

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

На правах рукопису

**НАЙДА АНДРІЙ МИХАЙЛОВИЧ**

УДК 678.743.2:678.027.3-023.846(043.3)

**ОРІЄНТАЦІЙНА МОДИФІКАЦІЯ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ ПРИ  
ВИГОТОВЛЕННІ НАПІРНИХ ТРУБ**

Спеціальність 05.17.06 – Технологія полімерних і композиційних матеріалів

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата  
технічних наук

Науковий керівник:  
Петухов Аркадій Дем'янович,  
доктор технічних наук, професор.

Київ – 2017

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	11
1.1. Сучасний стан модифікації орієнтацією ПВХ.....	11
1.2. Висновки і постановка задачі досліджень.....	18
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛКИ, ОБ’ЄКТИ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1. Теоретичні посилки розділу.....	20
2.2. Об’єкти досліджень .....	22
2.3. Обладнання, прилади, стенди, принцип їх роботи, експериментальні методи досліджень .....	27
2.3.1. Обладнання, принцип роботи.....	27
2.3.2. Прилади, стенди, принцип їх роботи, експериментальні методи досліджень.....	39
2.4. Висновки до розділу.....	50
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРУБ З ПВХ-О.....	52
3.1. Експериментальне дослідження основних процесів технології отримання труб з ПВХ-О.....	52
3.2. Дослідження властивостей труб з НПВХ і ПВХ-О з використанням методів тензометрії і акустичної емісії.....	54
3.3. Дослідження фізико-механічних властивостей труб з НПВХ і ПВХ-О труб іншими методами .....	63
3.3.1. Визначення опору удару падаючого вантажу.....	63
3.3.2. Визначення відносного подовження труб при розриві і межі плинності при розтягу.....	68
3.3.3. Визначення зміни довжини труб після прогрівання.....	69
3.3.4. Визначення температури розм’якшення за Віка.....	70
3.3.5. Визначення стійкості до дії дихлоретану .....	71

3.3.6. Визначення стійкості при постійному внутрішньому тиску.....	72
3.3.7. Визначення оптимальних ступеней витяжки труби ПВХ-О з використанням методів акустичної емісії.....	74
3.4. Експериментальне дослідження покращення, оптимізації рецептур композицій з НПВХ, технологічних параметрів її приготуванні і виробництва труб з ПВХ-О.....	76
3.5. Висновки до розділу.....	104
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБ З ПВХ-О.....	107
4.1. Вплив температури при виготовленні труб з ПВХ-О на установці виготовлення труб з ПВХ-О.....	107
4.2. Методика розрахунку оптимальної конструкції конічної оправки..	113
4.3. Дослідження циклів процесів орієнтування і формуванні розтрубу при виготовленні труби з ПВХ-О.....	115
4.4. Релаксація напружень труб з ПВХ-О на установці виготовлення труб з ПВХ-О.....	117
4.5. Дослідження впливу температури орієнтації на механічні властивості труб з ПВХ-О.....	124
4.6. Висновки до розділу.....	126
ВИСНОВКИ.....	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	129
Додаток А Апаратура та обладнання дослідження труб ПВХ-О використанням методів акустичної емісії і тензометрії.....	143
Додаток Б Фотострічки дослідження труб з НПВХ і ПВХ-О.....	145
Додаток В Результати випробовувань на визначення оптимальних ступеней витяжки труби з ПВХ-О з використанням методів акустичної емісії.....	156
Додаток Г Документи, що підтверджують впровадження результатів роботи.....	169
Додаток Д Розрахунок похибок вимірювання фізичних величин.....	177

## ВСТУП

*Сутність наукової проблеми, з якою пов'язані дослідження дисертації, – більш ефективне використання природних фізико-хімічних властивостей полімерів, залежних як від хімічної природи вихідних мономерів, так і від диференціально-інтегральної їх зміни в полімерних ланцюгах та взаємодії останніх в надмолекулярних утвореннях. Відомо [1-7], що теоретична міцність полімерів, і, відповідно, полімерних композиційних матеріалів на їх основі, на два-три порядки більше їх технічної (реальної) міцності, Тобто результати досліджень макроскопічних [7] властивостей (механічних, деформаційних, релаксаційних, термічних), які отримуються на цей час, свідчать про досягнення тільки їх часткового значення від теоретичного.*

*Тема досліджень «Орієнтаційна модифікація полівінілхлориду при виготовленні напірних труб» – частина наукової проблеми, яка охоплює питання орієнтації елементів макромолекул полівінілхлориду (ПВХ) при виконанні практичних завдань – виробництві напірних труб з непластифікованого ПВХ (НПВХ). Необхідне проведення досліджень впливу на ступінь орієнтації та її ефективність зміни в композиціях ПВХ інгредієнтів, їх вмісту, ступеню диспергування, якості змішування в порошкоподібному стані, ступеню гомогенізації розплаву, режимів і напрямків витягування труб, їх термообробки.*

**Актуальність теми.** Декілька десятків років тому внутрішні і зовнішні водопровідні системи монтувались зі сталевих оцинкованих труб, постійно була і є проблема їх надійності в мережах [8-11]. На зміну їм в діючі мережі прийшли напірні полімерні труби, а в нових застосовуються в основному тільки полімерні, зокрема труби з НПВХ [12-17]. Опираючись на теоретичні досягнення фізико-хімії полімерів [7, 12, 13] і технології переробки ПВХ [18, 19] триває пошук шляхів подальшого покращення експлуатаційних властивостей труб з НПВХ. Один з шляхів – модифікація полівінілхлориду орієнтацією [20, 21], яка створює

можливість значно знизити товщину труб, знизити витрати вихідної сировини на них, розширити сферу впровадження полімерних труб.

Роботи з орієнтації ПВХ паралельно з нашими (з 2013 року на Калуському трубному заводі (КаТЗ) ведуть декілька закордонних фірм, у тому числі "MOLECOR" (Іспанія), "Berkeplastik" (Німеччина). До загалу доводиться тільки рекламна інформація, вся інша - "ноу-хау". Найкращим вирішенням проблеми в Україні - проведення наукових досліджень, створення вітчизняних технологій і обладнання для одержання труб з орієнтованого полівінілхлориду (ПВХ-О).

ПВХ [7, 12, 14] за своєю природою - аморфний полімер, молекули якого розташовані безладно. Але за певних умов розтягу (тиску, температурі і швидкості) можлива значна орієнтація елементів макромолекул ПВХ у напрямку розтягу удосконалених композицій, режимів їх переробки в труби. А безладний стан макромолекул ПВХ та їх елементів сприяє утворенню більш розвиненої сітчастої структури в основному завдяки міжмолекулярним зв'язкам.

Процес молекулярної орієнтації значно покращує експлуатаційні властивості труб і тим самим надає їм значну кількість виняткових властивостей, зберігаючи при цьому переваги вихідного полімеру. Це виражається в поліпшенні крім інших таких властивостей труб як опір розтягуванню, стійкості до удару, до тріщиноутворенню та ін. З цього і складається актуальність теми дисертації.

ПВХ-О труби будуть найкращим рішенням для застосування в мережах водопостачання, що працюють під високим і середнім тиском, в зрошувальних системах, насосних системах, а також в інших областях. Це майбутнє водопровідного транспорту України.

Основою для виконання дисертації став системний аналіз наукових досягнень вчених, які займалися питаннями синтезу полівінілхлориду, його фізико-хімією, пластмасами на основі ПВХ, переробкою їх у виробі, екструзійними процесами та обладнанням, а саме вітчизняні вчені (вчені наукових шкіл Ліпатова Ю.С., Свідерського В.А., Лукача Ю.Ю., Пахаренка В.А., Суберляка О.В., Мікульонка І.О.); зарубіжні вчені (Каргин В.А., Коршак В.В., Гузєєв В.В., Тагер А.А.,

Баромбойм Н.К., Тугов И.И., Кулезнёв В.Н., Торнер Р.В., Summers J.W., Wilkes С.Е., Daniels С.Е.).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідної роботи з наукового напрямку кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» «Розробка технології одержання полімерних плівок з підвищеними фізико-механічними властивостями в процесі їх просторового структурування» № Д.Р. №01110U006030.

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи є вирішення на підставі теоретичних уявлень та результатів експериментальних досліджень важливої для промисловості проблеми по створенню вітчизняної технології і обладнання для виготовлення ПВХ-О труб, впровадження їх в промислове виробництво.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Обґрунтувати теоретично можливість модифікування ПВХ орієнтацією;
2. Визначити склад композиційного полімерного матеріалу на основі ПВХ, здібного орієнтуватися (ПКМО) і здатного перероблятися у труби;
3. Розробити технологію переробки ПКМО в заготовку труби для орієнтації, технологію орієнтації ПВХ при розтягуванні заготовки, технологію термостабілізації орієнтованого ПВХ у трубі;
4. Обґрунтувати вибраний роздільний метод орієнтації заготовки труби з непластифікованого ПВХ (НПВХ);
5. Створити дослідне обладнання для проведення експериментальних досліджень орієнтації;
6. Експериментально встановити основні параметри технології одержання двовісноорієнтованих водонапірних труб зі створеного ПКМО;
7. Зробити порівняння фізико-механічних і експлуатаційних характеристик труб з НПВХ і модифікованих орієнтацією труб з ПВХ-О. Обґрунтувати перевагу труб ПВХ-О;

8. Розробити технічні умови (ТУ) на труби з ПВХ-О;
9. Створити на основі діючих промислових трубних ліній та обладнання для орієнтації труб лінію для промислового виготовлення труб з ПВХ-О;
10. Розробити технологію виготовлення напірних труб з ПВХ-О, відповідний технологічний регламент (ТР) виробництва труб і проект ДСТУ на труби напірні з ПВХ-О.
11. Провести промислове впровадження труб з ПВХ-О, виготовлених на удосконалених трубних лініях Калуського трубного заводу.

**Об'єкт дослідження.** Оптимальне використання природних ресурсів полімерів, підвищення співвідношення їх технічних і теоретичних властивостей.

**Предмет дослідження.** Орієнтаційна модифікація полівінілхлориду при виготовленні напірних труб.

**Методи дослідження.** Теоретичні розробки дисертації базуються на фундаментальних положеннях хімії високомолекулярних сполук, фізичної хімії полімерів; основних положеннях технологій виробництва полімерів, полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на їх основі, технологій переробки ПКМ у вироби. При виконанні експериментальних досліджень використовували комплекс фізико-хімічних методів аналізу і технологічних тестувань: аналіз хімічного складу рецептур, аналіз фізико-механічних і хімічних властивостей заготовок труб та труб, реологічних та фізичних властивостей розплавів ПКМО, відповідності труб вимогам чинних стандартів. При виконанні експериментальних досліджень використовувалися методи акустичної емісії і тензометрії.

Фізичні експериментальні дослідження здійснювалися на спеціально розроблених установках і стендах формування заготовок труб з ПКМО, одновісної та двовісної їх орієнтації, стабілізації структури труб, які оснащені необхідними датчиками і приладами.

Обробка експериментальних даних виконувалась із застосуванням сучасної інтегрованої системи Excel, за критерієм Стьюдента.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- вперше розроблена і обґрунтована рецептура композиційного полімерного матеріалу на основі ПВХ, здібного до орієнтування і здатного до переробки в напірні труби;
- вперше обґрунтовано і реалізовано спосіб одностадійної двовісної орієнтації кільцевого товстостінного циліндричного полімерного тіла в відрізках на кіль-дорні;
- вперше запропоновано технологічну схему одержання періодичним (роздільним) методом високонапірних труб з орієнтованого полівінілхлориду;
- вперше встановлені оптимальні ступені повздовжньої і радіальної орієнтації труби, умови їх здійснення;
- удосконалено чинну технологію виготовлення труб з НПВХ, за якою з рецептури ПКМО отримані труби з ПВХ-О;
- вперше встановлені властивості труби з ПВХ-О, а саме міцність, ударостійкість, тріщиностійкість, морозостійкість труб, їх характеристики, котрі відповідають вимогам чинних стандартів.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі виконаних досліджень:

- створено комплекс обладнання для виготовлення труб роздільним методом з орієнтованого полівінілхлориду;
- розроблено технічні умови на труби з орієнтованого полівінілхлориду;
- розроблено технологічний регламент на виробництво труб з орієнтованого полівінілхлориду;
- технологічна лінія для виробництва труб з орієнтованого полівінілхлориду впроваджена на ТОВ «Калуський трубний завод», акт №9 від 30 січня 2015 р.;
- практична цінність отриманих результатів підтверджена 4 патентами України на корисні моделі № 97723 № 97724, № 100889, № 100890.

**Особистий внесок здобувача** полягає у виборі теми дисертації, предмету і методів досліджень, постановці та вирішенні основних теоретичних і експериментальних завдань. Основні результати роботи отримані і проведена



обробка результатів експериментів автором самостійно. Ним визначено вплив орієнтації на механічні властивості труб з ПВХ-О, отримані результати дослідження властивостей труб з НПВХ і ПВХ-О, використані методи випробовування труб з НПВХ і ПВХ-О з використанням методів тензометрії і акустичної емісії, розроблено спосіб орієнтаційного одержання труби з полівінілхлориду, створено пристрій орієнтаційного одержання труби з полівінілхлориду, створено пристрій одержання труб з полівінілхлориду. Персональний внесок здобувача у співавторських опублікованих наукових працях [8, 17, 22-26] полягає у вирішенні теоретичних і експериментальних завдань. Автор приймав безпосередню участь в експериментальних і промислових випробовуваннях.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на III Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку сучасної науки», що проходила 6-7 травня 2016 р. в м.Чернігів, на IX-й Міжнародній науково-технічній WEB-конференції «Композиційні матеріали», що проходила в м.Київ в травні 2016 року, на III-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки», що проходила в м.Київ, 9-10 червня 2016 р., на IV-й українсько-німецькій конференції «Інформатика.Культура.Техніка», що проходила в м.Одеса 30.06-02.07.2016 року, на Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології одержання та переробки полімерних матеріалів», що проходила у Львові 21-23 вересня 2016 р., на засіданнях рад директорів підприємств, що випускають труби з полімерних матеріалів на Україні: ТОВ «Калуський трубний завод», ТОВ «Рубіжанський трубний завод», ТОВ «Торговий дім «Євротрубпласт»», на конференції: «КАРПАТНАФТОХІМ-2017» у м.Київ 19 квітня 2017 р.

**Публікації.** Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в опубліковано 18 наукових працях, в тому числі 1 монографія, 5 статей у наукових фахових виданнях України, з них 3 статті у виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз; 1 стаття у інших виданнях; 4 патенти України на корисну модель; 7 тез і доповідей на конференціях.

### **Структура та обсяг дисертації.**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг становить 180 с. Обсяг основного тексту становить 120 сторінок. Всього в дисертації 74 рисунки, 44 таблиці, 138 найменувань у списку використаних джерел, 5 додатків.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

#### 1.1. Сучасний стан модифікації орієнтацією ПВХ

У світі основна частка екструзійного непластифікованого ПВХ припадає на виготовлення труб. Композиції НПВХ все ще залишаються найкращим варіантом в тих випадках, де від матеріалу потрібна стійкість до погодних факторів; захист речовин, що транспортуються, від забруднення; простота обслуговування в експлуатації. Труби з НПВХ використовуються як для транспортування питної води, так і стічних вод. Вони також придатні для спеціальних цілей, наприклад, для переміщення агресивних середовищ, в харчовій промисловості. Іншими сферами застосування є водостічні труби, кабельні канали, обсадні труби і так далі [27- 31, 49, 50, 53].

Головна перевага труб із НПВХ – це те, що при монтажі мереж вони не вимагають зварювання, легко з'єднуються через розтруб за допомогою ущільнювального гумового кільця. Усе це значно знижує вартість і скорочує час прокладки трубопроводів. Також є і інші переваги, а саме:

- дуже легкі, питома вага в 5 разів менша від сталевих;
- відсутність всіх видів корозії; по стійкості до кислот, лугів і солей немає рівних серед інших видів труб;
- гігієнічні, екологічні: не надають водопровідній воді забарвлення, запаху, не сприяють відкладенню осаду;
- високі гідравлічні властивості, малий гідравлічний опір, пропускна здатність з плином часу експлуатації не зменшується;
- висока пружність, труби не бояться гідравлічних ударів;
- швидко, легко та надійно з'єднуються в розтруб (каналізаційні, магістральні водопроводи) або клею (водопровідні труби малих діаметрів);
- легко ріжуться, тому можна на місці встановлення швидко укорочувати трубу, що значно зменшує витрати часу та засобів на її прокладання;

- висока електроізоляційність, виключається пошкодження труб і аварії внаслідок електричної корозії;

- нетоксичні, вибухобезпечні, відносяться до групи "важкогорючі" за ГОСТ 12.1.044, температура займистості 500°C [16, 32, 48, 52].

Щорічно в труби переробляється майже 16 мільйонів тонн ПВХ. Дослідження ринку показали, що в експлуатації знаходиться понад 6000 екструдерів для переробки ПКМ на основі ПВХ [33, 34, 35, 54-56].

Типова лінія для екструзії труб з ПВХ складається з двочерв'ячного екструдера, трубної головки і після екструзійного обладнання, в яке входить вузол калібрування, вакуумна ванна або ванна струминного охолодження, витяжний і відрізний пристрій та розтрубовочна машина. Все оснащення має працювати як єдине ціле, щоб гарантувати рівномірний процес з високою продуктивністю. Центральними елементами, безсумнівно, є екструдер, головка і системи калібрування та термообробки труби. Це – серце всього процесу, яке забезпечує продуктивність, якість і стабільність екструзії [36-44, 62, 70].

На даний час найбільш поширеними трубами з НПВХ є компактні труби – це наріжний камінь трубного виробництва. Для них використовується найбільший обсяг ПВХ, вони виготовляються з найвищою в промисловості продуктивністю методом екструзії. Зазвичай компактні труби виготовляються відповідно до ДСТУ, ТУ і міжнародних стандартів ISO. Типовими видами застосування компактних труб є каналізаційні (діаметром 100-630 мм) і напірні труби (32-500 мм), а також обсадні труби і труби для прокладки кабелів [16, 45 - 48, 68, 69, 71].

В час, коли постійно дорожчає сировина, покупці починають шукати якомога дешевші труби, але з якісними показниками міцності. В основному зараз йде зміна поглядів на використання напірної труби з НПВХ замість аналогічної, виготовленої з поліетилену, який сам по собі у 2 рази більший за вартість полівінілхлориду, а також це стосується і обсадних труб [50-56, 115, 116].

Щодо напірних труб з НПВХ, в Україні діє нормативний документ ДСТУ Б.В.2.7-141:2007 «Будівельні матеріали. Труби із непластифікованого

полівінілхлориду та фасонні вироби до них для холодного водопостачання. Технічні умови» [16].

Цей стандарт встановлює (найбільш жорсткі у порівнянні з іншими трубами) вимоги до труб з композицій непластифікованого полівінілхлориду, призначених для будівництва й реконструкції трубопроводів зовнішніх підземних мереж холодного водопостачання, у тому числі для господарсько-питного водопостачання, що транспортують воду й інші рідкі й газоподібні середовища, до яких НПВХ є хімічно стійким, в інтервалі температур від 5<sup>0</sup>С до 45<sup>0</sup>С (код зони застосування U) і робочим тиском не більше 1,0 МПа з використанням коефіцієнта запасу міцності відповідно до вимог додатка даного ДСТУ. Труби із композицій НПВХ для холодного водопостачання виготовляються з характеристиками, вказаними в таблицях 1.1 і 1.2, позитивне подолання яких і є метою даної дисертації.

Таблиця 1.1

### Характеристики труб з НПВХ

Номінальний зовнішній діаметр, $d_n$	Номінальна (мінімальна) товщина стінки						
	Серії труб S						
	S20	S16	S 12,5	S10	S8	S6,3	S 5
	(SDR 41)	(SDR 33)	(SDR 26)	(SDR 21)	(SDR17)	(SDR 13,6)	(SDR 11)
	Номінальний робочий тиск PN, бар заснований на робочому (розрахунковому) коефіцієнті C= 2,5						
	PN6	PN6	PN8	PN10	PN 12,5	PN16	PN20
75	—	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8
90	—	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2
	Номінальний робочий тиск PN, заснований на робочому (розрахунковому) коефіцієнті C= 2,0						
	PN6	PN8	PN10	PN 12,5	PN16	PN20	PN25
110	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0
125	3,1	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4
140	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7
160	4,0	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6
180	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4

Таблиця 1.2

**Вимоги до напірних труб з НПВХ**

Назва показника	Значення показника
1. Опір удару падаючого вантажу, кількість зруйнованих зразків (показник TIR), %, не більше	10 при $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ глибина тріщин не більше 20% товщини стінки
2. Відносне подовження труб при розриві, %, не менше	25
3. Межа текучості при розтягу, МПа, не менше	44,1
4. Зміна довжини труб після прогрівання при температурі $(150 \pm 2) ^\circ\text{C}$ протягом не менше 15хв, %, не більше	5
5. Температура розм'якшення за Віка, $^\circ\text{C}$ , не менше	80
6. Стійкість до дії дихлоретану при температурі $(15 \pm 1) ^\circ\text{C}$ протягом не менше 30хв	Без змін зовнішнього вигляду зразків, глибина тріщин не більше 20% товщини стінки

Труби за цим стандартом повинні витримувати гідростатичну напругу, викликану внутрішнім гідростатичним тиском, без розривів та протікань, та використовуючи умови випробування наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

**Вимоги до умов випробування внутрішнім тиском для труб**

Параметри випробування			
Температура $^\circ\text{C}$	Напруження в стінці труби, МПа	Час, год.	Тип випро- бування
20	42,0	1	Вода в воді
20	35,0	100	
60	12,5	1000	

Композиції, які застосовуються, складаються з ПВХ, до якого додаються домішки: стабілізатори (попереджують руйнування матеріалу при переробці й експлуатації), змащуючі речовини (полегшують переробку), барвники, наповнювачі і модифікатори (оптимізують зовнішній вигляд та фізико-механічні властивості продукції) [16].

Але при постійному здороженню енергоносіїв, сировина для виробництва труб з полівінілхлориду стає все далі і далі дорожчою, що призводить до скорочення, а інколи до зупинки виробництв труб з полівінілхлориду. Отже потрібно шукати шляхи зменшення долі сировини в трубах при незмінних їх якісних характеристиках [35, 40, 44, 51, 57-59].

В Україні є зараз достатньо заводів, які виготовляють трубу з НПВХ. Однак, більшість з них робить труби, що не відповідають вимогам нормативних документів України. Як правило, поширені випадки свідомого збільшення долі наповнювача в композиції для виготовлення труб з НПВХ, як в безнапірних, так., навіть, і в напірних трубах. На перший погляд, здається труба має відповідну товщину стінки, згідно нормативних документів України, але інші параметри зовсім не дотримуються. В результаті, на ринок виходять з трубою ПВХ з неякісними характеристиками, але дані труби значно дешевші. На жаль, сьогодні споживач, як правило, погано орієнтується у знаннях щодо необхідних властивостей труб і купляє по фактору «дешевше і гарно виглядає». Добросовісним виробникам труб нічого не залишається як розробляти нові технології отримання труб з ПВХ, які б були дешевші за неякісні труби конкурентів, але з характеристиками, відповідно до умов нормативних документів [16]. Для вирішення цього питання, в дисертації звернуто увагу на структуру ПВХ і можливість його орієнтування з покращенням фізико-механічних властивостей композицій.

ПВХ, в сутності, являє собою аморфний полімер, молекули в якому розташовані випадковим чином. Однак, встановлюючи певні значення тиску, температури в екструдере, швидкості екструзії розплаву, ступеню розтягування заготовки при формуванні виробу можна орієнтувати молекули полімеру в напрямку екструзії [7, 12, 60, 61, 72, 73, 75].

Залежно від встановлених параметрів можна отримати різний ступінь орієнтації. Процес молекулярної і надмолекулярної орієнтації кардинально покращує фізичні та механічні характеристики ПВХ і композицій на його основі, надає їм ряд унікальних властивостей, при цьому він не втрачає своїх споконвічних властивостей і достоїнств [14, 15, 66, 74]. На сьогодні з успіхом отримують орієнтовані волокна, стрічки, плівки, рулонні матеріали, стінки в порожнистих виробках [62-65]. Одновісна орієнтація виробів з малою площею переріза циліндричного (волокно) і плоского (стрічка); двовісна орієнтація плоскої плівки і рулонного матеріалу (поперечна орієнтація за допомогою клупів-затискачів); стінки в порожнистих виробках (подовжня за допомогою штока – пластівки, пляшки, банки) промислово освоєні. Двовісна орієнтація рукавної плівки (циліндричний переріз), здійснюється безконтактним калібруванням, як і волокно.

Досягнення волоконщиків в орієнтації достойні запозичення, вони підняли на найвищий рівень коефіцієнт корисної дії серед полімерів (відношення технічної міцності синтетичного волокна до теоретичної [66]). А саме ними при формуванні волокна вдалось досягнути високих розтягуючих напружень в потоці розплаву, під дією якого відбувається розпрямлення клубка макромолекул уздовж потоку, що забезпечує їх високу орієнтацію, яка в свою чергу індукує процес кристалізації полімеру. Орієнтаційна кристалізація полімеру при цьому протікає на кілька порядків швидше, ніж кристалізація полімеру при звичайних швидкостях формування [67].

Безконтактна орієнтація товстостінній трубі практично не можлива.

Контактний метод виготовлення орієнтованої товстостінної труби з термопластичного матеріалу, який передбачає, що екструдують трубу, охолоджують її першим охолоджуючим пристроєм, розташованим після екструдера, до температури орієнтації термопластичного матеріалу. Насаджують трубу на оправку, коли вона має температуру орієнтації, шляхом прикладання додаткового тягового зусилля до труби тяговим пристроєм, розташованим після оправки, для подолання опору, що протидіє насадженню труби на оправку. Оправка закріплена нерухомо на екструдері допомогою натяжного елемента і містить розширювальну секцію, яка



утворює розширення по колу труби. Трубу додатково охолоджують другим охолоджуючим пристроєм, розташованим після розширювальної секції оправки. Здійснюють регулювання опору, що протидіє насадженню труби на оправлення, по колу труби за допомогою ряду індивідуально керованих і регулюючих опору засобів, встановлених поблизу оправки [76, 88, 89].

Недоліком вищевказаного способу є залежність якості зовнішньої поверхні труби від якості зовнішньої поверхні оправки, складності калібрування зовнішнього діаметру труби .

Також є спосіб і пристрій для керування орієнтацією пластмасових труб [77], де спосіб виготовлення орієнтованої пластмасової труби включає в себе операції: виготовлення орієнтованої труби, що має першу ступінь розтягування в окружному напрямку і перший діаметр труби за допомогою екструзії труби з вихідним діаметром, отриманим екструзією, і вихідної товщиною стінки; регулювання діаметра екструдованої труби до встановленого діаметра з допомогою калібрувального пристрою з регульованим діаметром; створення необхідного температурного режиму; розширення в діаметральному напрямку, охолодження і потім зміни параметрів процесу для отримання орієнтованої труби, що має першу ступінь розтягування в окружному напрямку і другого діаметру труби за допомогою безперервної екструзії труби; варіювання діаметра орієнтованої труби; здійснення компенсаційного варіювання встановленого діаметру, заданого калібрувальним пристроєм з регульованим діаметром; створення необхідного температурного режиму; розширення в діаметральному напрямку; і охолодження; в результаті чого зміна встановленого діаметра призводить до отримання орієнтованої труби, що має зазначену першу ступінь розтягування в окружному напрямку і зазначений другий діаметр труби.

Але, дані способи не забезпечують якісного формування зовнішнього другого діаметру труби в пристрої для формування другого зовнішнього діаметру в процесі орієнтації труб через відсутність додаткових зовнішніх факторів його калібрування.

Роботи з орієнтації ПВХ у трубах контактним методом паралельно з нашими (з 2013 року в НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського і на Калуському трубному заводі

(КаТЗ) ведуть декілька закордонних фірм. Однією з іноземних компаній, які займаються випуском орієнтованих труб з ПВХ є фірма «Молекор» [78-86]. Ці труби вже застосовуються в таких країнах, як Нова Зеландія, ПАР. В Європі вони поки знаходять обмежене застосування. Основна причина такого слабкого розвитку виготовлення даних труб – є досить дороговартісне обладнання для їх виготовлення, відсутність належної нормативної документації. Але «Молекор» уже відкрив завод в 2016 році в Казахстані [87] на заводі «Молітех Астана». Як видно, скоро ринок труб з ПВХ буде і в Україні. А оскільки технології «Молекор» є «ноу-хау», вартість обладнання перебільшує декілька мільйонів євро, то необхідно створити вітчизняні:

- рецептури орієнтованих труб з непластифікованого ПВХ, тобто ПВХ-О;
- технологію виготовлення труб з ПВХ-О,
- обладнання для виготовлення труб з композицій ПВХ-О.

Вітчизняні труби з ПВХ-О повинні бути значно дешевшими за аналоги, а їх властивості і характеристики кращими показників труб з композицій НПВХ, конкурентоздатними на світовому ринку.

## **1.2. Висновки і постановка задачі досліджень**

Отже основною задачею наукової роботи є вирішення на підставі теоретичних уявлень та результатів експериментальних досліджень важливої для промисловості проблеми по створенню вітчизняної технології і обладнання для виробництва труб з ПВХ-О, які б мали кращі характеристики за труби НПВХ, шляхом удосконалення технології і обладнання виробництва труб з НПВХ.

На основі проведених вище обґрунтувань вибору напрямків досліджень, були сформульовані наступні задачі досліджень:

12. Обґрунтувати теоретично можливість модифікування ПВХ орієнтацією;

13. Визначити склад композиційного полімерного матеріалу на основі ПВХ, здібного орієнтуватися (ПКМО) і здатного перероблятися у труби;

14. Розробити технологію переробки ПКМО в заготовку труби для орієнтації, технологію орієнтації ПВХ при розтягуванні заготовки, технологію термостабілізації орієнтованого ПВХ у трубі;

15. Обґрунтувати вибраний роздільний метод орієнтації заготовки труби з непластифікованого ПВХ (НПВХ);
16. Створити дослідне обладнання для проведення експериментальних досліджень орієнтації;
17. Експериментально встановити основні параметри технології одержання двовісноорієнтованих водонапірних труб зі створеного ПКМО;
18. Зробити порівняння фізико-механічних і експлуатаційних характеристик труб з НПВХ і модифікованих орієнтацією труб з ПВХ-О. Обґрунтувати перевагу труб з ПВХ-О;
19. Розробити технічні умови (ТУ) на труби з ПВХ-О;
20. Створити на основі діючих промислових трубних ліній та обладнання для орієнтації труб лінію для промислового виготовлення труб з ПВХ-О;
21. Розробити технологію виготовлення напірних труб з ПВХ-О, відповідний технологічний регламент (ТР) виробництва труб і проект ДСТУ на труби напірні з ПВХ-О.
22. Провести промислове впровадження труб з ПВХ-О, виготовлених на удосконалених трубних лініях Калуського трубного заводу.

Основні результати розділу 1 опубліковані в працях [22, 132].

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛКИ, ОБ'ЄКТИ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Теоретичні посилки розділу

На цей час значення міцності і деформації, їх супровідних похідних – макроскопічних властивостей (механічних: сили пружності, модулю пружності, межі плинності при розтягуванні, ударного навантаження; деформаційних, релаксаційних і термічних) полівінілхлориду і ПКМ на їх основі, практично становлять тільки частину від теоретичних. Основною причиною цього є безладне розміщення один до одного елементів макромолекул (сегментів, ланок), котрі мають різну довжину; різні просторові конфігурації, напрямки руху, теплові флуктуації; різну силову протидію і взаємодію; різний термодинамічний стан, переплутаність, різноманітність взаємодії з наповнювачами, іншими додатками композицій.

Особливо це притаманне аморфним полімерам, а саме ПВХ, їх представнику. Чому прийняти нами для перевірки наших теоретичних посилань експериментальні дослідження вище перерахованих макроскопічних властивостей? Це зв'язано з тим, що аморфний стан полімеру є нерівноважним, не гомогенним. А в такому стані в обсязі полімеру можуть знаходитися різні структурні форми, котрі мають різні властивості. Цим же обумовлюється і зміна властивостей (їх значень) аморфного полімерного тіла в часі, наприклад, при відпалі – тривалій витримки полімеру при високій температурі [7, 90, 91, 100-104].

ПВХ, який застосовується для виробництва напірних труб, – це суспензійний, аморфний, лінійний гомополімер, ступінь кристалічності якого сягає тільки 10% після полімеризації [12,14,18, 92, 105-112]. Стан ПВХ-тіл характеризується тим, що макромолекули, які їх складають (точніше їх елементи), мають переважне просторове розташування осей своїх ланцюгів вздовж деяких напрямків орієнтації. При прикладенні розтягуючих або зсувних сил в обсязі полімеру виробу, ще більше порушуються міжмолекулярні зв'язки і окремі елементи макромолекул розпрямляються. Але активніше утворюються надмолекулярні структури саме в

орієнтаційному полі. Всі ці процеси становлять молекулярну основу орієнтаційного витягування.

Експериментальні дослідження дисертації здійснювалися як на приладах та стендах в лабораторних умовах, так і на натурних зразках, при виконанні яких встановлювалися нові властивості, залежності і закономірності. Також вони дають змогу робити перевірку висунутих теоретичних припущень.

Так орієнтаційні процеси приводять до анізотропії перерахованих вище властивостей в подовжньому і поперечному напрямках. Подовжньо розпрямленні ланцюги елементів макромолекул мають меншу гнучкість [7, 93, 94, 99] і, отже, меншу здатність розпрямлятися. Теоретична і технічна міцність кінцевого виробу істотно залежить від структури полімеру і, зокрема, від ступеня його молекулярної орієнтації. Для гранично орієнтованого полімеру руйнування тіла йде не тільки за рахунок відносного зсуву полімерних ланцюгів і подолання міжмолекулярних сил, а і розриву хімічних зв'язків. При руйнуванні аморфного полімеру повинні розділитися «заморожені» глобули макромолекул. Оскільки глобули є взаємопроникаючими, при їх розтягуванні необхідно затратити енергію як на подолання міжмолекулярної взаємодії при "ковзанні" ланцюгів, так і на розрив деякої кількості хімічних зв'язків, що утворюють зачеплення макромолекул, які припадають на одиницю площі, перпендикулярної прикладеній напрузі орієнтації.

Є безліч варіантів "приведення" елементів макромолекул у певний порядок, який сприяє оптимізації їх значень характеристик, властивостей. Наприклад, при виготовленні полімерних напірних труб подовжнє витягування трубних заготовок підвищує подовжню міцність, але погіршує поперечну, сприяє виникненню процесу тріщиноутворення.

Який досвід з орієнтації пластмас сьогодні відомий? Якщо подовжню одноосьову орієнтацію практично у нас в державі освоїли при виробництві полімерних волокон [60], подовжню і поперечну (біаксіально-орієнтовану) – виробники плівок з ПП та ПЕТФ [61, 62, 97], при формуванні порожнистих виробів з ПЕТФ, ПВХ, ПП [61, 95, 96, 98]. Орієнтація напірних труб з поліолефінів в промислових умовах ще не освоєна.

