

**Двойнос Я.Г., канд. техн. наук,
Назарчук В.В., Хотинецький М.І.**
Національний технічний університет України «КПІ», Київ
пр. Перемоги, 37, 03057 Київ, Україна, e-mail: yaroslav44@yandex.ua

Процес формування виробів зі спіненого полістиролу

Досліджено виробу з екструдованого пінополістиролу (XPS), методи їх отримання, властивості, сировину для виготовлення, особливості технологічного процесу, технічні рішення виробництва. Спінюючим агентом переважно є фреон R22, який не виробляється в Україні, має значну вартість та обмеження у використанні через вплив на озоновий шар атмосфери. Наведено результати серії експериментів для заміни фреону R22 на бутан технічний з метою поширення досвіду, який може використовуватися виробниками плит з XPS, будівельниками та екологами. *Бібл. 9, рис. 3, табл. 1.*

Ключові слова: екструдований пінополістирол, фреон, спінюючий агент.

Виробництво плит з екструдованого пінополістиролу (XPS) збільшується з кожним роком через їх теплоізоляційні властивості, доступність, міцність та мале водопоглинення. Підприємства України традиційно використовують як спінюючий агент фреон R22, який не виробляється в Україні тому, що має значну вартість та обмеження у використанні через вплив на озоновий шар атмосфери. Підприємства ЄС після заборони використання хлорвмісних (HCFC) фреонів [1] у виробництві XPS змушені були перейти на дорогі фреони без хлору (HFC) або модернізувати обладнання та використовувати CO₂ чи суміш CO₂ з вуглеводнями [2].

З метою використання безпечного та доступного спінюючого агента у виробництві XPS на підприємствах Києва ПП «АТОЛС» та ТОВ «Тепло України» були проведені технологічні дослідження, результатом яких стала модернізація існуючого обладнання, визначення режимів виробництва плит з нової сировини, отримання дослідних зразків, їх лабораторні випробування [3], внесення змін до технічних умов [4].

Процес виробництва плит зі спіненого полістиролу має кілька стадій: плавлення полістиролу; розчинення у розплаві спінюючого агента під тиском; зниження температури розплава; формування виробу; калібрування, різка, маркування та упаковка плит.

Проведені експерименти дали змогу визначити мінімальний тиск, необхідний для розчинення спінюючого агента у необхідній кількості, МПа: фреони типу HCFC-22 – 35; типу HCFC-142b – 30; типу HFC-134a (вартість на 25 % більша за R-22, не містить хлору, безпечніше для озонового шару) – 35;

CO₂ + C₂H₅OH – 40; скраплений газ [5] (вміст бутану 70 %, пропану 30 %) – 30. Температура розплаву в процесі абсорбції – 230 °С. Встановлено, що CO₂ малорозчинний у розплаві полістиролу, тому у розплаві розчиняється етиловий спирт, а у ньому CO₂. Необхідність вводити кілька спінюючих агентів та забезпечити

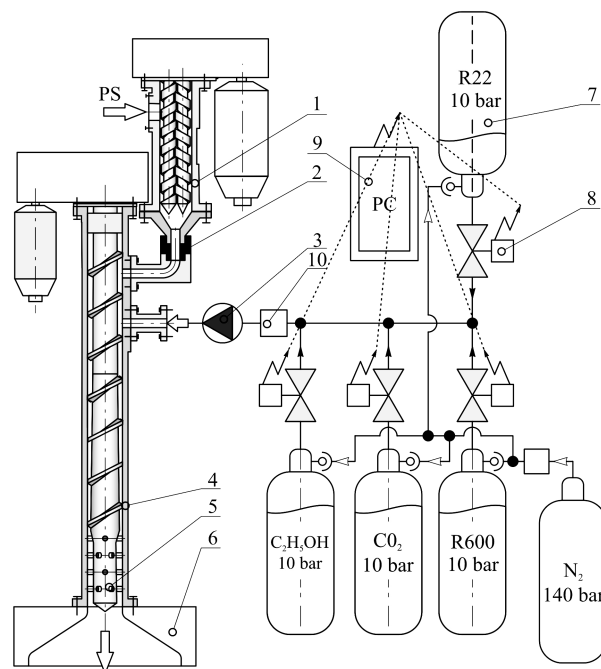


Рис.1. Технологічна схема модернізації лінії виробництва плит з XPS: 1 – екструдер, що плавить; 2 – фільтр розплаву; 3 – плунжерний насос подачі спінюючого агента; 4 – екструдер, що захолює та переміщує; 5 – динамічні та статичні змішувачі елементи для досягнення однорідності температурного поля розплаву; 6 – плоскощільова формуюча головка; 7 – балони зі спінюючими агентами; 8 – електромагнітний клапан; 9 – пристрій керування електромагнітними клапанами; 10 – лічильник газу.

