

Comprehensive assessment of the process of granulation was carried out based on the calculation of coefficients yenta-granulation and modified loss function as showing deviation dispersion composition of granules from the set. To test the provisions of the mathematical model of the process was carried out experimental studies on the introduction of recycling, weight and particulate composition is determined by the proposed method.

Experiments were carried out for nitrogen-humic fertilizers, while dynamics change equivalent diameter shows his monotonous increase and stabilize at 2.33 mm since 2.66 hours of experience.

The dynamics of individual fractions shows a gradual transition from smaller to larger fractions, except for using recycling when the granules were introduced from the outside, in accordance led to growth in the number of fines. Dynamic confirms the layered structure of the granules.

The use of external recycling allowed stabilizing total surface layer at 14 square meters.

Layer temperature was maintained at 91 degrees and contributed to the growth of equivalent diameter; further temperature change was done to increase the intensity of grinding large granules, ie implementing internal recycling mechanism.

Calculation of loss function shown increase effective process time up to 2 h. by introducing external recycling, for values of the coefficient of granule formation above 90 %.

Thus, our experimental studies confirmed the provision of physical and mathematical model, and to increase the efficiency of using external recycling, and the value of which was determined using the author's method.

**Keywords:** multi-layered humic-mineral hard composites, function of new centers of granulation, compensative function, dispersion composition of product.

#### References

1. Kornijenko Ja. M. Matematychnе modeljuvannja bezrecyklovogho procesu ghranuljaciji u psevdodzidzhe-nomu shari [Mathematical modeling bezretsyklovoho granulation process in a fluidized bed] / Ja. M. Kornijenko // Naukovi visti NTUU «KPI» – 2000. – # 2. – S. 38–41.
2. Pat. 4465 Ukraine, MKP S 05 G 1/00. Sposib vygotovlennja ghranuljovanykh orghanominalnykh dobryv [A method for producing granular Organomineral fertilizers] / Ja. M. Zaghray, Ja. M. Kornijenko. – Appl. 21.05.93 ; publ. 27.12.94, Bul. # 6–1.
3. Mathematical modeling of continuous formation of multilayer humic-mineral solid composites / Y. Kornienko, R. Sachok, V. Rayda, O. Tsepkalo // Chemistry & chemical technology. – 2009. – V. 3. – № 4. – P. 335–338.

---

УДК 678.027.3:678.029.98

МІКУЛЬОНОК І. О., д.т.н., проф.; СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л., к.т.н., доц.;  
СОКОЛЕНКО В. В., магістрант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОХОЛОДЖЕННЯ НАКЛАДЕНОЇ НА ЖИЛИ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ ПОЛІМЕРНОЇ АБО ГУМОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

Наведено визначення кабельних виробів (кабелю, проводу, шнура) та класифікацію методів їх охолодження після накладення на їхню жилу ізоляційного шару з полімерних матеріалів або гумових сумішей. Показано, що обмежною стадією виготовлення кабельних виробів часто є процес їхнього охолодження від температури формування полімерної або гумової ізоляції до температури в зоні приймального пристрою технологічної лінії. Проаналізовано основні методи охолодження, їх конструктивне оформлення, а також шляхи інтенсифікації охолодження.

**Ключові слова:** кабельний виріб, ізоляція, екструзія, охолодження, інтенсифікація.

© Мікульонко І. О., Сокольський О. Л., Соколенко В. В., 2014.

**Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень.** У багатьох галузях промисловості широко застосовують кабельні виробы [1–3].

Відповідно до ГОСТ 15845–80 кабельний виріб – це електричний виріб, призначений для передавання по ньому електричної енергії, електричних сигналів інформації або для виготовлення обмоток гнучких елек-

тричних пристроїв [3]. При цьому залежно від конструкції кабельні вироби поділяють на кабелі, проводи й шнури [1].

Значну частку кабелів і проводів становлять електричні кабельні вироби, призначені для передавання по них передусім електричної енергії. При цьому одним з елементів електричних кабелів, проводів і шнурів є насамперед полімерна або гумова ізоляція однієї чи декількох струмопровідних жил, яка накладається на них методом екструзії за допомогою кабельних головок [4].

У виробництві кабельної продукції з ізоляцією на основі високомолекулярних сполук потрібну продуктивність технологічних ліній зазвичай досягають високопродуктивним методом екструзії [5, 6].

У процесі виробництва кабельних виробів металевий дріт (жилу або осердя майбутнього виробу) розмотують із віддавального пристрою, випрямляють і підігрівають до певної температури з метою видалення з його поверхні вологи й мастила, а також збільшення адгезії ізоляції до металу дроту. Після цього дріт надходить в екструзійну кабельну головку, де здійснюється його покриття розплавом полімеру або гумової суміші (далі – полімеру). Після кабельної головки дріт із нанесеною на його поверхню одно- чи багатошаровою полімерною ізоляцією (або після пристрою для вулканізації в разі гумової ізоляції) потрапляє в охолоджувальний пристрій, де відбувається зниження температури одержаного виробу до необхідного значення, яке забезпечує проведення подальших технологічних операцій аж до утворення бухт, бобин тощо в прийнятному пристрої.