На цей час ПВХ розглядається як самий перспективний полімер у виробництві напірних труб [113]. Він відрізняється за своєю природою від поліолефінів, які кристалізуються, і мають певні переваги (з термостабільності, морозостійкості, температурних меж експлуатації) [18], наприклад той же трубний поліетилен низького тиску. Але за вартістю програє вартістю: тонна суспензійного ПВХ 790-835 доларів за тону [114], ПЕНТ – 1240-1305 доларів за тону [115].

Перспективною є модифікація ПВХ орієнтацією. Наші конкуренти за кордоном у цій сфері науки і практики вже досягли певних успіхів [20], але крім рекламних матеріалів, фірми не розкривають особливості технологій та обладнання орієнтації напірних труб ПВХ-О, вони витримують жорсткі правила "ноу-хау".

Тому в дисертації для рішення цієї науковій та практичній проблеми припускається створити рецептуру композиції, технологію і обладнання для виготовлення напірних труб з орієнтованого ПВХ.

Загальний метод досягнення мети – експериментальні дослідження, які є концептуальною основою дисертації, інструментом у добуванні фактичного матеріалу, необхідною умовою успішного виконання дисертації.

## **2.2. Об'єкти досліджень**

В роботі основним матеріальним об'єктом досліджень є композиція на основі полівінілхлориду з додаванням стабілізаторів, змащуючих речовин, барвників, наповнювачів і модифікаторів.

Характеристики полівінілхлориду, що використовувався для виробництва труб з НПВХ, а надалі і труб з ПВХ-О вказані в таблиці 2.1 [116].

Таблиця 2.1

**Характеристики полівінілхлориду суспензійного марки ПВХ-С-6768М**

№	Найменування показника	Значення згідно СТО 00237328-01-2007
1	Зовнішній вид а) колір б) кількість забруднень і сторонніх речовин, шт., не більше	Однорідний порошок білого кольору  16
2	Значення Кф	67-69
3	Насипна густина, г/см <sup>3</sup>	0,5-0,6
4	№ 0400, не більше № 0063, не більше	відсутня 85
5	Сипкість, сек, не більше	16
6	Маса поглинання пластифікатору, г на 100 г ПВХ, не менше	18
7	Термостабільність плівки при 160 °С, хв, не менше	20
8	Масова доля вологи та летких, %, не більше	0,3
9	Масова доля вінілхлориду, млн <sup>-1</sup> , не більше	3

**Стабілізатори** використовують для забезпечення термічної стабільності ПВХ у процесі переробки (технологічну термостабільність) і забезпечують термостабільність виробу із ПВХ у процесі його експлуатації (експлуатаційну термостабільність). Дія стабілізаторів заснована на тому, що вони або запобігають відщепленню хлористого водню від полімеру, або вловлюють хлористий водень, що відщепився. В рецептурах, які досліджувалися, використовувався стабілізатор комплексний LFD 0074 [116].

**Наповнювачі** застосовуються для одержання композицій ПВХ з метою їх здешевлення, а також для додавання спеціальних властивостей. В рецептурах, які

досліджувалися, використовувалася крейда, характеристика якої представлена в таблиці 2.2.

Характеристики крейди, що використовувалась для виробництва труб з НПВХ, а надалі і труб з ПВХ-О вказані в таблиці 2.2 [116].

Таблиця 2.2

**Характеристики крейди природної тонкодисперсної Мікрокарб-90Т  
(М-90Т), ТУ 5743-001-22242270-2002**

<b>Показники</b>	<b>Норма</b>	<b>Факт</b>
Вміст CaCO <sub>3</sub> ; MgCO <sub>3</sub> ; % не менше	98,5	98,6
Нерозчинний в НСІ залишок, % не менше	1,0	0,9
Вміст F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % не більше	0,2	0,2
Вміст F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % не більше	0,1	0,08
Білизна, % не менше	85,0	87,7
Гранулометрія:		
99%, мкм, не більше	4,5	4,5
90%, мкм, не більше	2,5	2,5
50% мкм, не більше	1,0	1,0
Залишок після просіву на сіті з сіткою № 0045, % не більше	0,01	0,01
Масова доля вологи, % не більше	0,2	0,2
Гідрофобність, % не менше	95,0	97,0

**Барвник** – вуглецева сажа – №220, яка має йодний індекс 121 г/кг; питома площа поверхні СТАВ – 11 м<sup>2</sup>; індекс DBP – 114 см<sup>3</sup>/100 г.

Вихідною рецептурою для труб з ПВХ-О, взяли за основу рецептуру на базі ПВХ, за якою отримувались напірні труби з НПВХ для водопостачання, відповідно до ДСТУ Б.В.2.7-141:2007 «Будівельні матеріали. Труби із неластифікованого



полівінілхлориду та фасонні вироби до них для холодного водопостачання. Технічні умови» [16], а саме:

ПВХ (Кф =67) – 100 м.ч;

Крейда  $\text{CaCO}_3$  (до 2 мк) – 3м.ч.;

Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074) – 2,4 м.ч.;

Барвник-сажа – 0,12 м.ч..

В рецептурах для ПВХ-О, які досліджувалися в роботі, використовувалися:

**Змащуючі речовини, що** призначені для зниження тертя розплаву НПВХ-композиції об поверхню робочих частин переробного обладнання, або для зниження внутрішнього тертя матеріалу композиції. Змащувачами є поліетиленовий віск, парафін і стеаринова кислота. Термостабілізатори (стеарати) металів також мають змащувальну дію [116].

**Модифікатори** – речовини, що призначені для поліпшення переробки композицій або для додання спеціальних експлуатаційних властивостей виробам із НПВХ –композицій [116].

**Регулятори в'язкості (лубриканти)-** насичені вуглеводні, так звані рідкі парафіни з вуглецевим ланцюгом  $\text{C}_{10}$ - $\text{C}_{13}$ . Регулятори в'язкості добавляють в НПВХ в кількості 1-6% для підтримання постійної в'язкості розплаву при зберіганні [109].

Для дослідження характеристик труб з ПВХ-О використовували п'ять рецептур (табл.2.3), які змінювали в результаті отриманих фізико-механічних аналізів труб з ПВХ-О і даних результатів акустичної емісії.

Таблиця 2.3

## Склад рецептур виробництва труб з ПВХ-О

Склад рецептури				
Рецептура №1	Рецептура №2	Рецептура №3	Рецептура №4	Рецептура №5
НПВХ, ПВХ-С-6768М - 100 м.ч; Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.; Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,4 м.ч.; Барвник-сажа-0,12 м.ч.	НПВХ, ПВХ-С-6768М - 100 м.ч; Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.; Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,1 м.ч.; Барвник-сажа-0,12 м.ч. Модифікатор переробки : Degalan 10F-0,8 м.ч.	НПВХ, ПВХ-С-6768М - 100 м.ч; Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.; Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,4 м.ч.; Барвник-сажа-0,12 м.ч. Модифікатор удароміцності Acrylan AM71: 4 м.ч.	НПВХ, ПВХ-С-6768М - 100 м.ч; Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.; Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,3м.ч.; Барвник-сажа-0,12 м.ч. Модифікатор переробки : Degalan 10F-0,5 м.ч. Модифікатор удароміцності Acrylan AM71- 3 м.ч.	НПВХ, ПВХ-С-6768М - 100 м.ч; Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.; Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,3м.ч.; Барвник-сажа-0,12 м.ч. Модифікатор переробки : Degalan 10F-0,5 м.ч. Модифікатор удароміцності Acrylan AM71: 3 м.ч. Лубрікант зовнішній: Baerlub PA-L-0,5 м.ч.

Для визначення значень міцності і деформації, їх супровідних похідних – макроскопічних властивостей (механічних: сили пружності, модулю пружності,

межі міцності при розтягуванні, ударного навантаження; деформаційних, релаксаційних і термічних) полівінілхлориду НПВХ-С-67 і ПКМ на їх основі при експериментальних дослідженнях та технологічних тестуваннях застосовувалися прилади та стенди як у лабораторних умовах, так і натурні зразки.

### **2.3. Обладнання, прилади, стенди, принцип їх роботи, експериментальні методи досліджень**

#### **2.3.1. Обладнання, принцип роботи**

До складу обладнання для проведення експериментальних досліджень застосовувалось як натурне так і оригінальне дослідне устаткування, а саме:

1. Комплекс устаткування одержання порошкоподібних сумішей досліджуваних композицій на основі суспензійного полівінілхлориду для виготовлення напірних труб;
2. Експериментальне устаткування для одержання трубних заготовок з ПВХ-О для орієнтації;
3. Експериментальне устаткування для орієнтації труб з ПВХ-О;
4. Устаткування для формування розтрубів на мірних відрізках труб мереж водопостачання;
5. Технологічна лінія для виготовлення напірних труб з ПВХ-О.

**Комплекс підготовки композицій.** На рис.2.1 представлена технологічна схема одержання композицій на основі непластифікованого полівінілхлориду. Розглянемо склад комплексу устаткування для одержання порошкоподібних сумішей досліджуваних композицій на основі суспензійного полівінілхлориду при виготовленні напірних труб; принцип його роботи [116].

Попередньо проводиться підготовка вихідної сировини (об'єктів досліджень) до приготування композиції, а саме робиться вхідний контроль характеристик, пропорційно до вищевказаної рецептури розподіляються, зважуються компоненти.

ПВХ бігбегами або палетами поставляється до ємностей розтарювання ПВХ, де проводять їх розтарку і вакуумним завантажувачем VL01 подають в приймальний бункер ПВХ В02 (об'єм 12м<sup>3</sup>). Крейда подається ланцюговим конвеєром D02 в приймальний бункер В01 (об'єм 3м<sup>3</sup>). Перед початком змішування задається на ЦПУ

кількість компонентів суміші (це стосується ПВХ і крейди в (кг) на один заміс, які зважуються на тензовагах W01).

Сировина з бункерів B01 (CaCO<sub>3</sub>), B02 (ПВХ) шнековими дозаторами DOZ01 (CaCO<sub>3</sub>), DOZ02(ПВХ) дозується на автоматичну тензовагу W01. Далі зваживши спочатку крейду, потім ПВХ, вони з тензоваги поступають в проміжну ємність ТН01 (об'єм 800л) через автоматичний клапан V02 з часовою затримкою відкриття 50с. Далі вакуумзавантажувачами VL02 або VL03 з часом вивантаження 150с і вакуумом 0,5МПа через автоматичні клапани V03, V04 ПВХ і крейда подаються на ємності дегідратації і знепилення F02 і F05.

При включеному гарячому міксері НМ01 або НМ02, який працює на першій швидкості (з швидкістю обертання лопатей 375 об/хв) через автоматичні клапани V05, V09 (час відкриття 50с) з ємностей F02 і F05 сировина попадає в гарячий міксер НМ01 (об'єм 800л.).

В автоматичному режимі гарячий міксер переходить на другу швидкість (з швидкістю обертання лопатей 750 об/хв ). Додатково через бункер завантажується «розважка» прямо в гарячий міксер (всі інші компоненти, які входять в композицію, а саме стабілізатор і пігмент) через клапан V06 або V10. Гарячий міксер вимішує композицію до заданої температури 120-125°С.

Після досягання заданої температури гарячий міксер НМ01 автоматично відключається і включається на першій швидкості, далі через автоматичні клапани V07 або V11 (з часом на відкриття 120с) композиція зсипається в холодний міксер СМ01 або СМ02 (об'ємом 2500л і швидкістю перемішування 50 об/хв). Композиція в холодному міксері охолоджується до температури 25-35 °С. При досяганні заданої температури композиція з холодного міксера через автоматичний клапан V08 або V12 (з часом відкриття 200с) зсипається в проміжну ємність ТН03 або ТН04.

Отримана композиція вакуумним завантажувачем BL01, BL02 (з робочим тиском 0,3МПа) викачується через трьохходовий автоматичний клапан V13, V14 на силоси S01 (об'єм 20м<sup>3</sup>); S02 (об'єм 20м<sup>3</sup>); S03 (об'єм 20м<sup>3</sup>); S04 (об'єм 20м<sup>3</sup>), де і проходить вистоювання, так зване «дозрівання» композиції на основі ПВХ до використання в роботу мінімум 24 год.

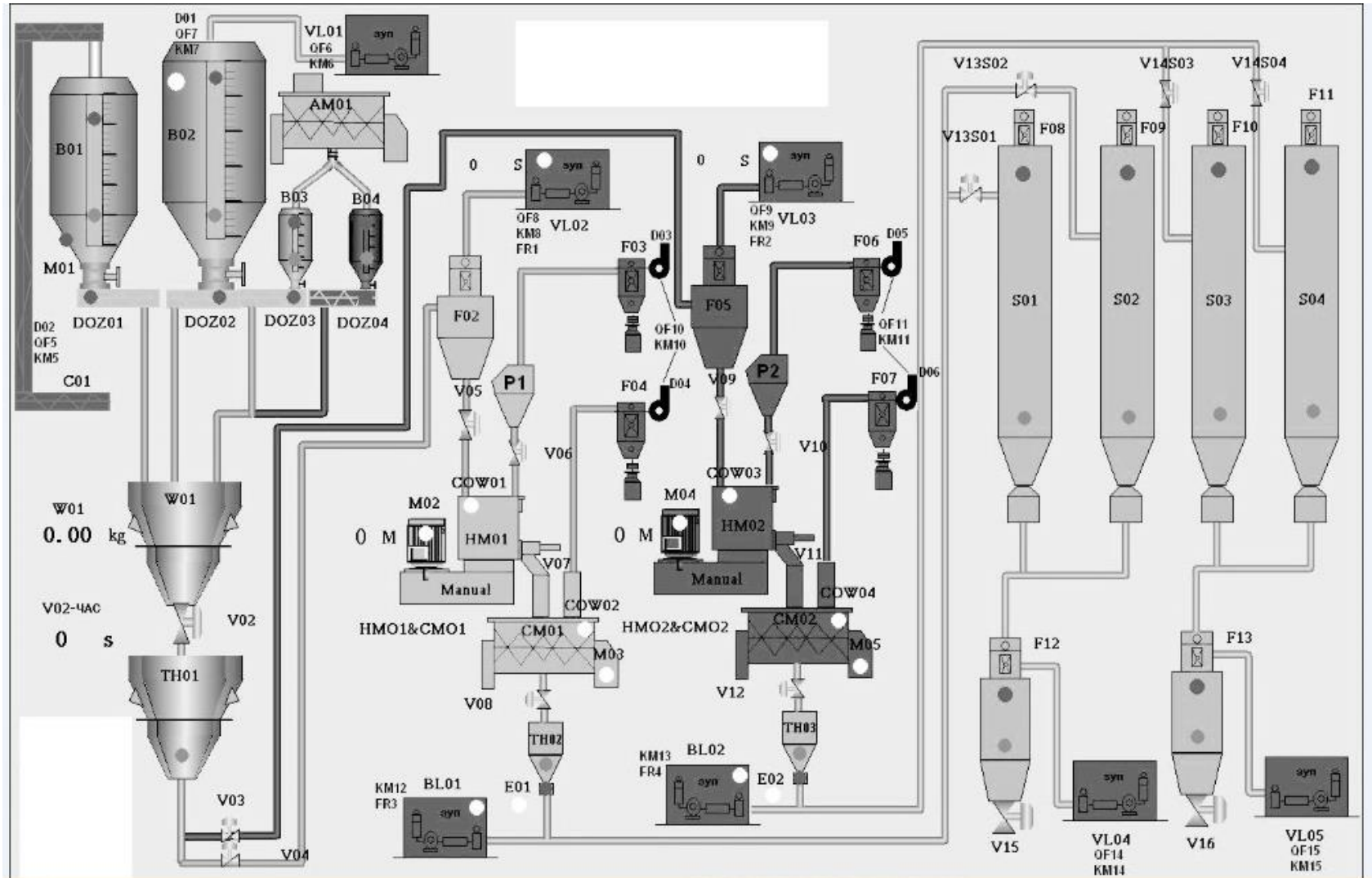


Рис.2.1 – Технологічна схема комплексу отримання композиції на основі непластифікованого ПВХ

Отже, вище була наведена і технологія виготовлення композиції на основі ПВХ. Надалі необхідно дослідити, що слід вводити додатково в композицію для отримання орієнтованої труби з ПВХ-О, щоб забезпечити оптимальну ступінь витяжки трубної заготовки. Одним з основних показників, який буде показувати на необхідність введення додаткових компонентів, зміни технологічних параметрів отримання композиції на основі ПВХ, є міцність розплаву композиції.

**Експериментальне устаткування для одержання трубних заготовок з ПВХ-О для орієнтації.** Приготовлена композиція ПВХ-О через завантажувальний бункер поступає в один з основних робочих органа двочерв'ячного екструдера, обігриваючий матеріальний циліндр ЕК1, всередині якого обертаються конічні черв'яки (рис.2.2). Формуючий інструмент встановлюється на виході з матеріального циліндра.

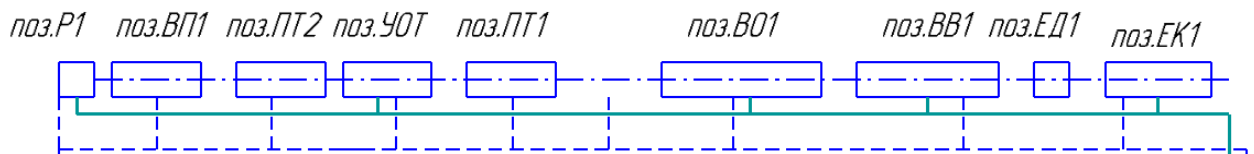


Рис.2.2 – Експериментальна установка для досліджень технології виробництва труб з ПВХ-О: ЕК1 – двочерв'ячний екструдер; ЕД1 – формуюча головка; ВВ1 – вакуумна ванна; ВО1 – ванна охолодження; ПТ1 – перший штовхаючий пристрій; УОТ – установка орієнтації труби; ПТ2 – тягнучий пристрій; ВП1 – відрізний пристрій; Р1 – розтрубовочна машина

Головними робочими органами екструдера ЕК1 є конічні черв'яки. При обертанні черв'яки захоплюють порошкоподібну композицію ПВХ-О, яка з співвідношенням до оборотів черв'яків дозується дозатором до черв'яків. Там вона нагрівається при доторканні з гарячими стінками циліндра до заданої температури від електронагрівачів та дисипативного тепла від внутрішнього тертя (180-200°C). Матеріал проходить від зони завантаження до зони дозування (гомогенізації), переходить з порошкоподібного стану через еластопластичну пробку в в'язкопластичний розплав.

Матеріал в циліндрі здійснює поступальний і циркуляційний рух. Циркуляційний рух важливий для процесів теплопередачі і змішування. Поступальний, названий „вимушеним потоком”, визначає продуктивність екструдера. Для забезпечення потрібного теплового режиму екструзії матеріальний циліндр має електронагрівачі, які розміщені на зовнішній поверхні циліндра і розділені для індивідуального регулювання на 5 зон.

Далі розплавлена композиція ПВХ подається в формуючу головку ЕД1 під тиском 10-25 МПа, який контролюється на межі екструдера і головки. Формуюча головка оснащена електронагрівачами ЕД 1-16, для підтримки нагріву розплаву. Для підтримки температури розплаву в формуючій головці передбачений внутрішній електронагрівач на задану температуру. В процесі екструзії матеріал, проходячи через циліндр та просуваючись до виходу з нього при допомозі черв'яків, піддається нагріванню і перемішуванню. Щоб не відбувалось саморозігріву матеріалу за рахунок тертя, передбачена система охолодження. При формуванні труб використовується прямоточна формуюча головка ЕД1.

Розплав з циліндру екструдера проходить через адаптер, попадає в камеру формуючої головки екструдера, далі проходить через розсікач, після якого розтікається на окремі потоки. Далі розплав поступає в формуючий канал, де зварюється в монолітний потік циліндричного перерізу. Для контролю параметрів тиску і температури розплаву встановлені датчик тиску і датчик температури, а для контролю навантаження на електродвигун екструдера встановлений амперметр на двигуні, рис.2.3.

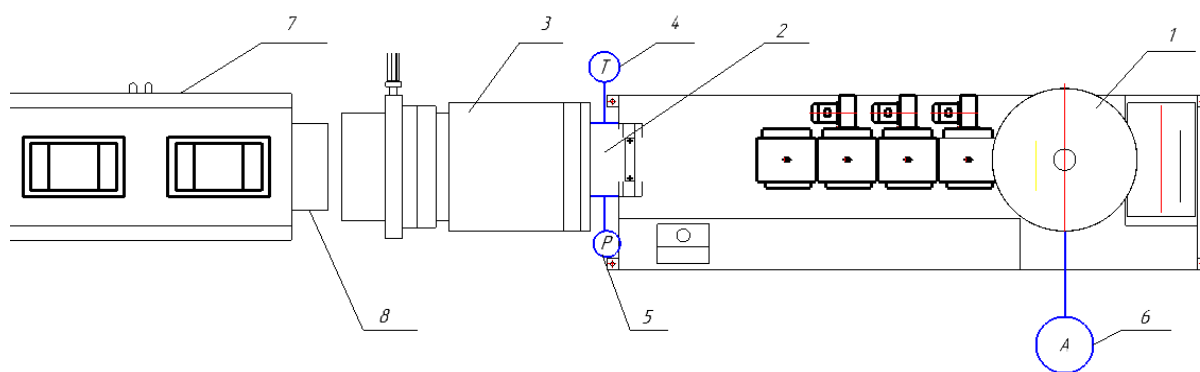


Рис.2.3 – Складові експериментальної установки для досліджень технології виробництва ПВХ-О труб: 1 – екструдер; 2 – адаптер; 3 – головка ЕД1; 4 – датчик температури розплаву; 5 – датчик тиску розплаву; 6 – амперметр електродвигуна екструдера; 7 – вакуумна ванна ВВ1; 8 – калібр

Розплавлена маса у вигляді трубної заготовки циліндричної форми попадає на вакуумну ванну ВВ1. Трубна заготовка, що виходить з формуючої головки ЕД1 поступає в вакуумну ванну ВВ1 з калібруючим пристроєм, який забезпечує необхідну формостійкість труби (діаметр).

Калібрування здійснюється при вакуумі 0,02-0,04 МПа. У ванні вакуумній ВВ1 вакуум створюється центробіжними вакуумними насосами, герметизація по ходу труби забезпечується кільцевими ущільненнями з силіконової гуми. У ванні охолодження ВО1, охолодження проводиться оборотною водою через форсунки, які розміщені на повздовжніх колекторах, напір води створюється центробіжними водяними насосами, які забезпечують циркуляцію води в зрошувальній системі ванн. Із вакуумної ванни ВВ1 труба безперервно поступає в ванну охолодження ВО1 для кінцевого охолодження (рис.2.4). Вода в ванні оборотна, охолодження труби здійснюється методом зрошення.



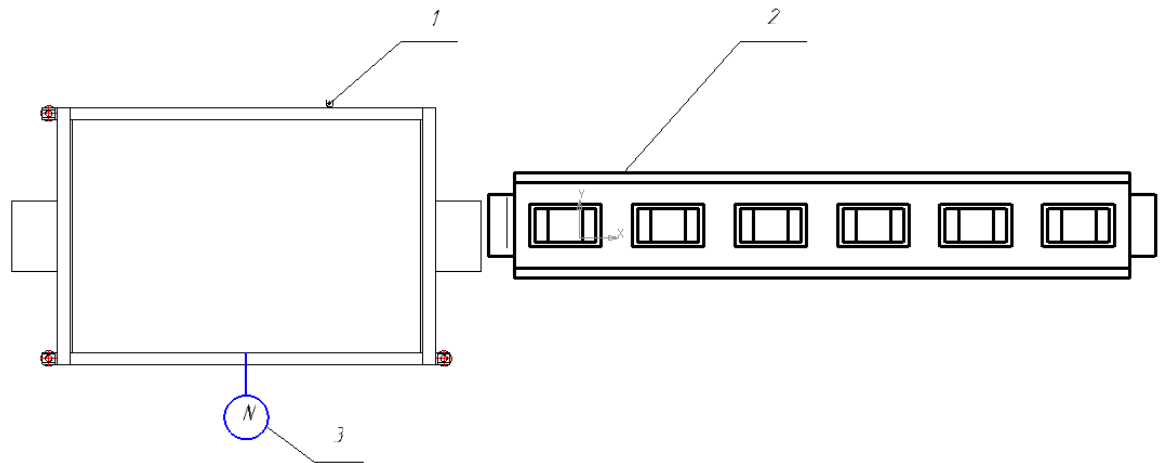


Рис.2.4 – Складові експериментальної установки для досліджень технології виробництва труб з ПВХ-О: 1 – штовхаючий пристрій ПТ1; 2 – ванна охолоджуюча ВО1; 3 – датчик визначення швидкості протяжки

Протягування екструдованих труб через вакуумну ванну ВВ1 та охолоджуючу ванну ВО1, здійснюється пристроєм штовхаючим гусеничного типу з гумовими траками ПТ1. Після пристрою штовхаючого ПТ1 трубна заготовка подається на установку орієнтації труб УОТ, де і виготовляється труба з ПВХ-О. Після даної установки труба з ПВХ-О поступає у відрізний пристрій ВП1 і на розтрубовщик Р1.

**Експериментальне устаткування для орієнтації труб з ПВХ-О.** Для виготовлення ПВХ-О труб були запропоновані 2 установки виготовлення труб. Опишемо принципи роботи 2-х установок.

Перша установка для отримання труб з полівінілхлориду методом орієнтації (рис.2.5.) складається з труби з полівінілхлориду 1, внутрішньої труби 2, першого штовхаючого пристрою 3, пристрою для нагріву труб 4, малої глушки 5, пристрою для формування другого зовнішнього діаметру 6, насоса охолодження 7, калібру 8, форсунок 9, вакуумного насоса 10, великої глушки 11, другого тягнучого пристрою 12, відрізного пристрою 13.

Робота даної установки виконується таким чином. Труба з ПВХ 1 після екструзії з допомогою першого тягнуче-штовхаючого пристрою 3 поступає до пристрою для нагріву труб 4, де проходить її нагрів до температури 100°C. Після пристрою для нагріву труба поступає в пристрій для формування другого

зовнішнього діаметру 6. В даному пристрої труба розширюється в коловому напрямку шляхом подачі у внутрішню порожнину труби 1 стиснутого повітря через отвори у внутрішній трубі 2. Мала глушка 5 і велика глушка 11 забезпечують герметизацію труби в зоні орієнтації і роздуву. Дані глушки також розширюються для герметизації середовища, шляхом подачі повітря подачі у внутрішню порожнину глушок стиснутого повітря через отвори у внутрішній трубі 2. Зовнішня поверхня труби отримує орієнтовану витяжку також у зовнішньому коловому напрямку з допомогою вакуумного середовища, що створює вакуумний насос 10 і закріплюється в калібрі 8. Охолодження труби здійснюється з допомогою води, що поступає з насоса охолодження 7 через форсунки 9. Надалі труба з полівінілхлориду відводиться на відрізний пристрій 13 через другий тягнучий пристрій 12.

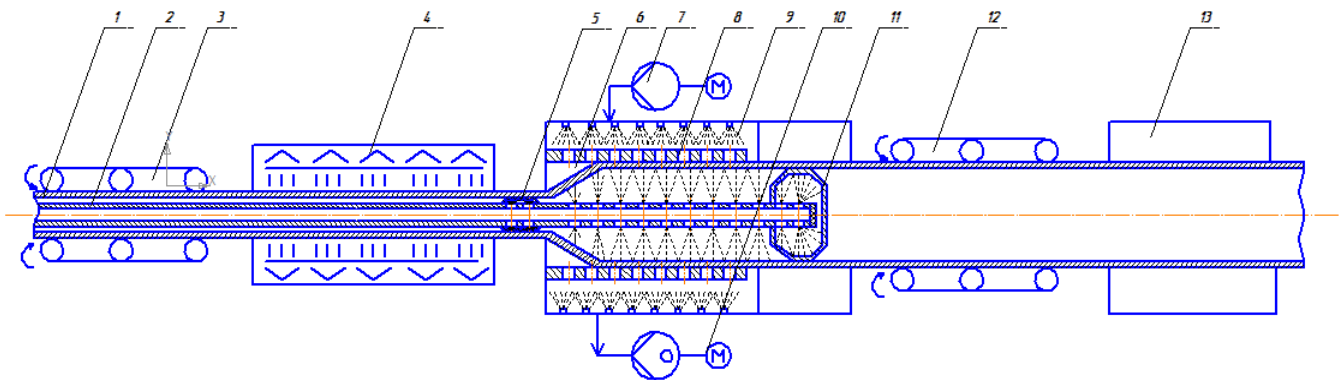


Рис. 2.5 – Установа №1 для виготовлення труб ПВХ-О

Друга установка для отримання труб з полівінілхлориду методом орієнтації складається з нерухокої опори 1, з'єднувачого елемента 2, трубки-тримача 3, труби з полівінілхлориду 4, першого штовхаючого пристрою 5, кабелів 6 і 7, конічної оправки 8, датчиків температури верхнього ряду 9, повітрорудовок верхнього ряду 10, нагрівальних елементів верхнього ряду 11, кабелів датчиків температури верхнього ряду 12, кабелів нагрівальних елементів верхнього ряду 13, спадаючої частини конічної оправки 14, блоку керування 15, вакуумної ванни 16, калібру 17, переміщувачів вакуумної ванни 18, форсунок охолодження 19, повітрорудовок нижнього ряду 20, другого тягнучого пристрою 21, датчиків температури нижнього ряду 22, нагрівальних елементів нижнього ряду 23, кабелів нагрівальних елементів

нижнього ряду 24, кабелів датчиків температури нижнього ряду 25, відрізного пристрою 26, відрізного елемента 27, труби з полівінілхлориду після операції відрізання 28.

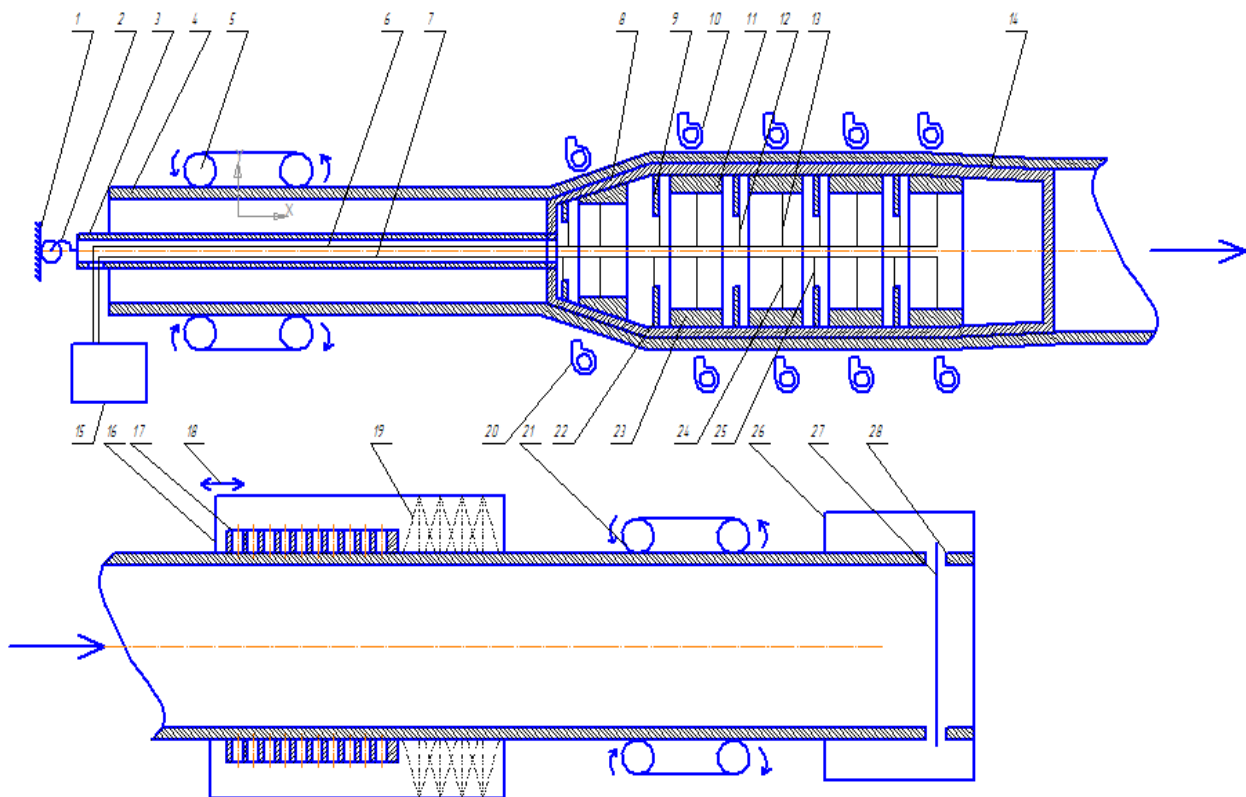


Рис. 2.6 - Установка №2 для виготовлення труб ПВХ-О: 1– нерухома опора; 2 – з'єднувачій елемент; 3 – трубка-тримач; 4 – труба з полівінілхлориду; 5 – штовхаючий пристрій; 6 і 7 – кабелі; 8 – конічна оправка; 9 – датчики температури верхнього ряду; 10 – повітродувки верхнього ряду; 11 – нагрівальні елементи верхнього ряду; 12 – кабелі датчиків температури верхнього ряду; 13 – кабелі нагрівальних елементів верхнього ряду; 14 – спадаючі частини конічної оправки; 15 – блок керування; 16 – вакуумна ванна; 17 – калібр; 18 – переміщувачі вакуумної ванни; 19 – форсунки охолодження; 20 – повітродувки нижнього ряду; 21 – тягнучий пристрій; 22 – датчикі температури нижнього ряду; 23 – нагрівальні елементи нижнього ряду; 24 – кабелі нагрівальні елементів нижнього ряду; 25 – кабелі датчиків температури нижнього ряду; 26 – відрізний пристрій; 27 – відрізний елемент; 28 – труба з полівінілхлориду після операції відрізання.

При підготовці до виготовлення установки №2 для виготовлення труб з ПВХ-О враховували наступне. Завданням двохосьового орієнтування пластикового матеріалу труби, відомого як двовісна витяжка труби, є поліпшення властивостей труби за допомогою орієнтування молекул пластикового матеріалу труби в двох взаємно перпендикулярних напрямках. В одному з зазвичай відомих способів двовісне орієнтування зазвичай здійснюють шляхом насадження труби на оправлення при відповідній температурі, за допомогою впливу на трубу аксіально спрямованого тягового зусилля за оправленням. Насадження труби на оправлення також може сприяти здійсненню додаткового впливу на трубу тягнучого зусилля перед оправленням в напрямку оправки. Це призводить до зменшення необхідного тягового зусилля і забезпечує можливість більшої витяжки. Оправлення має розширену частину, яка забезпечує збільшення розмірів у напрямку окружності труби. Це значною мірою визначає орієнтацію пластикового матеріалу в напрямку окружності. Аксіально спрямоване тягове зусилля в значній мірі визначає орієнтацію в аксіальному напрямку. Досягнута двовісна орієнтація закріплюється (заморожується) шляхом охолодження труби.

На практиці встановлено, що виготовлення двовісних орієнтованих трубопроводів відомими способами є недостатньо регульованими. Це робить відомі способи непридатними для використання як безперервного процесу в промисловому масштабі, зокрема, тому, що не знайдена можливість отримання двовісний орієнтованих трубопроводів прийнятної якості. Встановлено, зокрема, що відомим способом неможливо отримати трубу з досить однакової товщиною стінки і двовісною орієнтацією. Прикладом незадовільною урегульованості процесу є те, що відомим способом часто отримують трубу з потовщеною частиною стінки труби, що проходить у напрямку довжини труби.