більший тиск змусили підготувати проект модернізації устаткування та виконати його (рис.1).

Перший екструдер (1) двочерв'ячний, має невеликі габарити, забезпечує якісне перемішування, мінімальну термічну та механічну деструкцію полімеру, однорідність розплаву за температурою та складом, високий тиск на виході, стабільну продуктивність незалежно від тиску, що створюється. Новий фільтр розплаву (2) шибберного типу, спеціальний (рис.2), затримує тверді частки розміром > 150 мкм, які при спущенні утворюють великі розриви на поверхні виробів, а також розрахований на значний тиск розплаву (до 60 МПа) та безперервну роботу. Особливість конструкції нового фільтра розплаву полягає у можливості його герметизації за рахунок охолодження розплаву полімера у шпаринах між деталями фільтра, внаслідок чого полімер твердіє у цих шпаринах та ущільнює робочі канали. Для забезпечення такої можливості шиббер виконано круглого перетину (контрольований малий зазор), а розміри корпусу збільшено.

Плунжерний насос з регулюванням продуктивності (3) забезпечує високий тиск спінуючого агента (скрапленний газ), що подається в екструдер (до 60 МПа), та стабільність продуктивності при різних значеннях протитиску. Такий високий тиск необхідний для розчинення спінуючого агента у розплаві полімера або у проміжному носії (CO_2 у $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Другий екструдер (4) рівномірно охолоджує та пе-

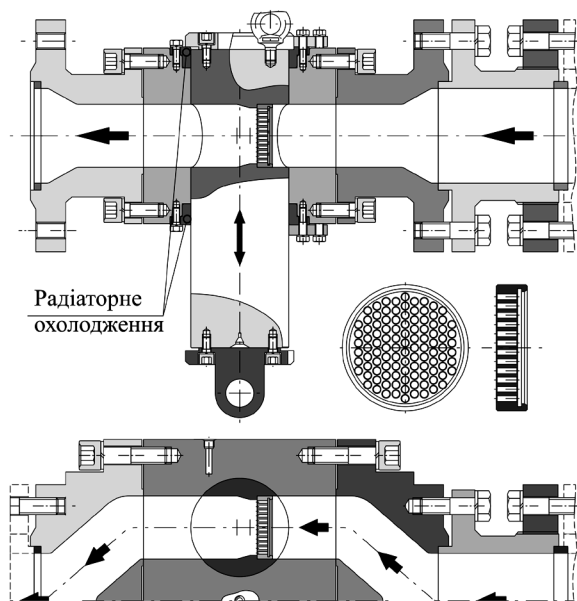


Рис.2. Ескіз конструкції спеціального фільтра розплаву з кільцевими елементами, що охолоджуються та запобігають протіканню фільтра при великих тисках.

ремішує розплав полімера для розчинення спінуючого агента у розплаві, має динамічний та (або) статичний змішувач (5). Пристрій керування електромагнітними клапанами (8) програмується таким чином, що клапани відкриваються по одному під час зниження тиску перед насосом, склад суміші контролюється та корегується за даними з лічильника газу (10).

Локальне охолодження деталей, які герметизують шиббер фільтра відбувається повітряними радіаторами, через що розплав полімеру у зазорі біля цих елементів твердіє і таким чином зберігається герметичність при значних тисках всередині. Ступінь забруднення сітки визначається по різниці тиску на вході до фільтра та після нього. Фільтр обладнаний терморпарами та датчиками тиску, що дає змогу забезпечити температурний режим та вчасно виконати заміну забрудненої сітки.

