

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ ПЛАСТМАСОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Л.С.Шлапак, М.В.Панчук, О.М.Матвієнків, Є.А.Дауун

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(0342) 506612,  
e-mail: ztk@nung.edu.ua

*Проаналізовано особливості способів зварювання поліетиленових труб газових розподільних мереж. Встановлено, що кожен із наведених способів технологічно досконалий, а його застосування диктується технологічною та економічною доцільністю та можливістю забезпечення контролю якості на кожному виробничому етапі.*

*Проанализированы особенности способов сварки полиэтиленовых труб газовых распределительных сетей. Установлено, что каждый из приведенных способов технологически совершенен, а его применение определяется технической и экономической целесообразностью и возможностью обеспечения контроля качества на каждом из производственных этапов.*

*The features of the ways of welding of polyetylen pipes and gas separating nets have been analysed. The analysis shows that each of the above given the ways is technologically perfect, and its usage is defined by the technical and economical need, and the ability to provide quality control at each step of producing.*

З початку п'ятдесятих років минулого сторіччя поліетилен зарекомендував себе як матеріал, якісні показники якого якнайкраще відповідають потребам виробництва труб для газових розподільних систем.

Використання поліетилену для виробництва труб газу і водопостачання призвело до корінних змін індустрії будівництва трубопроводів у всьому світі. В більшості країн понад 90% трубопроводних розподільних систем, що здаються в експлуатацію, виготовлені із поліетилену. І це – закономірний результат тих відомих та багаточислених переваг, якими володіє поліетилен порівняно з традиційними матеріалами [1, 2].

Завдяки еластичності та здатності до деформації поліетиленові труби добре підходять для прокладання інженерних мереж на території, що характеризуються просадженням та рухливістю ґрунтів.

Яскравим прикладом високої надійності трубопроводів, внаслідок їх високої еластичності, може бути аналіз руйнувань газопроводів під час землетрусу, який трапився у 1995 р. в м. Кобі (Японія). За практично повного руйнування газопроводів із матеріалів, що характеризуються великою жорсткістю, поліетиленові газопроводи витримали значні зміщення землі без порушення цілісності і герметичності [3].

Найнадійнішим методом з'єднання поліетиленових трубопроводів є зварювання. У ході будівництва газопровідних мереж на Україні труби до 63 мм з'єднуються розтрубним та терморезисторним способами. Труби великих діаметрів, як правило, зварюють нагрітими елементами встик.

Для безаварійної експлуатації газопроводів із полімеру важливе значення має якість зварних з'єднань, на яку впливає багато чинників. В першу чергу, це:

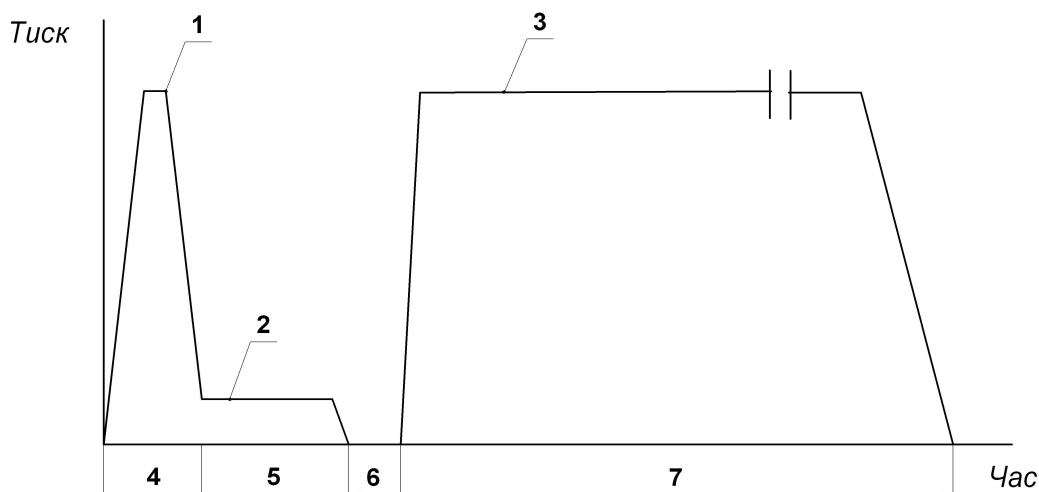
– якість зварювальних поверхонь(труб і з'єднувальних деталей);  
– дотримування параметрів технологічного процесу;

– відповідна кваліфікація зварників.