Отже, під час оформлення електричної ізоляції з полімерів і гумових сумішей температура ізоляційного покриття струмопровідних жил змінюється від температури формування полімеру або вулканізації гумової суміші до температури на «холодному» кінці технологічної лінії для накладення пластмасової ізоляції на проводи та кабелі або технологічної лінії для накладання і вулканізації гумової ізоляції на кабелі та проводи (остання температура передусім має унеможливити злипання між собою витків виготовленого кабелю або проводу між собою).

Процес охолодження кабелів або проводів має неабияке значення для одержання якісної продукції. Охолоджувальний пристрій зазвичай виконують у вигляді декількох послідовно розташованих ванн, заповнених водою, температура якої поступово зменшується від однієї ванни до іншої, що запобігає різкому охолодженню зовнішніх шарів поверхні ізоляції, яке може спричинити утворення в них технологічних напружень. Поступове охолодження виробу особливо необхідне під час виготовлення проводів і кабелів з товстою ізоляцією (як одно-, так і багатошаровою). У цьому разі інтенсивне охолодження зовнішніх і повільне охолодження внутрішніх шарів ізоляції може призвести не лише до деформування, а й навіть до механічного пошкодження зовнішніх шарів (утворення в зовнішніх шарах тріщин та інших дефектів), а також до втрати суцільності на межі «ізоляція – жила» та (або) на межі сусідніх шарів багатошарової ізоляції. Вид теплоносія (зазвичай вода й повітря), його температура, а також послідовність і довжина ділянок охолоджувального пристрою визначаються залежно від конструкції та швидкості руху охолоджувального виробу, а також матеріалу й розмірів елементів виробу (жили та ізоляції).

З урахуванням значних швидкостей виробу (до 25...40 м/с і більше [2]), а також низької теплопровідності полімерних матеріалів довжина охолоджувального пристрою може досягати десятків метрів, що суттєво збільшує вартість як технологічної лінії, так і одержуваного виробу.

При цьому, якщо питання математичного моделювання процесу охолодження кабельних виробів або конструктивного оформлення процесу формування ізоляції розглянуто достатньо докладно [7–9], то конструкціям охолоджувальних пристроїв уваги приділялося недостатньо.

**Метою** статті є аналіз способів і пристроїв охолодження шару полімерної або гумової ізоляції кабельного виробу.

**Виклад основного матеріалу.** Перш за все визначимося з термінами. Кабель – це один чи декілька заізольованих жил (провідників), розміщених зазвичай у металеву або неметалеву оболонку, поверх якої залежно від умов прокладання та експлуатації може бути відповідне захисне покриття, іноді броньоване [1, 2].

Кабель електричний – один чи декілька ізольованих провідників (струмопровідних жил), розміщених у захисну (зазвичай герметичну) оболонку. Кабелі будь-якого типу мають спільні конструктивні елементи: струмопровідні жили, ізоляцію та оболонку [10].

Провід – це одна неізольована або одна чи декілька заізольованих жил, які залежно від умов прокладання та експлуатації можуть мати неметалеву оболонку, обмотку та (або) обплетення волокнистими матеріалами або дротом [1, 2].

Провід електричний – це неізольований або ізольований провідник електричного струму, який складається з одного (одножильний провід) або декількох (багатожильний провід) дротів [10].

Шнур – це дві або більше заізованих гнучких або особливо гнучких жил поперечним перерізом до  $1,5 \text{ мм}^2$ , скручених або укладених паралельно, поверх яких залежно від умов експлуатації можуть бути розташовані неметалева оболонка й захисне покриття [1].

Струмopовідні жили кабельних виробів можуть бути круглими або фасонними, залежно від перерізу – одно- чи багатодротяними.

На рис. 1 і 2 наведено поперечні перерізи декількох конструкцій кабелів і проводів.