Конструкція плоскощільової формуючої головки 6 (рис.1, 3) має такі відміни: 1) регулювання зазору відбувається у широкому діапазоні (від 0,3 до 2,0 мм); 2) жорстке температурне регулювання (нагрів та охолодження), оскільки технологічний процес вимагає звуження діапазону температур до ~ 2 °С від заданої; 3) особливу конструкцію із значними кутами звуження каналів на виході з головки для підтримання необхідного тиску розплаву та запобігання його передчасного спінування; 4) ідеальну поліровку стінок каналів через пробковий характер руху розплаву на деяких ділянках (внаслідок охолодження та великої в'язкості); 5) незалежне жорстке (канали з маслом) терморегулювання губок (окремі деталі, які оформлюють формуючий канал головки на виході).

Процес формування виробу характеризується необхідністю забезпечення мінімального тиску, при якому не відбувається десорбція

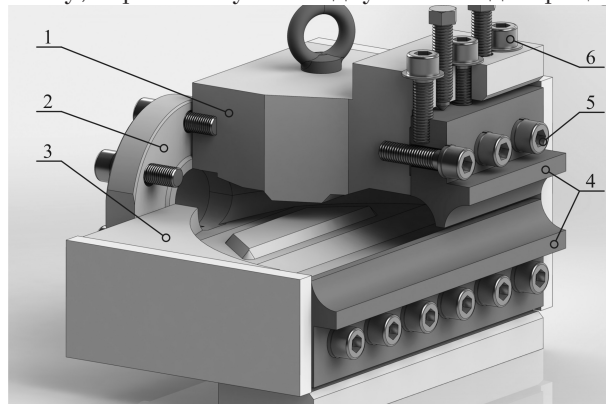


Рис.3. Ескіз плоскощільової головки для формування плит з XPS: 1 – верхня плита; 2 – адаптер; 3 – нижня плита; 4 – губки; 5 – прижимні гвинти; 6 – регулюючі гвинти.

Аналіз залежності споживчої якості плит XPS від їх властивостей (у балах)

Властивості XPS	Собівартість	Теплопровідність	Міцність	Максимальна пружна деформація	Водопоглинання	Займістість
Випукла форма пор (↑) → уявна густина (↓)	↓	↓	↑	↑	↓	–
Доля відкритих пор (↑)	↑	↑	↓	↓	↑	–
Розмір пор (↑)	↓	↑	↓	↓	↑	–
Спінуючий агент:						
R22	5	3	3	3	3	2
R600	1	4	2	5	2	5
CO ₂	3	5	5	1	5	1

розчиненого у полімері спінуючого агенту. Цей мінімальний тиск залежить від концентрації спінуючого агенту та температури.

Після виходу з головки відбувається декомпресія і десорбція розчинених у розплаві спінуючих агентів. Процес десорбції екзотермічний, внаслідок чого розплав твердіє у вигляді піни. Кристалізація полімеру (твердіння) викликана крім охолодження, ще процесом десорбції, а саме: кристалізація полістиролу (значне збільшення в'язкості) з розчиненими спінуючими агентами починається за температури менше 135 °С, у той час як чистий полістирол має температуру плавлення біля 190 °С, що пов'язано із взаємодією більш рухомих молекул спінуючого агенту з молекулами полімеру [6], що ускладнює створення упорядкованої надмолекулярної структури у вигляді кристалів, зменшує в'язкість розплаву, та зменшує температуру твердіння (склування). Таким чином, твердіння піни розплаву полімеру після виходу з головки відбувається не миттєво, а протягом 5–10 с, поки відбувається десорбція, що створює можливість калібрувати вироби.

Після модернізації устаткування були проведені дослідження з виготовлення плит XPS з різним складом спінуючих агентів, а саме: суміші спінуючих агентів, пропан-бутанову суміш, CO₂ + спирт. Тиск, який необхідно підтримувати у формуючому інструменті (головка) для запобігання завчасного спінування, МПа: R22 – 4,5; R600 – 3,0; CO₂ – 9,0. Витрати спінуючого агенту на 1 м³ XPS, кг: R22 – 4,5; R600 – 2,5; CO₂ + спирт – 3,5. Збільшення витрат призводить до появи розірваних стінок ячеек, нерівномірності їх розмірів, деформації плити після калібратора.

Отримані дослідні партії плит XPS з різними спінуючими агентами досліджено у лабораторії [6] та проаналізовано відгуки від споживачів продукції [7]. Встановлено, що використання пропан-бутанової суміші зменшує модуль пружності матеріалу плити, але збільшує еластичність (більше значення пружної дефор-

мації). Випадки займання при виробництві частіше при використанні пропан-бутанової суміші, 5 % концентрату антипірену призводить до легкого займання свіжих розломів/розрізів на плиті, але після вигорання звільненого газу плита згасає, також необхідним є кондиціювання плит перед продажем терміном 48 год.

