

Здебільшого завантажувальний бункер – це автоматизований апарат – бункерна сушарка.

У процесі сушіння гарячим повітрям із постійною температурою підігрітого повітря нагнітається в бункер-сушарку для сушіння гранульованих матеріалів. Виділена волога видаляється з гарячим повітрям, таким чином досягається максимальний ефект сушіння.

На рис. 2 подано схему бункерної сушарки.

Установка складається з воздуховідвода 1, вентилятора 2, шафи керування 3, трубки для гарячого повітря 4, захисного екрана 5, екрана з отворами 6, сушильного бункера 7.

Повітря, що нагнітається вентилятором через трубопровід з нагрівальним елементом, нагрівається до заданої температури, проходить конічну сітку-екран, розташовану на підставці бункера, за допомогою якої повітря рівномірно розподіляється масою сировини, що дозволяє уникнути застійних зон.

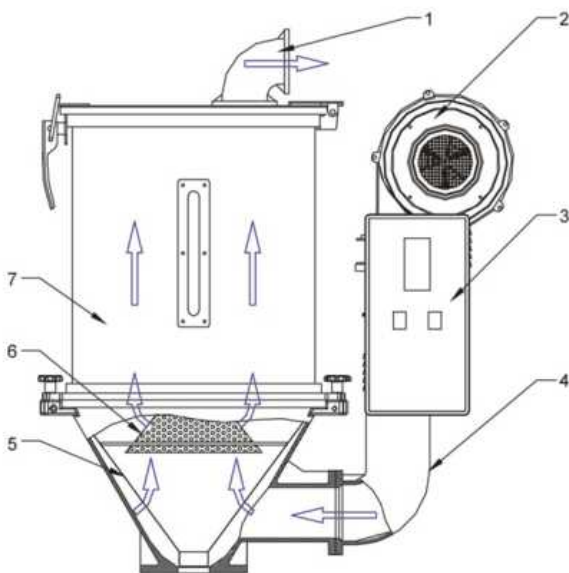


Рис. 2. Схема бункерної сушарки

За рахунок такого розподілу забезпечується рівномірність сушіння матеріалів, яке здійснюється знизу вгору: нижні шари через завантажувальний отвір надходять у зону харчування і подачі шнека, а сировина безперервно подається зверху.

Повітря нагріває і сушить сировину. Гаряче повітря викидається в атмосферу. Для економії електроенергії бункер-сушарки опціонально комплектують системою рециркуляції повітря [9; 10].

Екструзія сировини проводиться на екструдерах із кількома зонами обігріву і незалежним регулюванням температур. Температура в екструдері поступово підвищується від входу в машину до виходу з неї. В екструдер завантажуються холодна сировина, щоб уникнути утворення склепін у бункері. Зазвичай екструзія проводиться за таких температурах: у завантажувальній частині нижче ніж 80°C, на вході в циліндр 110°C, на виході з циліндра 155°C і в мундштуці 160–170°C. За екструзії тонких плівок і ниток температура головки повинна бути 220°C, а мундштука 240°C [11].

Бункерна сушарка (табл. 1) працює за допомогою потоку гарячого повітря за температури до +160°C. Обладнання оснащується аналоговим управлінням із 24-годинним таймером. Сушарки монтуються в діапазоні від 12 до 1000 кг [8].

Таблиця 1

Технічна характеристика бункерної сушарки

Модель	Ємність бункера (кг)	Потужність нагріву (кВт)	Потужність вентилятора (Вт)	Зовнішні габарити (Д×Ш×В)	Вага (кг)
SHD-200	200	12	400	1230×770×1660	150

Таким чином, поставлена задача вирішується завдяки тому, що у відомому екструдері для виготовлення харчових виробів (рис. 3), який складається з таких деталей: матеріального циліндра 1 з електронагрівачами 5, закритим ззовні теплоізоляційним кожухом 6, бункера 7, оснащеного вентилятором 9, системою контролю і регулювання 10 температури повітря – відповідно до розробки в корпусі матеріального циліндра під теплоізоляційним кожухом розміщується теплообмінний пристрій 3, виконаний у вигляді змійовика для відбору теплоти, який кріпиться ззовні до корпуса циліндра і вбудовується в трубопровід, що з'єднується із завантажувальним бункером.