Завданням створення другої установки було виключення вищезазначених недоліків і створення способу, який виробляє двовісну орієнтацію зі значно поліпшеною регульованими параметрами.

У той час, як пластичний матеріал труби проходить по оправці, він стикається з опором, який протидіє руху труби за оправкою. Згаданий опір залежить від

декількох параметрів, таких, як температура пластичного матеріалу, товщина стінки труби перед оправкою, тертям між трубою і оправкою і форма оправки. Загальноприйнятою до теперішнього часу ідеєю є те, що якщо труба подається до оправки в можливо більш гомогенному стані, пластичний матеріал, дивлячись в напрямку окружності труби, буде абсолютно рівномірно деформуватися, проходячи по оправці. Іншими словами, передбачається, що товщина стінки труби зберігається постійною і однаковою, дивлячись у напрямку кола, в той час, поки вона проходить по оправці.

Однак забезпечення постійного опору в кожному секторі колу труби фактично неможливо досягнути. Існує ще один параметр, вплив якого на опір до теперішнього часу не було виявлено. Це орієнтація молекул пластика в стінці труби перед здійсненням двохосьового орієнтування труби. У разі екструзійного процесу орієнтація молекул в екструдованій трубі не є однаковою всюди, особливо дивлячись у напрямку окружності труби. Оскільки пластичний матеріал знаходиться в легко деформованому стані під час проходження на оправці, на розподіл пластичного матеріалу навколо оправлення буде впливати відмінність опорів між секторами оправки. Це призводить до того, що товщина стінки труби при погляді на поперечний переріз під прямим кутом до осі оправки, не буде зберігатися постійною надалі, коли труба покине оправку. В остаточно готовій трубі ця варіація в товщині стінки безсумнівно збережеться і в результаті труба виявиться непридатною для практичного використання. Більш того, в секторі труби, в якому є варіація в товщині стінки, отримана двовісна орієнтація не буде відповідати двовісній орієнтації в інших секторах труби.

Отже для забезпечення якісного утримання труб ПВХ-О було запропоновано і виготовлено установку для виготовлення, що ліквідує вищевказані недоліки наступним чином. Трубу з полівінілхлориду 4, довжиною 6 м, насаджують на трубку тримач 3, яка після насадження труби закріплюється з допомогою з'єднуючого елемента 2 до нерухокої опори 1 (рис.2.6.). З другої сторони трубка-тримач 3 кріпиться до конічної оправки 8. Труба з полівінілхлориду 4 подається на нагріту конічну оправку 8 з допомогою першого штовхаючого пристрою 5. Конічна

оправка містить в собі 5 секторів з верхніми і нижніми рядами. Кожний сектор верхнього ряду має датчики температури 12, повітродувки 10 і нагрівальні елементи 11, включення і регулювання роботою яких здійснюється з блоку керування 15 по кабелях 6, які поступають в блок керування всередині трубки-тримача 3. Кожний сектор нижнього ряду має датчики температури 22, повітродувки 20 і нагрівальні елементи 23, включення і регулювання роботою яких здійснюється з блоку керування 15 по кабелях 7, які поступають в блок керування всередині трубки-тримача 3. З допомогою нагрівальних елементів, оправка нагріває трубу до температури 100°C, забезпечуючи при цьому посекторний контроль за температурою оправки. Посекторний контроль в оправці потрібен для забезпечення однакового значення температур в кожній частині оправки, що дозволить зробити витяжку труби однаковою у всіх напрямках, а також забезпечити відсутність різнотовщинності при орієнтації труб. Також нагріта оправка забезпечує вільний прохід труби через неї, чинячи мінімальний опір руху труби, що дуже впливає на якість орієнтації і однаковою товщину стінки труби. Після оправки, труба з полівінілхлориду, досягши збільшених розмірів в результаті орієнтації поступає після спадаючої частини конічної оправки 14 в вакуумну ванну 16. Вакуумна ванна призначена для релаксації напружень в стінці труби, закріплення зовнішнього діаметру труби з допомогою калібру 17. Регулювання процесом релаксації напружень в трубі здійснюється шляхом зміни температурних параметрів води, що поступає на охолодження через форсунки охолодження 19 і відстанню між вакуумною ванною 16 і оправкою 8, що досягається з допомогою переміщувача 18. Після вакуумної ванни, труба з полівінілхлориду відводиться з допомогою другого тягнучого пристрою 21. Тягнучий пристрій 21 забезпечує аксіальну витяжку труби, тобто орієнтацію в аксіальному напрямку. І насамкінець, труба проходить відрізний пристрій 26, де з допомогою відрізного елемента 27 проходить її порізка на необхідні відрізки. Контроль параметрів товщини стінки труби здійснюється за допомогою ультразвукового товщино міра після відрізного пристрою. За результатами вимірювань товщини стінки в різних місцях перерізу труби регулюється температура оправки з блоку керування 15.

Вищеописана установка дозволяє проводити виробництво труб ПВХ-О в промислових масштабах, забезпечує однакову орієнтацію молекул в аксіальному і радіальному напрямках, дозволяє регулювати температуру витяжки в кожному секторі оправки, зменшує опір руху труби через оправку і дозволяє регулювати релаксаційними процесами при усадці труби з допомогою вакуумної ванни, що переміщається.

### **2.3.2. Прилади, стенди, принцип їх роботи, експериментальні методи досліджень**

Для оцінки характеристик труб з НПВХ і з ПВХ-О використовувались методи акустичної емісії та тензометрії, які дозволяють проводити ефективний і безпечний контроль за початком руйнівних процесів і деформації навантаженого зразка труби, а також інші методи. В експериментальних випробовуваннях використовували зразки труб. Також цим методом проводились дослідження впливу технологічних параметрів на процес орієнтації труб. Приведемо нижче методики та устаткування цих досліджень.

**Дослідження міцності труби ПВХ-О з використанням методів акустичної емісії і тензометрії.** Розглядаються засоби та методи тензометрування труб і трубопроводів, визначення початку руйнівних процесів методом акустичної емісії [117]. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити засоби утворення необхідного тиску у зразку;
- провести тарування тензоапаратури;
- препарувати досліджуваний зразок тензодатчиками та датчиками акустичної емісії;
- розробити заходи безпеки досліджень;
- обробити та проаналізувати отримані результати.

Апаратура та обладнання досліджень наведені в Додатку А .

Об'єктами дослідження були труба з ПВХ-О, зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2 мм і труба з НПВХ, зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили трубу з ПВХ-О 110\*2). З обох кінців до труб були

вставлені сферичні заглушки. В одній із них був вмонтований штуцер, через який велось нагнітання труби рідиною і створювався необхідний тиск.

При підготовці до проведення випробувань зразка було вирішено розташувати вздовж зразків сім тензодатчиків КФ 5П1-10-200-Б-12 (Рис. 2.7) та стільки ж вздовж протилежного боку для дублювання та підвищення точності вимірювань, таким чином, щоб крайні датчики розташовувались поблизу торців труби на відстані 15мм, а решта рівновіддалені один від одного на відстані 60мм, з умовою, що четвертий датчик знаходився б рівно по середині, а два його сусідніх близько країв зони розширення.

У разі нестатку чутливості цих датчиків передбачено додаткові датчики з іншою чутливістю (два датчики з базою 5мм та один з базою 20мм), які розташовані посередині труби біля датчика 4. Тензорезистори наклеювались на об'єкт дослідження за допомогою клею "Цианопан", до складу якого входить циакрін.

Підготовлену та обезжирену поверхню зразка вкривали тонким шаром клею та давали йому підсохнути протягом 5-7 хвилин. Далі вкривали зразок ще раз більш товстим шаром клею з подальшою сушкою протягом 1-2 хвилини при кімнатній температурі.

Покривали контактну поверхню тензодатчика тонким шаром клею і розташовували перпендикулярно осі зразка і одразу ж, притиснувши тензодатчик фторопластовою плівкою, рухом пальців вздовж датчика видаляли з-під нього залишки клею. Іншою плівкою міцно притискували тензодатчик до зразка і витримували 30-40 сек.

Номінальний час сушки тензодатчиків складав 2-3 доби при кімнатній температурі.

Після сушки тензодатчики перевіряли омметром з вихідною напругою не більше 0,5 вольт та виконували приєднання відводів до комутаційних кабелів.

Кожен з датчиків з'єднували із своїм каналом тензоапаратури 8АНЧ-26 за допомогою кабелів. Оброблений та підсилений сигнал від тензоапаратури надходив на свій окремий канал осцилографа.



Осцилографом Н071.4М за допомогою гальванометрів М041-1,0 фіксували відхилення світлового променя на фотопапері УФ67. Розташування променів зліва направо відповідало порядковим номерам датчиків без навантаження тиском.

Для контролю за початком руйнівних процесів навантаженого зразка встановлювали апаратуру акустичної емісії. Датчики акустичної емісії П113 розташовували на краях труби, що давало змогу контролювати всю поверхню досліджуваного зразка (рис.2.7). Попередньо змащені мастилом типу ЦИАТИМ робочі частини датчиків акустичної емісії приєднували до зразка за допомогою ізоляційної стрічки. Далі датчики приєднувались за допомогою кабелів до апаратури АФ-15, яка оброблювала отримані сигнали та надсилала їх через модуль паралельного цифрового інтерфейсу Р10-48 на вхід персонального комп'ютера, де вони остаточно оброблювались (рис.2.8) [117].

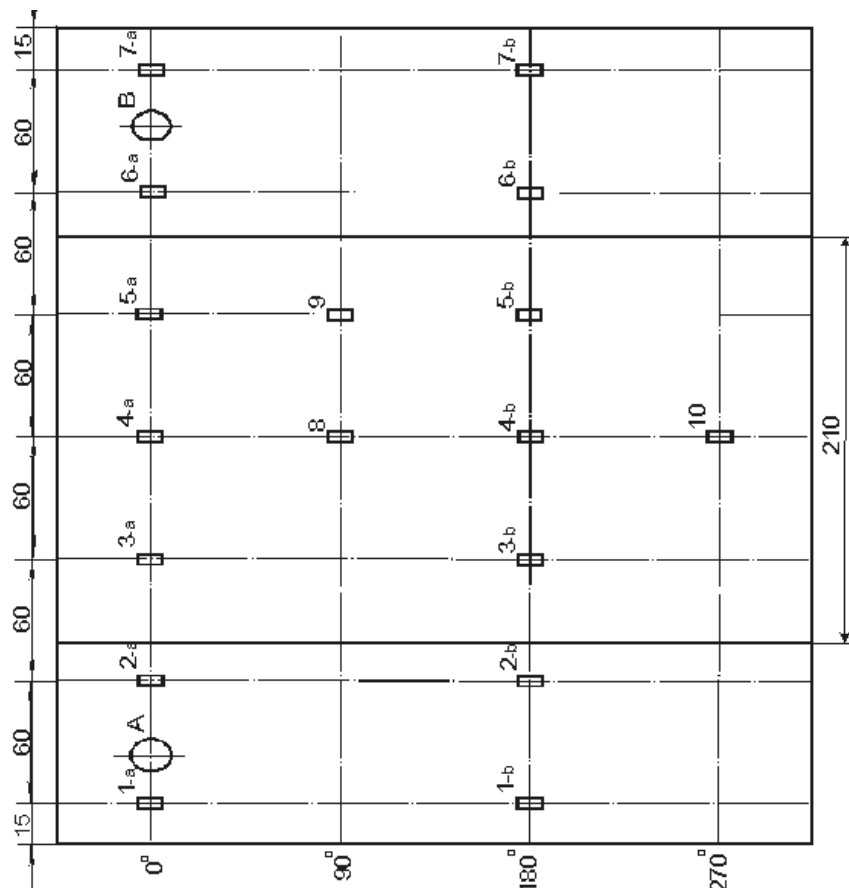


Рис. 2.7 – Схема препарування датчиками досліджуваної труби:

1 – а, 1 – б; 2 – а; 2 – б; 3 – а, 3 – б; 4 – а, 4 – б; 5 – а, 5 – б; 6 – а, 6 – б; 7 – а, 7 – б – тензодатчики; А, В – датчики акустичної емісії

Калібрування та налаштування акустоемісійної апаратури АФ-15 та модуля паралельного цифрового інтерфейсу виконували згідно технічної документації на ці прилади [110].

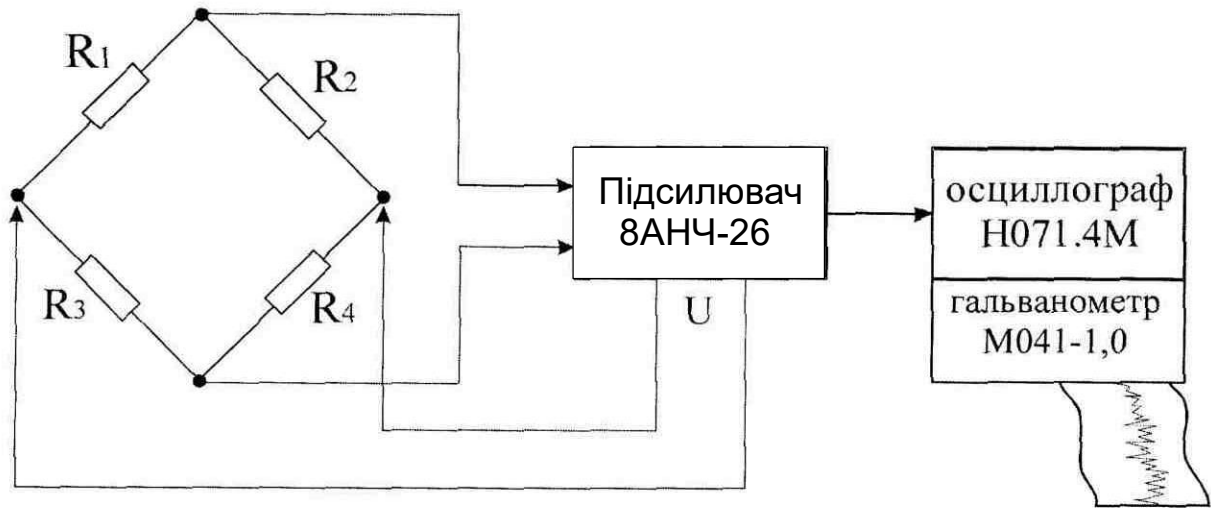


Рис.2.8 – Блок-схема підключення тензOMETричної апаратури

**Підготовка установки нагнітання тиску.** Для зручності та з умовою необхідної точності було сформовано наступну конструкцію, зображену на рис.2.9, устаткування для нагнітання тиску в досліджувану трубу.

Установка здатна поступово утворювати тиск від 0 до 4,0 МПа із зупинкою на будь-якому значенні за допомогою крана. Манометр із межею до 10 МПа контролює тиск у системі, а інший манометр із межею до 4 МПа – тиск у досліджуваній трубі. Клас точності обох манометрів дозволяє виконувати вимірювання із достатньою точністю випробувань.

Так як робота виконувалась з трубою з підвищеним тиском, то для безпечного проведення дослідів передбачено ряд запобіжних заходів:

- використання захисного металевого кожуха, в якому розташовували об'єкт дослідження;
- замість газу трубу наповнювали машинним мастилом, яке має значно більшу густину, а отже більш безпечно при можливому руйнуванні труби.

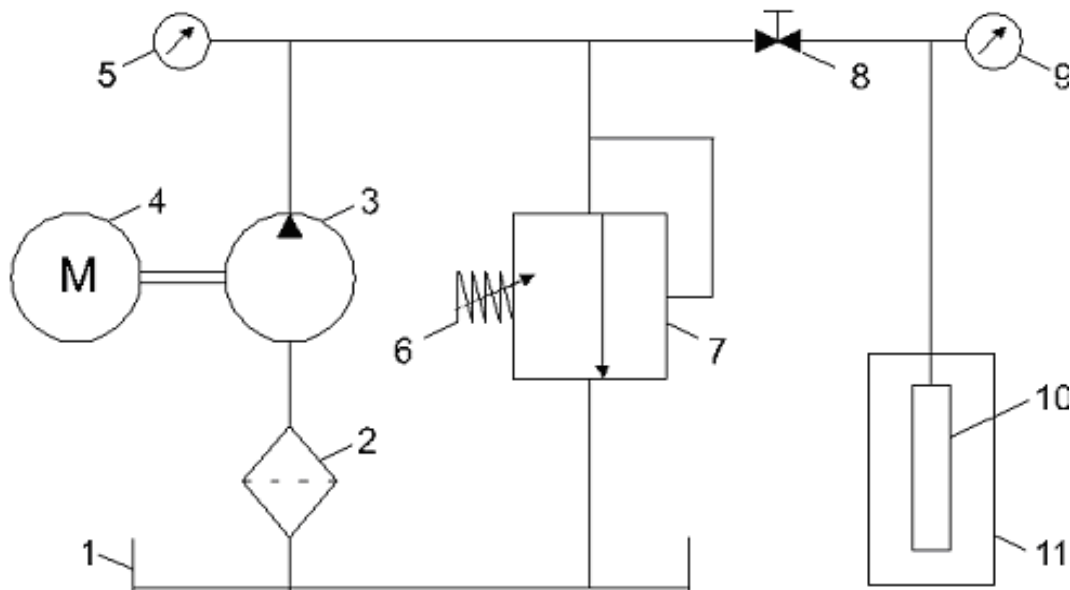


Рис. 2.9 – Схема установки нагнітання тиску:

1 – бак з робочою речовиною; 2 – фільтр; 3 – насос Г12-31М; 4 – електромотор; 5 – манометр з межею до 10 МПа; 6 – пружина запобіжного клапана; 7 – клапан ПГ66-12; 8 – кран; 9 – манометр з межею до 4 МПа; 10 – труба; 11 – сталевий кожух

#### **Визначення інших властивостей і характеристик.**

**Опір удару.** Проводять за методом падаючого вантажу на тестері GotechGT-7037-DA.

Випробування проводили не менше ніж на 10 відрізках труб довжиною  $(200 \pm 2)$  мм одного типорозміру. Зразки (1 зразок труби з орієнтацією, 1 зразок труби без орієнтації) перед ударом кондиціонують при температурі  $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$  протягом не менше 1 години. Вимірювання опору удару за методом падаючого вантажу проводять протягом не більше 5 хв після закінчення кондиціювання.

Зразки труб розташовують та фіксують на горизонтальній установочній плиті за допомогою затискачів на V – подібних призмах з кутом при вершині  $(120 \pm 2)^\circ$ . Місця нанесення ударів відмічають на гладких циліндричних частинах зразків лініями на рівній відстані по довжині кола. Кількість ліній повинна відповідати кількості ударів, нанесених одному зразку. Точка нанесення удару повинна бути рівновіддалена від торців циліндричної частини випробувального зразка.

Наконечник вантажу, що входить у зіткнення зі зразком, є півсферою з радіусом 25 мм для випробувань труб та фасонних частин з  $d_n < 110$  мм та з радіусом 90 мм для випробувань труб  $d_n > 110$  мм, яка виконана зі сталі з твердістю не менше HRC 20.

Маса вантажу, висота падіння вантажу до точки контакту наконечника з поверхнею зразка визначається згідно з таблицею 2.4. Мінімальну кількість ударів, нанесених по одному зразку визначають згідно таблиці 2.5.

Таблиця 2.4

**Маса вантажу, висота падіння вантажу при випробуванні стійкості до удару**

d <sub>n</sub> мм	Середній рівень М		Високий рівень Н	
	Маса падаючого вантажу, кг	Висота падіння, м	Маса падаючого вантажу, кг	Висота падіння, м
75	0,8	1,0	0,8	1,2
90	0,8	1,2	1,0	2,0
110	1,0	1,6	1,6	2,0
125	1,25	2,0	2,5	2,0
140	1,6	1,8	3,2	1,8
160	1,6	2,0	3,2	2,0
180	2,0	1,8	4,0	1,8
200	2,0	2,0	4,0	2,0'
225	2,5	1,8	5,0	1,8
250	2,5	2,0	5,0	2,0
≥315	3,2	2,0	6,3	2,0

**Мінімальна кількість ударів, що необхідно нанести по зразку**

Номинальний зовнішній діаметр труби $d_n$ , мм	Мінімальна кількість ударів, які необхідно провести
$63 < d_n \leq 90$	4
$90 < d_n \leq 125$	6
$125 < d_n \leq 180$	8
$180 < d_n \leq 250$	12
$250 < d_n \leq 355$	16
$355 < d_n$	24

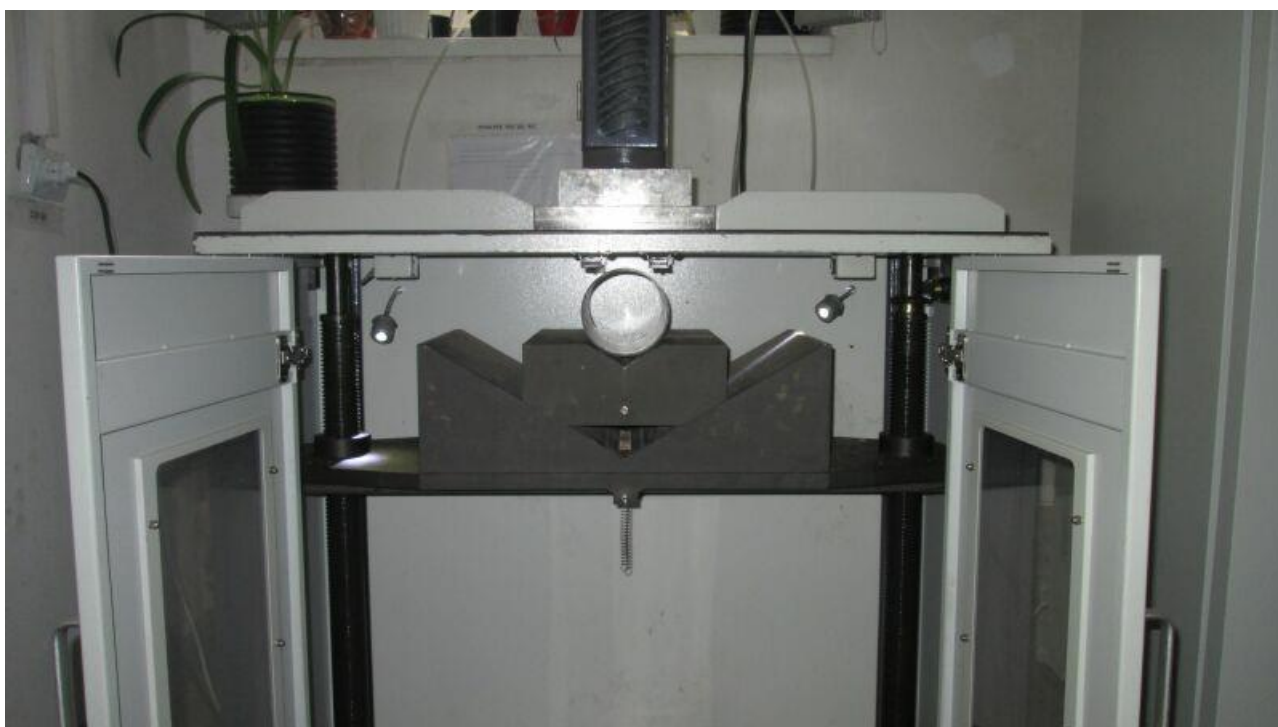


Рис. 2.10 – Зразок для удару

В разі необхідності зразки розрізають. Глибину пошкодження визначають у відсотках як різницю вихідної товщини стінки в місці найбільшого пошкодження і товщиною стінки, що залишилася неушкодженою, віднесеною до вихідної товщини. Вихідна товщина стінки приймається рівною мінімальній товщині стінки за робочим

кресленням. Для вимірювання неушкодженої товщини стінки, що залишилася, застосовують вимірювальні лупи або інші прилади з 10-кратним збільшенням.

За результат випробувань приймається частка зруйнованих зразків у відсотках.

**Випробування на розтягування.** Відносне подовження труб при розриві та межа плинності при розтягу труби, екструдованої з ПВХ-О і НПВХ композицій визначають згідно з ГОСТ 11262 між затискачами розривної машини при швидкості руху затискачів розривної машини ( $25 \pm 1$ ) мм/хв на випробувальних зразках типу 1 і 2 згідно з ГОСТ 11262, що вирізаються з гладкої частини зразків труб у поздовжньому напрямку (1 зразок труби з орієнтацією, 1 зразок труби без орієнтації), рис.2.11.

При випробуваннях труб з ПВХ-О використовували розривну машину GT-AI7000-M, з такими характеристиками:

- максимальне зусилля: 1000-2000 кг;
- точність фіксації навантаження  $\pm 0,5\%$ ;
- швидкість випробування 0,001-1000 мм/хв.;
- точність вимірювання швидкості  $\pm 1\%$ ;
- дискретність переміщення 0,001 мм.



Рис.2.11 – Розривна машина GT-AI7000-M

**Усадка труб.** Зміну довжини труб після прогрівання в повітряному середовищі визначають згідно з ГОСТ 27078. Випробування проводять на трьох зразках довжиною  $(200 \pm 10)$  мм, що вирізаються з гладкої частини зразків труб відібраних у поздовжньому напрямку. На зовнішню поверхню кожного зразка наносять три лінії паралельно осі труб на рівній відстані одна від одної. На кожній лінії роблять дві відмітки по периметру на відстані  $(50 \pm 5)$  мм від торців зразків. Відстань між відмітками ( $L_0$ ) повинна становитиме менше 100 мм при температурі  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  і вимірюватися з похибкою не більше 0,25 мм.

Після кондиціювання при температурі  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  протягом не менше 2 годин зразки розташовують в сушильній шафі або термокамері на скляну підкладку, посипану тальком, і витримують при підвищеній температурі згідно з таблицею 2.6.

Таблиця 2.6

**Параметри визначення зміни довжини труб після прогрівання в повітряному середовищі**

$e_n$ , мм	Температура випробувань, $^\circ\text{C}$	Мінімальний час витримки $\tau$ , хв.
$e_n \leq 8$	$150 \pm 2$	15

Зміну довжини зразків після прогріву  $\Delta$  у відсотках обчислюють за формулою:

$$\Delta = [L - L_0] 100/L_0, \quad (2.1)$$

де  $L_0$  та  $L$  – середнє арифметичне значення довжин між відрізками відповідно до і після прогріву за результатами вимірів трьох зразків, у мм.

**Визначення температури розм'якшення за Віка** проводять на трьох зразках у вигляді прямокутних сегментів довжиною  $(50 \pm 5)$  мм, шириною  $(15 \pm 5)$  мм і товщиною, рівною товщині стінки гладкої частини труби. Із однієї проби труб, виготовляють по одному зразку на приладі ВИКА, рис.2.12. Принцип його дії полягає в тому, що циліндрична сталевая голка перерізом  $1 \text{ мм}^2$  навантажується вантажем 5 кг і встановлюється вертикально до горизонтально розміщеного взірця. Температуру піднімають на  $50^\circ\text{C}$ . В якості градуса по Віка визначається та температура, при якій голка занурилась всередину на 1 мм. Прилад складається з пристрою зажиму і навантаження 3-х взірців, індикаторного пристособлення і термостата з терморегулятором.

Випробування проводять згідно з ГОСТ 15088 у повітряному середовищі. Загальна сила прикладена до зразка –  $(50 \pm 1)$  Н. Зразок перед випробуванням розміщують випуклою поверхнею до індентору. Швидкість підвищення температури  $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$  за 1 год. За результат приймають середнє арифметичне результатів, отриманих на трьох зразках.





Рис.2.12 – Прилад Віка

**Визначення зміни стійкості до дії дихлоретану** на трьох зразках у вигляді прямокутних сегментів довжиною  $(50 \pm 5)$  мм, шириною  $(15 \pm 5)$  мм і товщиною, рівною товщині стінки гладкої частини труби, що виготовлені із однієї проби труб. Зразки розміщують всередині лабораторної колби з круглим плоским дном і широким горлом за ГОСТ 25336 ємністю не менше 500 мл і повністю занурюють у розчин дихлоретану технічного згідно з ГОСТ 1942. Колбу зі зразками розміщують в лабораторній шафі за ГОСТ 22360 з примусовою вентиляцією і витримують при температурі  $(15 \pm 0,5)$  °С на протязі не менше 30 хв.. Після чого зразки виймаються з колби і висушують в лабораторній шафі за ГОСТ 22360 з примусовою вентиляцією при температурі  $(23 \pm 2)$ °С протягом  $(30 \pm 5)$  хв.

Зовнішній вигляд поверхні зразків оцінюється візуально без застосування збільшувальних приладів. Зразки вважають такими, що витримали випробування, якщо жоден з трьох зразків не має змін зовнішнього вигляду та тріщин глибиною більше ніж 20% від товщини стінки.

## 2.4. Висновки за розділом

1. Наведені фізико-хімічні основи створення композиційного матеріалу на основі НПВХ для отримання труб з ПВХ-О. Показано, що для отримання труб з ПВХ-О слід дослідити використання композиції на основі НПВХ при різних технологічних параметрах процесу змішування компонентів композиції, введення додаткових технологічних добавок, дослідження їх впливу на фізико-механічні характеристики труби з ПВХ-О.

2. Для отримання трубної заготовки з НПВХ, з якої потім виготовляють трубу ПВХ-О, обґрунтовано використовувати дискретний метод отримання труби ПВХ-О, як найменш дорогий і складний, але такий, який дозволить дослідити необхідні параметри труби ПВХ-О.

3. Запропоновано два способи для отримання труб з полівінілхлориду і створено обладнання для експериментального отримання труб ПВХ-О:

а) Спосіб для отримання труб з полівінілхлориду методом орієнтації, що містить:

- пристрій для протяжки труб;
- пристрій для формування другого зовнішнього діаметру;
- пристрій для нагріву труб, який відрізняється тим, що в пристрої для формування другого зовнішнього діаметру додатково включений вузол формування зовнішнього діаметру труби через дію зовнішнього фактору, а саме вакууму, через вакуумний насос і калібр, в результаті чого труба з полівінілхлориду, орієнтована внутрішнім тиском додатково орієнтується зовнішнім вакуумним середовищем.

б) Спосіб для отримання труб з полівінілхлориду методом орієнтації, що містить:

- пристрій для протяжки труб;
- пристрій для формування другого зовнішнього діаметру;
- пристрій калібрування зовнішнього діаметру труб, який відрізняється тим, в пристрої для формування другого зовнішнього діаметру додатково включений вузол нагріву оправки зсередини з допомогою нагрівальних елементів, що регулюються з блоку керування і вузол кінцевого формування в калібрі вакуумної ванни, що

знаходиться за оправкою і має можливість повздовжнього регулювання відстані калібрування

На основі другого способу зроблена промислова установка виробництва труб ПВХ-О.

4. Створені стенди для дослідження міцності труб з ПВХ-О дозволяють проводити дослідження безпечно і достовірно. Використання методів акустичної емісії та тензометрії для контролю за початком руйнівних процесів і деформації навантаженого зразка труби ПВХ-О дозволяє безпечно проводити дослідження і дають необхідну картину деформацій, які виникають з тілом зразка при випробуванні.

5. Запропоновано комплекс аналізів для оцінки якісних і міцнісних характеристик труб ПВХ-О у порівнянні з звичайними трубами з НПВХ.

Основні результати розділу 2 опубліковані в працях [17, 23, 24, 26, 126-131, 133-136].

## РОЗДІЛ 3

### Експериментальні дослідження властивостей труб з ПВХ-О

Для досягнення поставленої мети щодо вирішення на підставі теоретичних уявлень та результатів експериментальних досліджень важливої для промисловості проблеми по створенні вітчизняної технології і обладнання для виробництва труб з ПВХ-О, які б мали кращі характеристики за труби з НПВХ, шляхом удосконалення технології і обладнання виробництва труб з НПВХ необхідно було вирішити такі науково-технічні задачі:

- експериментально дослідити основні процеси технології одержання двовісноорієнтованих водонапірних труб зі створеного ПКМ, а саме труб з ПВХ-О;
- зробити порівняння фізико-механічних і експлуатаційних характеристик труб з НПВХ і труб з ПВХ-О, обґрунтувати перевагу труб з ПВХ-О.

#### **3.1. Експериментальне дослідження основних процесів технології отримання труб з ПВХ-О**

Для дослідження характеристик труб з ПВХ-О створювали декілька рецептур, які змінювали в результаті отриманих фізико-механічних аналізів труб з ПВХ-О і даних результатів акустичної емісії, які показані в розділі 2.

Технологічні параметри отримання композиції з НПВХ, згідно Рецептури №1 були наступні (найменування позицій технологічного обладнання, згідно рис.2.1):

Таблиця 3.1

#### **Технологічні параметри отримання композиції з НПВХ, згідно Рецептури №1**

№	Найменування технологічного параметру	Од. вим.	Зна- чення
1	Температура сировини в гарячому міксері поз.НМ01 перед вивантаженням в холодний міксер поз.СМ01	°С	120
2	Температура сировини в холодному міксері поз.СМ01 перед вивантаженням в транзитну ємність поз.ТН02	°С	30

Технологічні параметри отримання труб з ПВХ-О (110\*2,9 мм; 125\*2,5 мм; 140\*2 мм), згідно Рецептури №1, які отримували з труби НПВХ 90\*3,5 мм вказані в табл.3.2 (найменування позицій технологічного обладнання, згідно рис.2.1).

Таблиця 3.2

### Технологічні параметри отримання труби з ПВХ-О, згідно Рецептури №1

Найменування стадій і потоків реагентів	Найменування параметру і одиниця вимірювання	Значення
1	2	3
<b>Екструзія та формування труби в головці екструдера</b>	Температура по зонах екструдера поз.ЕК 1(ЕН1-5), °С	190-200
	Температура на адаптері поз.ЕК 1екструдера, °С	175-180
	Температура на головці екструдера(ЕД1-16)	195-200
	Тиск розплаву, МПа	28-30
	Температура маси ПВХ при виході з головки, °С	185-190
	Число обертів шнека поз.ЕК 1, об/хв.	36- 38
	Число обертів дозатора Д1, об/хв.	55- 60
	Навантаження на двигун: поз.ЕК 1,А	135-140
<b>Відвід труби</b>	Швидкість траків : ПТ 1, м/хв.	0,4
	Продуктивність поз.ЕК1,кг/год.	140
<b>Вакуумне калібрування</b>	Вакуум на поз. ВВ1, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ1 і поз. ВО1, °С	20-25
	Тиск прижиму траків ПТ1, bar	4,5-6
<b>Отримання труби ПВХ-О на установці УОТ</b>	Температура прогріву в зонах оправки поз.КО1 (1-5 зони), °С	98- 100
	Швидкість протяжки : ПТ 2, м/хв	0,5
	Вакуум на поз. ВВ2, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ2	20-25
	Тиск прижиму траків протяжки ПТ2, bar	4,5-6

### 3.2. Дослідження властивостей труби з НПВХ і ПВХ-О з використанням методів тензометрії і акустичної емісії

Після отримання труб з НПВХ (90\*3,5 мм) і ПВХ-О труб (110\*2,9 мм; 125\*2,5 мм; 140\*2 мм) з рецептури №1 необхідно було провести дослідження для визначення певних її параметрів, що б дозволили покращити, оптимізувати рецептури, технологічні параметри. Однак, спочатку треба дослідити чим труба з ПВХ-О, отримана на експериментальній установці, краща за трубу з НПВХ. Метою дослідження було визначення властивостей труби з НПВХ, отримання даних про значення напружень на поверхні труби при її експлуатації в різних умовах при різних тисках рідини, і надалі порівняти ці значення з значеннями напружень на поверхні ПВХ-О труб і виявити чи є ефективність від застосування ПВХ-О труб.