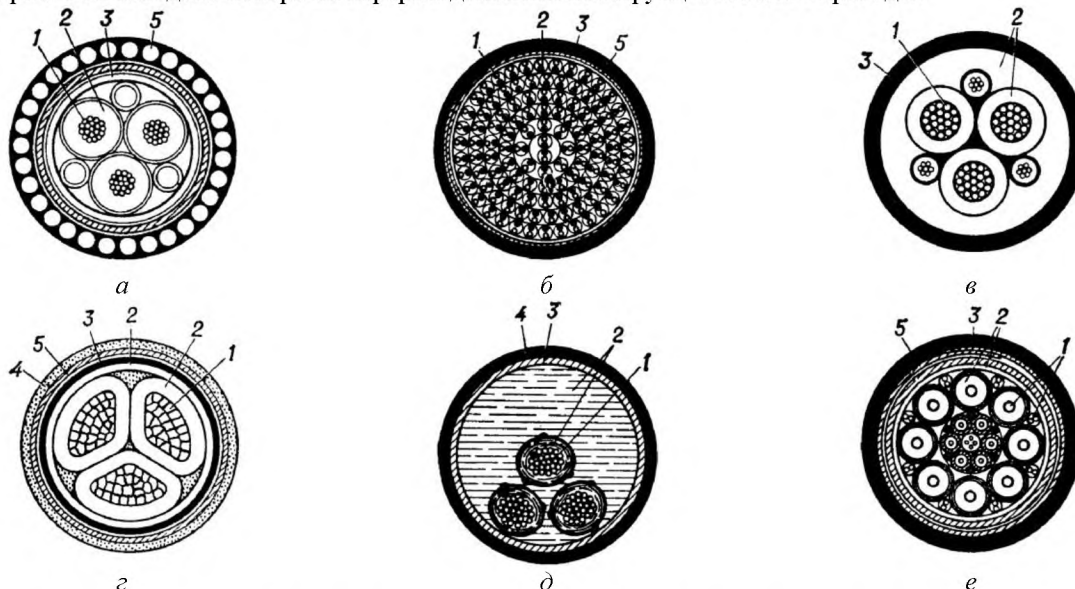


Рис. 1 – Поперечні перерізи кабелів: *a* – газонаповненого під тиском броньованого силового; *б* – телефонного для міських телефонних мереж; *в* – особливо гнучкого (шлангового) високої напруги; *г* – броньованого для силових та освітлювальних установок; *д* – магістрального комбінованого броньованого для міжнародних ліній зв'язку; *е* – силового маслoнаповненого в сталевому трубопроводі (високого тиску); 1 – струмопpовідна жила; 2 – ізоляція; 3 – оболонка; 4 – захисне покриття; 5 – броня, екран

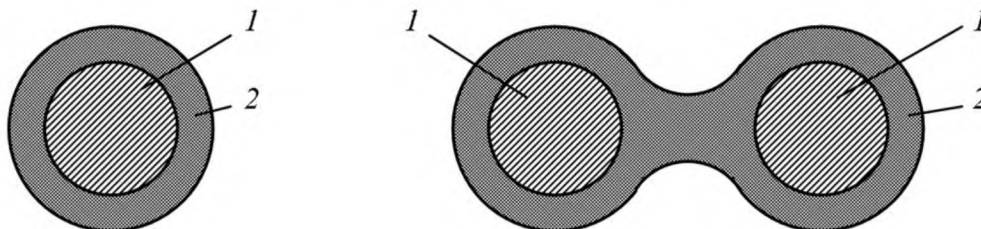


Рис. 2 – Поперечні перерізи одножилнього (*a*) і багатожильного (*б*) проводу або шнура:  
1 – струмопpовідна жила; 2 – ізоляція

Як бачимо, чітке визначення, що відрізняло б кабель від проводу (і, насамперед, електричного кабелю – від електричного проводу), відсутнє.

У подальшому в статті розглядатимемо кабелі й проводи з полімерною або гумовою електричною ізоляцією, що накладаються на струмопpовідну жилу (струмопpовідні жили) методом екструзії. Відповідно під термінами «кабель» і «провід» розумітимемо:

– кабель електричний – один або декілька ізованих пpовідників (струмопpовідних жил), уміщених у захисну (зазвичай герметичну) оболонку;

– провід електричний ізований – ізований пpовідник електричного струму, який складається з одного (одножилльний провід) або декількох (багатожильний провід) дротів.

Основну кількість теплоти від охолоджуваного кабельного виробу відводять у ваннах охолодження завдовжки 2...6 м (при цьому з метою регулювання довжини ділянок охолодження, отже й тривалості охоло-

дження ванни іноді виготовляють розсувними). Також під час охолодження гнучких проводів і шнурів на кінцях ванни влаштовують поворотні ролики, на кожному з яких напрямок руху виробу змінюється на  $180^\circ$ , і таким чином довжина ділянки охолодження істотно збільшується.



Рис. 3 – Класифікація методів охолодження кабельних виробів

Охолодження екструдату у ваннах зазвичай здійснюють двома методами: зануренням екструдату в шар води або розбризкуванням води на його поверхню. При цьому, на відміну від порожнистого екструдату, наприклад, полімерних труб [11], відведення теплоти від кабельного виробу може бути реалізоване лише з боку його зовнішньої поверхні.

Охолодження екструдату зануренням у шар води здійснюють для виробів із зовнішнім еквівалентним діаметром переважно до 50 мм. Збільшення в цьому випадку еквівалентного діаметра виробу із внутрішньою порожниною збільшує виштовхувальне зусилля, яке діє на нього, що припускає застосування примусового занурення екструдату під дією механічних пристроїв, які можуть пошкодити його поверхню. Крім того, охолодження зануренням передбачає значну витрату води. Тому охолодження розбризкуванням води на поверхню екструдату є більш доцільним методом охолодження для кабельних виробів значного діаметра.

Проте в багатьох випадках від охолодження зануренням відмовитися неможливо. Це стосується передусім виробництва кабельної продукції невеликого поперечного перерізу (проводів, шнурів), коли охолодження розбризкуванням стає малоефективним.