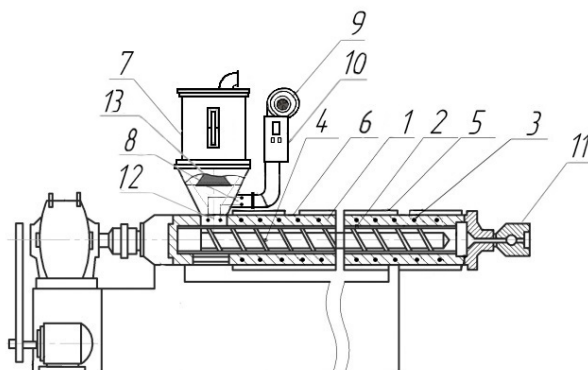


Рис. 3. Екструдер із теплообмінним пристроєм

Екструдер працює таким чином. Сировина у вигляді гранул подається в завантажувальний бункер 7 і через отвір 12 надходить у робочу камеру 2 екструдера. Шнек 4 забирає непластифікований матеріал від завантажувального отвору 12, пластифікує його і рівномірно подає у вигляді гомогенного розплаву до формуючої головки 11. Просуваючись уздовж каналу шнека 4, сировина нагрівається до заданої температури за рахунок розташованих на корпусі циліндра електронагрівачів 5, і теплоти, що виділяється внаслідок в'язкого тертя в зонах плавлення і дозування. Із метою відбору і передачі теплоти в корпусі матеріального циліндра 1 під теплоізоляційним кожухом 6 розміщується теплообмінний пристрій 3 у вигляді змійовика, який через трубопровід 8 з'єднується із завантажувальним бункером 7. Під час підігріву вмикається вентилятор 9 і через трубопровід 8 змійовиком убудованим у корпус матеріального циліндра, нагнітає повітря. За допомогою теплообмінного пристрою 3 підігріте повітря за температури 80–110°C з матеріального циліндра передається в завантажувальний бункер. Сировина в сушильному бункері нагрівається до заданої температури, яку вимірюють системи контролю і регулювання 10, проходить конічну сітку-екран 13, розташовану на підставці бункера, завдяки якій повітря рівномірно розподіляється всією масою сировини. Гаряче повітря нагріває і сушить сировину, а відпрацьоване викидається в атмосферу.

Досить широке застосування в техніці знаходять теплообмінники із зовнішніми змійовиками, застосування яких дозволяє проводити процес за високого тиску (до 6 МПа). До стінок апаратів (зазвичай реакторів) ззовні приварюють змійовики, виготовлені з напівциліндрів або кутової сталі.

До переваг апарата з привареними змійовиками слід віднести можливість розподілу системи труб змійовика на кілька секцій, що живляться незалежно один від одного. Включенням і відключенням окремих секцій стає можливим регулювати обігрів або охолодження. Крім того, матеріал змійовиків, що приварюються може бути відмінним (більш дешевим) від матеріалу корпусу апарата [12].

У результаті досліджень був розроблений безперервно діючий протиточний однофазний теплообмінник (рис. 4) – камера з теплоізоляційного кожуха у вигляді циліндра, усередині якої розміщений змійовик. Змієподібною трубою, прикріпленою до стінки теплоізоляційного кожуха, перекачується холодний теплоносіє. Кільцевим зазором у міжтрубному просторі примусово циркулює гарячий теплоносіє. Завдяки конвекційному теплообміну за допомогою розділової стінки зі спеціальною нагрівальною поверхнею відбувається процес теплопередачі і підігріву холодного теплоносія.