Спочатку досліджували труби з НПВХ під тиском до 0,5 МПа. Підготовлену трубу з НПВХ 90\*3,5 мм встановлювали у металевий захисний кожух для безпечного проведення досліду (рис.2.9). Так як на початку роботи було невідомо, яка потрібна чутливість апаратури при навантаженні труби внутрішнім тиском до 0,5—1,0 МПа, то ручку значення коефіцієнта аттенюації тензометричної апаратури 8АНЧ-26 встановлювали в положення “1”, що забезпечило найбільшу чутливість тензодатчиків, а значення коефіцієнтів масштабуючих підсилювачів  $K_{му}$  каналів згідно таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Значення коефіцієнтів масштабуючих підсилювачів  $K_{му}$ 

Канал датчика	1a,1b	2a,2b	3a,3b	4a,4b	5a,5b	6a,6b	7a,7b
Значення $K_{му}$	4	8	4	4	8	8	8

Швидкість руху фотострічки осцилографа Н071.М4 встановлювали на 10мм/с.

Тиск збільшували поступово, дискретно, від 0 до 0,5 МПа з кроком 0,1 МПа. Результати вимірювань фіксували на фотопапері УФ-67. Ще при навантаженні труби тиском до 0,2 МПа помітили, що всі промені датчиків вийшли за межі фотострічки. Тому стало ясно, що чутливість тензоапаратури з коефіцієнтом

аттенюації “1”, занадто велика і потрібно її зменшити. Встановили нове положення коефіцієнта аттенюації—“2” та відновили дослідження, матеріали яких проілюстровані на фотострічці рис.Д.Б.1 (Додаток Б).

Кадру №1 фотострічки відповідають значення початкових напружень при внутрішньому тиску в досліджуваному зразку 0 МПа, тобто стану спокою. Нумерація променів, зафіксованих на фотопапері, відповідає порядковому номеру тензодатчика, встановленого на досліджуваній трубі.

Далі вмикали установку нагнітання тиску та доводили внутрішній тиск у трубі до 0,1 МПа. Зафіксувавши вентилем встановлений тиск, установку вимикали. Увімкнувши подачу осцилографа, зафіксували положення променів на фотопапері (рис. Д.Б.1, кадр №2, Додаток Б).

Для кращого контролю за поведінкою променів було вирішено проводити запис і у перехідному режимі, тобто під час зміни тиску у трубі із меншого значення до більшого, та навпаки. Тому на кадрах №3-№7 зафіксовані і статичні положення променів і динамічні, тобто під час зміни тиску.

На кадрі №3 видно, як змінюється положення променів під час зміни тиску від 0,1 МПа до 0,2 МПа. Навіть при досить малому навантаженні тиском до 0,2 МПа видно, що промені датчиків №1 та №7 значно менше відхиляються ніж інші. Це пояснюється тим, що датчики цих променів знаходяться на краях труби, біля торцевих заглушок, які впливають на досліджувану поверхню труби як ребра жорсткості.

На кадрі №4 зафіксовані переміщення променів при зміні тиску від 0,2 МПа до 0,3 МПа. Видно, що промінь датчика 2, маючи більше зміщення ніж промінь датчика 1, перетнув промінь 1 та перейшов на інший бік.

На кадрах №5 та №6, яким відповідають зміни значень тисків в трубі від 0,3 МПа до 0,4 МПа та від 0,4 МПа до 0,5 МПа відповідно, видно, що всі промені значно змістились, наблизившись до краю фотострічки крім променю датчика №7. Тому в подальшому великої уваги показам датчика №7 приділяти не стали.

При досягненні запланованої межі в 0,5 МПа тиск поступово повернули до початкового значення з записом зворотного ходу променів датчиків, що видно на кадрі №7.

Порівнюючи положення променів до та після проведення досліду, можна помітити, що промені повернулись на свої місця, а це свідчить про те, що вимірювання пройшли з високою точністю, в межі дії закону Гука.

Звіривши покази датчиків 1-а і 1-в, 2-а і 2-в, 3-а і 3-в, 4-а і 4-в, 5-а і 5-в, 6-а і 6-в, 7-а і 7-в, тобто датчиків розташованих в одному перерізі під кутом  $180^{\circ}$ , помітили повну схожість їх показів.

Отримані матеріали початкового досліду показали, що для подальшого підвищення тиску у досліджуваній трубі необхідно ще збільшити коефіцієнт аттенюації тензоапаратури, так як з підвищенням тиску до 1,5 МПа і вище положення променів тензодатчиків буде знаходитись за межами фотострічки, тобто для подальшої роботи необхідно використовувати ще меншу чутливість тензоапаратури. Це також свідчить про те, що досить використати тензодатчики типу КФ 5П1-10-200-Б-12, а датчики інших типів можна не використовувати.

Далі досліджували труби з НПВХ під тиском до 1,0 МПа. Встановлювали ручки коефіцієнта аттенюації всіх каналів на "4". Тиск у досліджуваній трубі піднімали від 0 до 1,0 МПа дискретно, з кроком 0,2 МПа.

На кадрі №1 рис.Д.Б.2 (Додаток Б) зафіксовано початкове положення променів датчиків, коли тиск у системі дорівнював нулю.

На кадрі №2 зафіксовано зміну положень променів датчиків у динамічному режимі при підвищенні тиску у трубі з 0 до 0,2 МПа, на кадрі №3—з 0,2 МПа до 0,4 МПа, на кадрі №4—з 0,4 МПа до 0,6 МПа, на кадрі №5—з 0,6 МПа до 0,8 МПа, на кадрі №6—з 0,8 МПа до 1,0 МПа, на кадрі №7—зворотній хід променів при зниженні тиску з 1,0 МПа до 0. Порівнявши положення променів датчиків на початку та в кінці досліду, помітили повну тотожність їх положень. Отже, вимірювання відбулось з високою точністю.

Далі досліджували труби з НПВХ під тиском до 1,6 МПа. Для подальшого підвищення тиску вище 1,0 МПа необхідно було змінити коефіцієнт аттенюації



тензоапаратури на “8”, так як положення променів, при тиску в трубі більше 1,0 МПа та коефіцієнті аттенюації “4”, могло бути за межами фотострічки.

Підвищували тиск з 0 до 1,6 МПа дискретно та в динамічному режимі. На фотострічці рис. Д.Б.3 (Додаток Б) зафіксовано положення променів датчиків із зміною тиску від 0 до 1,6 МПа.

В таблиці 3.4. показано відповідність номера кадру зміні тиску в трубі.

Таблиця 3.4

#### Відповідність номера кадру зміні тиску в трубі з НПВХ

№ кадра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зміна тиску, МПа.	0	0- 0,2	0,2- 0,4	0,4- 0,6	0,6- 0,8	0,8- 1,0	1,0- 1,1	1,1- 1,2	1,2- 1,3	1,3- 1,4	1,5- 1,6	1,6 -0

В процесі тензометрування труби вівся контроль показів датчиків акустичної емісії. У всіх режимах вимірювання та при різних змінах тиску у досліджуваній трубі в межах до 1,6 МПа майже ніяких сигналів акустичної емісії зафіксовано не було. Це також свідчить про безпечні умови дослідження зразка.

Після досліджень проводили обробка даних, отриманих при аналізах труби з НПВХ. Колові напруження на поверхні досліджуваної труби з НПВХ зафіксовані кожним з датчиків та при різному тиску знаходили за формулою (3.1) [9]:

$$\sigma_t = \varepsilon \cdot E = A \cdot K_{tap} \cdot E, \quad (3.1)$$

де  $\sigma_t$  - колові напруження на поверхні зразка (МПа);

$A$  - відхилення променя осцилографа (мм);

$K_{tap}$  - тарувальний коефіцієнт;

$E = 2,7 \cdot 10^3$  МПа - модуль пружності матеріалу зразка.

Результати заносили у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5

**Значення колових напружень, виміряних на поверхні труби з НПВХ  
при різних значеннях внутрішнього тиску**

Значення внутрішнього тиску P,(МПа)	Значення колових напружень $\sigma_{t_{зовнпр}}$ , (МПа)					
	№ тензодатчика					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0
<b>0,2</b>	1,9	2,8	3,2	3,1	3,2	2,9
<b>0,5</b>	3,2	4,5	5,0	4,9	5,1	4,6
<b>0,8</b>	4,1	5,6	6,4	6,2	6,6	5,8
<b>1,0</b>	5,6	7,5	8,2	7,9	8,4	7,6
<b>1,1</b>	7,8	9,8	10,3	9,9	10,7	9,6
<b>1,2</b>	9,4	11,1	11,8	11,5	12,1	11,3
<b>1,3</b>	11,6	13,5	14,1	13,8	14,2	13,6
<b>1,4</b>	13,2	15,6	16,3	16,1	16,6	15,8
<b>1,5</b>	15,5	17,3	17,8	17,5	18,8	17,4
<b>1,6</b>	17,6	19,1	19,6	19,4	20,81	19,2

З таблиці 3.3 видно, що найбільші колові напруження на поверхні труби при тиску 1,6 МПа зафіксовані датчиком №5 (20,81МПа) і вони не є небезпечними для матеріалу труби. Також видно, що до тиску 1,6 МПа дослідження проводились в межах закону Гука і це підтверджує відсутність показів датчиків акустичної емісії.

Найменше значення колових напружень на датчику №1 пояснюється його близьким розташуванням до країв труби, де присутні бокові стінки, які виконують роль ребр жорсткості при навантаженні труби внутрішнім тиском.

Також було проведено теоретичний розрахунок колових напружень у трубі при максимальному тиску.

Для визначення колових напружень на зовнішній та внутрішній поверхнях труби скористались наступними формулами [8]:

$$\sigma_{t_{зовн}} = \frac{R_{вн}^2}{R_{зовн}^2 - R_{вн}^2} \cdot 2 \cdot P_{\max}, \quad (3.2)$$

$$\sigma_{t_{вн}} = \frac{R_{вн}^2}{R_{зовн}^2 - R_{вн}^2} \cdot \left( 1 + \frac{R_{зовн}^2}{R_{вн}^2} \right) \cdot P_{\max} , \quad (3.3)$$

де  $R_{вн}=4,15\text{см}$ —радіус внутрішньої поверхні труби;  
 $R_{зовн}=4,5\text{см}$ —радіус зовнішньої поверхні труби;  
 $P_{\max}=1,6\text{ МПа}$ —максимальне значення тиску.

$$\sigma_{t_{зовн\text{теор}}} = \frac{4,15^2}{4,5^2 - 4,15^2} \cdot 2 \cdot 1,6 = 18,2\text{МПа} . \quad (3.4)$$

Виходячи з формул (3.2) і (3.3) виконували розрахунок внутрішнього колового напруження по максимальному зовнішньому напруженні, виміряному при максимальному тиску у трубі:

$$\frac{\sigma_{t_{вн\text{нр}}}}{\sigma_{t_{зовн\text{нр}}}} = \frac{\frac{R_{вн}^2}{R_{зовн}^2 - R_{вн}^2} \cdot \left( 1 + \frac{R_{зовн}^2}{R_{вн}^2} \right) \cdot P_{\max}}{\frac{R_{вн}^2}{R_{зовн}^2 - R_{вн}^2} \cdot 2 \cdot P_{\max}} , \quad (3.5)$$

звідки знаходили

$$\sigma_{t_{вн\text{нр}}} = \sigma_{t_{зовн\text{нр}}} \cdot \frac{1 + \frac{R_{зовн}^2}{R_{вн}^2}}{2} = 18,2 \cdot \frac{1 + \frac{4,5^2}{4,15^2}}{2} = 19,8\text{МПа} \quad (3.6)$$

Теоретичне значення внутрішнього колового напруження труби розраховували за формулою (3.3).

$$\sigma_{t_{вн_{теор}}} = \frac{4,15^2}{4,5^2 - 4,15^2} \cdot \left(1 + \frac{4,5^2}{4,15^2}\right) \cdot 1,6 = 19,8 \text{ МПа} . \quad (3.7)$$

Порівнюючи розрахункове (формула (3.4.)) та практичні (табл.3.3.) значення колових напружень на поверхні зразка, а також розрахункове (формула (3.6)) та практичне значення (формула (3.7)) внутрішніх колових напружень, можна зробити висновок, що ці значення відрізняються незначно.

Аналогічно досліджували властивості труб з ПВХ-О з використанням методів тензометрії і акустичної емісії

Метою дослідження властивостей труб з ПВХ-О було отримання даних про значення колових напружень на поверхні труби при її експлуатації в різних умовах при різних тисках рідини, і надалі порівняти ці значення з значеннями напружень на поверхні труб з НПВХ і виявити чи є ефективність від застосування труб з ПВХ-О.

Наступним етапом роботи було проведено дослідження колових напружень в трубі з ПВХ-О 110\*2,9 мм, яка була отримана з труби НПВХ 90\*3,5 мм.

Підключали знову тензо- та акустоемісійну апаратуру і установку нагнітання внутрішнього тиску і досліджували зразок труби з ПВХ-О (рис.2.9.). Значення коефіцієнта аттенюації тензометричної апаратури встановлювали на “8”.

Проводили навантаження внутрішнім тиском дискретно до 1,6 МПа та фіксували положення променів осцилографа на фотострічці рис.Д.Б.4 (Додаток Б).

В таблиці 3.6. показано відповідність номера кадру зміні тиску в трубі.

Таблиця 3.6

### Відповідність номера кадру зміні тиску в трубі з ПВХ-О

№ кадру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Зміна тиску, МПа.	0	0- 0,2	0,2- 0,4	0,4- 0,6	0,6- 0,8	0,8- 1,0	1,0-1,2	1,2- 1,4	1,4- 1,5	1,5- 1,6	1,6- 0

Обробку даних, отриманих при дослідженні труби з ПВХ-О, виконували аналогічно вищевикладеному. За формулою (3.1) знаходили значення колових напружень на поверхні труби. Результати заносили у зведену таблицю 3.7.

Таблиця 3.7

### Значення колових напружень на поверхні ПВХ-О труби

Значення внутрішнього тиску P, (МПа)	Значення напружень $\sigma_t$ , (МПа)					
	№ тензодатчика					
	1	2	3	4	5	6
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0
<b>0,2</b>	1,60	2,32	2,67	2,54	2,6	2,42
<b>0,5</b>	2,69	3,74	4,18	4,02	4,2	3,84
<b>0,8</b>	3,44	4,65	5,34	5,08	5,4	4,84
<b>1,0</b>	4,70	6,23	6,85	6,48	6,9	6,35
<b>1,1</b>	6,55	8,13	8,60	8,12	8,8	8,02
<b>1,2</b>	7,90	9,21	9,85	9,43	10,0	9,44
<b>1,3</b>	9,74	11,21	11,77	11,32	11,7	11,36
<b>1,4</b>	11,09	12,95	13,61	13,20	13,7	13,19
<b>1,5</b>	13,02	14,36	14,86	14,35	15,5	14,53
<b>1,6</b>	14,78	15,85	16,37	15,91	17,2	16,43

З таблиці видно, що найбільше значення колових напружень на поверхні досліджуваної труби з ПВХ-О при максимальному тиску зафіксовано датчиками №5 та №6.

Після проведення вищевказаних досліджень, покажемо ефективність використання труб з ПВХ-О.

Для порівняння матеріалів досліджень труб з НПВХ і ПВХ-О по таблицях 3.3. та 3.5. вибрали ряд колових напружень на поверхні труби при внутрішньому тиску в трубі 1,6 МПа. Результати занесли у зведену таблицю 3.8. та побудували графік ефективності використання труб з ПВХ-О (рис.3.1).

### Значення колових напружень на поверхні труб з НПВХ і ПВХ-О

	Значення напружень $\sigma_{t \text{ зовн пр}}$ , МПа					
	№ датчика					
	1	2	3	4	5	6
НПВХ	17,6	19,1	19,6	19,4	20,81	19,2
ПВХ-О	14,78	15,85	16,37	15,91	17,2	16,43

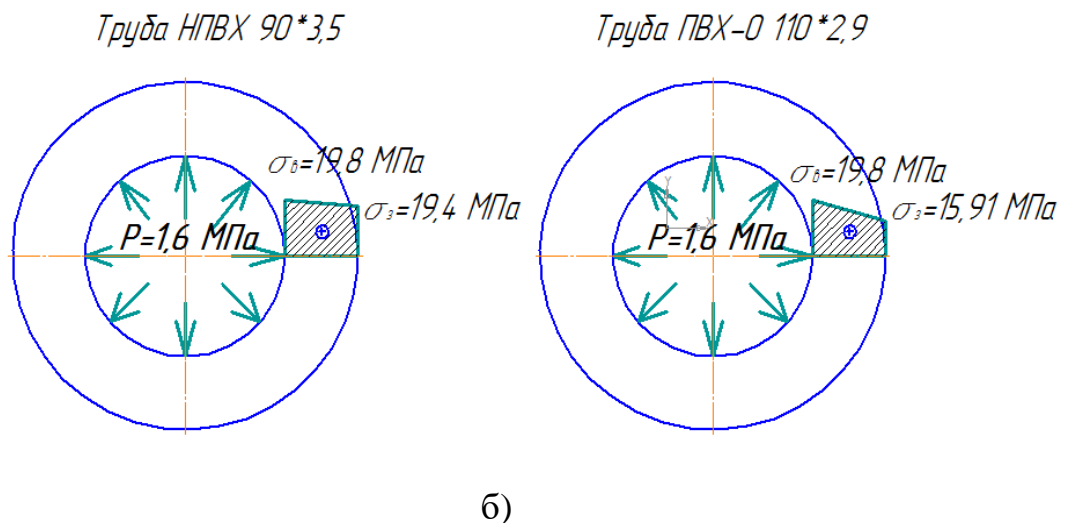
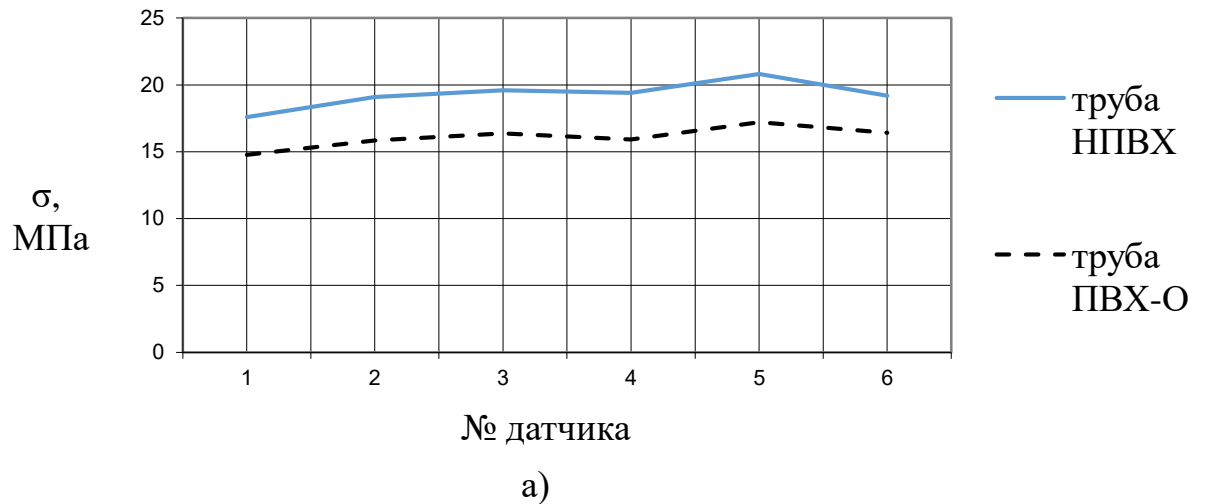


Рис.3.1 – а) графік змін значень колових напруження  $\sigma$ , МПа на зовнішній поверхні труб з НПВХ і ПВХ-О при внутрішньому тиску в трубі  $P=1,6$  МПа в різних місцях розташування тензометричних датчиків; б) епюри змін значень колових напруження  $\sigma$ , МПа на зовнішній і внутрішній поверхні труб з НПВХ і ПВХ-О при внутрішньому тиску в трубі  $P=1,6$  МПа для 4-го датчика

Порівнюючи значення колових напружень на поверхні досліджуваної труби на різних ділянках помітили певну ефективність у використанні труб з ПВХ-О. Результати порівняння заносили у таблицю 3.9.

Таблиця 3.9

### Ефективність використання труб ПВХ-О

	№ датчика					
	1	2	3	4	5	6
$\Delta\sigma_t$ , МПа	2,82	3,25	3,23	3,49	3,61	2,77
% ефективн.	16,02	17,02	16,48	17,99	17,35	14,43

де,  $\Delta\sigma_t = \sigma_{t \text{ НПВХ}} - \sigma_{t \text{ ПВХ-О}}$ ;

$$\% \text{ ефект.} = \frac{\Delta\sigma_t}{\sigma_{t \text{ НПВХ}}} \cdot 100\%$$

З приведеної таблиці слідує, що максимальна ефективність використання труб з ПВХ-О порівняно з трубою НПВХ по датчику №4 складає приблизно 18%.

По цьому ж датчику видно, що напруження в трубі з ПВХ-О при тиску знизилось на 3,49 МПа порівняно з трубою з НПВХ.

Отже дані дослідження показали, що напірні трубопроводи з ПВХ-О труб в процесі експлуатації ефективніші від трубопроводів з труб з НПВХ, оскільки зовнішні напруження на поверхні труб при однакових умовах експлуатації у ПВХ-О труб менші, що дозволить експлуатувати ПВХ-О труби з середовищем при більших тисках, а також дані труби будуть мати довший термін служби.

### 3.3. Дослідження фізико-механічних властивостей труб з НПВХ і ПВХ-О іншими методами

#### 3.3.1. Визначення опору удару падаючого вантажу

Об'єктами дослідження були труба з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм і труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили трубу з ПВХ-О 110\*2,9).

Випробування проводились на наступних відрізках довжиною  $(200 \pm 2)$  мм одного типорозміру:

- а) по 10 відрізків для випробовування на 25 ударів;
- б) по 10 відрізків для випробовування на 32 удари;
- в) по 10 відрізків для випробовування на 39 ударів;
- г) по 10 відрізків для випробовування на 48 ударів;
- д) по 10 відрізків для випробовування на 52 удари;
- е) по 10 відрізків для випробовування на 56 ударів;
- ж) по 10 відрізків для випробовування на 64 удари;
- з) по 10 відрізків для випробовування на 66 ударів;
- к) по 10 відрізків для випробовування на 72 удари;
- л) по 10 відрізків для випробовування на 80 ударів;

Зразки перед ударом кондиціонували при температурі  $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$  протягом 1 години. Вимірювання опору удару за методом падаючого вантажу проводили протягом 5 хв після закінчення кондиціювання.

Зразки труб розташовували та фіксували на горизонтальній установочній плиті за допомогою затискачів на V - подібних призмах з кутом при вершині  $(120 \pm 2)^\circ$ . Місця нанесення ударів відмічали на гладких циліндричних частинах зразків лініями на рівній відстані по довжині кола. Кількість ліній відповідала кількості ударів, нанесених одному зразку. Точка нанесення удару була рівновіддалена від торців циліндричної частини випробувального зразка.

Наконечник вантажу, що входить у зіткнення зі зразком, був півсферою з радіусом 90 мм для випробувань труб, яка виконана зі сталі з твердістю не менше HRC 20.

Висота падіння вантажу до точки контакту наконечника з поверхнею зразка була 1600 мм. Маса падаючого вантажу складала 0,5 кг.

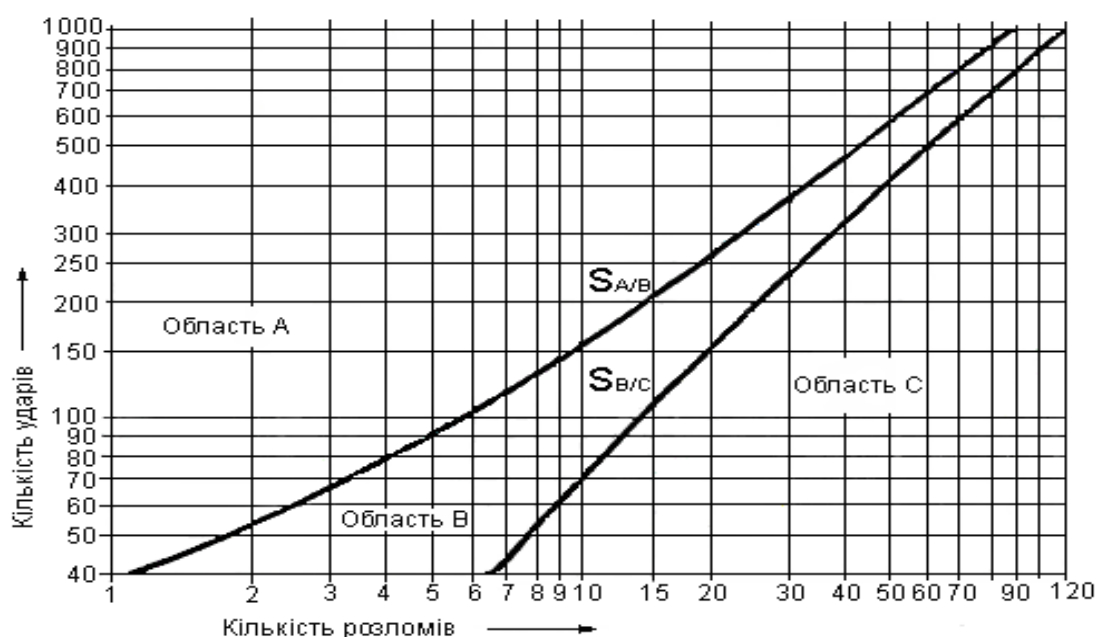
Випробування проводились наступним чином. Якщо зразок витримував удар, його повертали у V-образній призмі до наступної позначеної лінії і знову піддавали його удару падаючим вантажем, за потреби після повторного кондиціонування. Після чого випробуванням піддавали наступний зразок. Ця процедура тривала, доти,



поки по всіх позначених лініях не було нанесено по одному удару, після цього заносили до протоколу загальну кількість ударів і поломок.

Вважалось що зразок не пройшов випробування, якщо він розбився, тріснув або відколовся по зовнішній поверхні труби, якщо це було викликано ударом і ушкодження можна побачити без збільшення. Заглиблення й вм'ятини поверхні зразка не вважаються свідченнями того, що зразок не пройшов випробування.

Після визначення факту поломки зразка, удари по лініям на його поверхні припиняли, а зразок замінювали на інший.



**Рис.3.2 - Кількість зразків для 10% TIR (при 90% рівні точності)**

Таблиця 3.10

**Величина TIR при 10% залежно від кількості ударів і руйнувань**

Кількість ударів	Кількість руйнувань		
	Область А. Випробування витримано	Область В. Продовжувати випробування	Область С. Партія відбраковується
20-25	0	1-3	4
26-32	0	1-4	5
33-39	0	1-5	6
40-48	1	2-6	7
49-52	1	2-7	8
53-56	2	3-7	8
57-64	2	3-8	9
65-66	2	3-9	10
67-72	3	4-9	10
73-79	3	4-10	11
80	4	5-10	11
81-88	4	5-11	12
89-91	4	5-12	13
92-97	5	6-12	13
98-104	5	6-13	14
105	6	7-13	14
106-113	6	7-14	15
114-116	6	7-15	16
117-122	7	8-15	16
123-124	7	8-16	17

Випробовування труб з ПВХ-О і НПВХ показали результати, показані в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

**Результати аналізу опору удару падаючого вантажу для труб  
з НПВХ і ПВХ-О**

<b>Труба</b>	<b>Висота падіння вантажу, мм</b>	<b>Маса падаючого вантажу, кг</b>	<b>К-ть руйнувань при 25 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 32 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 39 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 48 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 52 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 56 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 64 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 66 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 72 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 80 ударах</b>
90*3,5 НПВХ	1600	0,5	0	6	8	8	9	9	11	12	13	14
110*2,9 ПВХ-О	1600	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Отже, аналізуючи дані випробовувань, можна відмітити, що в зону А (згідно, рис.3.2 і таблиці 3.10) повністю попала труба з ПВХ-О до 80 ударів, в той час як труба з НПВХ в зону А попала лише при 25 ударах, що свідчить про набагато більший опір удару падаючого вантажу. Схематично графік опору удару падаючого вантажу зображений на рис. 3.3.

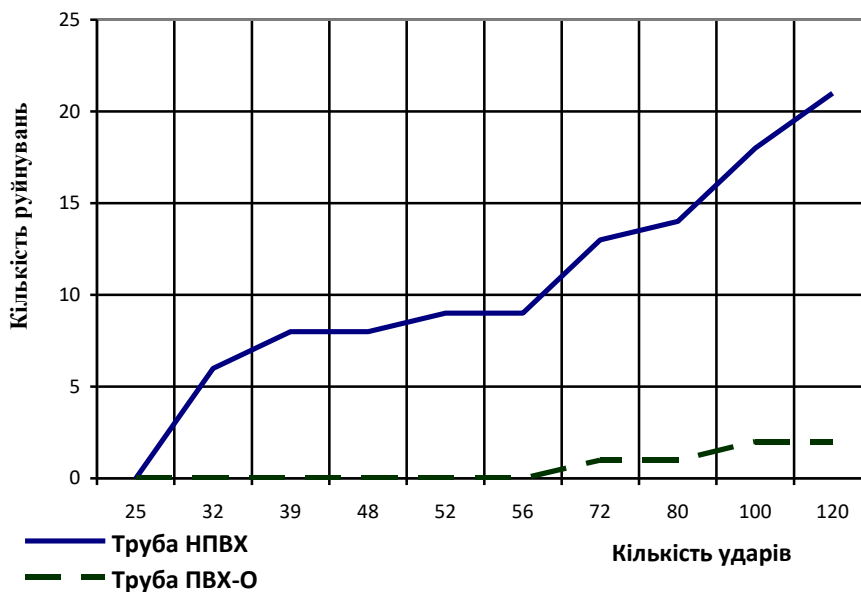


Рис.3.3 – Графік руйнувань труб з НПВХ і труб з ПВХ-О в аналізі на опір удару падаючого вантажу

### 3.3.2. Визначення відносного подовження труб при розриві і межі плинності при розтягу

Об'єктами дослідження були труба з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм і труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили трубу з ПВХ-О 110\*2,9 мм).

При випробовуваннях використовували розривну машину GT-AI7000-M.

Відносне подовження труб при розриві та межа плинності при розтягу визначали згідно з ГОСТ 11262 між затискачами розривної машини при швидкості руху затискачів розривної машини  $25 \pm 1$  мм/хв на випробувальних зразках, що вирізались з гладкої частини зразків труб у поздовжньому напрямку (10 зразків труб з орієнтацією, 10 зразок труби без орієнтації).

Результати випробовування наведені на графіку рис.3.4.

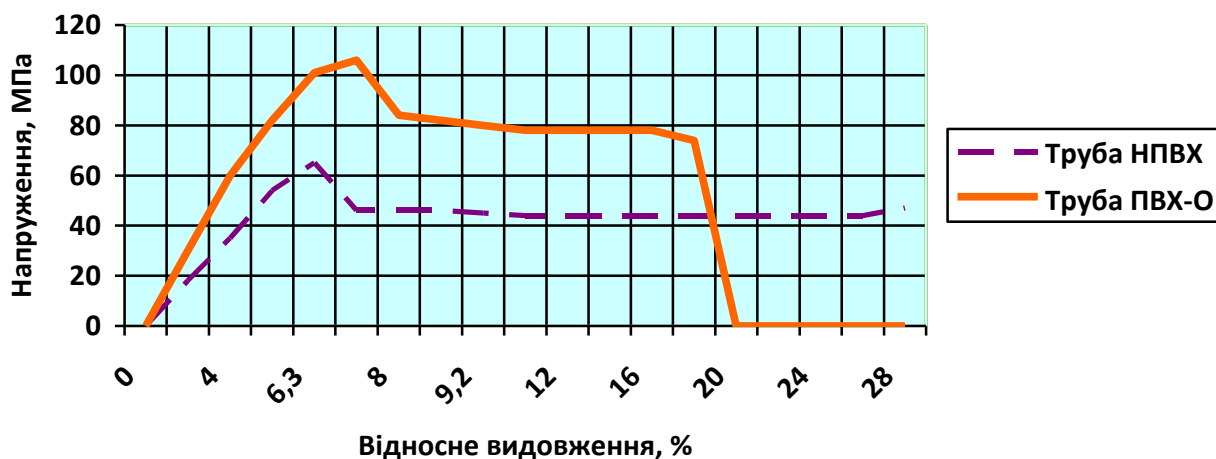


Рис.3.4 – Графік визначення відносного подовження труб при розриві і межі плинності при розтягу труб з НПВХ і ПВХ-О

З графіка на рис.3.4 випливає, що межа текучості при розтязі труби з ПВХ-О більша за межу текучості при розтязі труби з НПВХ на 81%, а відносне видовження менше на 30-35%.

### 3.3.3. Визначення зміни довжини труб після прогрівання

Об'єктами дослідження були труба з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм і труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили трубу з ПВХ-О 110\*2,9 мм).

Випробування проводили на шістьох зразках кожного типу труби довжиною  $(200 \pm 10)$  мм, що вирізались з гладкої частини зразків труб відібраних у поздовжньому напрямку. На зовнішню поверхню кожного зразка наносили три лінії паралельно осі труб на рівній відстані одна від одної. На кожній лінії робили дві відмітки по периметру на відстані  $(50 \pm 5)$  мм від торців зразків. Відстань між відмітками ( $L_0$ ) становила не менше 100 мм при температурі  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  і вимірювалась з похибкою не більше 0,25 мм.

Після кондиціювання при температурі  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  протягом не менше 2 годин зразки розташовували в сушильній шафі на скляній підкладці, посипану тальком, і витримувались при температурі  $150^\circ\text{C}$  на протязі 20 хв. Зміну довжини зразків після прогріву  $\Delta$  у відсотках обчислювали за формулою 2.1.

Результати випробовування наведені на графіку рис.3.5.