До початку робіт на об'єкті необхідно уточнити технологічні параметри зварювального процесу на підставі зварювання, візуального контролю та механічних випробовувань не менше трьох контрольних зварних з'єднань у разі використання зварювання нагрітим інструментом встик та врозтруб, і одного з'єднання у випадку терморезисторного зварювання.

Для реалізації процесу зварювання стиковим методом необхідно нагріти зварювальні поверхні до стану розриву сил взаємодії між макромолекулами (Ван-дер-Ваальсових сил) за приведення матеріалу до в'язко-текучого стану. Після цього необхідно притиснути поверхні одна до одної, в результаті чого пластичний матеріал в зоні контакту починає текти, видавлюючи забруднення та бульбашки повітря. Макромолекули зварювальних поверхонь змішуються, границя між зварюваними виробами зникає. Після охолодження полімеру тепловий рух молекул слабшає і Ван-дер-Ваальсові сили знову зв'язують їх у тверде тіло. Циклограма процесу зварювання поліетиленових труб наведена на рис. 1.

Для максимального усунення внутрішніх напружень необхідне глибоке і плавне прогрівання торця труби. Глибина прогрівання обмежується тією обставиною, що при подальшому притисканні торців один до одного прогріта область не повинна зім'ятися. Оптимальна глибина прогріву приблизно рівна товщині стінки труби. При цьому тонкий шар матеріалу, що контактує з нагрівачем, повинен бути розігрітий до в'язко-текучого стану. Таке прогрівання забезпечується відповідною температурою на-



1 – тиск оплавлення; 2 – тиск прогрівання; 3 – тиск осадження; 4 – час оплавлення; 5 – час прогрівання; 6 – час технологічної паузи; 7 – час осадження і охолодження

**Рисунок 1** — Циклограма зварювання поліетиленових труб нагрівальним інструментом встик

грівального елемента та часом нагрівання стінки труби.

При контакті торців труб і поверхні нагрівання виявляється, що навіть ретельно підготовлена поверхня далека від ідеальної площини. Поверхня нагрівального елемента також володіє відповідною шорсткістю. Тонкий повітряний проміжок, що залишається між торцем труби та нагрівальним елементом є серйозною перешкодою для перенесення тепла від нагрівача до зварювальної поверхні.

Для швидкого досягнення повного теплового контакту необхідно на початку нагрівання з великим зусиллям притиснути торець труби до нагрівача. Тоді виступи на поверхні торця будуть швидко оплавлені і витиснуті назовні у формі рівномірного круглого валика, одночасно заповнюючи нерівності на поверхні нагрівача. Видавлений розплавлений матеріал називають гратом.

Негативною особливістю грату є деяке зменшення умовного проходження труби після завершення зварювання, тому деталі безнапірної каналізації не рекомендують з'єднувати шляхом зварювання.

Разом з тим грат збільшує товщину стінки в місці зварного шва. Якщо врахувати, що будь-який полімер під час нагрівання до пластичного стану більшою чи меншою мірою піддається термічному впливу, то збільшення товщини стінки в зоні зварного шва – це єдиний спосіб досягнути тут міцності, не нижчої міцності вихідної труби. Тому нагрівання з прикладанням зусилля продовжують і після того, як досягнутий 100% тепловий контакт між нагрівальним елементом і торцем труби – поки грат не досягне рекомендованої величини. Оптимальна висота грату до моменту закінчення попереднього процесу нагрівання визначена для кожної товщини зварюваних виробів і для різних термопластів.

Якщо зусилля притискання труби до нагрівального елемента буде недостатнім, то грат,

звичайно, досягне потрібної висоти, але час при цьому буде втрачено. Якщо ж зусилля притискання буде надмірним, то перегрітий матеріал буде видавлюватись назовні у вигляді пелюсток, що негативно вплине на розподілення напружень у зоні готового зварного шва. Оптимальне зусилля притискання для труб з ПНТ до нагрівача на першому етапі зварювання згідно нормативних документів складає 0,15 МПа. Час утворення грату оператор завжди визначає візуально, навіть у випадку зварювання на автоматизованому апараті.