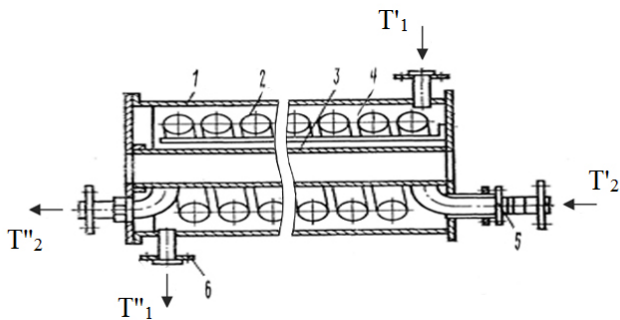


Рис. 4. Конструктивна схема теплообмінника

Рекуперативний кожухозмійовиковий повітряпідігрівник складається з теплоізоляційного кожуха 1, змійовика 2, матеріального циліндра 3, кільцевого міжтрубного простору 4, входних і вихідних патрубків 5, фланцевих з'єднань 6.

Установлено, що природа гарячого і холодного теплоносіїв – чистий газ. Схема їх відносного руху – протитечія. Визначена середня температура гріючого теплоносія в кільцевому міжтрубному просторі $T_{1cp} = 118^{\circ}\text{C}$. Температура теплоносія, що нагрівається на виході з теплообмінної трубки $T_2'' = 110^{\circ}\text{C}$. Оптимальна температура сушіння і підігріву гранул становить $90\text{--}110^{\circ}\text{C}$.

У процесі розробки теплообмінного пристрою були проведені тепловий конструктивний і компоновальний розрахунки. У результаті були визначені потужність і основні габаритні параметри (табл. 2) теплообмінника.

Таблиця 2

Технічна характеристика теплообмінника

Основні параметри	
Площа теплообміну, м^2	2,44
Діаметр труб змійовика, мм	50
Довжина труби, м	14,39
Діаметр витка, м	0,3
Крок витків, мм	0,26
Число витків	15
Висота змійовика, м	3,64
Висота обичайки, м	4
Діаметр обичайки, мм	350
Діаметр патрубків, мм	0,05

Необхідні для моделювання розміри поверхонь теплообміну, параметри висоти їх розташування у корпусі теплообмінного пристрою, були отримані з рівняння теплового балансу, за попередніх розрахунків із використанням критеріальних співвідношень для теплообмінника з тепловою потужністю 0,93 кВт. Обмежений простір під час проектування теплообмінного апарата, усередині корпуса полімерного екструдера, призвів до необхідності на етапі відпрацювання технології конструювання, обмежити кількість змійовиків проміжного теплообмінника одним, зберігши його геометричні розміри, близькі до необхідних для теплообмінника з тепловою потужністю 0,93 кВт.

Турбулентний плин у міжтрубному просторі змієвидної поверхні формується як спіральний протиточний уздовж осей труб. Оцінки показують, що гідравлічні втрати за протиточної течії потоку вздовж змійовиків менші, ніж у разі поперечного обтікання прямих пучків, нормально орієнтованих щодо потоку труб, що розглядається традиційно. Тепловіддача окремих областей течій у трактах між змійовиком і кожухом до теплоносія внутрішнього контуру виявляється різною, що пояснюється гідродинамікою течії, її додатковою турбулізацією і вибраними розмірами зазорів між трубами змійовика і теплоізоляційного кожуха [13].

На основі отриманих даних були зроблені економічний і гідродинамічний розрахунки.

Для наочності результати розрахунків зведено в табл. 3.