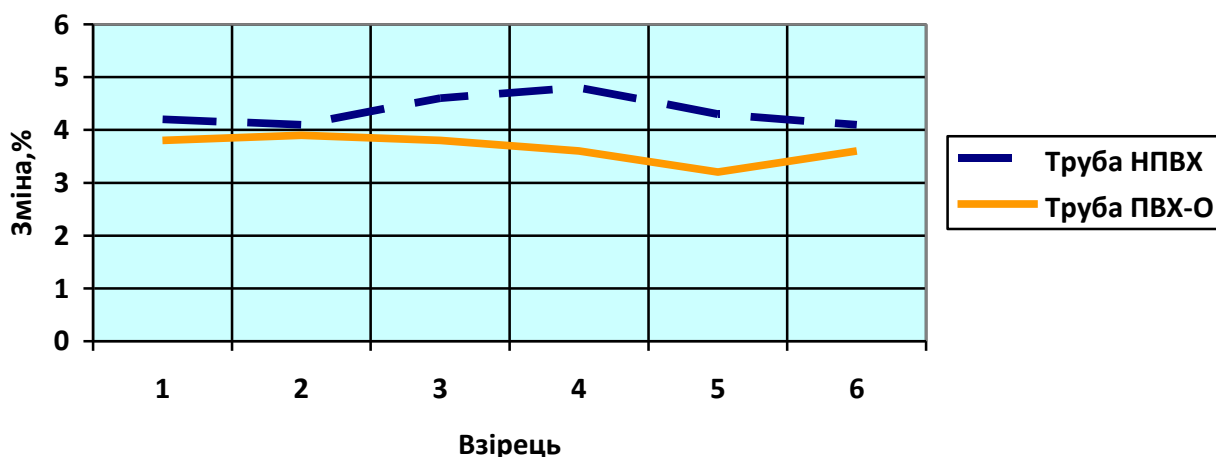


Рис.3.5 – Графік визначення зміни довжини труб з НПВХ і ПВХ-О після прогрівання при температурі 150 °C на протязі 20 хв

З графіку на рис.3.5 видно, що відмінність значень зміни довжин труб з НПВХ і ПВХ-О після прогрівання при температурі 150 °C на протязі 20 хв незначна, зміна довжини при нагріві труби НПВХ в середньому на 10-15% більше за зміну довжини при нагріві труби з ПВХ-О.

### 3.3.4. Визначення температури розм'якшення за Віка

Об'єктами дослідження були труба з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм і труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили трубу з ПВХ-О 110\*2,9 мм).

Визначення температури розм'якшення за Віка проводили на шести зразках кожного типу труби у вигляді прямокутних сегментів довжиною  $(50 \pm 5)$  мм, шириною  $(15 \pm 5)$  мм і товщиною, рівною товщині стінки гладкої частини труби. Із однієї проби труб, виготовляють по одному зразку.

Для випробовування використовувався прилад визначення теплостійкості по Віка. Принцип його дії полягав в тому, що циліндрична сталева голка перерізом 1 мм<sup>2</sup> навантажувалась вантажем 5 кг і встановлювалась вертикально до горизонтально розміщеного взірця. Температуру піднімали на 50°C. В якості

градуса по Віка визначалась та температура, при якій голка занурилась всередину на 1 мм.

Результати випробовування наведені на графіку рис.3.6.

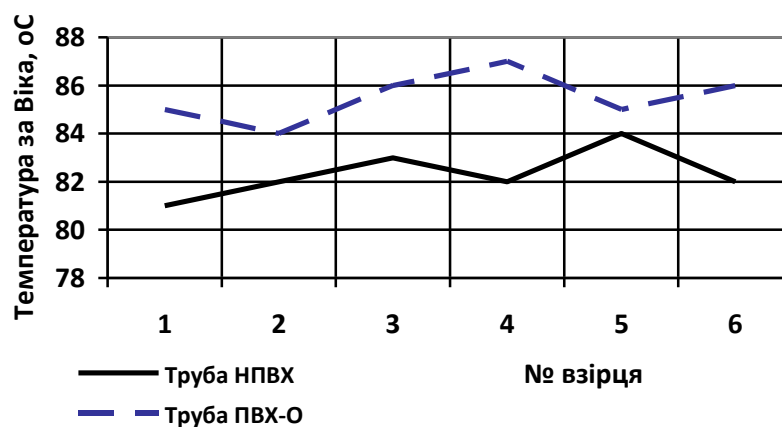


Рис.3.6 – Графік визначення температури розм'якшення за Віка труб з НПВХ і ПВХ-О

З графіку на рис.3.13 видно, що відмінність значень температури розм'якшення за Віка труб з НПВХ і ПВХ-О незначна, значення температури розм'якшення за Віка труби НПВХ в середньому на 5% менше за значення температури розм'якшення за Віка труби з ПВХ-О.

### 3.3.5. Визначення стійкості до дії дихлоретану

Об'єктами дослідження були труба з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2 мм і труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили ПВХ-О трубу 110\*2 мм).

Визначення зміни стійкості до дії дихлоретану проводили на шести зразках кожного типу труби у вигляді прямокутних сегментів довжиною  $(50 \pm 5)$  мм, шириною  $(15 \pm 5)$  мм і товщиною, рівною товщині стінки гладкої частини труби. Зразки розміщували всередині лабораторної колби з круглим плоским дном і широким горлом за ємністю 500 мл і повністю занурювали у розчин дихлоретану технічного згідно з ГОСТ 1942. Колбу зі зразками розміщували в лабораторній шафі з примусовою вентиляцією і витримували при температурі  $(15 \pm 0,5)$  °C на протязі 30 хв.

Після чого зразки виймали з колби і висушували в лабораторній шафі з примусовою вентиляцією при температурі  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  протягом  $(30 \pm 5)$  хв.

Зовнішній вигляд поверхні зразків оцінювали візуально без застосування збільшувальних приладів. Зразки всі витримали випробування, жоден з зразків не мав змін зовнішнього вигляду та тріщин глибиною більше ніж 20% від товщини стінки.

В результаті визначено, що як труби з НПВХ, так і з ПВХ-О труби стійкі до дії дихлоретану при витримували при температурі  $(15 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  на протязі 30 хв.

### 3.3.6. Визначення стійкості при постійному внутрішньому тиску

Об'єктами дослідження були труба з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2 мм і труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили трубу з ПВХ-О 110\*2 мм).

Стійкість при постійному внутрішньому тиску труб проводили на зразках труб кожного типорозміру з будівельною довжиною  $l \leq 500$  мм. Випробувальні зразки вирізаються довжиною  $L$  не менше 500 мм з гладкої частини відібраних зразків труб.

Випробування проводили згідно з наступними умовами, вказаними в таблицях 3.10 і 3.11 на 3-х зразках.

Таблиця 3.12

#### Умови випробування внутрішнім тиском для труб для труби з НПВХ 90\*3,5мм при умовах експлуатації труби PN=1МПа

Параметри випробування				Внутрішній тиск
Температура $^\circ\text{C}$	Напруження в стінці труби, МПа	Час, год.	Тип випробування	МПа
20	42,0	1	Вода в воді	3,41
20	35,0	100		2,84
60	12,5	1000		1,02



Таблиця 3.13

**Умови випробування внутрішнім тиском для труби з ПВХ-О 110\*2 мм  
при умовах експлуатації труби PN=1МПа**

Параметри випробування				Внутрішній тиск
Температура °С	МПа	Час, год.	Тип випробування	МПа
20	92	1	Вода в воді	3,41
20	77	100		2,84
60	27	1000		1,02

Напруження в стінці труби при випробуванні труби з ПВХ-О вираховували таким, щоб були однакові умови випробування з трубою з НПВХ, а саме був однаковим внутрішній тиск з врахуванням того, що труба з НПВХ 90\*3,5 була розрахована для PN10, тобто номінальним тиском 1 МПа.

Тиск у зразку підтримувались з похибкою не більше 2% на гідростенді.

Результати випробувань були позитивними:

- жоден зразок не зруйнувався до закінчення контрольного терміну випробування.

Тоді вирішили провести випробування при умовах номінального тиску 1,6МПа. Випробування проводили згідно з наступними умовами, вказаними в таблицях 3.12 і 3.13 на 3-х зразках.

Таблиця 3.14

**Умови випробування внутрішнім тиском для труб для труби з НПВХ  
90\*3,5мм при умовах експлуатації труби PN=1,6 МПа**

Параметри випробування				Внутрішній тиск
Температура °С	Напруження в стінці труби, МПа	Час, год.	Тип випробування	МПа
20	67,0	1	Вода в воді	5,45
20	56,0	100		4,54
60	20,0	1000		1,63

Таблиця 3.15

**Умови випробування внутрішнім тиском для труби з ПВХ-О 110\*2,9 мм  
при умовах експлуатації труби PN=1,6 МПа**

Параметри випробування				Внутрішній тиск
Температура °С	МПа	Час, год.	Тип випробування	МПа
20	147	1	Вода в воді	5,45
20	123	100		4,54
60	44	1000		1,63

Результати випробувань були позитивними для труби з ПВХ-О 110\*2,9 мм:

- жоден випробний зразок не зруйнувався до закінчення контрольного терміну випробування.

Результати випробувань були негативними для труби з НПВХ 90\*3,5мм:

- всі зразки зруйнувалися до закінчення контрольного терміну випробування.

Отже, можна зробити висновок, що труба з ПВХ-О позитивно проходить випробування на стійкість до постійного внутрішнього тиску при однакових умовах експлуатації з трубою з НПВХ (на які розрахована труба), а також позитивно проходить випробування на стійкість до постійного внутрішнього тиску при ускладнених умовах експлуатації з трубою з НПВХ, а саме збільшеному номінальному тиску, в той час як труба з НПВХ має негативні результати випробування.

### **3.3.7. Визначення оптимальних ступеней витяжки труби з ПВХ-О з використанням методів акустичної емісії**

Об'єктами дослідження були труба з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм (з якої потім робили труби з ПВХ-О 110\*2,9мм; 125\*2,5мм; 140\*2мм).

При проведенні дослідження всі взірці труб навантажували внутрішнім гідростатичним тиском 4 МПа і витримувались певний час. На трубі кріпились відповідні заглушки і датчики акустичної емісії акустично-емісійної системи 8КОР-8.

Результати випробовування зображені в Додатку В (рис.Д.В.1-Д.В.16).

Аналізи графіків залежностей значень сум рахунків сигналів акустичної емісії і сум емісії амплітуд сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм, труб з ПВХ-О: 110\*2,9 мм, 125\*2,5 мм, 140\*2 мм наведені в табл.3.16. і 3.17.

Таблиця 3.16

**Аналіз графіків залежностей значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм, труб з ПВХ-О: 110\*2,9 мм, 125\*2,5 мм, 140\*2 мм в момент руйнування труби**

Назва труби	Час, с		Підсумковий рахунок		Тиск, МПа	Ст. витяжки
	Канал 1	Канал 2	Канал 1	Канал 2		
<b>90*3,5</b>	380	380	80	340	4,0	
<b>110*2,9</b>	597	597	1000	1002	4,0	1,21
<b>125*2,5</b>	731	731	180	182	4,0	1,4
<b>140*2,0</b>	412	412	290	430	4,0	1,75

Таблиця 3.17

**Аналіз графіків залежностей значень сум амплітуд сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм, труб з ПВХ-О: 110\*2,9 мм, 125\*2,5 мм, 140\*2 мм в момент руйнування труби**

Назва труби	Час, с		Сума амплітуд мВ		Тиск, МПа	Ст. витяжки
	Канал 1	Канал 2	Канал 1	Канал 2		
<b>90*3,5</b>	380	380	35	48	4,0	
<b>110*2,9</b>	597	597	60	70	4,0	1,21
<b>125*2,5</b>	731	731	42	43	4,0	1,4
<b>140*2,0</b>	412	412	46	46	4,0	1,75

Отже, згідно таблиць 3.16-3.17, видно, що для отримання труби з ПВХ-О з труби НПВХ 90\*3,5 мм, оптимальним варіантом є труба з ступенем витяжки 1,4, а саме 125\*2,5, оскільки вона дозволяє одночасно зменшити товщину стінки і мати більший ресурс часу експлуатації до руйнування, порівняно з типорозмірними трубами 110\*2,9 і 140\*2,0, з яких одна має грубішу стінку, що здорожує трубу, а інша має менший ресурс часу експлуатації до руйнування.

#### **3.4. Експериментальне дослідження покращення, оптимізації рецептур композицій з НПВХ, технологічних параметрів її приготуванні і виробництва труб з ПВХ-О**

У вищенаведених дослідженнях було показано, як на основі базової рецептури НПВХ, отримати трубу з ПВХ-О з оптимальним ступенем витяжки. І якщо вище були проведені дослідження, які показували на ефективність використання труб ПВХ-О, порівняно з трубами НПВХ, досліджено виробництво труби з оптимальним ступенем витяжки, в кінці кінців доведено ефективність експериментального випуску труб на установці виготовлення труб з ПВХ-О, то надалі, будемо

використовувати вище наведені рецептуру, технологічні параметри, дослідження як базові для наступних досліджень в оптимізації рецептур композицій з НПВХ, технологічних параметрів її приготуванні і виробництва труб з ПВХ-О.

В п. 3.1. показано, що вихідною рецептурою, яку взяли за основу, була рецептура на базі НПВХ, з якої традиційно отримували напірну трубу з НПВХ для водопостачання, відповідно до ДСТУ Б.В.2.7-141:2007 «Будівельні матеріали. Труби із непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для холодного водопостачання. Технічні умови» [16], а саме:

**Рецептура №1:**

НПВХ, ПВХ-С-6768М -100 м.ч;

Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.;

Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,4 м.ч.;

Барвник-сажа-0,12 м.ч.

Для покращення технологічних параметрів ПВХ-О труб запропоновані наступні рецептури:

**Рецептура №2:**

НПВХ, ПВХ-С-6768М -100 м.ч;

Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.;

Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,1 м.ч.;

Барвник-сажа-0,12 м.ч.

Модифікатор переробки : Degalan 10F-0,8 м.ч.

**Рецептура №3:**

НПВХ, ПВХ-С-6768М -100 м.ч;

Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.;

Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,4 м.ч.;

Барвник-сажа-0,12 м.ч.

Модифікатор удароміцності Acrylan AM71: 4 м.ч.

**Рецептура №4:**

НПВХ, ПВХ-С-6768М -100 м.ч;

Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.;

Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,3м.ч.;

Барвник-сажа-0,12 м.ч.

Модифікатор переробки : Degalan 10F-0,5 м.ч.

Модифікатор удароміцності Acrylan AM71- 3 м.ч.

### **Рецептура №5:**

НПВХ, ПВХ-С-6768М -100 м.ч;

Крейда Мікрокарб 90Т -3м.ч.;

Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)-2,3м.ч.;

Барвник-сажа-0,12 м.ч.

Модифікатор переробки : Degalan 10F-0,5 м.ч.

Модифікатор удароміцності Acrylan AM71: 3 м.ч.

Лубрікант зовнішній: Vaerlub PA-L-0,5 м.ч.

Нижче наведемо обґрунтування запропонованої кожної з вищенаведених рецептур [116,118, 123,124].

В якості модифікатора переробки пропонується один з найдешевших і найбільш поширених у продажі модифікатор переробки Degalan 10F. Це є сополімер на основі метилакрилатів. Густина його при 20°C складає 1100 кг/м<sup>3</sup>, насипна вага:360-400 г/л. Для переробки НПВХ, його рекомендують давати в пропорціях 0,2-2,0 на 100 м.ч.НПВХ.

В якості модифікатора удароміцності пропонується теж один з найдешевших і найбільш поширених у продажі модифікатор удароміцності Acrylan AM71. Це є композиція сополімеру метилакрилата і хлорованого поліетилену у відношенні 70/30. Його насипна вага 400-550 г/л. Для переробки НПВХ, його рекомендують давати в пропорціях 4-10 м.ч. на 100 м.ч.НПВХ.

Стосовно рецептури №2, запропоновано введення модифікатора переробки Degalan 10F в кількості 0,8 м.ч. на 100 м.ч. НПВХ. Даний модифікатор повинен зменшити температури по зонах шнеків і головки, тим самим здешевить процес виготовлення труби, покращить переробку композиції і покращить фізико-механічні параметри труби ПВХ-О. Також зменшено вміст комплексного стабілізатора LFD 0074 з 2,4 м.ч. до 2,1 м.ч. на 100 м.ч. НПВХ. Це зумовлено тим, що сам по собі

комплексний стабілізатор має в собі певний вміст модифікатора переробки, але він мінімальний, потрібний лиш для підтримки процесу стабілізації полівінілхлориду в процесі його переробки. Реальний вміст його в комплексному стабілізаторі невідомий, оскільки це є конфіденційна інформація заводу-виготовлювача.

Стосовно рецептури №3, запропоновано введення модифікатора удароміцності Acrylan AM71 в кількості 4 м.ч. на 100 м.ч. НПВХ. Даний модифікатор повинен збільшити удароміцність труби ПВХ-О.

Стосовно рецептури №4, запропоновано введення модифікатора переробки Degalan 10F в кількості 0,5 м.ч. на 100 м.ч. НПВХ. Даний модифікатор повинен зменшити температури по зонах черв'яків і головки, тим самим здешевить процес виготовлення труби, покращить переробку композиції і покращить фізико-механічні параметри труби ПВХ-О. Також зменшено вміст комплексного стабілізатора LFD 0074 з 2,4 м.ч. до 2,3 м.ч. на 100 м.ч. НПВХ. Це зумовлено тим, що сам по собі комплексний стабілізатор має в собі певний вміст модифікатора переробки, але він мінімальний, потрібний лиш для підтримки процесу стабілізації полівінілхлориду в процесі його переробки. Реальний вміст його в комплексному стабілізаторі невідомий, оскільки це є конфіденційна інформація заводу-виготовлювача. Також запропоновано введення модифікатора удароміцності Acrylan AM71 в кількості 3 м.ч. на 100 м.ч. НПВХ, оскільки в рецептурі вже є сополімер на основі метилакрилатів в кількості 0,5 м.ч. Degalan 10F. Даний модифікатор повинен збільшити удароміцність труби ПВХ-О.

Рецептура №5 аналогічна рецептурі №4, але в неї добавили вуглеводневого воску Vaerlub Pa-L, який є зовнішнім лубрикантом і він повинен зменшити адгезію розплаву композиції об зовнішні стінки шнека і черв'яків екструдера.

Технологічні параметри отримання композиції з НПВХ, згідно Рецептур №2,3,4 були наступні (найменування позицій технологічного обладнання, згідно рис.2.3):

**Технологічні параметри отримання композиції з НПВХ, згідно Рецептур  
№2-5**

<b>№</b>	<b>Найменування технологічного параметру</b>	<b>Од.вим.</b>	<b>Значення</b>
1	Температура сировини в гарячому міксері поз.НМ01 перед вивантаженням в холодний міксер поз.СМ01	°С	120
2	Температура сировини в холодному міксері поз.СМ01 перед вивантаженням в транзитну ємність поз.ТН02	°С	30

Технологічні параметри отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм, згідно Рецептuri №2, які отримували з труби НПВХ 90\*3,5 мм були наступні (найменування позицій технологічного обладнання, згідно рис.2.2).



Таблиця 3.19

## Технологічні параметри отримання труби з ПВХ-О, згідно Рецептури №2

Найменування стадій і потоків реагентів	Найменування параметру і одиниця вимірювання	Значення
1	2	3
Екструзія та формування труби в головці екструдера	Температура по зонах екструдера поз.ЕК 1(ЕН1-5) , °С	175-180
	Температура на адаптері поз.ЕК 1екструдера , °С	165-170
	Температура на головці екструдера(ЕД1-16)	175-180
	Тиск розплаву, МПа	20-24
	Температура маси ПВХ при виході з головки, °С	175-180
	Число обертів шнека поз.ЕК 1, об/хв.	36- 38
	Число обертів дозатора Д1, об/хв.	55- 60
	Навантаження на двигун: поз.ЕК 1,А	110-115
Відвід труби	Швидкість траків : ПТ 1, м/хв.	0,4
	Продуктивність поз.ЕК1,кг./год.	140
Вакуумне калібрування	Вакуум на поз. ВВ1, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ1 і поз. ВО1, °С	20-25
	Тиск прижиму траків ПТ1, bar	4,5-6
Отримання труби ПВХ-О на установці УОТ	Температура прогріву в зонах оправки поз.КО1 (1-5 зони), °С	98- 100
	Швидкість протяжки : ПТ 2, м/хв	0,5
	Вакуум на поз. ВВ2, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ2	20-25
	Тиск прижиму траків протяжки ПТ2, bar	4,5-6

Технологічні параметри отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм, згідно Рецептури №3, які отримували з труби НПВХ 90\*3,5 мм були наступні (найменування позицій технологічного обладнання, згідно рис.2.2).

Таблиця 3.20

### Технологічні параметри отримання труби з ПВХ-О, згідно Рецептури №3

Найменування стадій і потоків реагентів	Найменування параметру і одиниця вимірювання	Значення
1	2	3
<b>Екструзія та формування труби в головці екструдера</b>	Температура по зонах екструдера поз.ЕК 1(ЕН1-5), °С	190-200
	Температура на адаптері поз.ЕК 1екструдера, °С	175-180
	Температура на головці екструдера(ЕД1-16)	195-200
	Тиск розплаву, МПа	28-30
	Температура маси ПВХ при виході з головки, °С	185-190
	Число обертів шнека поз.ЕК 1, об/хв.	36- 38
	Число обертів дозатора Д1, об/хв.	55- 60
	Навантаження на двигун: поз.ЕК 1,А	135-140
<b>Відвід труби</b>	Швидкість траків : ПТ 1, м/хв.	0,4
	Продуктивність поз.ЕК1,кг./год.	140
<b>Вакуумне калібрування</b>	Вакуум на поз. ВВ1, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ1 і поз. ВО1,°С	20-25
	Тиск прижиму траків ПТ1, bar	4,5-6
<b>Отримання труби ПВХ-О на установці УОТ</b>	Температура прогріву в зонах оправки поз.КО1 (1-5 зони),°С	98- 100
	Швидкість протяжки : ПТ 2, м/хв	0,5
	Вакуум на поз. ВВ2, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ2	20-25
	Тиск прижиму траків протяжки ПТ2, bar	4,5-6

Технологічні параметри отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм, згідно Рецептuri №4, які отримували з труби НПВХ 90\*3,5 мм були наступні (найменування позицій технологічного обладнання, згідно рис.2.4).

Таблиця 3.21

### Технологічні параметри отримання труби з ПВХ-О, згідно Рецептuri №4

Найменування стадій і потоків реагентів	Найменування параметру і одиниця вимірювання	Значення
1	2	3
<b>Екструзія та формування труби в головці екструдера</b>	Температура по зонах екструдера поз.ЕК 1(ЕН1-5) , °С	185-195
	Температура на адаптері поз.ЕК 1екструдера , °С	170-175
	Температура на головці екструдера(ЕД1-16)	185-195
	Тиск розплаву, МПа	25-27
	Температура маси ПВХ при виході з головки, °С	180-185
	Число обертів шнека поз.ЕК 1, об/хв.	36- 38
	Число обертів дозатора Д1, об/хв.	55- 60
	Навантаження на двигун: поз.ЕК 1,А	125-130
<b>Відвід труби</b>	Швидкість траків : ПТ 1, м/хв.	0,4
	Продуктивність поз.ЕК1,кг./год.	140
<b>Вакуумне калібрування</b>	Вакуум на поз. ВВ1, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ1 і поз. ВО1,°С	20-25
	Тиск прижиму траків ПТ1, bar	4,5-6
<b>Отримання труби ПВХ-О на установці УОТ</b>	Температура прогріву в зонах оправки поз.КО1 (1-5 зони),°С	98- 100
	Швидкість протяжки : ПТ 2, м/хв	0,5
	Вакуум на поз. ВВ2, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ2	20-25
	Тиск прижиму траків протяжки ПТ2, bar	4,5-6

Таблиця 3.22

## Технологічні параметри отримання труби ПВХ-О, згідно Рецептури №5

Найменування стадій і потоків реагентів	Найменування параметру і одиниця вимірювання	Значення
1	2	3
Екструзія та формування труби в головці екструдера	Температура по зонах екструдера поз.ЕК 1(ЕН1-5) , °С	185-195
	Температура на адаптері поз.ЕК 1екструдера , °С	170-175
	Температура на головці екструдера(ЕД1-16)	185-195
	Тиск розплаву, МПа	25-27
	Температура маси ПВХ при виході з головки, °С	180-185
	Число обертів шнека поз.ЕК 1, об/хв.	36- 38
	Число обертів дозатора Д1, об/хв.	55- 60
	Навантаження на двигун: поз.ЕК 1,А	125-130
Відвід труби	Швидкість траків : ПТ 1, м/хв.	0,4
	Продуктивність поз.ЕК1,кг./год.	140
Вакуумне калібрування	Вакуум на поз. ВВ1, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ1 і поз. ВО1, °С	20-25
	Тиск прижиму траків ПТ1, bar	4,5-6
Отримання труби ПВХ-О на установці УОТ	Температура прогріву в зонах оправки поз.КО1 (1-5 зони), °С	98- 100
	Швидкість протяжки : ПТ 2, м/хв	0,5
	Вакуум на поз. ВВ2, bar	-0,6 -0,8
	Температура води на поз. ВВ2	20-25
	Тиск прижиму траків протяжки ПТ2, bar	4,5-6

На рис.3.7-3.8 зображені графіки залежностей змін технологічних параметрів залежно від рецептур композицій з НПВХ для отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм.

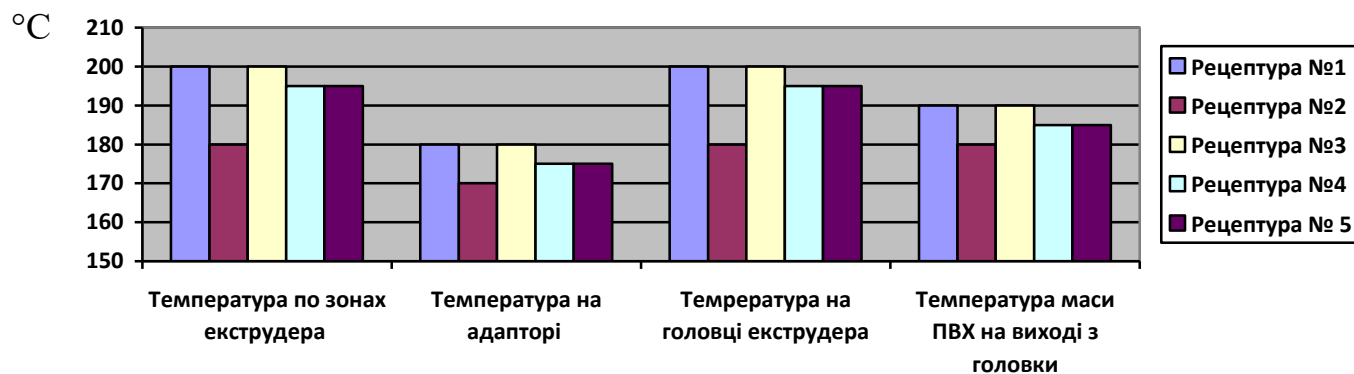


Рис.3.7- Графік залежностей змін температур при переробці композиції НПВХ в екструдері і головці залежно від рецептур №1-5

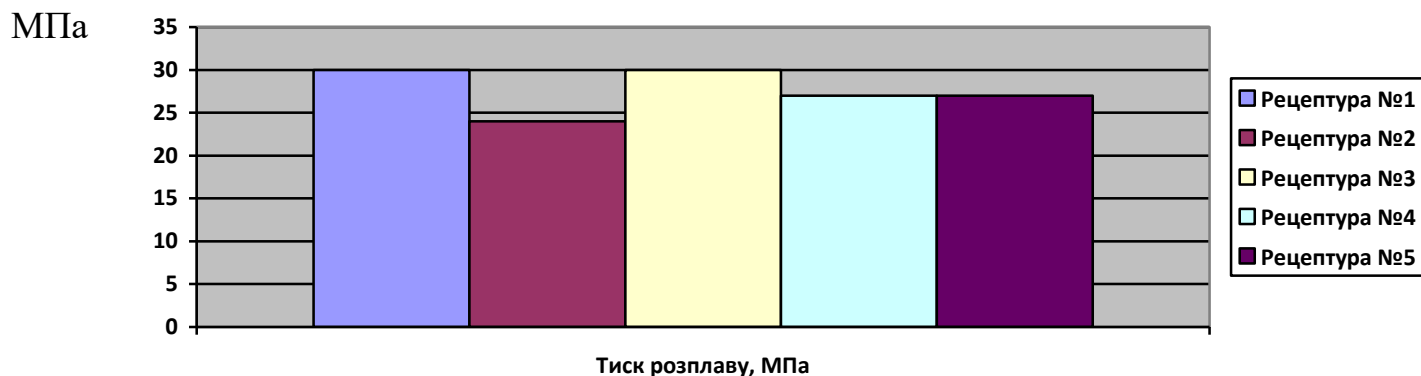


Рис.3.8- Графік залежностей змін тиску розплаву при переробці композиції НПВХ в екструдері залежно від рецептур №1-5

Аналізуючи вищенаведені графіки видно, що кращі технологічні параметри для виробництва труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм є при використанні рецептури №2, а саме менші температури по зонах екструдера, адаптера, голови, в середньому на 10%, менший тиск розплаву в середньому на 20%, менше навантаження на двигун екструдера, в середньому на 18%, порівнюючи, напр. з рецептурою №1. Але не слід

забувати про те, що в рецептурі №1 відсутній модифікатор переробки Degalan 10F, а отже вона і дешевше.

Порівняємо витрати на електроенергію при переробці композицій по рецептурам №1-5 на екструдері і голові, доставимо їх до загальної вартості складових рецептур композицій і визначимо найбільш економічно ефективну із них.

В таблиці 3.23 вказані орієнтовні вартості композицій різних рецептур.

Таблиця 3.23

## Орієнтовні вартості композиції рецептур №1,2,3,4,5

№ Рецеп- тури	Назва складових рецептури	Вміст в рецептурі, кг	Вартість 1 кг, грн	Загальна вартість складової, грн	Загальна вартість рецептури, грн
1	НПВХ, ПВХ-С-6768М	100	30	3000	3239
	Крейда Мікрокарб 90Т	3	5,5	16,5	
	Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)	2,4	90	216	
	Барвник-сажа	0,12	54	6,5	
	Всього, кг	105,52	Зведена вартість на 1 кг, грн		30,7
2	НПВХ, ПВХ-С-6768М	100	30	3000	3284
	Крейда Мікрокарб 90Т	3	5,5	16,5	
	Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)	2,1	90	189	
	Барвник-сажа	0,12	54	6,5	
	Degalan 10F	0,8	90	72	
	Всього, кг	106,02	Зведена вартість на 1 кг, грн		30,9
3	НПВХ, ПВХ-С-6768М	100	30	3000	3729
	Крейда Мікрокарб 90Т	3	5,5	16,5	
	Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)	2,4	90	216	
	Барвник-сажа	0,12	54	16,5	
	Acrylan AM71	4	120	480	

## Продовження таблиці 3.23

№ Рецеп- тури	Назва складових рецептури	Вміст в рецептурі, кг	Вартість 1 кг,грн	Загальна вартість складової, грн	Загальна вартість рецептури, грн
	Всього	109,52	Зведена вартість на 1 кг, грн		34,05
4	НПВХ, ПВХ-С- 6768М	100	30	3000	3645
	Крейда Мікрокарб 90Т	3	5,5	16,5	
	Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)	2,3	90	207	
	Барвник-сажа	0,12	54	16,5	
	Acrylan AM71	3	120	360	
	Degalan 10F	0,5	90	45	
	Всього	108,92	Зведена вартість на 1 кг, грн		
5	НПВХ, ПВХ-С- 6768М	100	30	3000	3680
	Крейда Мікрокарб 90Т	3	5,5	16,5	
	Стабілізатор комплексний – ( LFD 0074)	2,3	90	207	
	Барвник-сажа	0,12	54	16,5	
	Acrylan AM71	3	120	360	
	Degalan 10F	0,5	90	45	
	Vaerlub Pa-L	0,5	70	35	
	Всього	109,42	Зведена вартість на 1 кг, грн		



На рис.3.9 зображений графік залежностей зведених на 1 кг вартостей композицій залежно від рецептур композицій з НПВХ для отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм на 100 м.ч. НПВХ.

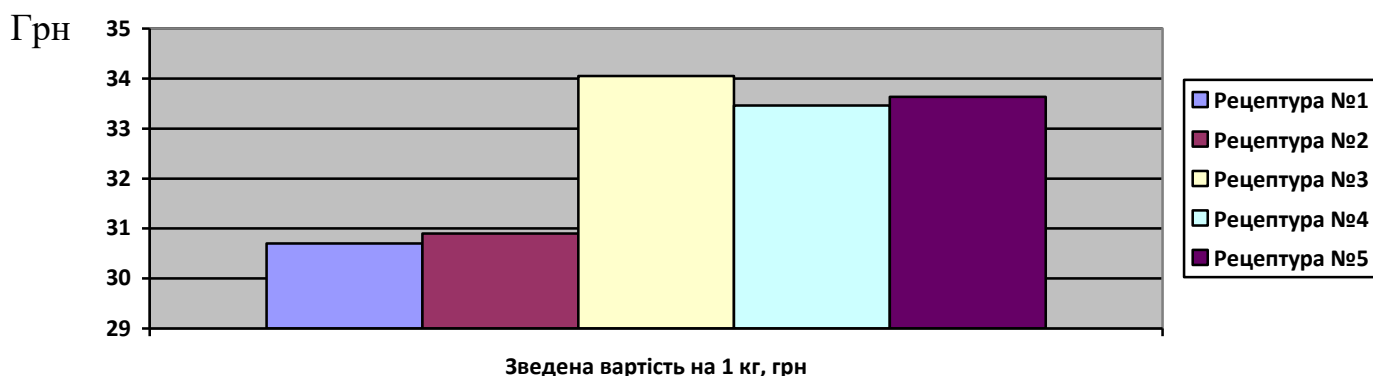


Рис.3.9 - Графік залежностей зведених на 1 кг вартостей композицій залежно від рецептур композицій з НПВХ для отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм на 100 м.ч. НПВХ

Аналізуючи, графік на рис.3.9, видно, що найдешевшою є композиція на основі рецептури №1, яка майже на 1% дешевше за найближчу по вартості композицію на основі рецептури №2 і на 10 % дешевше за найдорожчу по вартості композицію на основі рецептури №3.

Витрати на електроенергію при роботі на кожній рецептурі визначали експериментальним шляхом, замірюючи силу струму з допомогою струмомісних кліщів, переводячи отримані дані розрахунковим шляхом у споживану потужність.

Результати вимірювань споживаної потужності при переробці кожної рецептури і грошові витрати на неї наведені в таблиці №3.24.

Таблиця 3.24

**Результати вимірювань споживаної потужності при переробці кожної рецептури**

№ рецептури	Назва обладнання	Споживана потужність, кВт*год	Вартість 1 кВт*год, грн	Продуктивність переробки композиції, кг/год	Всього, грн
1	Двигун екструдера	45	1,8	140	81
	Голова екструдера з адаптером, електронагрівачі	16			29
	Екструдер, електронагрівачі	38			68
	Загальна вартість переробки композиції, грн				178
	Загальна вартість переробки 1 кг композиції за 1 год, грн				1,27
2	Двигун екструдера	35	1,8	140	63
	Голова екструдера з адаптером, електронагрівачі	13			23
	Екструдер, електронагрівачі	29			52
	Загальна вартість переробки композиції на 1 кг, грн				138
	Загальна вартість переробки 1 кг композиції за 1 год, грн				0,98
3	Двигун екструдера	45	1,8	140	81
	Голова екструдера з адаптером, електронагрівачі	16			29
	Екструдер, електронагрівачі	38			68
	Загальна вартість переробки композиції на 1 кг, грн				178
	Загальна вартість переробки 1 кг композиції за 1 год, грн				1,27
4	Двигун екструдера	42	1,8	140	76
	Голова екструдера з адаптером, електронагрівачі	15,6			28
	Екструдер, електронагрівачі	34,1			61
	Загальна вартість переробки композиції на 1 кг, грн				165
	Загальна вартість переробки 1 кг композиції за 1 год, грн				1,18

## Продовження таблиці 3.24

№ рецептури	Назва обладнання	Споживана потужність, кВт*год	Вартість 1 кВт*год, грн	Продуктивність переробки композиції, кг/год	Всього, грн	
5	Двигун екструдера	42	1,8	140	76	
	Голова екструдера з адаптером, електронагрівачі	15,6			28	
	Екструдер, електронагрівачі	34,1			61	
	Загальна вартість переробки композиції, грн					165
	Загальна вартість переробки 1 кг композиції за 1 год, грн					1,18
	Голова екструдера з адаптером, електронагрівачі	15,6			28	
	Екструдер, електронагрівачі	34,1			61	
	Загальна вартість переробки композиції на 1 кг, грн					165
	Загальна вартість переробки 1 кг композиції за 1 год, грн					1,18

На рис.3.10 зображений графік залежностей загальних вартостей переробки 1 кг композиції за 1 год в екструдері і головці залежно від рецептур композицій з НПВХ для отримання труби ПВХ-О 125\*2,5 мм на 100 м.ч. НПВХ.