У випадку, коли потрібно не «ударне» (різке), а «м'яке» (плавне) охолодження відформованого ізоляційного шару, забезпечують послідовне проходження екструдатом декількох ванн охолодження, зокрема трьох ванн із водою, що має температуру 90, 60 і 20 °С, відповідно [8]. У деяких випадках застосовують не водяне, а повітряне охолодження (як в умовах вільної, так і вимушеної конвекції), наприклад, під час низької швидкості руху екструдату з малою площею поперечного перерізу.

Під час виготовлення кабельних виробів діаметром до 30...50 мм охолодження у ваннах здійснюється за умови вільної конвекції зануренням виробу в шар охолодної води. Однак за такого процесу екструдований виріб захоплює пристінний шар охолодної води, який поступово прогрівається і, рухаючись разом із виробом, сповільнює процес охолодження. Для руйнування пристінного шару й збільшення коефіцієнта тепловіддачі запропоновано застосовувати поперечні перегородки або діафрагми (рис. 3) [12] чи пропускати крізь шар охолодної води бульбашки або струминки повітря (рис. 4) [13, 14]. Останнє рішення доцільно застосовувати в разі частої зміни типорозміру охолоджуваних виробів.

Зазначені поперечні перегородки виконують з еластичного матеріалу, в якому для зменшення ймовірності пошкодження поверхні ізоляції з боку їх отворів можуть бути виконано радіальні надрізи, або виконують у вигляді ірисової діафрагми, що забезпечує просте регулювання діаметра її отвору одночасним поворотом пелюсток, що утворюють зазначений отвір.

На відміну від ванни охолодження відповідно до патента [13] пристрій [14] споряджено додатковими барботерами, розміщеними з боків та/або зверху охолоджуваного екструдованого матеріалу (рис. 5). Цей

пристрій забезпечує повне та ефективне руйнування нагрітого прилежого шару рідкого холодоагенту біля поверхні екструдованого матеріалу, що істотно поліпшує рівномірність охолодження цього матеріалу, а отже стабільність його фізико-механічних властивостей.

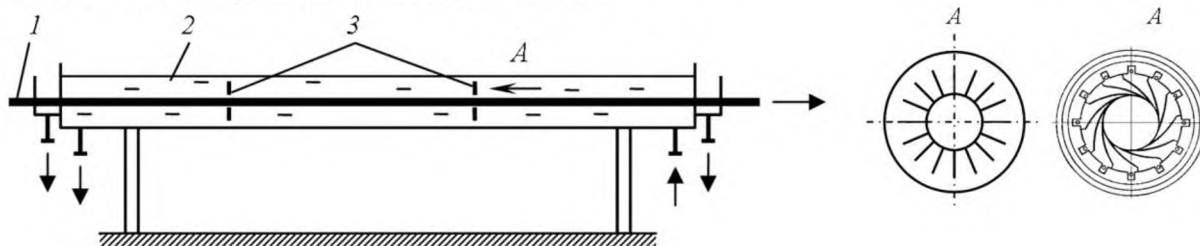


Рис. 3 – Схема руйнування пристінного шару за допомогою перегородок:  
1 – кабельний виріб; 2 – ванна; 3 – поперечні перегородки

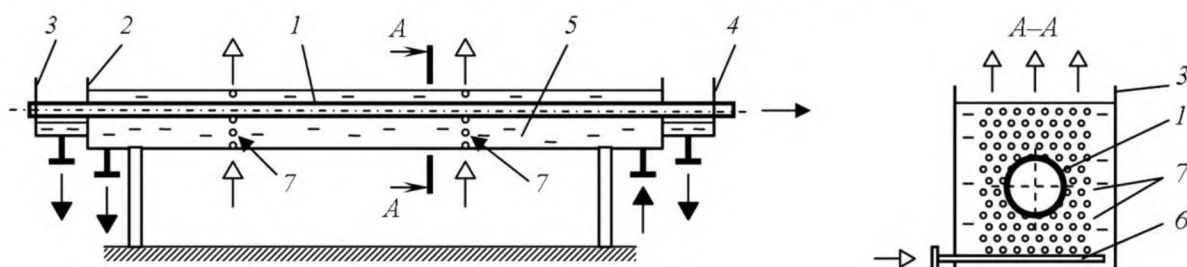


Рис. 4 – Схема руйнування пристінного шару за допомогою струминок повітря:  
1 – кабельний виріб; 2 – ванна; 3 – барботери; 4 – бульбашкова завіса

При цьому кожний із барботерів може бути виконано у вигляді шлангу з отворами в його стінці, закріпленого на поздовжньому елементі з можливістю зміни і фіксації його форми у просторі, що забезпечує можливість вигинання поздовжнього елемента, а отже барботера навкруги екструдованого матеріалу незалежно від форми його поперечного перерізу.