Таким чином, визначено основні параметри, що впливають на якість плит з XPS (таблиця). Випукла форма пор (ячеек) зберігається за умови, що полімер був достатньо холодним та при спінуванні матиме механічну міцність, яка викликає у порах надлишковий тиск, що залишається навіть при повному охолодженні плити та спінуючого агенту в її порах. Тиск у порах додатково підтримується залишком розчиненого у полімері або проміжному носії спінуючого агенту, який поступово дифундує у пори.

Надзвичайно важливим є система аварійної зупинки лінії у разі перевищення максимального тиску розплаву. Крім можливої поломки шпильок та болтів, існує небезпека утворення потужного струменя розплавленого полістиролу, який може викликати травми, та системи аварійного пожежогасіння.

Собівартість: 1 бал – 100; 5 балів – 140 дол./м³; теплопровідність: 1 бал – 0,035; 5 балів – 0,032 Вт/(мК); міцність (напруження стискання, необхідне для 10 % відносної деформації): 1 бал – 200; 5 балів – 270 кПа; максимальна пружна деформація (та, що не спричиняє руйнування): 1 бал – 1,5; 5 балів – 5 %; водопоглинення (за об'ємом): 1 бал – 1; 5 балів – 2 %.

Висновки

У плитах XPS, що закопують у ґрунт та які мають механічне навантаження, оптимальним є спінуючий агент пропан-бутанова суміш через те, що вони еластичні та найменше поглинають воду.

Для зовнішньої теплоізоляції будівель доречно використовувати спінуючий агент CO₂ з

домішками антипірену (достатньої для самостійного загаснення).

До ізоляції трубопроводів гарячого водопостачання основні вимоги: термічна стійкість та стійкість до стирання (змінна температура викликає повздовжний рух труб); спінюючий агент — суміш фреон R22 або R142 + пропан-бутанова суміш з домішками антипірену.

Для використання CO₂ + спирт необхідне проектування та виготовлення нового формуючого інструменту.

Список літератури

1. Pat. GB 1537421, IPC1-7 (1978) C 08 J 9/12. Styrene Polymer Foam and Preparation Thereof / Dow Chemical Co.
2. Harvey L.D. Net Climatic Impact of Solid Foam Insulation Produced with Halocarbon and Nonhalocarbon Blowing Agents // Building and Environment. — 2007. — Vol. 42. — P. 2860–2879.
3. ТУУ В2.7–25.2–35253400–001:2008. Плити пінополістирольні екструзійні «ТЕПЛОМА». Технічні умови. ТОВ «Тепло України» — <http://www.teploma.com.ua>.
4. Зміни до ТУ У В 2.7–25.2–35253400–001:2008. Плити пінополістирольні екструзійні «ТЕПЛОМА». 2011р. — <http://www.teploma.com.ua>.
5. ДСТУ 4047–2001. «Гази вуглеводневі скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови.» — Введ. 2002–01–01. — <http://normativ.ua/types/tdoc16010.php>.
6. Vo C.V., Paquet A.N. An Evaluation of the Thermal Conductivity of Extruded Polystyrene Foam Blown with HFC-134a or HCFC-142b // J. Cellular Plastics. — 2004. — Vol. 40. — P. 205–228.
7. Двойнос Я.Г., Кочергина Н.И., Назарчук В.В. Устройство подземных инженерных сетей в теплоизолированных полах // Инженерные сети из полимерных материалов. — 2014. — № 3. — С. 30–34.
8. Двойнос Я.Г., Назарчук В.В., Хотинецкий М.И. Формующий инструмент производства спіненого полістиролу // IV Міжнар. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених «Ресурсозберігаючі технології та обладнання»: Зб. тез доп., Київ, 15–16 квіт. 2014 р. — Київ: Допомога УСІ, 2014. — С. 9.
9. Двойнос Я.Г., Назарчук В.В., Хотинецкий М.И. Нові фасонні вироби з спіненого полістиролу // V Міжнар. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених «Ресурсозберігаючі технології та обладнання»: Зб. тез доп., Київ, 20–23 лист. 2013 р. — Київ: Допомога УСІ, 2013. — С. 63.