Протягом періоду нагрівання, який починається після створення грату потрібної висоти, тиск притискання суттєво зменшується. Зусилля притискання повинне бути досить малим, щоб не викликати подальшого збільшення грату, але, з іншого боку, достатнім, щоб гарантувати контакт торців труби з нагрівальним елементом.

Відмінною ознакою стикового зварювання є повільне глибоке прогрівання поверхонь зварювальним дзеркалом, нагрітим до порівняно невисокої температури (200-220°C).

Теоретично зварювання товстостінних виробів рекомендують проводити за низької температури дзеркала протягом тривалого часу, щоб прогріти товстостінну трубу на більшу глибину. З іншого боку, похибки обладнання та  $t^{\circ}$  навколишнього середовища вносять відхилення температурного режиму більше, ніж рекомендовані зміни температури в залежності від товщини стінки труби. Тому на практиці температура дзеркала не залежить від товщини стінки труби.

За температури зварювального дзеркала близько 200°C і температури навколишнього середовища 20°C швидкість прогрівання матеріалу можна розрахувати. Так, для поліетилену низького тиску він приблизно дорівнює 1 мм за 10с. Ця швидкість визначає рекомендований час нагрівання в залежності від товщини стінки труби.

Дослідженнями німецьких вчених встановлено відсутність негативного впливу температури нагрівального елемента в діапазоні 190-260°C на міцнісні показники у ході тривалої експлуатації поліетиленових виробів. Коливання величини тиску у процесі зварювання від 0,15 МПа до 0,45 МПа також забезпечувало позитивні результати [4].

Після нагрівання поверхонь вирішальне значення має швидке усунення нагрітого інструменту і суміщення зварювальних поверхонь. При цьому необхідно не з'яяти нагріті поверхні. Максимально допустимий час на введення рухомої труби, усунення зварювального дзеркала та зведення торця труб називається технологічною паузою. Перевищення цього часу призводить до остигання оплавлених торців і, як наслідок, поганої якості шва. Очевидно для товстостінних виробів технологічна пауза більша.

З моменту повторного контактування зварювальних поверхонь у міру остигання матеріалу зусилля притискання поверхонь необхідно плавно збільшувати до рекомендованого тиску охолодження. У випадку збільшення тиску розплавлений матеріал частково видавлюється із зони шва і тече у напрямку зовнішнього і внутрішнього грату, при цьому тонкий шар матеріалу, що окислився і охолодився під час технологічної паузи, змішується з більш глибокими шарами, що не впливає негативно на якість шва.

Експериментально визначений тиск осаджування, протягом якого плавно досягнуто тиск охолодження, відомий як час осаджування і вказується в таблицях. Під час осаджування і на першому етапі подальшого охолодження відбувається завершення формування грату.

Під час охолодження завершується формування зони зварного з'єднання. Основна ідея цього процесу полягає в тому, щоб товщина стінки труби в зонах, що прилягають до зварного шва, збільшилась. Причому це збільшення повинно бути тим більше, чим більше був нагрітий матеріал в даній точці. Рекомендовані режими нагрівання та осаджування підібрані так, щоб оптимальним для охолодження було зусилля притискання, яке відповідає зусиллю при попередньому нагріванні.

Після осаджування притискання деталей зберігається постійним до повного охолодження за кімнатної температури. Час охолодження залежить від матеріалу та товщини стінки зварюваних труб і вказується у зварювальних таблицях.

Не варто пробувати прискорити остигання (використання холодної води) – це призведе до створення внутрішніх напружень в матеріалі і, як результат, до зниження міцності шва.

Після охолодження зварювальні поверхні виймають з апарату.

Особливістю терморезисторного зварювання є те, що з'єднувальні поверхні – труба і внутрішня стінка муфти зварюються за допомогою нагрівання спіралі, закладеної в тілі муфти до заданої температури.

Для бездоганного зварювання цим способом чистота поверхні має вирішальне значення. Поверхні труби зачищають шабером або циклею. Всередині труби знімають задири, а зовні заокруглюють радіусом, що дорівнює половині товщини стінки труби. Муфту зачищають зсередини чистячим засобом і ретельно протирають до сухої поверхні. Відхилення від округлості труби не повинно перевищувати 1,5% по зовнішньому діаметру.