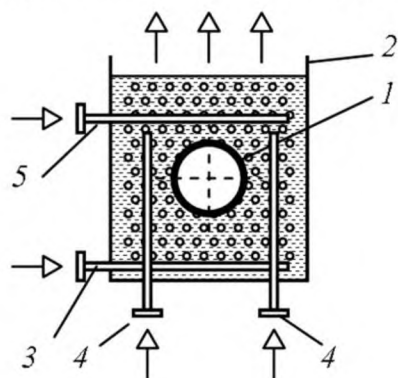


Рис. 5 – Схема удосконаленого руйнування пристінного шару за допомогою струминок повітря:  
1 – кабельний виріб;  
2 – ванна; 3 – барботери;  
4 – бульбашкова завіса

Також для руйнування пристінного ламінарного шару води використовують струмені води [5], зокрема закручуванням потоку [15], а також вібрацію ванни [16]. Проте руйнування нагрітого ламінарного шару охолодної води поблизу поверхні екструдату струменями води потребує підвищеної витрати води та енергії. Використання ж вібраційних ванн негативно впливає на роботу обслуговуючого персоналу й навколишнього обладнання, а також передбачає використання надійних ущільнень на вході екструдату у ванну й на виході з неї.

Під час виготовлення кабельних виробів більшого діаметра застосовують ванни, в яких охолодження здійснюють зрошенням охолодної води на зовнішню поверхню виробу. Однак конструкція зрошувальних ванн не забезпечує ефективного використання холодоагенту під час переходу пристрою на охолодження виробу іншого діаметра. Наприклад, під час зменшення діаметра виробу частина факелів холодоагенту, що виходить з розпилювачів, проходить повз виріб, що спричинює нерациональне використання холодоагенту.

Якщо забезпечити ефективне потрапляння факела холодоагенту, що розпилюється, безпосередньо на поверхню охолоджуваного виробу незалежно від її діаметра, то заощаджується значна кількість

холодоагенту за умови забезпечення високої інтенсивності охолодження. Тому кожний розпилювач 3 доцільно встановлювати з можливістю переміщення в радіальному напрямі горизонтальної ванни 2 (рис. 6) [17].



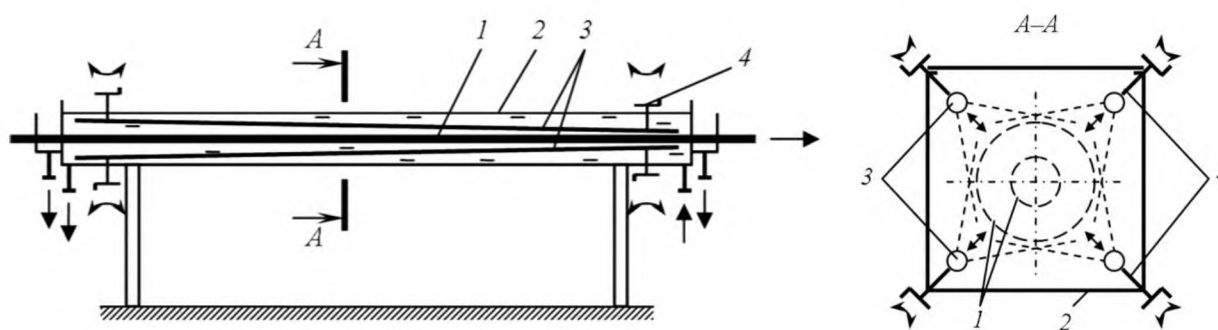


Рис. 6 – Схема охолодної ванни: 1 – кабельний виріб; 2 – ванна; 3 – розпилювачі; 4 – приводи

Під час охолодження виробу максимального діаметра для пристрою певного типорозміру розпилювачі 3 рідкого холодоагенту розміщують на максимальній відстані від поздовжньої осі ванни. При цьому забезпечується потрапляння факелів холодоагенту, що виходять із сопел розпилювачів, на поверхню виробу, а, отже, і ефективне її охолодження.

У разі переходу екструзійної лінії на випуск виробу меншого діаметра, розпилювачі переміщують у радіальному напрямі горизонтальної ванни 2, тобто ближче до її поздовжньої осі, а, отже до поверхні охолоджуваного виробу. При цьому весь холодоагент, що виходить із сопел розпилювачів, потрапляє на поверхню виробу, ефективно його охолоджуючи.

Спорядження кожного розпилювача двома приводами переміщення 4, рознесеними за його довжиною (див. рис. 6), забезпечує можливість їхнього розташування під кутом до виробу 1, що дає змогу можливість регулювати інтенсивність охолодження виробу за його довжиною (наприклад, менш інтенсивне на вході виробу у ванну і більш інтенсивне на виході виробу з неї; для цього розпилювачі розміщують на більшій відстані від виробу на початку ванни та на меншій – в її кінці).

У зрошувальних систем охолодження також є певні недоліки: вода, що стікає поверхнею екструдату, поступово формується у водяну плівку, товщина якої суттєво збільшується в нижній частині екструдату, що призводить до його нерівномірного охолодження, а отже утворення небажаних технологічних напружень у полімерному покритті.

Проведені дослідження довели ефективність комбінованого за довжиною екструдату водно-повітряного охолодження: регулюванням довжини, кількості й послідовності розміщення водяних і повітряних ділянок охолодження можна не лише зменшити витрату охолодної води, але й загальну довжину зони охолодження та технологічні напруження в готовому виробі [8].