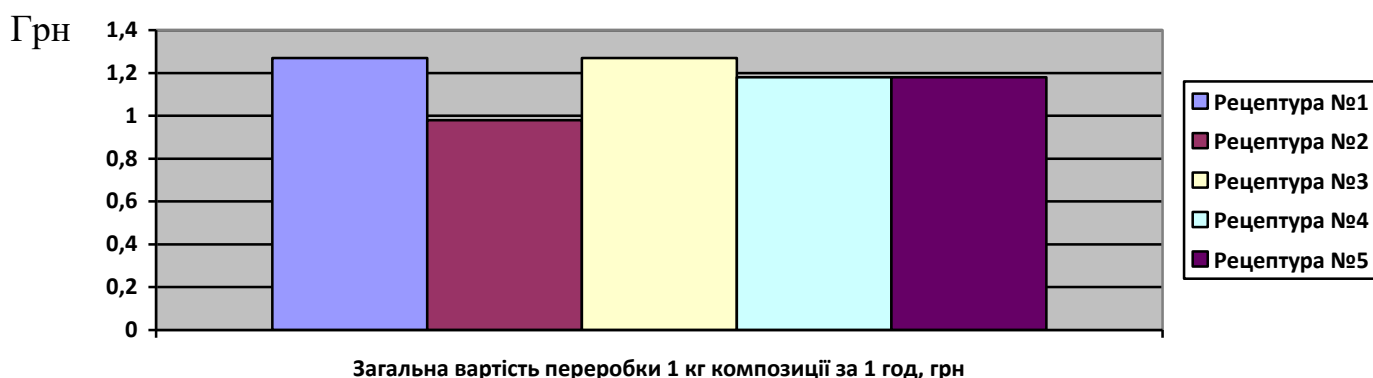


Рис.3.10 - Графік залежностей загальних вартостей переробки 1 кг композиції за 1 год в екструдері і головці залежно від рецептур композицій з НПВХ для отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм на 100 м.ч. НПВХ

Аналізуючи, графік на рис.3.10, видно, що найдешевшою в переробці є композиція на основі рецептури №2, яка майже на 17% дешевше за найближчу по переробці композицію на основі рецептури №4,5 і на 23% дешевше за найдорожчу по переробці композицію на основі рецептури №1.

Просумовані витрати на переробку 1 кг композиції за 1 годину в екструдері, головці і зведеної вартості 1 кг композиції, залежно від рецептур наведені в табл.3.25 і рис.3.11.

Таблиця 3.25

**Просумовані витрати на переробку 1 кг композиції за 1 годину в екструдері, головці і зведеної вартості 1 кг композиції, залежно від рецептур**

№ Рецептури	Зведена вартість на 1 кг, грн	Загальна вартість переробки 1 кг композиції за 1 год, грн	Всього витрат на 1 кг композиції, грн
1	1,27	30,7	31,97
2	0,98	30,9	31,88
3	1,27	34,05	35,32
4	1,18	33,46	34,64
5	1,18	33,63	34,81

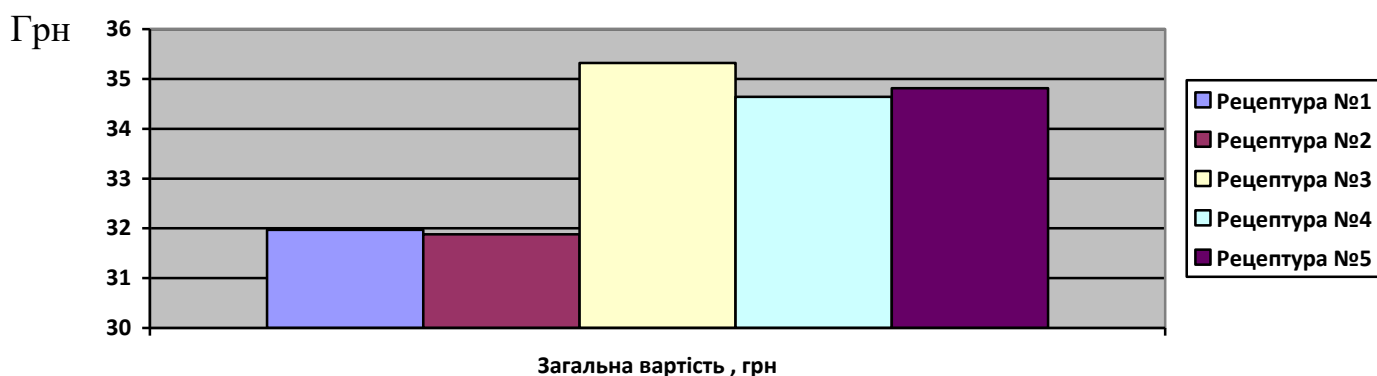


Рис.3.11- Графік залежностей просумованих загальних вартостей переробки 1 кг композиції за 1 год в екструдері і головці і зведеної вартості залежно від рецептур композицій з НПВХ для отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм на 100 м.ч. НПВХ

Аналізуючи, графік на рис.3.11, видно, що найдешевшою в переробці є композиція на основі рецептури №2, яка майже на 1% дешевше за найближчу по переробці композицію на основі рецептури №1 і на 10% дешевше за найдорожчу по переробці композицію на основі рецептури №3. Враховуючи річний об'єм випуску таких труб, напр.500 тис кг, то економія на використанні композиції на основі рецептури №2 складе 45 тис грн, плюс менше буде фізично зношуватись обладнання переробки композиції.

Отже вищенаведені розрахунки показали економічний ефект у зміні і використанні певних технологічних добавок при виробництві труби з ПВХ-О. Далі слід дослідити, наскільки кращими будуть фізико-механічні параметри труб з ПВХ-О, залежно від рецептур. В таблиці 3.26 показані результати аналізу опору падаючого вантажу для труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм, залежно від рецептур.

Таблиця 3.26

**Результати досліджень значення опору удару падаючого вантажу для труби з ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур**

<b>№ Рецептури</b>	<b>Висота падіння вантажу, мм</b>	<b>Маса падаючого вантажу, кг</b>	<b>К-ть руйнувань при 80 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 90 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 100 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 110 ударах</b>	<b>К-ть руйнувань при 120 ударах</b>
1	1600	0,5	1	2	3	3	4
2	1600	0,5	1	2	2	2	2
3	1600	0,5	0	0	1	1	2
4	1600	0,5	0	1	2	2	3
5	1600	0,5	0	1	2	2	3

Отже, аналізуючи дані випробовувань, можна відмітити, що зміна в рецептурах мало що вплинула на опір удару. Це пояснюється тим, що орієнтація труби сама по собі збільшує опір удару і не вимагає введення додаткових технологічних добавок в рецептури. Схематично графік опору удару падаючого вантажу зображений на рис. 3.12.

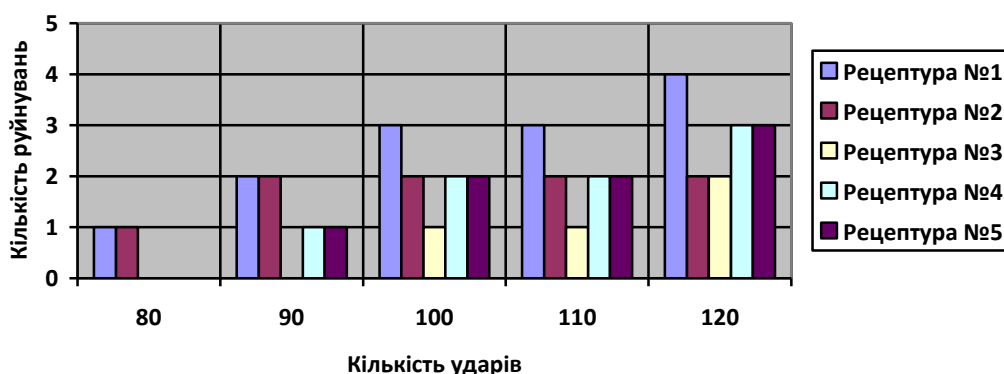


Рис.3.12 – Графік аналізу опору удару падаючого вантажу для труби з ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур

Відносне подовження труб при розриві та межу плинності при розтягу визначали згідно з ГОСТ 11262 між затискачами розривної машини при швидкості руху затискачів розривної машини  $25 \pm 1$  мм/хв на випробувальних зразках, що вирізались з гладкої частини зразків труб у поздовжньому напрямку.

Результати випробовування наведені на графіку рис.3.13.

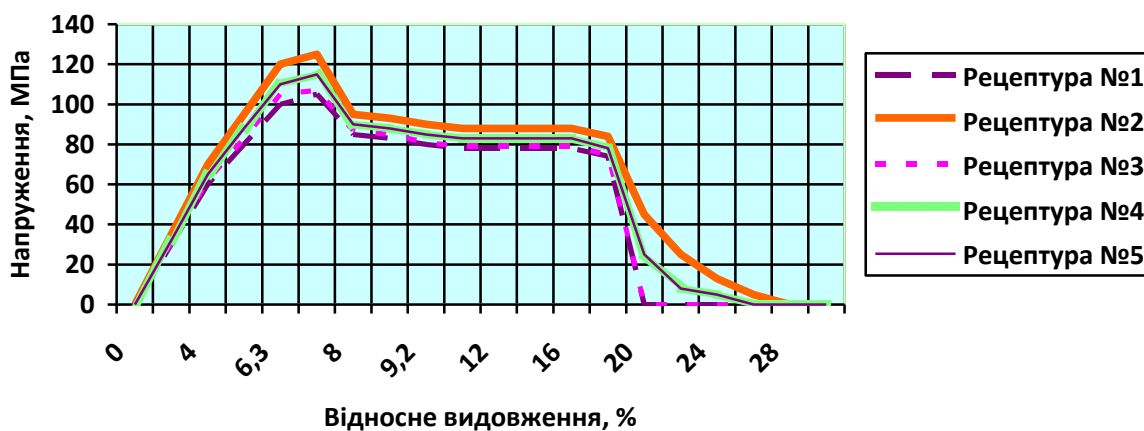


Рис.3.13 – Графік визначення відносного подовження труб при розриві і межі плинності при розтягу для труби ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур

З графіка на рис.3.13 випливає, що межа текучості при розтязі труби з ПВХ-О при використанні рецептури №2 більша за межу текучості при розтязі труби з рецептури №1 на 19%, рецептури №3 на 17%, рецептури №4 на 9%, а відносне видовження при використанні рецептури №2 більша при розтязі труби з рецептури №1 на 30%, рецептури №3 на 30%, рецептури №4,5 на 8%.

Отже, аналізуючи графік на рис.3.29, видно, що рецептура №2 дає трубi з ПВХ-О кращі фізико-механічні показники щодо межі текучості і відносного видовження.

Результати випробовування визначення змін довжини труб з ПВХ-О 125\*2,5 мм після прогрівання при температурі 150°C наведені на графіку рис.3.14.

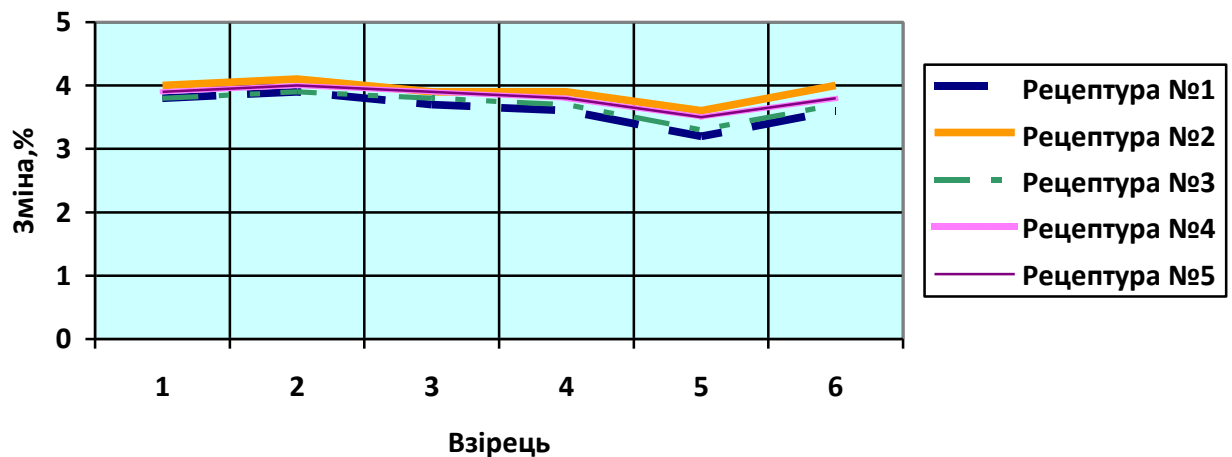


Рис.3.14– Графік визначення змін довжини труб з ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур

З графіку на рис.3.14 видно, що відмінність значень зміни довжин труб з ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур труб після прогрівання при температурі 150 °C на протязі 20 хв незначна, дещо кращі показники на трубi, виконаної з рецептури №2, в середньому на 5-10% порівняно з іншими рецептурами.

Результати випробовування визначення температури розм'якшення за Віка труб з ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур наведені на графіку рис.3.15.

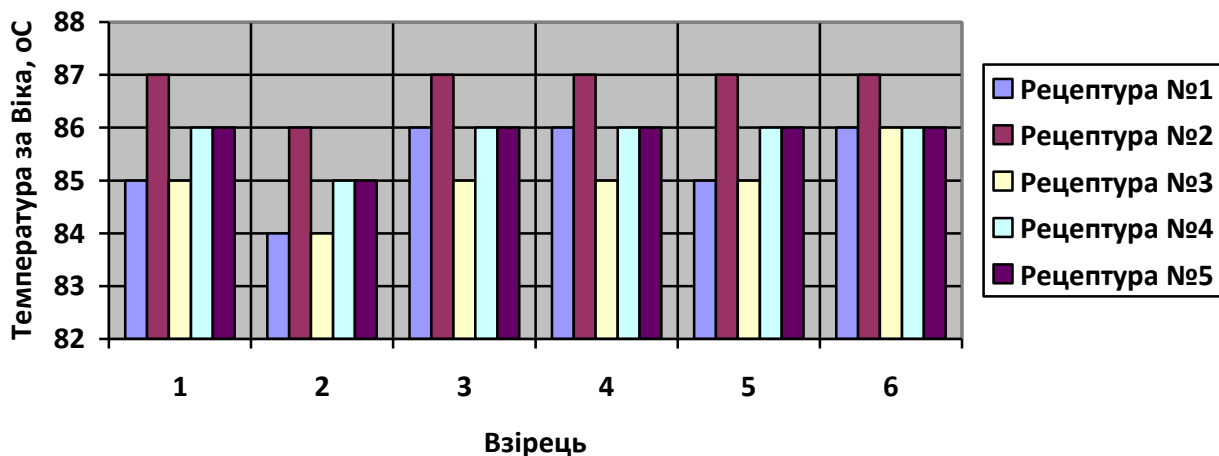


Рис.3.15 – Графік визначення температури розм'якшення за Віка труб з ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур

З графіку на рис.3.15 видно, що відмінність значень температури розм'якшення за Віка труб з ПВХ-О 125\*2.5, залежно від рецептур незначна, значення температури розм'якшення за Віка труби, виготовленої з рецептури №2 в середньому на 2-3% більше за значення температури розм'якшення за Віка труб з ПВХ-О з інших рецептур.

При проведенні аналізу стійкості труб ПВХ-О 125\*2.5 до дихлоретану визначено, всі вони, незалежно від рецептури, стійкі до дії дихлоретану при температурі  $(15 \pm 0,5)$  °C на протязі 30 хв.

Результати випробувань на стійкість при постійному внутрішньому тиску були позитивними для ПВХ-О труби 125\*2,5 мм виготовленої з різних рецептур:

- жоден випробний зразок не зруйнувався до закінчення контрольного терміну випробування.

Проведення дослідження термостабільності композицій з різних рецептур НПВХ дали наступні результати, які показані в табл.3.27 і на графіку рис.3.16.



Таблиця 3.27

**Значення термостабільності композицій з різних рецептур по методу Конго червоний**

№ Рецептури	Термостабільність, хв
1	71
2	67
3	70
4	69
5	68

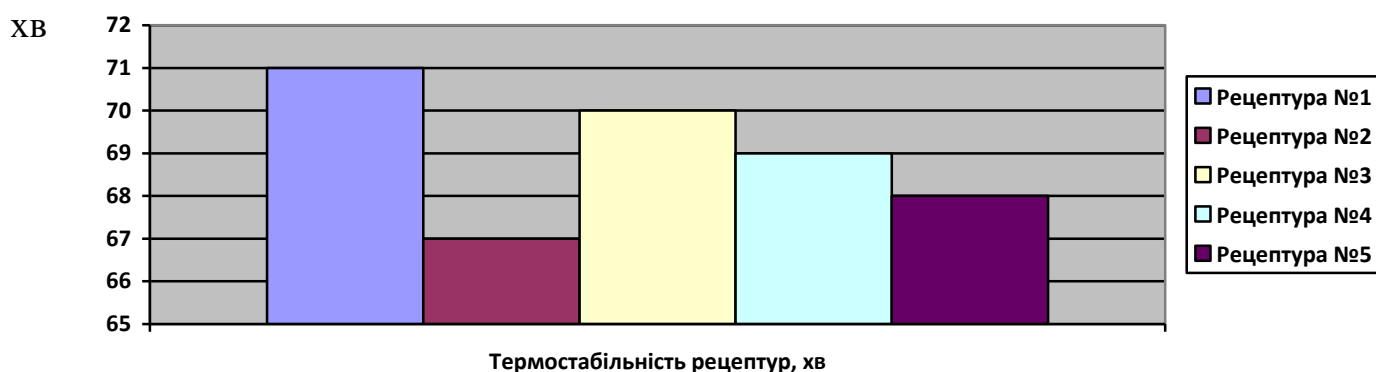


Рис.3.16- Графік значень термостабільності методом Конго червоний рецептур композицій з НПВХ для отримання труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм на 100 м.ч. НПВХ

Аналізуючи вищенаведений графік на рис.3.16, видно, що кращі значення термостабільності є у рецептури №1, але практично всі рецептури мають вищі за нормативні значення термостабільності композиції НПВХ, що складає 60 хв [16,119,120,121].

Дослідимо ступінь легкості переробки композицій, залежно від рецептур. Ступінь легкості переробки визначимо по зміні сили струму головного електродвигуна екструдера.

Значення сили струму головного електродвигуна при переробці композицій з різних рецептур НПВХ при отриманні труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм дали наступні результати, які показані в табл.3.28 і на графіку рис.3.17.

Таблиця 3.28

**Значення сили струму головного електродвигуна при переробці композицій з різних рецептур НПВХ сили струму головного електродвигуна при переробці композицій з різних рецептур НПВХ**

№ Рецептури	Сила струму, А
1	140
2	115
3	140
4	130
5	130

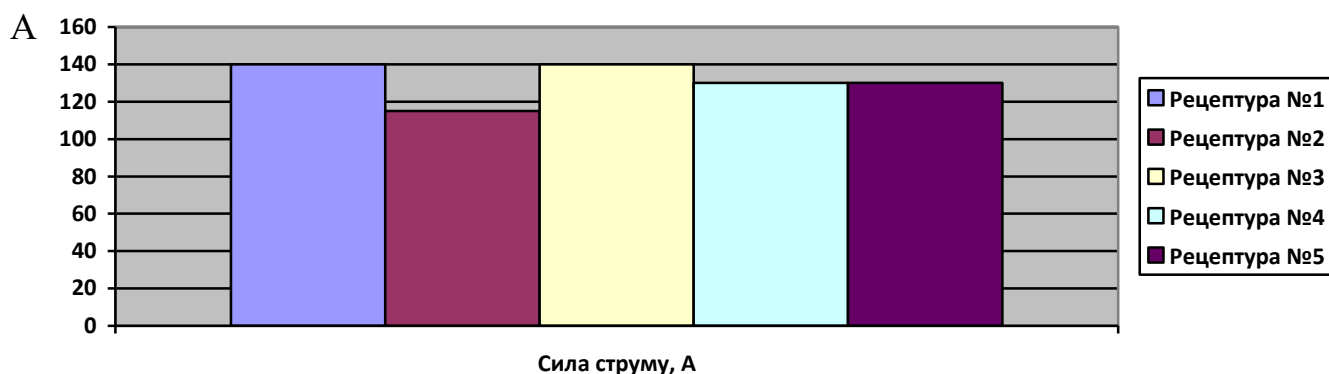


Рис.3.17- Графік залежностей змін навантаження на двигун екструдера при переробці композиції НПВХ в екструдері залежно від рецептур №1-5

Аналізуючи вищенаведений графік видно, що кращі технологічні параметри для виробництва труби з ПВХ-О 125\*2,5 мм є при використанні рецептури №2, а саме менше навантаження на двигун екструдера, в середньому на 18%, порівнюючи напр. з рецептурою №1, що показує кращу за всі рецептури ступінь легкості переробки.

Для дослідження міцності розплаву композиції, визначимо показник текучості розплаву кожної рецептури під різними навантаженнями: 21,19 Н (2,16 кгс); 49,05Н (5 кгс), 98,1 (10кгс), 122,62Н (12,5 кгс), 211,9Н (21,6 кгс) температурою дослідження 190°С, на протязі 10 хв [116, 121, 122].

Результати досліджень показані в табл.3.29-3.33 і на графіках рис.3.18-3.22.

Таблиця 3.29

**Значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 21,19Н (2,16 кгс)**

№ Рецептури	ПТР, г/10хв
1	0,14
2	0,12
3	0,139
4	0,135
5	0,132

г/10 хв

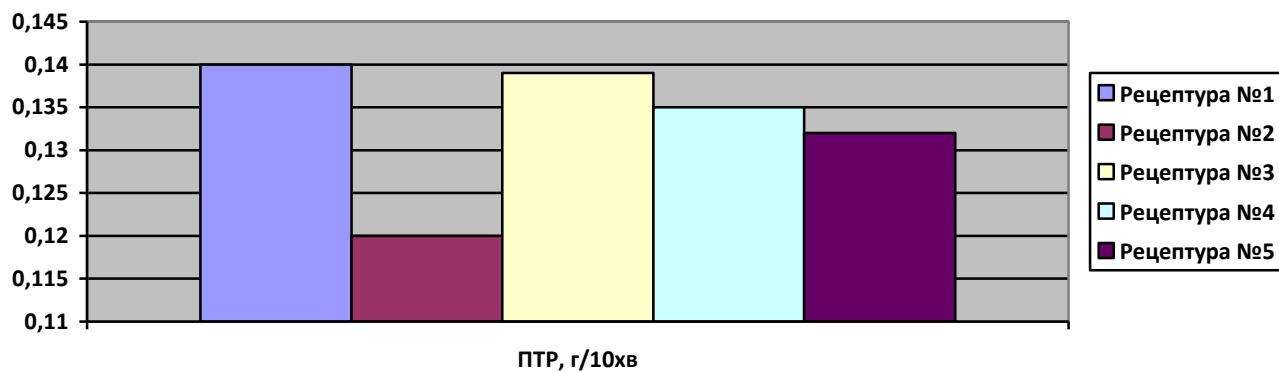


Рис.3.18- Графік залежностей змін значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 21,19Н (2,16 кгс)

Таблиця 3.30

**Значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 49,05Н (5 кгс)**

№ Рецептури	ПТР, г/10хв
1	0,324
2	0,277
3	0,321
4	0,31
5	0,305

г/10 хв

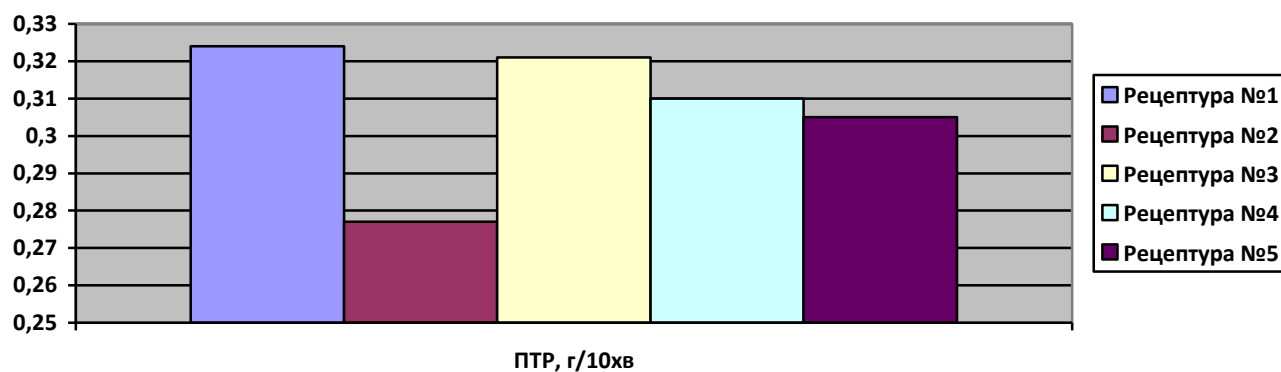


Рис.3.19- Графік залежностей змін значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 49,05Н (5 кгс)

Таблиця 3.31

**Значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 98,1Н (10 кгс)**

№ Рецептури	ПТР, г/10хв
1	0,649
2	0,553
3	0,642
4	0,621
5	0,61

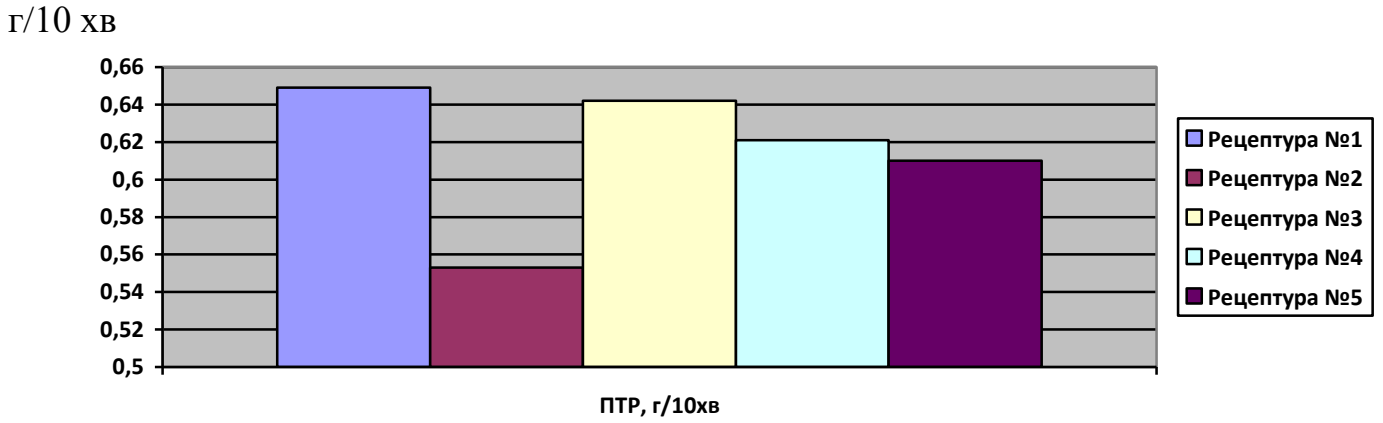


Рис.3.20- Графік залежностей змін значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 98,1Н (10 кгс)

Таблиця 3.32

**Значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 122,62Н (12,5 кгс)**

№ Рецептури	ПТР, г/10хв
1	0,818
2	0,699
3	0,809
4	0,783
5	0,769

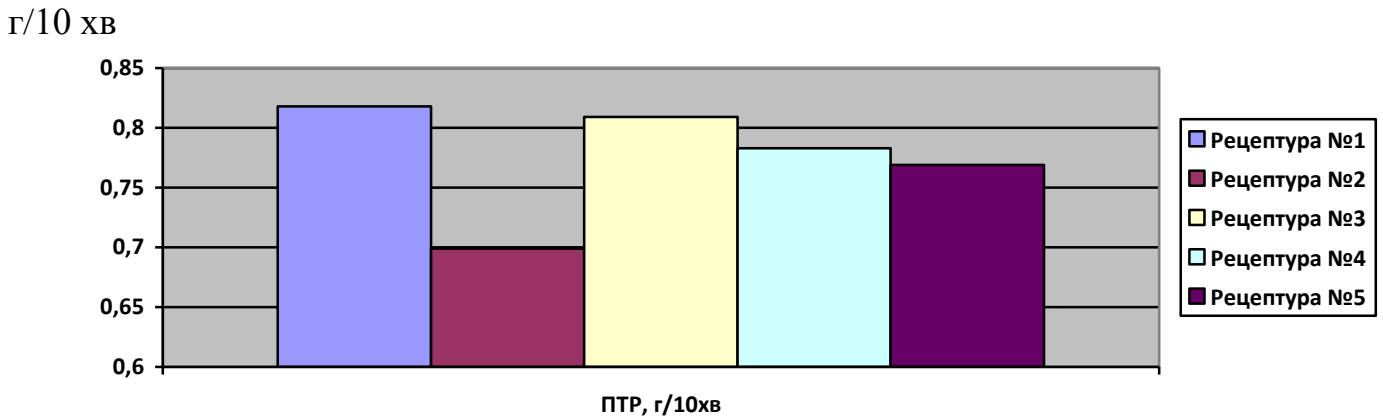


Рис.3.21- Графік залежностей змін значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 122,62Н (12,5 кгс)

Таблиця 3.33

**Значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 211,9Н (21,6 кгс)**

№ Рецептури	ПТР, г/10хв
1	1,41
2	1,205
3	1,395
4	1,35
5	1,325

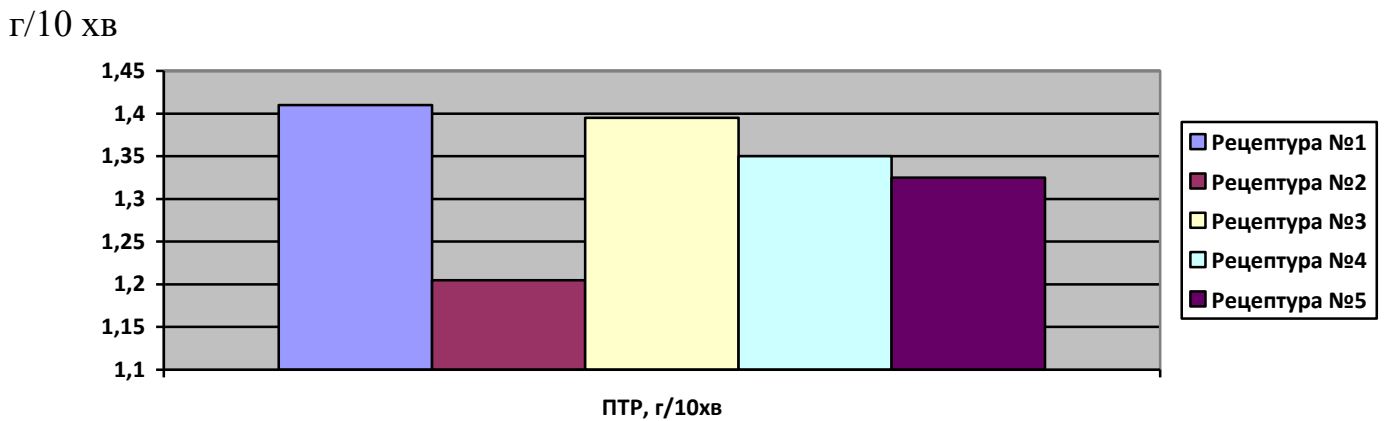


Рис.3.22- Графік залежностей змін значення ПТР композицій з різних рецептур НПВХ, г/10 хв при навантаженні 211,9Н (21,6 кгс)

Аналізуючи вищенаведений графік видно, що кращі реологічні параметри для виробництва труби ПВХ-О 125\*2,5 мм є при використанні рецептури №2, а саме менший показник ПТР, в середньому на 15%, порівнюючи напр. з рецептурою №1, що показує кращу за всі рецептури ступінь легкості переробки, що теж і показано на графіку рис.3.23.

На рис.3.23 показаний графік залежностей ПТР при різних навантаженнях для різних рецептур НПВХ композицій.

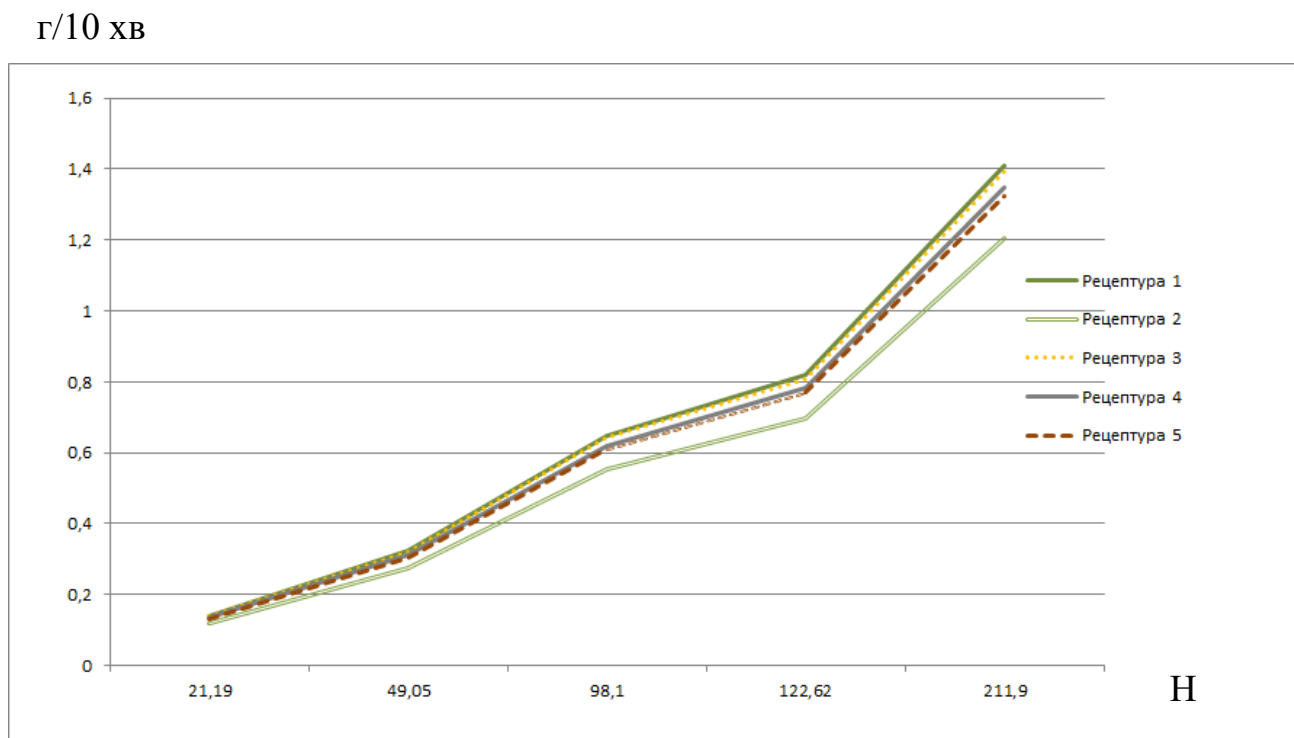


Рис.3.23- Графік залежностей ПТР при різних навантаженнях для різних рецептур НПВХ композицій.