У процесі насаджування муфти на трубу не повинно відбуватися перекошу, а зусилля натягування не повинно бути великим. В іншому випадку закладна спіраль може бути пошкоджена.

Основні схеми технологічних операцій терморезисторного зварювання зображені на рис. 2.

Параметри терморезисторного зварювання програмується в зварювальному апараті залежно від конструкції зварного обладнання і з'єднувальної деталі.

У зоні контакту труби і з'єднувальної деталі в процесі зварювання виділяється теплова енергія, під дією якої відбувається пластифікація внутрішньої поверхні з'єднувальної деталі і зовнішньої поверхні труби. Розігрітий у процесі зварювання поліетилен переходить із твердого стану у пластичний. Зварювальні елементи повинні бути розігрітими до температури текучості (плинності), але не можна допускати перегрівання зварювальних поверхонь до температури деструкції поліетилену. Деструкція поліетилену – одна з причин низької міцності зварного з'єднання. Деструкція поліетилену залежить не тільки від високої температури, але і від часу її дії на матеріал.

У процесі терморезисторного зварювання спочатку підвищується температура на витках терморезисторного елемента, а потім відбувається прогрівання труби і з'єднуваної деталі одночасно. Під дією тепла труба і терморезисторна деталь розширюються. У зоні зварювання збільшується тиск пластифікованого поліетилену, який починає текти в «холодну зону». Простір між трубою і з'єднувальною деталлю заповнюється розплавленим поліетиленом. В «холодних зонах», де температура така ж, як і в зовнішньому середовищі, починається кристалізація поліетилену, а простір між трубою та з'єднувальною деталлю закривається. Цей процес запобігає видавлюванню розплавленого поліетилену із зони зварювання як на зовнішню поверхню труби, так і всередину деталі, а також призводить до підвищення тиску в зоні розплаву. Під дією тиску в розплавленій зоні під час молекулярної дифузії ланцюги поліетилену з'єднуваної деталі вільно переміщуються і змішуються з ланцюгом поліетилену розплавленої поверхневої шару труби.

Після завершення процесу зварювання тиск та температура в зоні зварювання понижуються. У зоні розплавлення починається процес кристалізації поліетилену. Експлуатаційну надійність зварного з'єднання значною

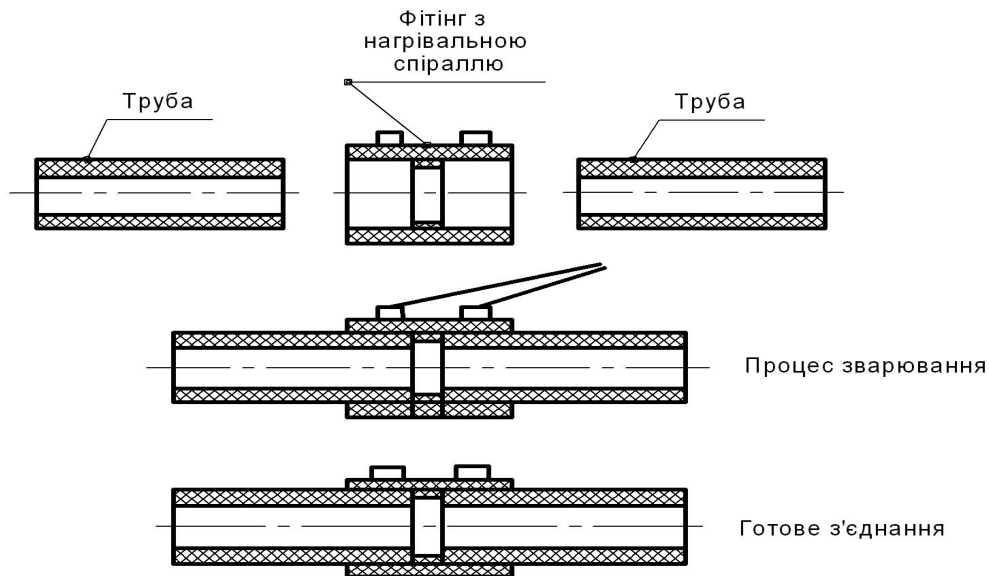


Рисунок 2 — Технологічні операції терморезисторного зварювання

мірою визначають температурні параметри і час зварювання.