Надійшла до редакції 07.10.14

**Двойнос Я.Г., канд. техн. наук,
Назарчук В.В., Хотинецкий М.И.,
Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев**
пр. Победы, 37, 03057 Киев, Украина, e-mail: yaroslav44@yandex.ua

Процесс формирования изделий из вспененного полистирола

Исследованы изделия из экструдированного пенополистирола (XPS), методы их получения, свойства, сырье для изготовления, особенности технологического процесса, технические решения производства. Вспенивающим агентом преимущественно является фреон R22, который не производится в Украине, имеет значительную стоимость и ограничения в применении из-за влияния на озоновый слой атмосферы. Приведены результаты серии экспериментов для замены фреона R22 бутаном техническим с целью распространения опыта, который может использоваться производителями плит с XPS, строителями и экологами. *Библ. 9, рис. 3, табл. 1.*

Ключевые слова: экструдированный пенополистирол, фреон, вспенивающий агент.

**Dvoinos Ya.G., Candidate of Technical Sciences,
Nazarchuk V.V., Khotunetsky M.I.**

The National Technical University of Ukraine (KPI), Kiev

37, Pobedy ave, 03057 Kiev, Ukraine, e-mail: yaroslav44@yandex.ua

The Process of Expanded Polystyrene Products Formaion

The products of extruded polystyrene (XPS), methods for their preparation, properties, raw materials for manufacture, especially the process, the production of technical solutions are investigated. The preferably blowing agent is Freon R22 which is not produced in Ukraine, has significant value and limitations in the application because of the impact on the atmosphere ozone layer. The results of an experiments series for Freon R22 replacement by technical butane for the purpose of the experience expansion to XPS plates manufacturers, constructors and ecologists.. *Bibl. 9, Fig. 3, Table 1.*

Key words: extruded polystyrene, freon, blowing agent

References

1. Pat. GB 1537421, IPC1-7 (1978) C 08 J 9/12. Styrene Polymer Foam and Preparation Thereof / Dow Chemical Co.
2. Harvey L.D. Net Climatic Impact of Solid Foam Insulation Produced with Halocarbon and Nonhalocarbon Blowing Agents, *Building and Environmen*, 2007 (42), pp. 2860–2879.
3. TU U V 2.7–25.2–35253400–001:2008. Pliti pinopolistirol'ni ekstruzijni «TEPLOMA». Tehnichni umovi. TOV «Teplo Ukraini». — http: (Ukr.)
4. Zmini do TU U V 2.7–25.2–35253400–001:2008. Pliti pinopolistirol'ni ekstruzijni «TEPLOMA». 2011 r. — <http://www.teploma.com.ua>.
5. DSTU 4047–2001. «Gazy vuglevodnevi skrapleni palyvni dlja komunal'no-pobutovogo spozhyvannja. Tehnichni umovy». Tehnicheskie uslovija. — Vved. 2002–01–01. — <http://www.teploma.com.ua>.
6. Vo S.V., Paquet A.N. An Evaluation of the Thermal Conductivity of Extruded Polystyrene Foam Blown with HFC-134a or HCFC-142b,. *J. Cellular Plastic*, 2004 (40), pp. 205–228.
7. Dvojnjos Ya.G., Kochergina N.I., Nazarchuk V.V. Ustrojstvo podzemnyh inzhenernyh setej v teploizolirovannyh polah, *Inzhenernye seti iz polimernyh materialov*, 2014, (3), pp. 30–34. (Rus.)
8. Dvojnjos Ya.G., Nazarchuk V.V., Hotinec'kij M.I. Formujuchij instrument virobництва spinenogo polistirolu, *IV Mizhnarodna naukoivo-prakychna konferencija studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih «Resursozberigajuchi tehnologii ta obladnannja» : Zbirnyk tez dopovodey*, Kiev, 15–16 kvit. 2014 r. — Kiev : Dopomoga USI, 2014, pp. 9 (Ukr.)
9. Dvojnjos Ya.G., Nazarchuk V.V., Hotinec'kij M.I. Novi fasonni virobi z spinenogo polistirolu, *V Mizhnarodna naukoivo-prakychna konferencija studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih «Resursozberigajuchi tehnologii ta obladnannja» : Zbirnyk tez dopovodey*, Kiev, 20–23 list. 2013 r. — Kiev : Dopomoga USI, 2013, pp. 63. (Ukr.)

Received October 7, 2014