Вищенаведені дослідження показали ефективність запропонованої рецептури композиції виготовлення труб з ПВХ-О, підбір технологічних параметрів її виготовлення, що дозволить отримати трубу з кращими фізико-механічними параметрами і дешевшою. В даному випадку це є рецептура №2.

### 3.5. Висновки до розділу

1. Для досягнення поставленої мети щодо вирішення на підставі теоретичних уявлень та результатів експериментальних досліджень важливої для промисловості проблеми по створенні вітчизняної технології і обладнання для виробництва труб з ПВХ-О, які б мали кращі характеристики за труби з НПВХ, шляхом удосконалення технології і обладнання виробництва труб з НПВХ показано вирішення таких науково-технічних задач:

- експериментально дослідити основні процеси технології одержання двовісноорієнтованих водонапірних труб зі створеного ПКМ, а саме труб з ПВХ-О;
- зробити порівняння фізико-механічних і експлуатаційних характеристик труб з НПВХ і труб з ПВХ-О, обґрунтувати перевагу труб з ПВХ-О.

2. Вимірювання в дослідженні щодо ефективності використання труб з ПВХ-О порівняно з трубами з НПВХ з використанням методів тензометрії і акустичної емісії пройшли з високою точністю, в межах дії закону Гука, оскільки положення променів осцилографа, що відповідають значенням напружень при різних значеннях внутрішнього тиску в досліджуваному зразку, до та після проведення досліджень повернулись на свої місця. А це означає, що не відбувалася поява пластичних деформацій в досліджуваному зразку в результаті збільшення внутрішнього тиску в досліджуваному зразку.

3. Проведені експериментальні дослідження використання труб з ПВХ-О довели їх ефективність порівняно з трубами з НПВХ, а саме відбулось зменшення значень колових напружень на зовнішній поверхні досліджуваного зразка на 18%. Отже напірні трубопроводи труб з ПВХ-О в процесі експлуатації ефективніші від трубопроводів з труб з НПВХ, оскільки зовнішні напруження на поверхні труб при однакових умовах експлуатації у труб з ПВХ-О менші, що дозволить експлуатувати труби з ПВХ-О з середовищем при більших тисках, а також дані труби будуть мати довший термін служби.

4. Досліджено, що опір удару падаючого вантажу труб з ПВХ-О набагато більший опору удару падаючого вантажу труб з НПВХ. В зону А-Випробовування



витримано повністю попала труба з ПВХ-О до 80 ударів, в той час як труба з НПВХ в зону А попала лише при 25 ударах. Отже, доведено, що труби з ПВХ-О мають кращі показники по ударній міцності, порівняно з трубами з НПВХ.

5. Досліджено, що межа плинності при розтязі труб з ПВХ-О більша за межу плинності при розтязі труби з НПВХ на 81%, а відносне видовження менше на 30-35%, що свідчить про кращі міцнісні характеристики труб з ПВХ-О.

6. Досліджено, що відмінність значень зміни довжин труб з НПВХ і ПВХ-О після прогрівання при температурі 150 °С на протязі 20 хв незначна, зміна довжини при нагріві труби з НПВХ в середньому на 10-15% більше за зміну довжини при нагріві труби з ПВХ-О. Відмінність значень температури розм'якшення за Віка труб з НПВХ і ПВХ-О незначна, значення температури розм'якшення за Віка труби НПВХ в середньому на 5% менше за значення температури розм'якшення за Віка труби з ПВХ-О. Як труби з НПВХ, так і з ПВХ-О стійкі до дії дихлоретану при витримували при температурі  $(15 \pm 0,5)$  °С на протязі 30 хв. Отже вищевказані дослідження показали, що в деяких параметрах труба з ПВХ-О мало чим відрізняється від труби з НПВХ. Однак дані параметри не є визначальними для порівняння міцнісних характеристик труб з ПВХ-О і труб з НПВХ.

7. Досліджено, що труба з ПВХ-О позитивно проходить випробовування на стійкість до постійного внутрішнього тиску при однакових умовах експлуатації з трубою з НПВХ (на які розрахована труба), а також позитивно проходить випробовування на стійкість до постійного внутрішнього тиску при ускладнених умовах експлуатації з трубою з НПВХ, а саме збільшеному номінальному тиску, в той час як труба з НПВХ має негативні результати випробовування, що показує, що труби з ПВХ-О можна використовувати при експлуатації з більшими тисками внутрішнього середовища, порівняно з трубами з НПВХ.

8. Досліджено, шляхом використання методів акустичної емісії, що при виготовленні труби з ПВХ-О з НПВХ можна експериментально визначити оптимальні степені витяжки, що дозволить виготовляти труби з меншою товщиною стінки і з більшим ресурсом експлуатації.

9. Запропонована рецептура виготовлення композицій на основі НПВХ, з якої надалі виготовлюватимуться труби з ПВХ-О. Показано, що введення певних технологічних добавок, а саме модифікатора переробки Degalan 10F призводить до економічного ефекту виробництва труб з ПВХ-О, напр. для труби з ПВХ-О 125\*2,5 цей економічний ефект склав 45 тис грн в рік, в результаті покращення переробки композиції, зменшення витрат на енергоносії.

Основні результати розділу 3 опубліковані в працях [17, 23, 24, 26, 126-131, 133-136].

## РОЗДІЛ 4

### Технологія виготовлення труб з ПВХ-О

В даному розділі дослідимо вплив технологічних параметрів на виробництво труб з ПВХ-О на створеній і описаній в Розділі №2 установці для виготовлення труб з ПВХ-О. Об'єктом дослідження була труба з ПВХ-О 110\*2.7, виготовлена по рецептурі №2.

#### 4.1. Вплив температури при виготовленні труб з ПВХ-О на установці виготовлення труб з ПВХ-О

Для контролю за зміною товщини стінки в результаті змін температури на установці виготовлення труб з ПВХ-О використовувалось наступне обладнання і труба:

- 1) Установа для виготовлення труб з ПВХ-О (рис.2.6);
- 2) Ультразвуковий товщиномір ТУЗ-1;
- 3) НПВХ труба з зовнішнім діаметром 110 мм і товщиною стінки 2,7 мм, наступного перерізу (рис.4.1.):

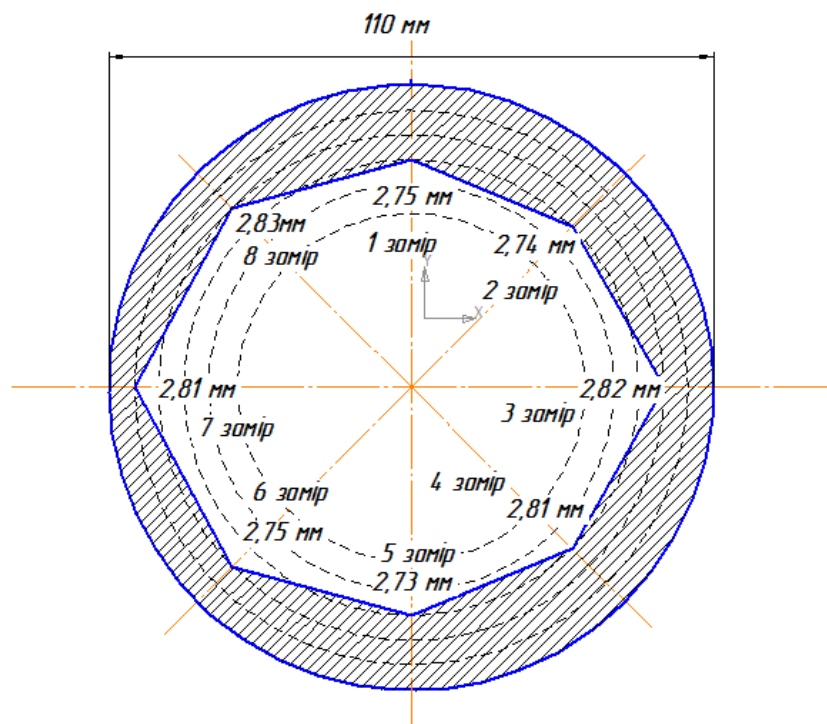


Рис. 4.1 - Переріз труби 110\*2,7 мм

Для нагріву секторів оправки 1 (рис.4.2.) використовувались електричні нагрівальні елементи верхнього ряду 4-1 і 4-2, і електричні нагрівальні елементи нижнього ряду 11-1 і 11-2. Регулювання температур нагріву секторів оправки проводилось з допомогою датчиків температури верхнього ряду 2-1 і 2-2, а також датчиків температур нижнього ряду 10-1 і 10-2. Охолодження ззовні здійснювалось з допомогою повітродувок верхнього ряду 3-1 і 3-2, а також повітродувок нижнього ряду 8-1 і 8-2.

Труба 9 (рис.4.2.) насаджувалась на оправку нагріту в середньому до температури 100°C, де проходили процеси повздожньої і радіальної орієнтації.

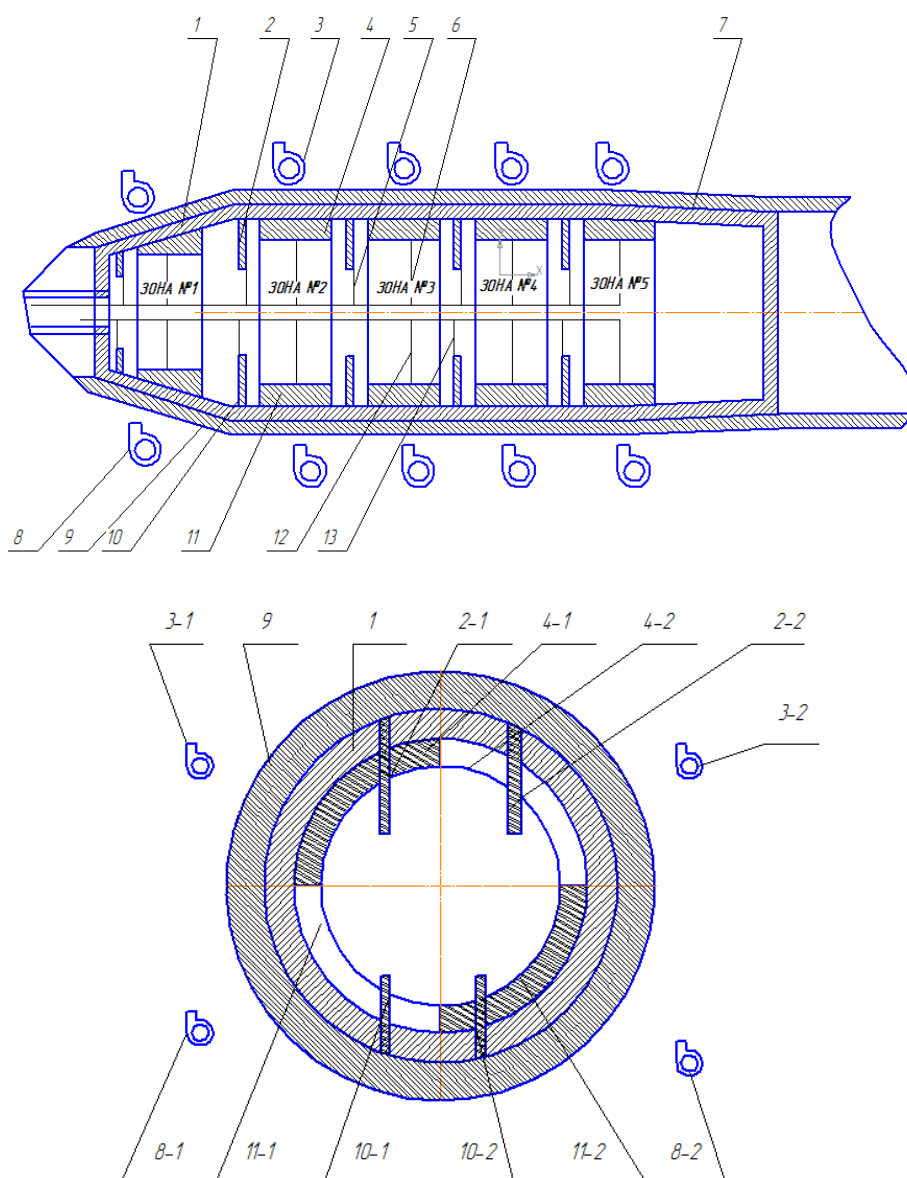


Рис. 4.2 - Схема установки нагрівальних приладів

В процесі роботи на установці отримання труб з ПВХ-О проводили вибір оптимальних технологічних параметрів, які б забезпечували однорідність товщини стінки вже орієнтованої труби, шляхом вимірювань товщин стінки труби після вакуумної ванни 16 (рис.2.6). Звичайно, корекція режимів роботи спрацьовувала лиш на наступній другій трубі, що є звичайно недоліком установки, але цей недолік досить незначний при роботі з великою кількістю труб однієї партії. Регулювання роботи установки проводили наступним чином. На першому тягнучому пристрої 5 (рис.2.6) задавали швидкість витяжки труби м/хв. З допомогою блоку керування 15 (рис.2.6.) встановлювали температури зон нагрівання оправки 1 (рис.4.2.).

Після проходження труби через оправку і вакуумну ванну 16 (рис.2.6) проводили вимірювання товщин стінок труби і на основі вимірювань робили корекції температур. Спочатку отримували орієнтовану трубу при різних швидкостях витяжки, але при сталій температурі 100°C, а потім напрацьовували оптимальні температурні режими і швидкості витяжки, при якій в трубі була мінімальна різнотовщинність. Результати досліджень вказані в таблиці 4.1 .



Результати досліджень по зміні товщини стінки, згідно замірів (рис.4.1.) в залежності від змін швидкості протяжки і температурних режимах оправки наведені в графіках, зображених нижче.

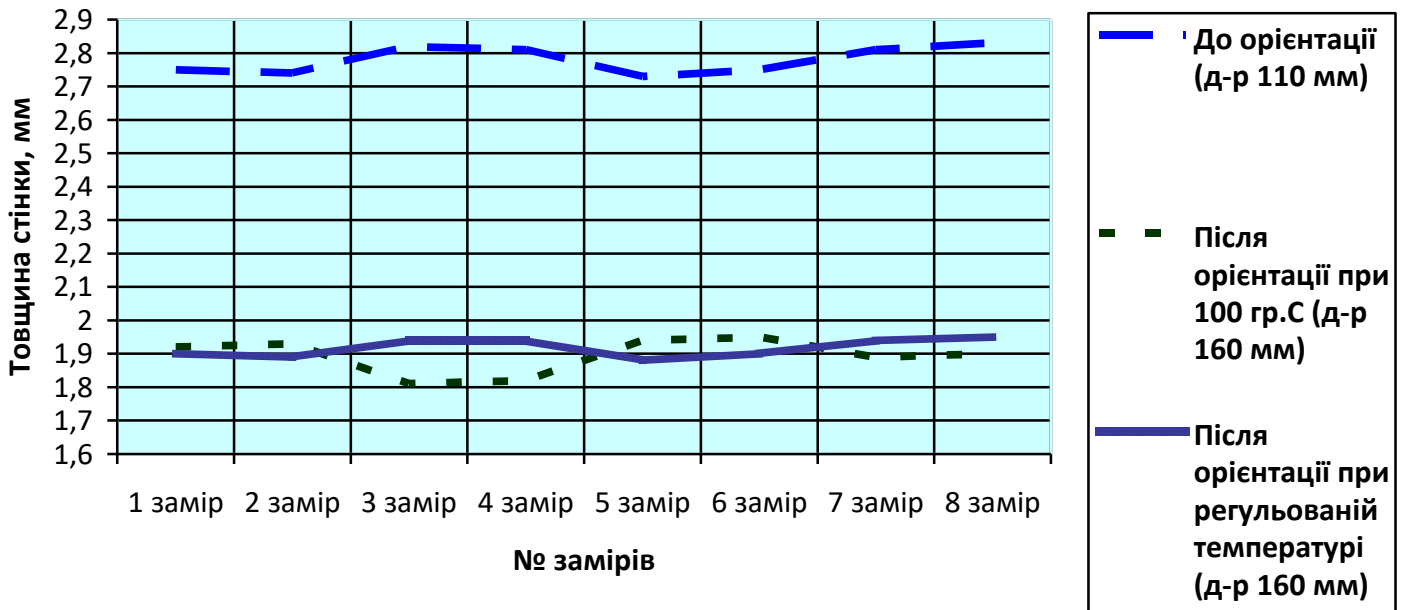


Рис. 4.3 - Графік зміни товщини стінки труби при швидкості витяжки 0,2 м/хв

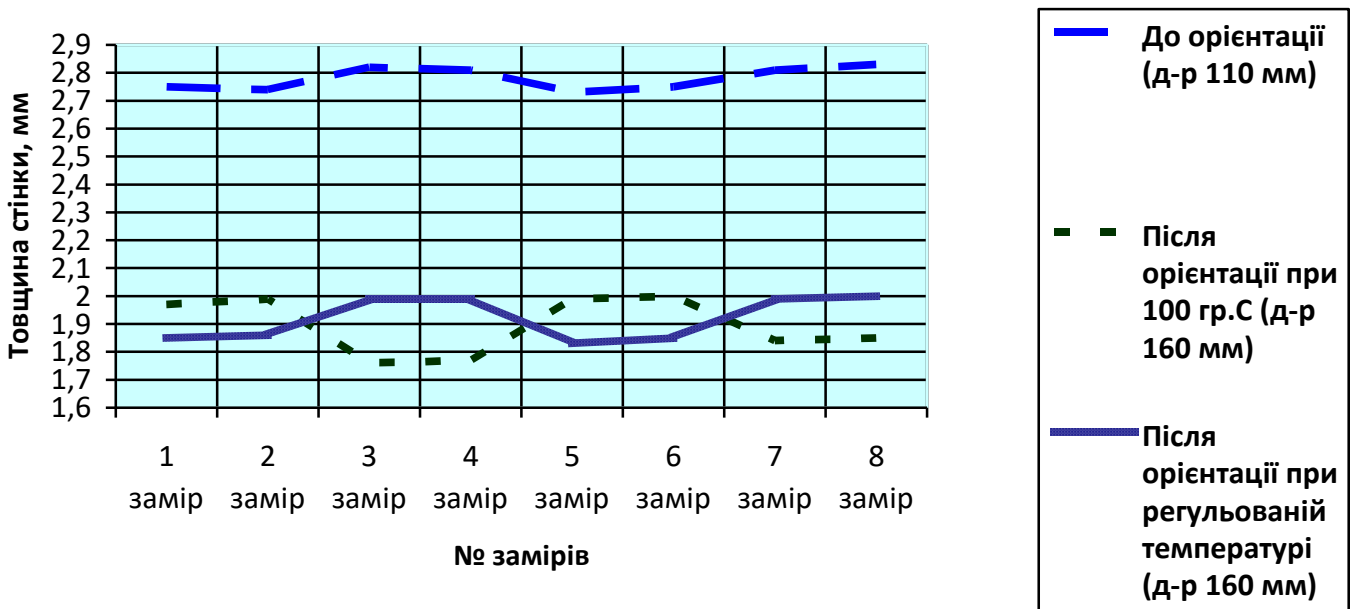


Рис. 4.4 - Графік зміни товщини стінки труби при швидкості витяжки 0,3 м/хв

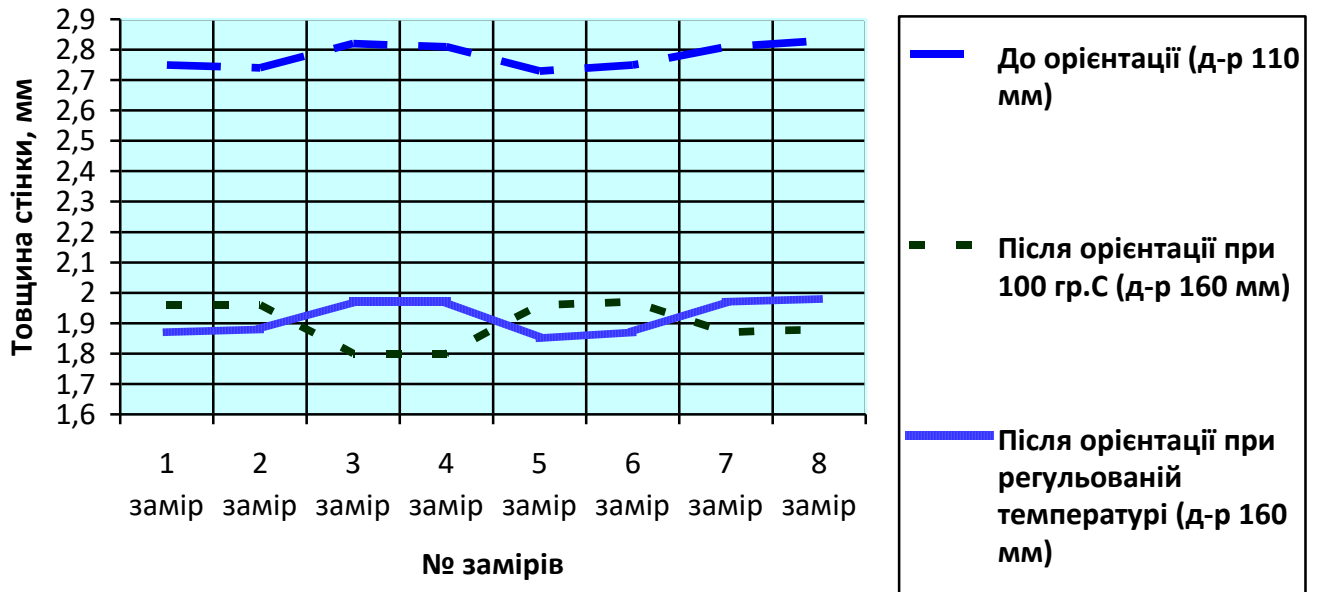


Рис. 4.5 - Графік зміни товщини стінки труби при швидкості витяжки 0,4 м/хв

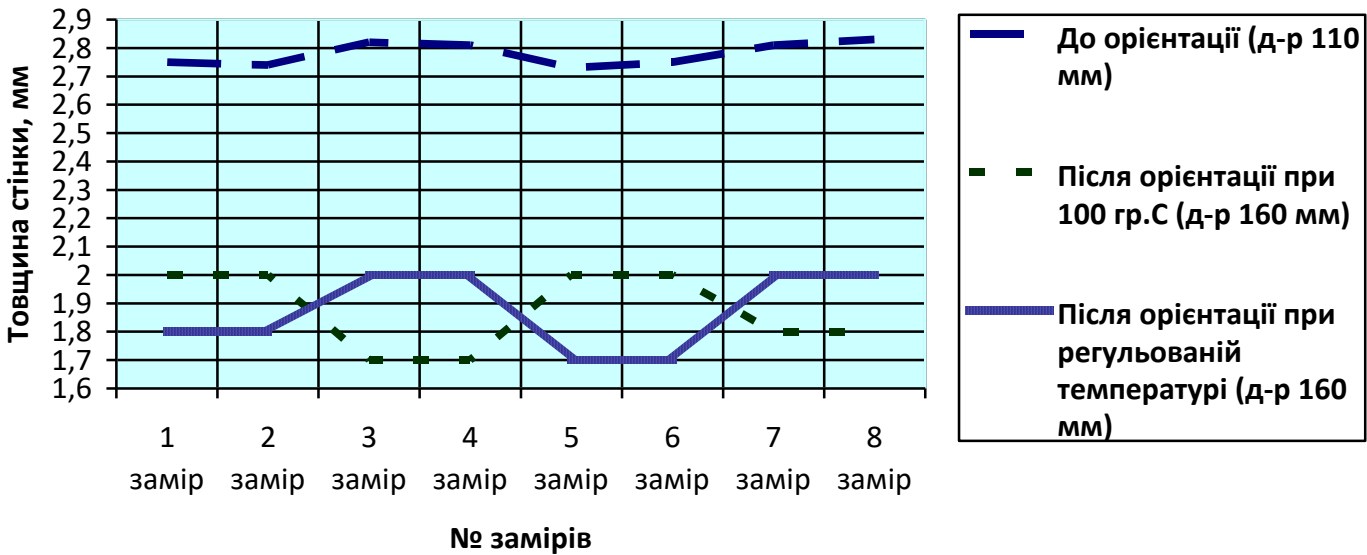


Рис. 4.6 - Графік зміни товщини стінки труби при швидкості витяжки 0,5 м/хв

На основі вищенаведених графіках можна зробити наступні висновки:

1. При температурі нагріву оправки у всіх зонах до 100°C, різнотовщинність труби після орієнтації не залишається однорідною, як була до



орієнтації, в результаті чого товщина в деяких замірах стінки стає недопустимою, що може призвести до руйнування труби в процесі її експлуатації.

2. При температурі нагріву оправки у всіх зонах з регульованими параметрами температури, різнотовщинність труби після орієнтації залишається майже незмінною, як була до орієнтації, в результаті чого зберігається однакова по всіх замірах труби ступінь витяжки і збереження товщини стінки труби в межах допуску.

3. Із збільшенням швидкості витяжки труби при орієнтації різнотовщинність труби після орієнтації приводить до того, що товщина в деяких замірах стінки стає недопустимою, що може призвести до руйнування труби в процесі її експлуатації, отже слід підбирати параметри витяжки, для недопущення цього.

#### **4.2. Методика розрахунку оптимальної конструкції конічної оправки**

Враховуючи результати експериментів, викладених вище проведемо розрахунок оптимальної конструкції конічної оправки 1, на якій формується труба з ПВХ-О, 2 (рис.4.7), яка забезпечує отримання необхідних геометричних розмірів і максимальну релаксацію напружень в кінці виготовлення труби. За параметри порівняння брали експериментальні дані виготовлення з труби НПВХ (з зовнішнім діаметром 110 мм і товщиною стінки 2,7 мм) трубу з ПВХ-О (з зовнішнім діаметром 160 мм і товщиною стінки 1,9 мм), а також з труби НПВХ (з зовнішнім діаметром 90 мм і товщиною стінки 2,2 мм) трубу з ПВХ-О (з зовнішнім діаметром 125 мм і товщиною стінки 1,6 мм). Вхідними даними для розрахунку повинні бути наступні параметри:

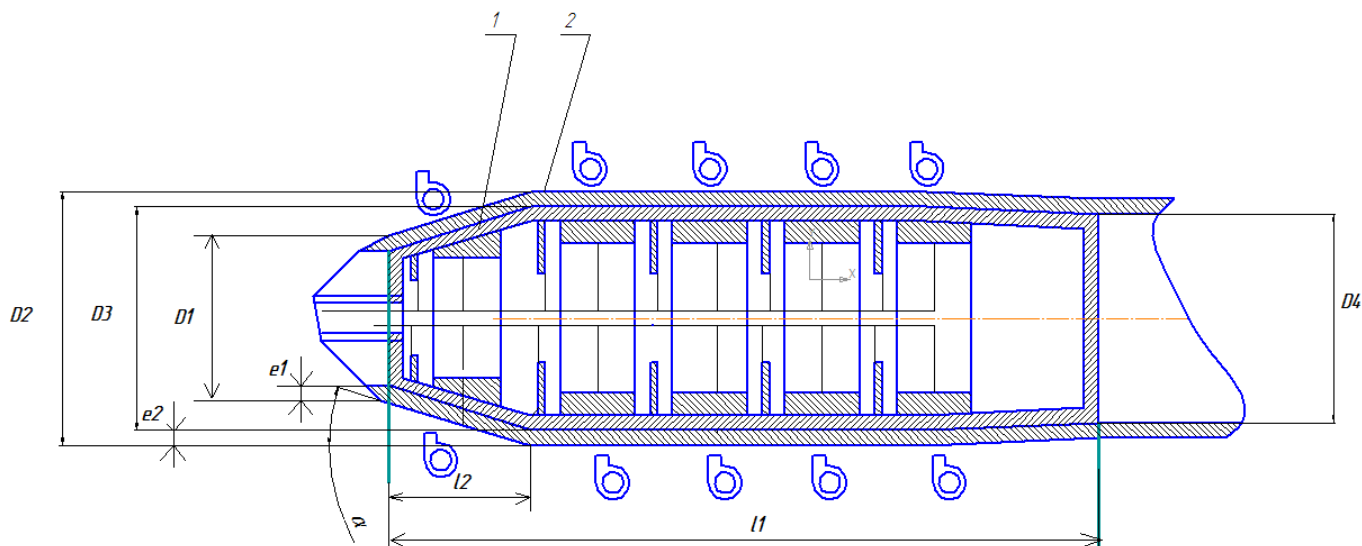


Рис. 4.7 - Конічна оправка

- а)  $D1$ -зовнішній діаметр труби з НПВХ, м;
  - б)  $D2$ -зовнішній діаметр труби з ПВХ-О, м;
  - в)  $e1$ -номінальна товщина стінки труби з НПВХ, м;
  - г)  $e2$ -номінальна товщина стінки труби з ПВХ-О, м;
  - д) Матеріал оправки- сталь 12Х18Н10Т;
  - е) коефіцієнт тертя труби з НПВХ по сталі:  $k = 0,07$ .
  - ж) матеріал труби – НПВХ;
  - з) Напруження радіальне і дотичне в трубі з ПВХ-О в кінцевій точці конічної оправки  $\sigma_k = 0$  Па;
  - і) Середня температура поверхні оправки:  $t = 100$  °С;
  - ї)  $v$ -швидкість витяжки труби, м/хв;
  - к)  $\alpha = 15^\circ$ - кут конусної частини конічної оправки.
- Результатами розрахунку повинні бути наступні дані:
- а)  $D3$ -зовнішній діаметр конічної оправки м;
  - б)  $l2$ - довжина конічної частини конічної оправки, м;
  - в)  $l1$ - довжина конічної оправки, м;

Розрахунок відбувався наступним чином. Враховуючи те, що найменша різнотовщинність при виробництві труби з ПВХ-О проходить при швидкості витяжки  $v=0,1$  м/хв, на даних цього показника аналізували і пропонували формули розрахунку. В результаті, найоптимальнішою довжиною конічної оправки, є довжина, при якій в кінці формування труби з ПВХ-О напруження радіальне і дотичне в трубі  $\sigma_k = 0$  Па, формула знаходження якої наступна:

$$l_1 = 0,4v \left( \frac{D_2}{e_2} - \frac{D_1}{e_1} \right) \quad (4.1)$$

Геометричні характеристики конічної оправки визначаються наступним чином:

$$D_3 = D_2 - 2e_2, \quad (4.2)$$

$$l_2 = \frac{2tg \frac{\alpha}{2}}{D_3 - (D_1 - 2e_1)}. \quad (4.3)$$

### 4.3. Дослідження циклів процесів орієнтування і формуванні розтрубу при виготовленні ПВХ-О труби

Завершальним етапом виготовлення труби з ПВХ-О є формування на одному з її кінців розтрубною частини, яка потрібна для з'єднання труб одна з одною. Цикл процесу формування розтрубу наступний [116].

Після нагріву внутрішньої і зовнішньої поверхні труби з ПВХ-О в нагрівальних печах розтрубовочної машини при температурі 200-220°C, труба подається на дорн формуючий, де методом механічного видавлювання формується розтруб (рис.4.8).

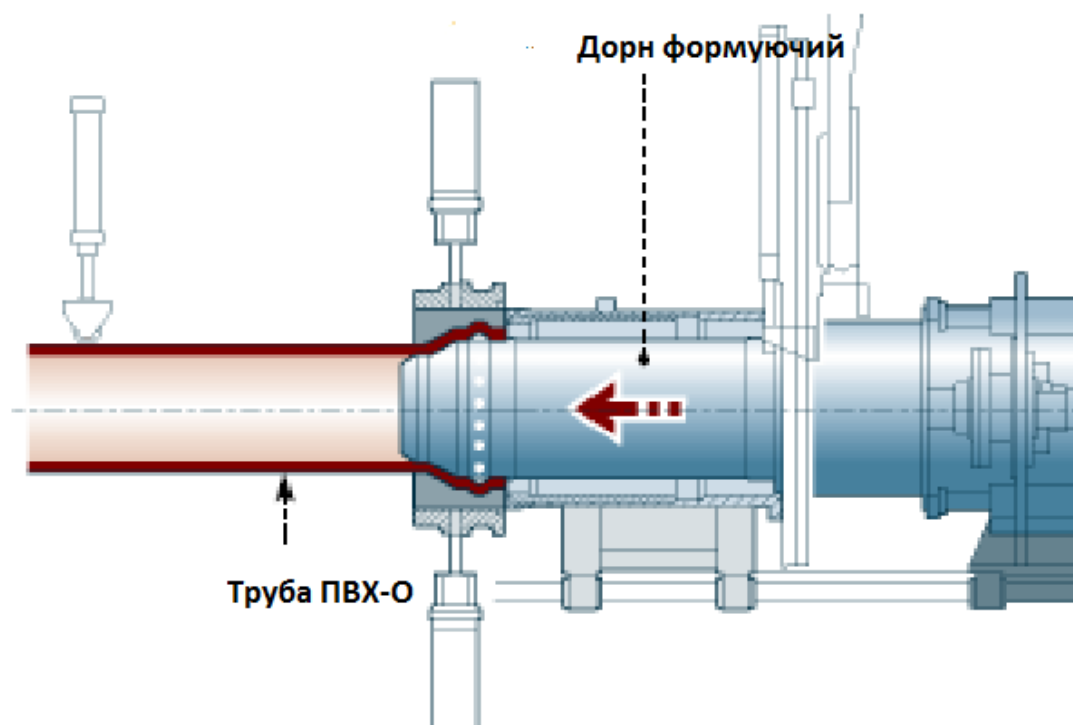


Рис. 4.8 – Процес формування розтрубу труби з ПВХ-О

Далі труба ПВХ-О відводиться з сформованим розтрубом (рис.4.9).