Важлива не тільки загальна кількість енергії  $Q$ , яка подається на терморезисторний елемент деталі в процесі зварювання [5]:

$$Q = \int_0^{t_f} \frac{U \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot D_f \cdot l_f} dt,$$

але кількість енергії, яка потрапляє на терморезисторну деталь  $Q^l$ :

$$Q^l = \int_0^{t_f} \frac{U \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot D_f \cdot l_f \cdot t_f} dt,$$

де:  $U$  – напруга зварювання;  
 $I$  – сила струму;  
 $D_f$  – внутрішній діаметр зони зварювання;  
 $l_f$  – довжина зони зварювання;  
 $t_f$  – час зварювання.

Недостатнє прогрівання з'єднувальних елементів зменшує ступінь дифузії, ускладнює процес формування зони з'єднання і тим самим впливає на зниження надійності зварного з'єднання. На погіршення якості зварювання впливає також перегрівання розплаву, який викликає термічну деструкцію поліетилену, котра проявляється в деформації поверхні труб або з'єднувальних деталей.

Охолодження зварного з'єднання повинно відбуватися природнім шляхом, як і у процесі зварювання нагрітим елементом встик. Після охолодження зварне з'єднання звільняють від фіксаторів.

Стабільна якість виробів забезпечується використанням для їх виробництва високоякісної сировини, що має відповідні сертифікати.

Терморезисторні з'єднання економічно більш затратні, ніж стикові. Проте в умовах нестачі площі, коли неможливо розташувати габаритне обладнання стикового зварювання терморезисторне зварювання стає незамінним.

З'єднання, виконані з використанням електромуфт, часто використовуються для монтажу трубопроводів невеликого діаметру із труб, що поставляються у бухтах. Електромуфти такого діаметру мають доступну ціну і, враховуючи їх використання у невеликих кількостях, роблять терморезисторне зварювання економічно співмірним зі стиковим.

Розтрубним методом можна зварювати поліетиленові труби діаметром від 16 до 110 мм і товщиною стінки понад 2,0 мм. Без застосування центратора можна зварювати труби з номінальним зовнішнім діаметром включно до 32,0 мм. Для з'єднання поліетиленових труб з номінальним діаметром від 40 до 110 мм необхідно застосовувати центратор.

Суть розтрубного методу ґрунтується на одночасному нагріванні внутрішньої поверхні з'єднувальної деталі та зовнішньої поверхні кінця поліетиленової труби нагрітим елементом з наступним з'єднанням оплавлених поверхонь.

Послідовність зварювання поліетиленових труб в розтруб зображена на рис. 3.

Перед зварюванням з поверхні труби необхідно зняти окисний шар поліетилену на довжину розтруба деталі плюс 30 мм.

Нагрівальний елемент нагрівають до температури  $260 \pm 5^\circ\text{C}$  та перевіряють стабільність температури на дорні і в гільзі з допомогою термометра. Для нагрівання спочатку вводять муфту до упору, а потім насаджують до мітки кінець труби.

Час прогрівання повинен бути достатнім для повного оплавлення всієї площини зварувальної поверхні без втрати первинної форми труби й деталі.

Після нагрівання трубу і деталь різко роз'єднують, вилучають нагрівальний елемент і швидко всувають трубу в розтруб до мітки. Деталі залишають у зафіксованому положенні певний час.

У процесі зварювання нагрітим інструментом в розтруб, дуже важливо слідкувати за тим,