Таблиця 3

Техніко-економічні показники рекуперативного теплообмінного пристрою

Показник	Одиниця вимірювання
Потужність теплообмінного пристрою Q, Вт	928,3
Коефіцієнт теплопередачі K, Вт/(м ² ·К)	21,8
Площа поверхні теплообміну F, м ²	2,44
Маса змійовика M, кг	71
Енергетичні витрати на транспортування теплоносіїв N ₁ + N ₂ , кВт	0,54
Матеріальні витрати 0,3 · Ц _{змс} , грн/рік	703
Витрати на споживання електроенергії (N ₁ + N ₂) · Ц _{кВт} · τ, грн/рік	2020
Наведені витрати Н _{змс} , грн/рік	2723

Оскільки потужність стандартного тепловентилятора з електронагрівальними елементами, якими комплектується пристрій-прототип бункерної сушарки полімерного екструдера, становить 12,4 кВт, в результаті порівняння й оцінювання отриманих значень за чинними тарифами на електроенергію, модернізація екструдера дозволяє рекомендувати цю розробку для практичного застосування в харчовій промисловості і є актуальною.

Результати порівняльних розрахунків річного енергозбереження відображено в табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків річного енергозбереження

Показник	Нинішня ситуація	Покращена ситуація
Потужність обладнання, кВт	12,4	0,54
Коефіцієнт середнього навантаження	0,3	0,3
Тривалість роботи, год/рік	2200	2200
Річне енергоспоживання, кВт/рік	8184	356

Таким чином, обсяг зекономленої за рік енергії становить 7828 кВт. Сумарне споживання електроенергії на 95,6% менше ніж аналогічна величина, яка була зафіксована електролічильником підприємства.

Висновки. Розроблено та впроваджено у виробництво рекуперативний кожухозмійовиковий теплообмінний пристрій. Визначено техніко-економічні показники і обсяг річного енергозбереження за умови роботи модернізованого екструдера для переробки харчової сировини з підвищеними енергозберігаючими характеристиками.

Список джерел інформації / Reference

1. Плотников В. В. Анализ энергетической эффективности технологической схемы полимеризации этилена / В. В. Плотников, Ю. С. Сидорова, Л. В. Плотникова // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2012. – № 3. – 67 с.

Plotnykov, V., Sydorova, Yu., Plotnykova, L. (2012), «An analysis of the energy efficiency of the process for ethylene polymerization scheme» [«Analyze enerhetycheskoy efektyvnosty tekhnolohycheskoy skhemy polymeryzatsyy etylenyа»], *Bulletin of Kazan Technological University*, No. 3, 67 p.