Нарешті, ще одним із можливих шляхів приведення у відповідність «зайвої» продуктивності екструдера та обмежної стадії охолодження екструдату невеликої площі поперечного перерізу є застосування багаторівнячових екструзійних головок, коли забезпечувана екструдером витрата розплаву термопласту рівномірно розподіляється за всіма формувальними фільтрами головки, уповільнюючи при цьому швидкість руху декількох потоків екструдату порівняно з єдиним потоком у традиційній технологічній лінії. Таким чином, застосовують головки з декількома формувальними фільтрами для виготовлення простих виробів.

Інтенсивне охолодження виробу водою у ваннах швидко знижує температуру її зовнішньої поверхні, що істотно зменшує інтенсивність подальшого відведення теплоти від виробу, внаслідок чого зростає тривалість охолодження. Якщо ж після певного часу водяного охолодження виріб охолоджувати повітрям, то зовнішні шари стінки виробу почнуть прогріватися завдяки перерозподілу температури між внутрішніми й зовнішніми шарами стінки виробу, адже коефіцієнт тепловіддачі від виробу до повітря порівняно з ділянкою водяного охолодження зменшується на два порядки. Якщо ж виріб далі знову зрошувати водою, то охолодження буде ефективнішим. Таке чергування ділянок повітряного і водяного охолодження істотно підвищує ефективність процесу [18].

**Висновки.** Огляд конструктивних і технологічних заходів інтенсифікації охолодження полімерного або гумового покриття на електропровідну жилу кабельного виробу свідчить, що універсальних засобів не існує. Кожний виріб залежно від конструкції, розміру й матеріалу ізоляційного шару потребує ретельного аналізу умов охолодження та їх впливу на якість одержуваної продукції. Такий аналіз найдоцільніше здійснювати за допомогою числового моделювання процесу перероблення відповідної сировини у вироби, що надає змогу істотно зменшити матеріальні та енергетичні затрати.

Наведені результати допоможуть проектувальникам і виробникам вибирати найефективніші шляхи підвищення продуктивності ліній для накладення пластмасової, накладення й вулканізації гумової ізоляції на проводи й кабелі з урахуванням умов охолодження, структури та властивостей ізоляційного шару (особливо в разі пластмасової ізоляції).

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення раціональних режимів охолодження певної кабельної продукції, що забезпечуватимуть високу продуктивність технологічної лінії, а також відповідну якість кабельної продукції.

#### Список використаної літератури

1. *Электрические кабели, провода и шнуры* : справочник / Н. И. Белоруссов, А. Е. Саакян, А. И. Яковлева ; под ред. Н. И. Белоруссова. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.
2. *Григорьян А. Г.* Производство кабелей и проводов с применением пластмасс и резин / А. Г. Григорьян, Д. Н. Дикерман, И. Б. Пешков. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
3. *ГОСТ 15845–80* Изделия кабельные. Термины и определения [Cable products. Terms and definitions].
4. *Формующий инструмент для производства кабеля экструзионным способом. Кабельные головки* / О. М. Яхно, В. С. Бочковский, А. П. Польшваный, В. С. Кривошеев. – К. : Техніка, 1992. – 37 с.
5. *Ким В. С.* Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – М. : Химия, КолосС, 2005. – 568 с.
6. *Раувендааль К.* Экструзия полимеров / К. Раувендааль ; пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина. – СПб. : Профессия, 2006. – 768 с.
7. *Мікульонок І. О.* Моделирование термообработки погонных композитных материалов / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко, Л. І. Ружинська // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2005. – № 2. – С. 66-71.
8. *Мікульонок І. О.* Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія / І. О. Мікульонок. – К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2009. – 265 с.
9. *Мікульонок І. О.* Моделирование процессов термической обработки непрерывно формуемых изделий / І. О. Мікульонок // Химическая промышленность. – 2012. – Т. 89. – № 3. – С. 118-128.
10. *Полімерні композитні матеріали й вироби з них. Одержання, перероблення та властивості : термінол. слов.* / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. – К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2005. – 179 с.
11. *Вознюк В. Т.* Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб : монографія / В. Т. Вознюк, І. О. Мікульонок. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 144 с.
12. *Пат. 18744 U* Україна, МПК (2006) В29С 35/00. Пристрій для охолодження довгомірних виробів ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
13. *Пат. 69281 U* Україна, МПК (2006.01) В29С 47/88. Спосіб охолодження екструдованого матеріалу ; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.
14. *Пат. 79165 U* Україна, МПК (2006.01) В29С 47/88. Пристрій для охолодження екструдованого матеріалу ; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.
15. *А.с. 409885 СРСР*, МПК В29С 47/88. Устройство для охлаждения экструдированных полимерных изделий ; опубл. бюл. № 1, 1974.
16. *А.с. 446432 СРСР*, МПК В29С 47/88. Способ охлаждения экструдированных изделий ; опубл. бюл. № 38, 1974.
17. *Пат. 53879 U* Україна, МПК (2009) В 29 С 35/00. Пристрій для охолодження полімерних труб ; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
18. *Пат. 66227 U* Україна, МПК (2006.01) В29С 47/88. Спосіб охолодження екструдованої полімерної труби ; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.