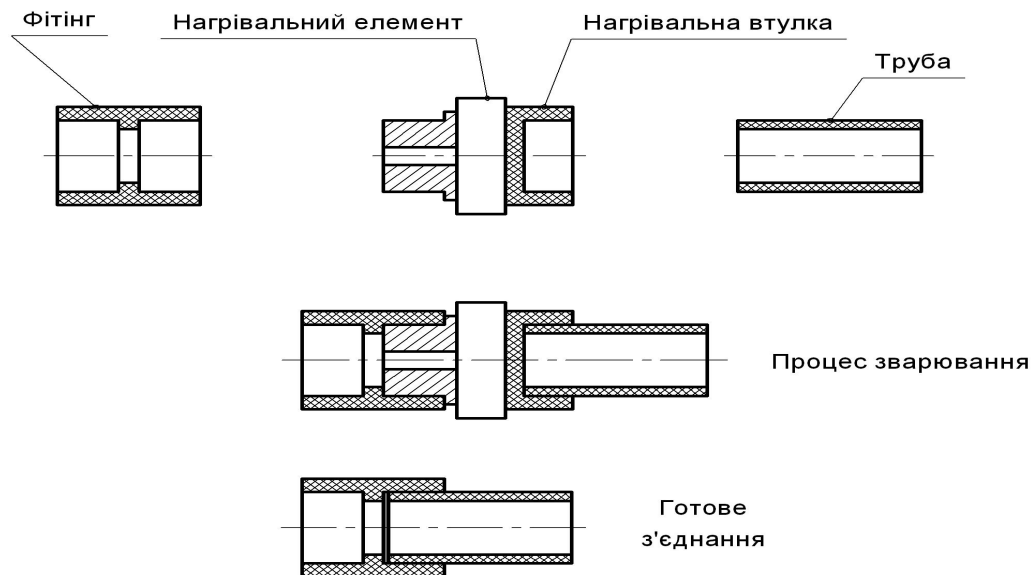


Рисунок 3 — Технологія зварювання поліетиленових труб врозтруб

щоб дорн і гільза нагрівального елемента були добре затиснутими. В іншому випадку електронні покази температури не будуть відповідати дійсності, а необхідний для якісного з'єднання параметр температурного режиму ( $260 \pm 5$  °С) не буде дотриманий. Тому з досвіду відомо доцільність використання нагрівальних інструментів з електронною системою стабілізації температури.

Для того, щоб використовувати зварювання нагрітим інструментом врозтруб у повному діапазоні діаметрів (від 16 мм до 110 мм) при атестації обладнання необхідно обов'язково включати в комплект обладнання центратори, тому що можна отримати атестат на право зварювання тільки в ручному режимі.

Аналізуючи переваги та недоліки наведених способів зварювання полімерних труб приймемо за основу твердження, що кожний з них є технічно досконалим. При виборі способу зварювання потрібно враховувати виробничий досвід виконавців робіт, технічні та економічні переваги кожної технології, умови в яких виконує роботи зварник, можливість забезпечення контролю якості на кожному технологічному етапі, вимоги нормативних документів.

### ВИСНОВКИ

Стабільна якість зварювальних виробів забезпечується використанням для їх виробництва високоякісної сировини, що має відповідні сертифікати.

У разі повного дотримання технологічних параметрів, кожен із трьох наведених способів зварювання поліетиленових труб забезпечує однаково надійне з'єднання, а тому повинен користуватися правами на використання.

Вибір того або іншого способу зварювання повинен бути мотивований розрахунками технічної та економічної доцільності, завданнями та умовами конкретного будівництва.

Монтаж трубопроводів з ПНТ для газопостачання та інших об'єктів підвищеної небезпеки потребує сучасного автоматичного обладнання, яке значно знижує вплив людського фактора на якість з'єднання, а також дає змогу зберегти важливі параметри зварювального процесу у пам'яті та роздрукувати «паспорт шва».

### Література

- 1 Шлапак Л.С. Шляхи підвищення ефективності ремонту газопровідних систем / Л.С.Шлапак, М.В.Панчук, І.Д.Пушкедра, О.М.Матвієнків // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4. – С. 31-34.
- 2 Глухова О.В. Эффективность применения трубопроводов из полиэтиленовых труб / О.В.Глухова, М.М.Фатпяхов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2006. <http://www.ogbus.ru/authors/glukhova/Glukhova-2.pdf>.
- 3 Ковринга В. Полиэтиленовые трубы выдерживают землетрясения // Полимерные трубы. – 2007. – № 5. – С. 58-59.
- 4 Дж. Хеззел. Сварка полимерных труб больших диаметров: характеристики и сроки эксплуатации / Дж.Хеззел, А.Лугеймер, М.Цупаган // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2006. – № 4. – С. 24-27.
- 5 Ежи Ян Чопек. Терморезисторные соединительные детали неизвестного происхождения и безопасность эксплуатации газораспределительных сетей / Ежи Ян Чопек // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2006. – № 3. – С. 16-18.

Стаття поступила в редакційну колегію  
11.03.09