2. Экструзия (технологический процесс) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/«Extrusion \(workflow\)»](https://ru.wikipedia.org/wiki/«Extrusion_(workflow)») [«Ekstruziya (tehnologicheskyy protsess)»], available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/«Answers to the questions of the magazine «Food and Profit»»](https://ru.wikipedia.org/wiki/«Answers_to_the_questions_of_the_magazine_«Food_and_Profit»») [«Otvety na voprosy zhurnala «Produkty i pribyl»], available at: <http://veciy.ru/76035/>.
3. Ответы на вопросы журнала «Продукты и прибыль» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://veciy.ru/76035/>
«Answers to the questions of the magazine «Food and Profit»» [«Otvety na voprosy zhurnala «Produkty i pribyl»], available at: <http://veciy.ru/76035/>.
4. А. с. 939274 СССР, В 29 F 3/08. Экструдер для переработки полимерных материалов / М. Л. Язловицкий, В. Н. Бондаренко, Н. К. Жук, В. Л. Кочеров, А. В. Чернышев. – Заявл. 07.01.81 ; опубл. 30.06.82.
Yazlovitskyu, M., Bondarenko, V., Zhuk, N., Kocherov, V., Chernyshev, A. (1982), Certificate of authorship USSR, В 29 F 3/08 «The extruder for the processing of polymeric materials» [Ekstruder dlya pererabotki polimernyh materialov], № 939274; stated 07.01.81; posted. 30.06.82.
5. А. с. 460190 СССР, В 29 F 3/08. Червячный экструдер для переработки полимерных материалов / Н. Е. Скрыпник, В. С. Цырень, А. Ф. Ноженко. – Заявл. 25.12.72 ; опубл. 15.02.75.
Skrupnik, N., Cyren, V., Nozhnenko, A. (1975), Certificate of authorship USSR, В 29 F 3/08 «Worm extruder for the processing of polymeric materials» [Chervyachnyj ekstruder dlya pererabotki polimernyh materialov], № 460190; stated 25.12.72; posted. 15.02.75.
6. Интмакс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.elcer.com.ua/polymers/equipment/extruder/>
«Intmaks» [«Intmaks»], available at: <http://www.elcer.com.ua/polymers/equipment/extruder/>
7. Полимерные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.polymerbranch.com/termoplast/view/5.html>.
«Polymeric materials» [«Polimernye materially»], available at: <http://www.polymerbranch.com/termoplast/view/5.html>
8. Shini Europe Украина [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.shinieurope.com.ua/shop/shd-t-standartnaya-bunker-sushilka/>.
«Shini Europe Ukraine» [«Shini Europe Ukraina»], available at: <http://www.shinieurope.com.ua/shop/shd-t-standartnaya-bunker-sushilka/>
9. Джемини-Промпласт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gemini-promplast.ru/ishop/24>.
«Gemini Promplast» [«Dzhemyuny-Promplast»], available at: <http://gemini-promplast.ru/ishop/24>
10. Авангард Пласт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://shinirussia.ru/catalog/online/bunker-sushilka/bunker-sushilka-shd>.
«Avangard Plast» [«Avanhard Plast»], available at: <http://shinirussia.ru/catalog/online/bunker-sushilka/bunker-sushilka-shd>
11. Пик И. Ш. Прессовочные, литьевые и подолочные пластические массы : справочное пособие / И. Ш. Пик. – Ленинград : Химия, 1964. – 39 с.

Pik, I. (1964), *Pressing, injection molding and ornamental plastics: handbook* [Pressovochnyye, lit'evyye i podelochnyye plasticheskie massy: spravochnoe posobie], Chemistry, Leningrad, 39 p.

12. Виноградов С. Н. Выбор и расчет теплообменников / С. Н. Виноградов, К. В. Таранцев, О. С. Виноградов. – Пенза : Пензенский гос. ун.-т, 2001. – 34 с.

Vinogradov, S., Tarancev, K., Vinogradov, O. (2001), *Selection and calculation of heat exchangers* [Vybor i raschet teploobmennikov], Penza State University, Penza, 34 p.

13. Солонин В. И. Моделирование теплообмена в змеевиковом теплообменнике применительно к реакторной установке «УНИТЕРМ» / В. И. Солонин, А. А. Сатин // Наука и образование : электрон. журн. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 10. – 409 с.

Solonin, V., Satin, A. (2014), «Modelling of heat transfer in the heat exchanger coil in relation to the reactor facility Uniterm» [«Modelirovanie teploobmena v zmeevikovom teploobmennike primenitel'no k reaktornoj ustanovke Uniterm»], *Science and education e-zine*, MSTU NE Bauman, No. 10, 409 p.

Потанов Володимир Олексійович, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри холодильної та торговельної техніки і прикладної механіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Потанов Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой холодильной и торговой техники и прикладной механики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Potapov Vladimir, doctor of technical sciences, professor, Head of the Department of Trade and Refrigeration Equipment and Applied Mechanics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Білий Дмитро Володимирович, студ., кафедра холодильної та торговельної техніки і прикладної механіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: 0631217875; e-mail: jimmykraun@ukr.net.

Белый Дмитрий Владимирович, студ., кафедра холодильной и торговой техники и прикладной механики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: 0631217875; e-mail: jimmykraun@ukr.net.

Bilyi Dmytro, a student, Department of Trade and Refrigeration Equipment and Applied Mechanics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: 0631217875; e-mail: jimmykraun@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*