Надійшла до редакції 22.11.2014

*Mikulionok I. O., Sokolskyi O. L., Sokolenko V. V.*

#### INTENSIFICATION OF COOLING THE POLYMER OR RUBBER ISOLATION APPLIED TO THE CORES OF CABLE PRODUCTS

*In manufacture of cable production with insulation on the basis of high-molecular substances necessary productivity of technological lines is usually reached by application of a high-efficiency extrusion method.*

*During formation of electric insulation from polymers and rubber mixes the temperature of an insulating cover of current-carrying cores changes from temperature of formation of polymer or vulcanization of a rubber mix to temperature in receiving device of a technological line for imposing of plastic insulation on a seeing-off and a cable or*

*a technological line for imposing and vulcanization of rubber insulation on a cable and a wires (last temperature first of all should make impossible adhesion among themselves coils of the made cable or a wire among themselves).*

*Process of cooling of cables or wires is of great importance for reception of qualitative production. Cooling device usually carry out in the form of the several consistently located baths filled with water which temperature gradually decreases from one bath to another. It prevents fast cooling of external layers of a surface of insulation that can cause formation in them of technological pressure. In this case intensive cooling external and slow cooling of inside layers of insulation can result not only in deformation, and even to mechanical damage of external layers, and also to loss solidity on border «insulation – a core» and (or) on border of the next layers of multilayered insulation. The heat-carrier type, its temperature, and also sequence and length of sites of the cooling device are defined depending on a design and speed of movement of a cooled product, and also a material and the sizes of elements of a product (a core and insulation).*

*Article purpose is the review and the analysis of methods and devices for cooling of a layer of polymeric or rubber insulation of a cable product.*

*It is resulted definitions of cable products (a cable, a wire, a cord) and classification of methods of their cooling after imposing an insulating layer from polymeric materials or rubber mixes on their core. It is shown that a limiting stage of manufacturing of cable products often is process of their cooling from temperature of formation of polymeric or rubber insulation to temperature in a zone of receiving device of a technological line. The analysis of the basic methods of cooling, their constructive realization, and also ways of an intensification of process of cooling is carried out.*

**Keywords:** *cable product, insulation, extrusion, cooling, classification, intensification.*

#### **References**

1. *Elektricheskie kabeli, provoda i shnury [Electric cables, wires and cords] : spravochnik / N. I. Belorussov, A. Ye. Saakian, A. I. Yakovleva; pod red. N. I. Belorussova. – M. : Energoatomizdat, 1988. – 536 s.*
2. *Grigor'yan A. G. Proizvodstvo kabelej i provodov s primeneniem plastmass i resin [Production of cables and wires with application of plastic and rubbers] / A. G. Grigor'yan, D. N. Dikerman, I. B. Peshkov. – M. : Energoatomizdat, 1992. – 304 s.*
3. *GOST 15845–80 Izdeliya kabel'nye. Terminy i opredeleniya.*
4. *Formuiushchij instrument dlja proizvodstva kabelia ekstruzionnym sposobom. Kabel'nye golovki [The forming tool for cable manufacture by extrusion. Cable heads] / O. M. Yahno, V. S. Bochkovskij, A. P. Polyviannyj, V. S. Krivosheev. – K. : Tehnika, 1992. – 37 s.*
5. *Kim V. S. Teoriya i praktika ekstruzii polimerov [The theory and practice of polymers extrusion] / V. S. Kim. – M. : Khimiia, KolosS, 2005. – 568 s.*
6. *Rauvendaal' K. Ekstruziya polimerov [Extrusion of polymers] / K. Rauvendaal ; per. s angl. pod red. A. Ya. Malkina. – SPb. : Professia, 2006. – 768 s.*
7. *Mikulionok I. O. Modeliuvannia termoobrobky pogonnuh kompozytnyh materialiv [Modeling of heat treatment of linear composite materials] / I. O. Mikulionok, L. B. Radchenko, L. I. Ruzhyn's'ka // Naukovi visti NTUU «KPI». – 2005. – # 2. – S. 66-71.*
8. *Mikulionok I. O. Obladnannia i procesy pererobky termoplastychnyh materialiv z vykorystanniam vtorynnoyi syrovyny [Processes and the equipment of processing of thermoplastics with use of secondary raw materials]: monografiya / I. O. Mikulionok. – K. : Politehnika, 2009. – 265 s.*
9. *Mikulionok I. O. Modelirovanie processov termicheskoy obrabotki nepreryvno formuemih izdelij [Modeling of processes of thermal processing of continuously formed products] / I. O. Mikulionok // Khimicheskaya promyshlennost'. – 2012. – T. 89. – # 3. – S. 118-128.*
10. *Polimerni kompozytni materialy j vyrobny z nyh. Oderzhannia, pereroblennia ta vlastyvoli [Polymeric composite materials and products from them. Reception, processing and properties] : terminol. slov. / I. O. Mikulionok, L. B. Radchenko. – K. : Politehnika, 2005. – 179 s*
11. *Vozniuk V. T. Intensyfikatsiya protsesu vygotovlennia ekstrudovanyh polimernyh trub [Intensification of process of manufacturing of extruded polymeric pipes] : monografiya / V. T. Vozniuk, I. O. Mikulionok. – K. : NTUU «KPI», 2012. – 144 s.*
12. *Pat. 18744 U (UA), MPK(2006) B29C 35/00. Prystrij dlja oholodzhennia dovgomirnyh vyrobiv [The device for cooling of linear products] ; opubl. 15.11.2006, Biul. # 11.*
13. *Pat. 69281 U (UA), MPK(2006.01) B29C 47/88. Sposib oholodzhennia ekstrudovanogo materialu [Method of cooling of extruded material] ; opubl. 25.04.2012, Biul. # 8.*



14. Pat. 79165 U (UA), MPK(2006.01) B29C 47/88. Prystrij dlia oholodzhennia ekstrudovanogo materialu [The device for cooling of extruded material] ; opubl. 10.04.2013, Biul. # 7.
15. A.s. 409885 (SU), MPK B29C 47/88. Ustrojstvo dlia ohlazhdeniya ekstrudiruemih polimernih izdelij [The device for cooling of polymeric products] ; opubl. biul. # 1, 1974.
16. A.s. 446432 (SU), MPK B29C 47/88. Sposob ohlazhdeniya ekstrudiruemih izdelij [Method of cooling of extruded products] ; opubl. biul. # 38, 1974.
17. Pat. 53879 U (UA), MPK(2009) B 29 C 35/00. Prystrij dlia oholodzhennia polimernih trub [The device for cooling of polymeric tubes] ; opubl. 25.10.2010, Biul. # 20.
18. Pat. 66227 U (UA), MPK(2006.01) B29C 47/88. Sposib oholodzhennia ekstrudovanoji polimernoji truby [Method of cooling of extruded polymeric tube] ; opubl. 26.12.2011, Biul. # 24.

УДК 621.365.32:66.041.3-65

ПАНОВ Є. М., д.т.н., проф.; ПЕДЧЕНКО А. Ю., асп.  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕЧЕЙ ГРАФІТУВАННЯ КАСТНЕРА У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОДНОЇ ПРОДУКЦІЇ

*Проаналізовано ефективність застосування печей графітування Кастнера й потреби сучасного ринку виробництва графітованих електродів. Показано основні тенденції розвитку нової технології на вітчизняному ринку.*

**Ключові слова:** графітування, електродна продукція, дугова сталеливарна піч, піч прямого нагріву.

© Панов Є. М., Педченко А. Ю., 2014.

**Постановка проблеми.** Графітування вуглецевих матеріалів є складним і багатоступінчастим процесом трьохвимірного впорядкування атомів вуглецю в структуру графіту під дією високих температур. Цей етап використовує до 80 % усієї енергії, що витрачається на виготовлення графітованих виробів, і вирішальним чином визначає якість готового продукту [1]. За цих обставин є доцільним підвищення техніко-економічних показників та впровадження нових технологій графітування.

Світове виробництво графітованих електродів значною мірою залежить від випуску сталі в дугових сталеливарних печах (ДСП). Зростання світового виробництва електросталі є основним драйвером розвитку ринку графітованих електродів. Підвищення потужностей ДСП потребує виготовлення якісних електродів великих діаметрів, які доцільно графітувати лише в печах прямого нагріву (ППН) за методом Кастнера.

**Метою статті** є аналіз доцільності та перспектив застосування печей графітування за методом Кастнера у виготовленні електродної продукції та огляд ринку виробництва графітованих електродів.

**Виклад основного матеріалу.** ППН є електричною піччю опору, де вуглецеві заготовки є елементами конструкції печі та активним електричним опором. Нагрівання електродних заготовок здійснюється завдяки прямому пропусканню крізь них електричного струму. Електроди нагріваються до 3000 °С передусім завдяки виділенню в них джоулевої теплоти [2].

Графітування вуглецевих електродів за методом Ачесона є енергоємним і, відповідно, дорогим процесом, хоч і незамінним у разі використання коксу низької якості з високим вмістом сірки та азоту. Хоча більш економічний метод Кастнера (поздовжня графітизація) розроблено раніше, його не застосовували протягом тривалого часу аж до створення електричних випрямників великого струму. Поздовжньому графітуванню, що стало стандартом у виробництві графітованих електродів, надала можливість розвинутися лише доступність потужних випрямників і голчастого коксу з низьким вмістом сірки та азоту. Завод SGL Group в Італії (Асколі) був першим, що в 1960-х почав виробляти графітовані електроди за методом Кастнера в промислових обсягах [3].

Додавання оксиду заліза як інгібітора, що зменшує розтріскування електродів під час десульфуризації, у подальшому скоротило тривалість графітування до 10 год (рис. 1) [3].

Графітування електродної продукції за методом Кастнера є найбільш перспективним способом отримання якісних графітованих електродів великих розмірів. Вищих техніко-економічних показників для цього методу можна досягти шляхом вдосконалення технології та модернізації печі. Із цією метою, зокрема, покращують контактний опір, застосовуючи кільця з «гнучкого графіту», засипаючи стружку між заготовками тощо.