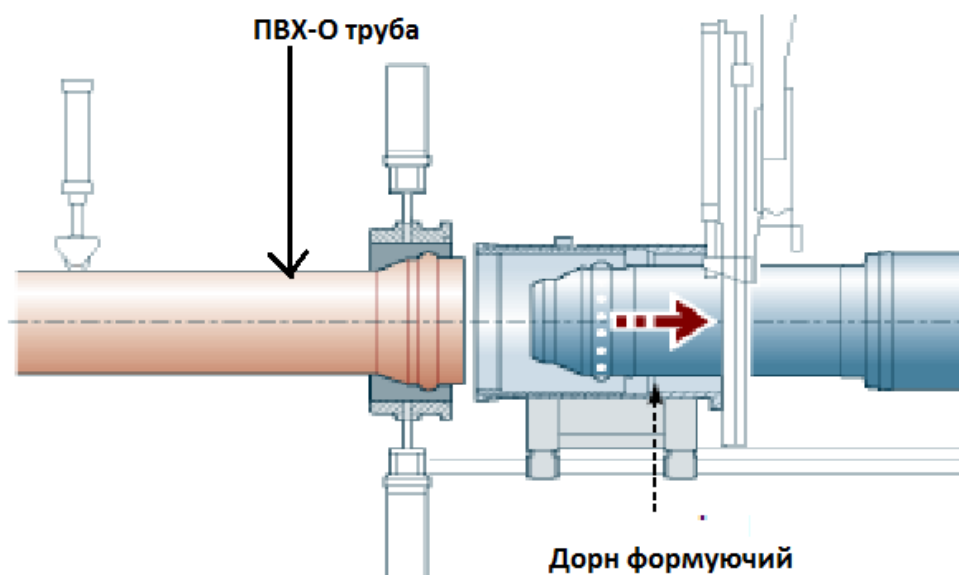


Рис. 4.9 – Сформований розтруб труби з ПВХ-О

При формуванні розтрубу труби з ПВХ-О відмінність з трубою НПВХ складає лише у температурах нагріву труб в нагрівальних печах. Для труби НПВХ, ці температури більше на 50-60°C.

Звичайно, що в процесі формування розтрубу йде певна зміна товщини стінки труб, оскільки тут йде також незначний процес орієнтування труб. Так для труб НПВХ ця зміна сягає 3-4%, а для труб з ПВХ-О:-до 1%.

#### **4.4. Релаксація напружень труб з ПВХ-О на установці виготовлення труб з ПВХ-О**

На установці для виготовлення труб з ПВХ-О вимірювання релаксації проводили за методом релаксації напружень. Для цього на трубу з НПВХ діаметром 110 і товщиною стінки 2,7 мм, поз.7 (рис.4.10) наносилися датчики тензовимірювальної апаратури горизонтально розміщені 1,3,5 і вертикально розміщені 2,4,6.

Використовували тензометричний вимірювальний перетворювач, що являв собою параметричний резистивний перетворювач, який перетворює деформацію твердого тіла, викликану дією на нього механічним напруженням, в електричний сигнал.

Резистивний тензодатчик представляє собою підставку із закріпленим на ньому чутливим елементом. Принцип вимірювання деформацій за допомогою тензометричного перетворювача полягає в тому, що при деформації змінюється активний опір тензорезистора. Тензометричний вимірювальний перетворювач конструктивно являє собою тензорезистор, чутливий елемент якого виконаний з тензочутливого матеріалу (дроту, фольги та ін.), Закріплений за допомогою клею на трубі. Для приєднання чутливого елемента в електричний ланцюг в тензорезисторами є вивідні провідники.

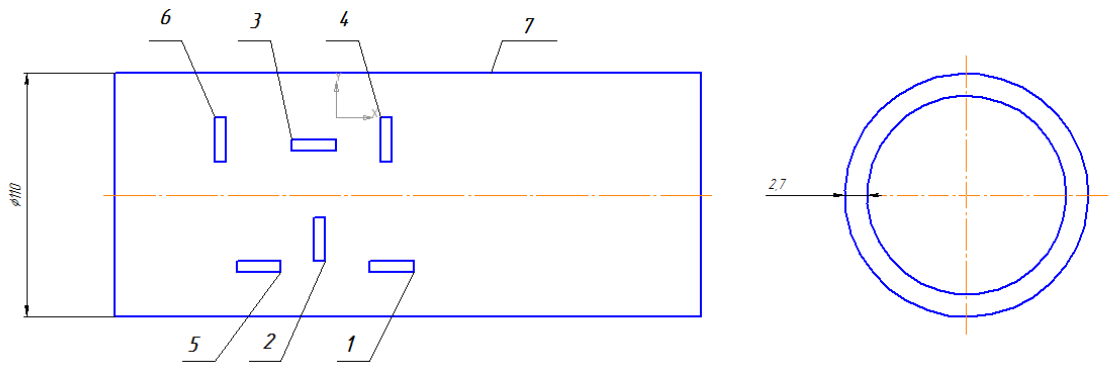


Рис.4.10 - Схема нанесення датчиків тензовимірювальної апаратури на трубу з НПВХ

Після нанесення датчиків і підключення їх до тензовимірювальної апаратури, з НПВХ труби на установці (рис.4.11) робили трубу ПВХ з регульованою температурою, але з різними швидкостями витяжки і знімали параметри з датчиків. Трубу протягували через конічну оправку 1 таким чином, щоб датчики ніде не контактували з різними елементами установки і знімали покази до того, як труба зійде з оправки 1 перед вакуумною ванною (рис.4.11). В кожній зоні знімали покази датчиків тензометрії. Розташування датчиків на трубі зображено на рис.4.10.

Результати показів датчиків в залежності від зон і швидкості витяжки, наведено в таблиці 4.2.

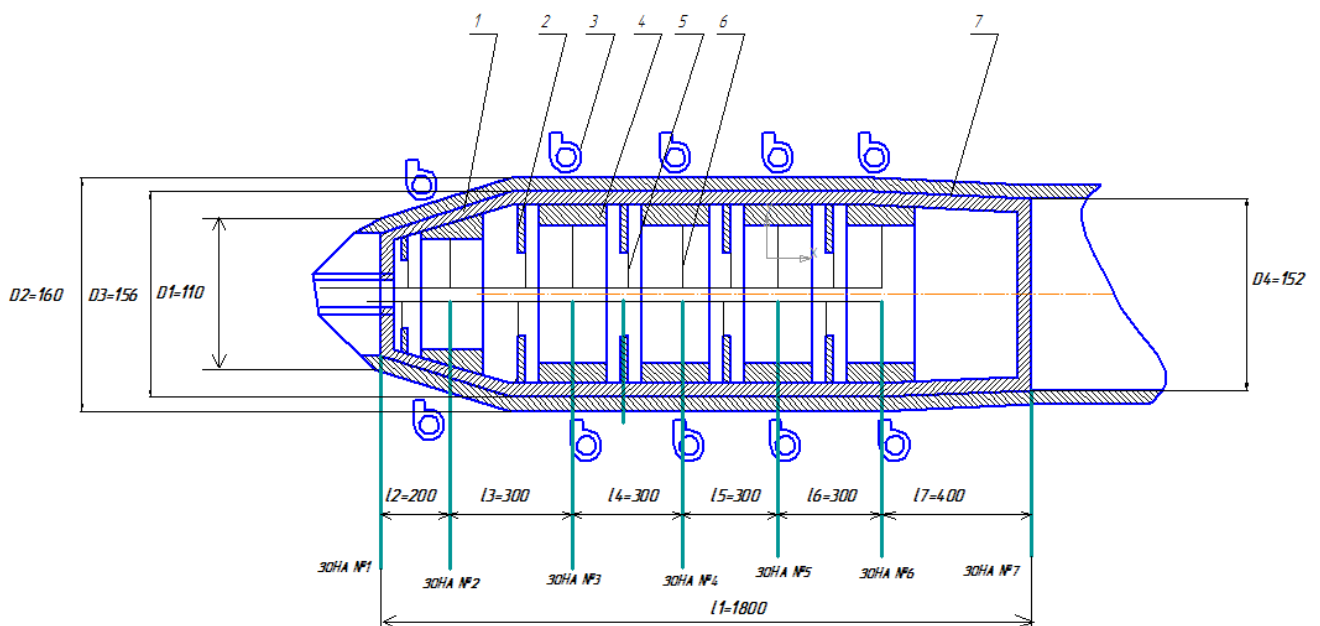


Рис.4.11 - Схема розміщення зон випробування тензодатчиком

Таблиця 4.2

**Результати показів датчиків в залежності від зон і швидкості витяжки**

Швидкість витяжки, м/хв	Номера датчиків, покази тензометра (зона 1)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0,5	291	200	300	204	300	201
0,4	288	192	297	194	297	191
0,3	285	184	295	182	296	180
0,2	282	175	292	172	292	173
0,1	279	167	290	163	289	165
Швидкість витяжки, м/хв	Номера датчиків, покази тензометра (зона 2)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0,5	281	190	291	192	292	193
0,4	278	183	285	184	284	181
0,3	274	172	283	173	280	172
0,2	270	165	280	166	279	168
0,1	267	157	278	158	276	160
Швидкість витяжки, м/хв	Номера датчиків, покази тензометра (зона 3)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0,5	241	155	243	151	244	154
0,4	235	144	239	146	235	147
0,3	220	132	218	134	221	135
0,2	214	125	216	126	215	128
0,1	210	116	208	117	209	118
Швидкість витяжки, м/хв	Номера датчиків, покази тензометра (зона 4)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0,5	211	108	210	110	208	111
0,4	180	94	181	96	183	98
0,3	172	86	174	84	174	86
0,2	161	76	162	77	163	78
0,1	152	64	156	67	154	68

Таблиця 4.2 (продовження)

Швидкість витажки, м/хв	Номера датчиків, покази тензметра (зона 5)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0,5	170	84	168	86	170	83
0,4	143	75	142	73	141	71
0,3	112	61	115	63	114	62
0,2	94	54	95	53	96	55
0,1	71	42	72	41	70	41
Швидкість витажки, м/хв	Номера датчиків, покази тензметра (зона 6)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0,5	140	72	142	70	144	71
0,4	93	46	92	45	91	46
0,3	62	32	64	33	63	34
0,2	44	22	42	24	43	22
0,1	31	16	32	18	33	17
Швидкість витажки, м/хв	Номера датчиків, покази тензметра (зона 7)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
0,5	100	48	98	49	102	47
0,4	64	33	64	35	66	33
0,3	32	16	30	18	31	16
0,2	17	9	18	8	19	8
0,1	5	2	6	3	7	3

Зміна напружень при виготовленні з труби НПВХ труби ПВХ-О, її релаксація зображені на графіках рис.4.12-4.17.



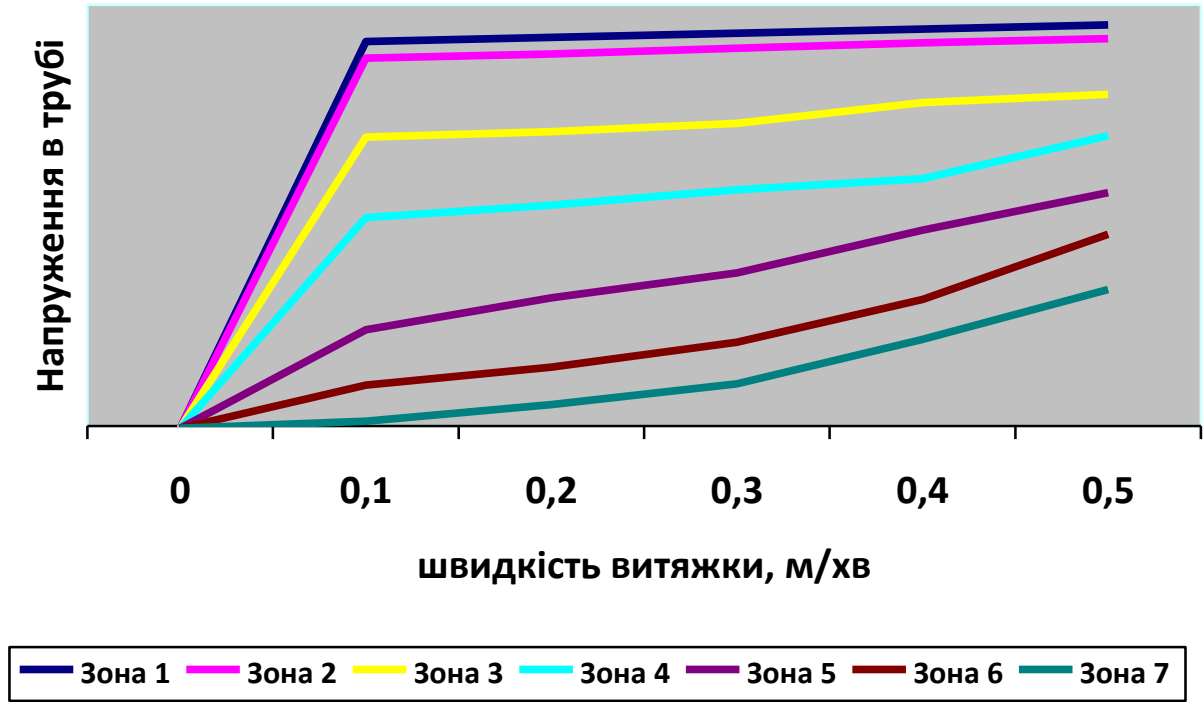


Рис. 4.12 - Графік зміни напружень в трубі для датчика №1

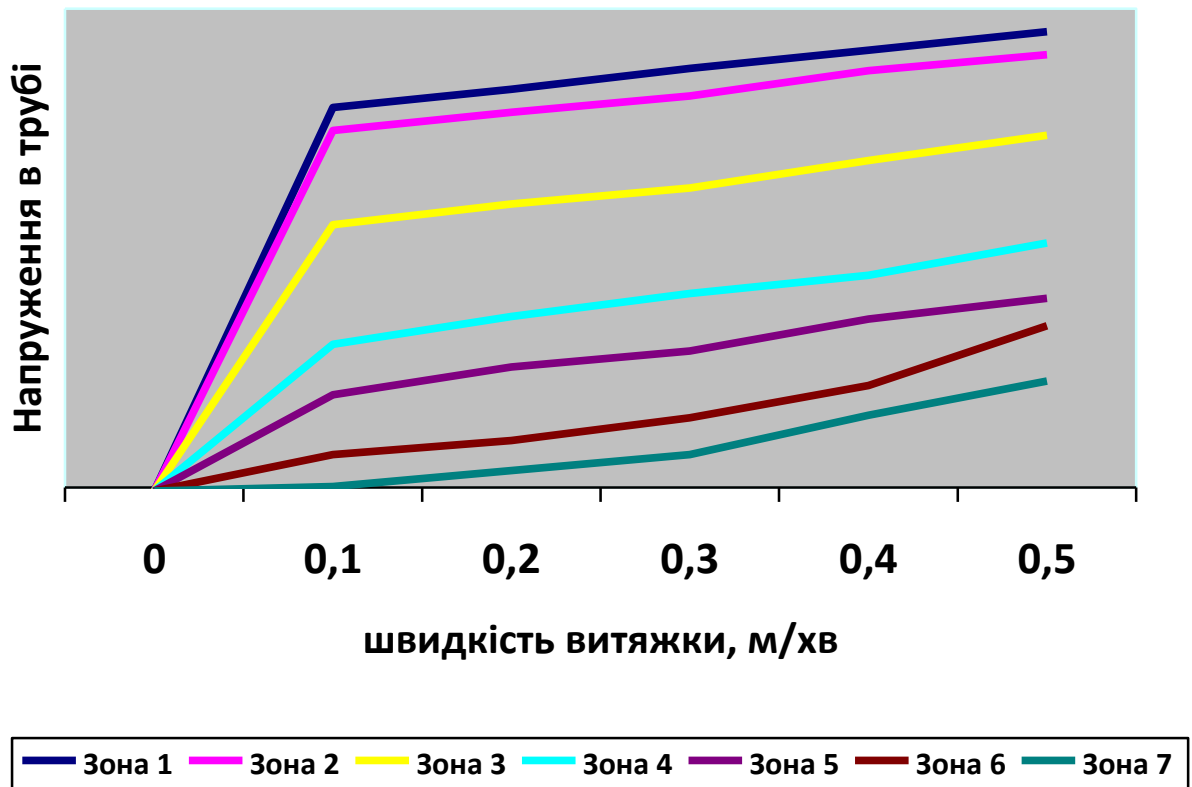


Рис. 4.13 - Графік зміни напружень в трубі для датчика №2

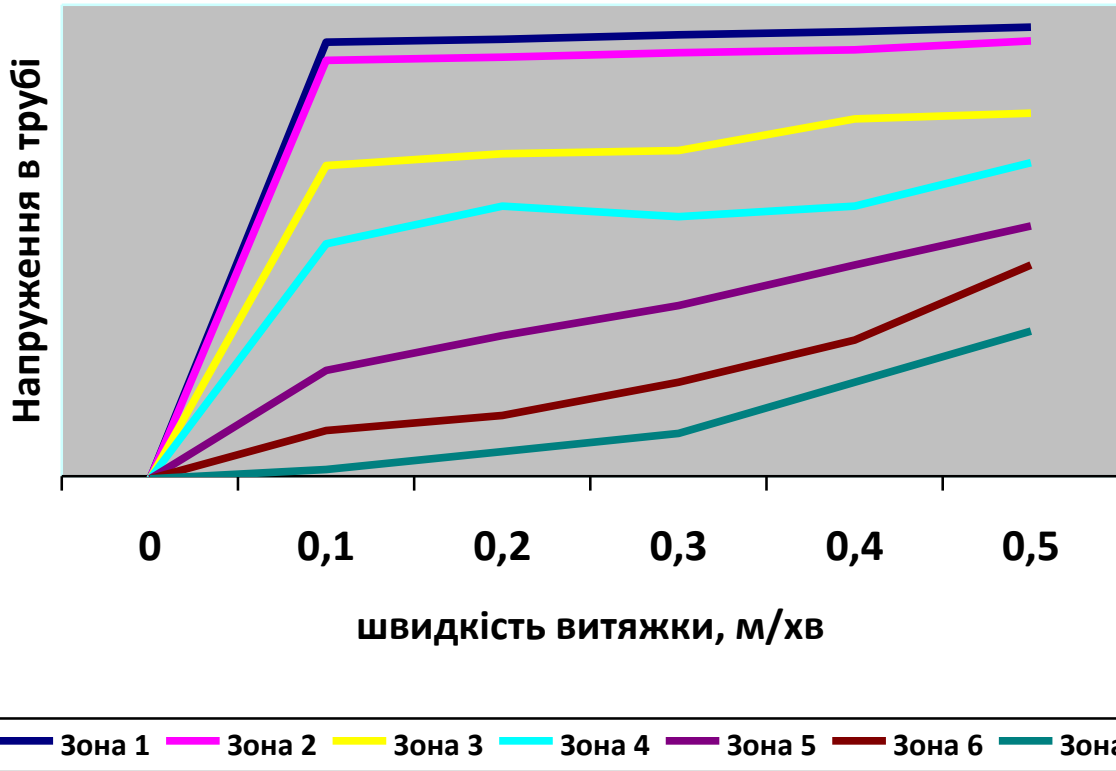


Рис. 4.14 - Графік зміни напружень в трубі для датчика №3

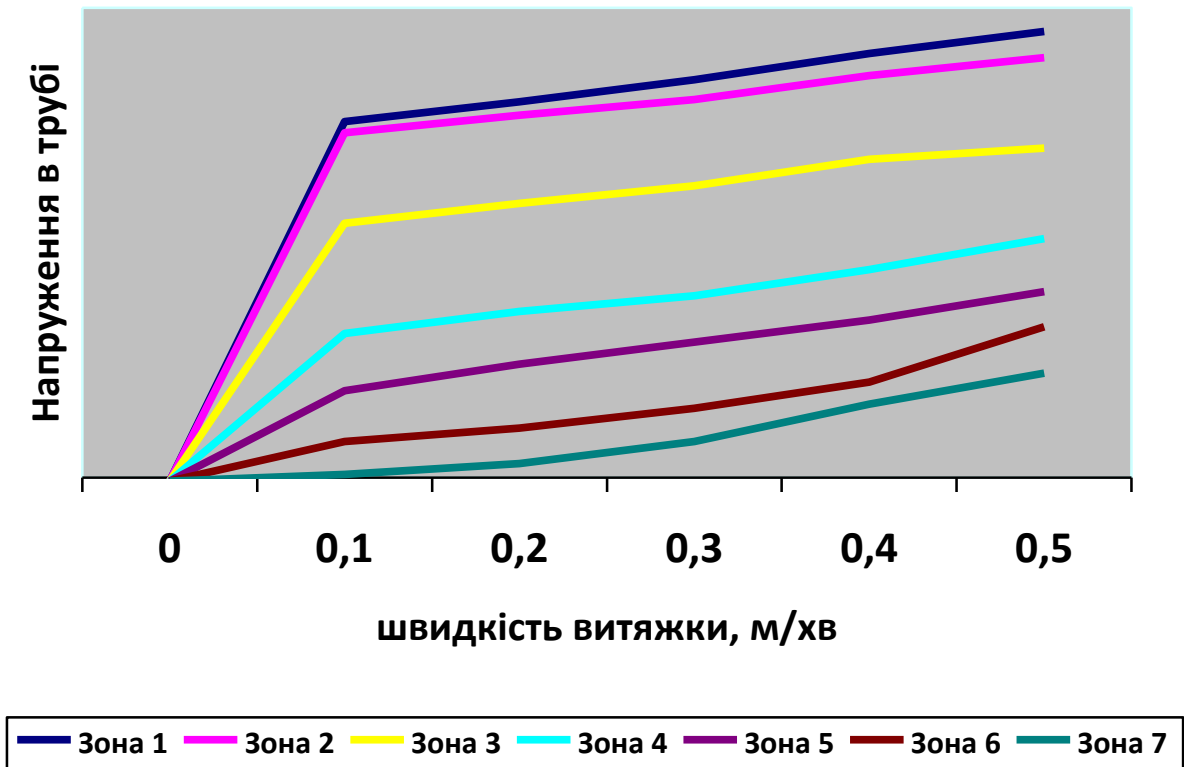


Рис. 4.15 - Графік зміни напружень в трубі для датчика №4

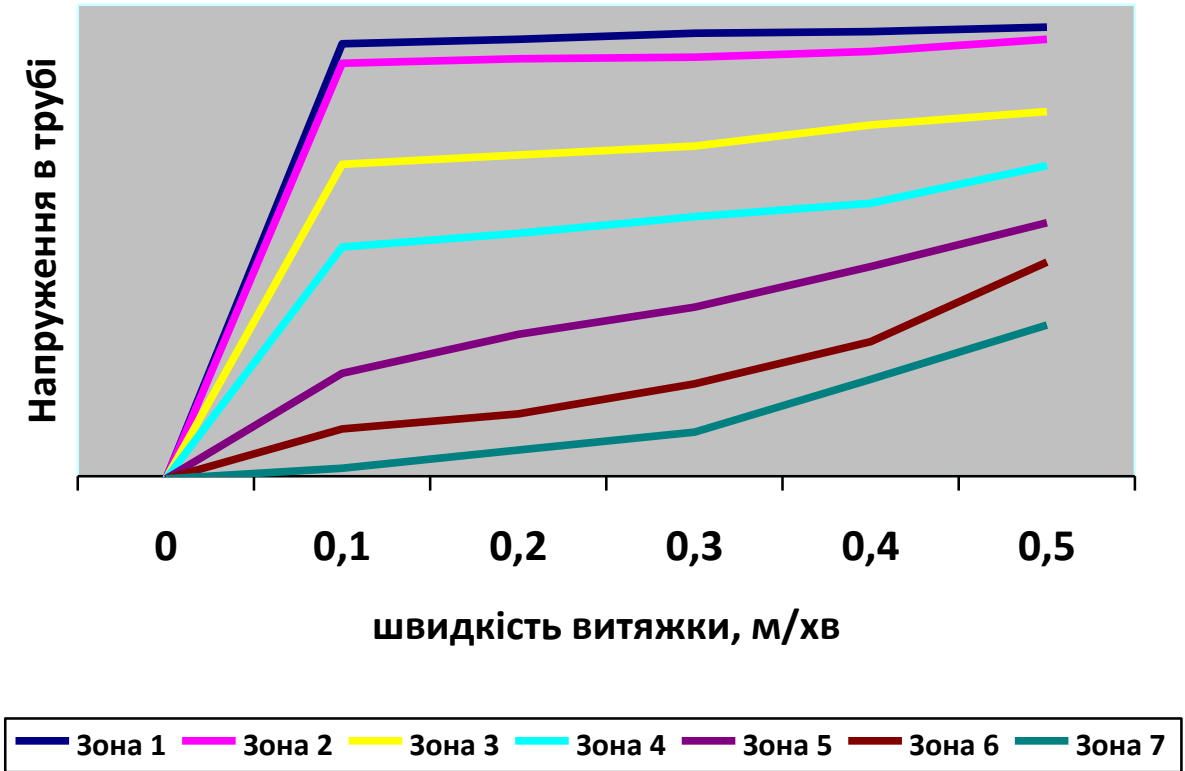


Рис. 4.16 - Графік зміни напружень в трубі для датчика №5

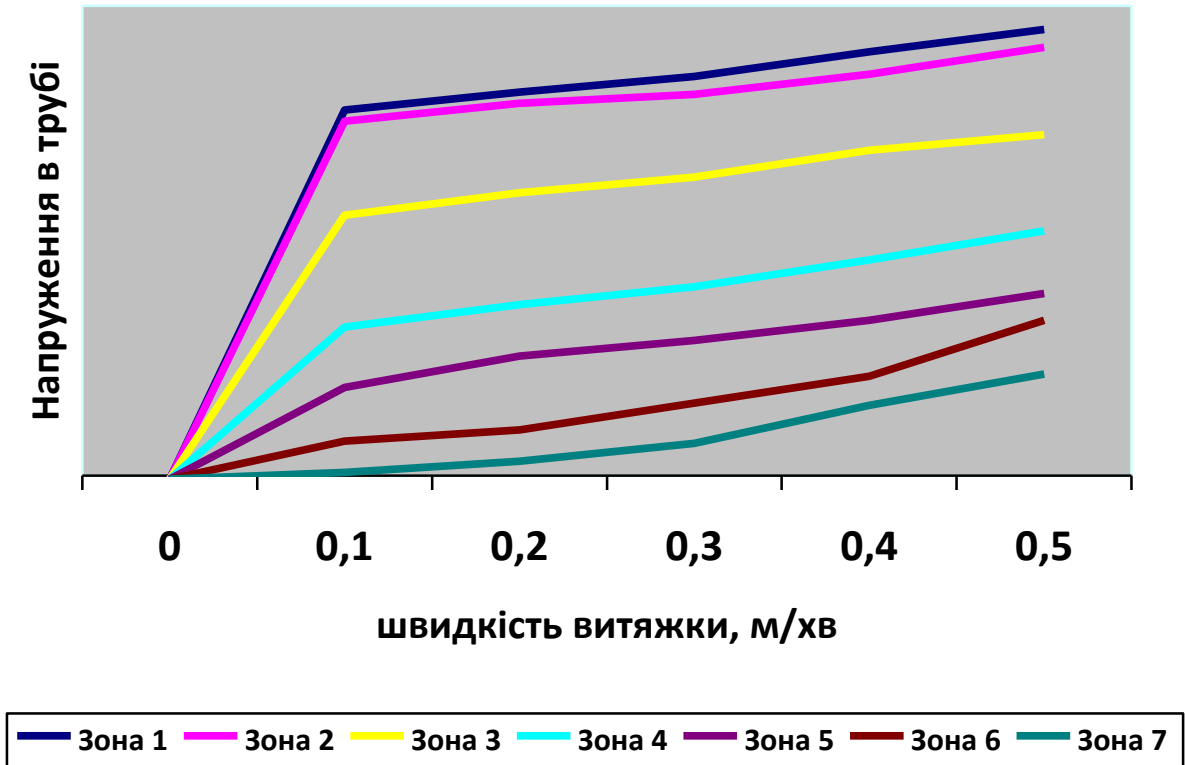


Рис. 4.17- Графік зміни напружень в трубі для датчика №6

Аналізуючи вищенаведені графіки (рис.4.12-4.17) видно, що релаксація напружень, а отже і усадка лінійних розмірів, в трубі при виробництві труб з ПВХ-О проходить швидше при мінімальних швидкостях протяжки, в результаті чого застосування вакуумної ванни після конічної оправки може бути не обов'язковим, однак враховуючи те, що швидкість випуску труби повинна бути достатньою для промислових масштабів, звичайно для цього слід застосовувати вакуумну ванну, де йде подальше формування зовнішнього діаметру труби і закінчення релаксаційних процесів в трубі. Отже, цим випробовуванням доведено необхідність включення в склад технологічної лінії випуску труб з ПВХ-О додаткової вакуумної ванни після конічної оправки, а також визначено динаміку зміни напружень в трубі при різних швидкостях витяжки труби.

#### **4.5. Дослідження впливу температури орієнтації на механічні властивості труб з ПВХ-О**

Для отримання якісної труби з ПВХ-О методом орієнтації температура орієнтації повинна бути якомога нижча до температури скловання ПВХ, яка складає  $81^{\circ}\text{C}$  і не вища за температуру плавлення ПВХ, що складає  $150-180^{\circ}\text{C}$ . Однак міцнісні характеристики труби при різних температурах орієнтації будуть різні [125]. Слід проаналізувати в підібрати оптимальні діапазони температури орієнтації, щоб забезпечити міцнісні характеристики труб не нижче нормативних вимог, а саме:

- Межа текучості при розтягу-не менше  $44,1 \text{ МПа\%}$  [16].

Для виконання даної задачі отримували труби з ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм, а також  $125*2,5 \text{ мм}$ ;  $140*2,0 \text{ мм}$ ;  $160*1,8 \text{ мм}$ ;  $200*1,6 \text{ мм}$ . при різних температурах орієнтації.

При випробовуваннях використовували розривну машину GT-AI7000-M.

Відносно подовження труб при розриві та межа текучості при розтягу визначали згідно з ГОСТ 11262 між затискачами розривної машини при швидкості руху затискачів розривної машини  $25 \pm 1 \text{ мм/хв}$  на випробувальних зразках, що вирізались з гладкої частини зразків труб у поздовжньому напрямку (10 зразків труб з орієнтацією, 10 зразок труби без орієнтації).

Результати випробовування наведені на термомеханічних кривих рис.4.18 і 4.19.

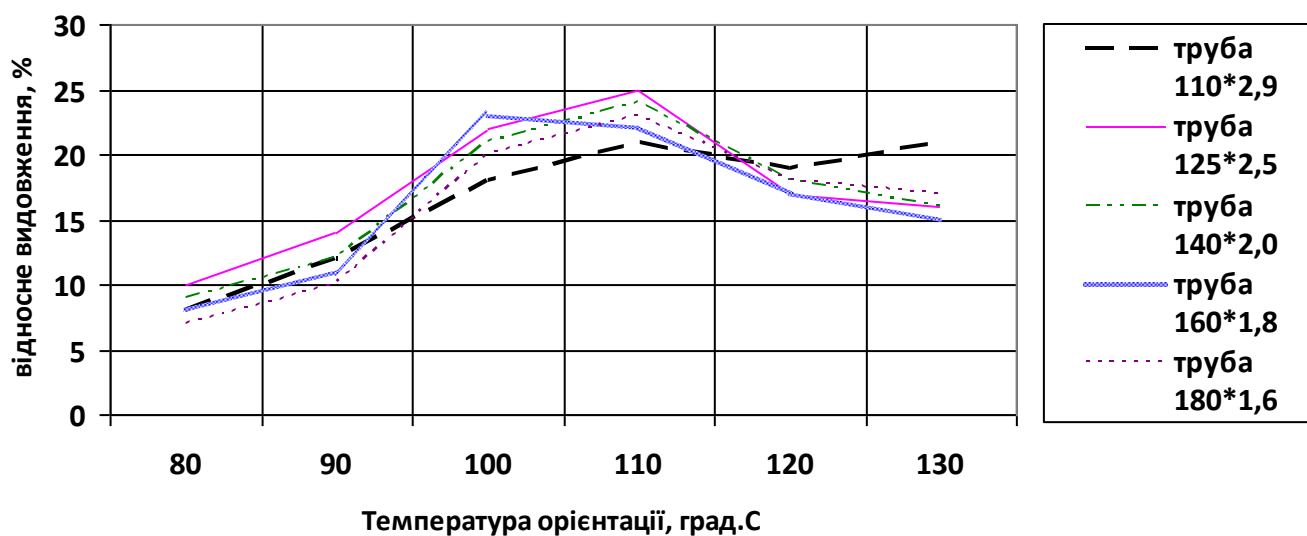


Рис. 4.18 - Термомеханічна крива залежності температури орієнтації від відносного видовження при розтязі

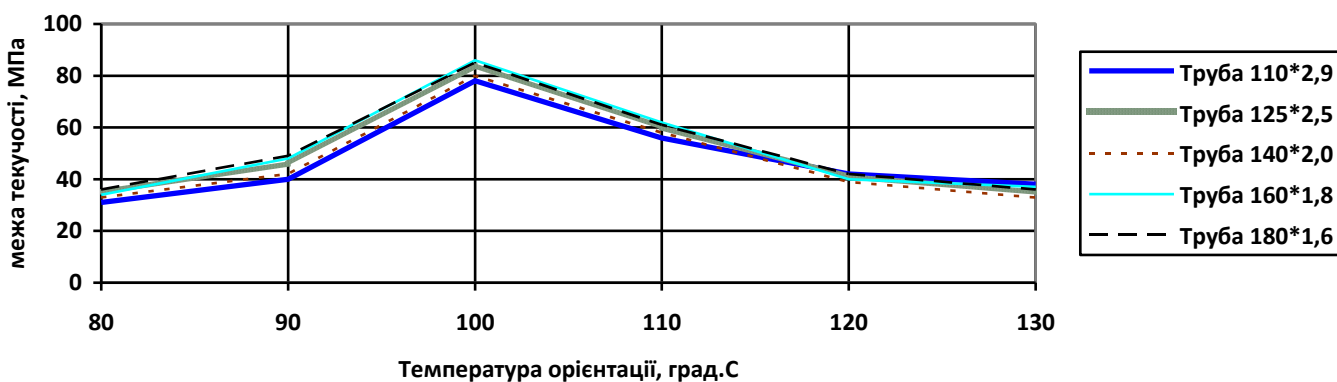


Рис. 4.19 - Термомеханічна крива залежності температури орієнтації від межі плинності при розтягу

Аналізуючи вищенаведені термомеханічні залежності, можна зробити висновок, що оптимальною температурою орієнтації труби з ПВХ-О є температура в діапазоні 100-110 °С, де спостерігаються кращі міцнісні характеристики.

#### 4.6. Висновки до розділу

1. Підібрані і обґрунтовані технологічні параметри випуску труби з ПВХ-О, що показали:

а) При температурі нагріву оправки у всіх зонах до 100°C, різнотовщинність труби після орієнтації не залишається однорідною, як була до орієнтації, в результаті чого товщина в деяких замірах стінки стає недопустимою, що може призвести до руйнування труби в процесі її експлуатації.

б) При температурі нагріву оправки у всіх зонах з регульованими параметрами температури, різнотовщинність труби після орієнтації залишається однорідною, як була до орієнтації, в результаті чого зберігається однакова по всіх замірах труби ступінь витяжки і збереження товщини стінки труби в межах допуску.

в) Із збільшенням швидкості витяжки труби при орієнтації різнотовщинність труби після орієнтації стає неоднорідною, як була до орієнтації, отже слід підбирати параметри витяжки, для зменшення неоднорідності.

3. Наведена методика розрахунку найоптимальніших розмірів конічної оправки, є довжина, при якій в кінці формування труби з ПВХ-О напруження радіальне і дотичне максимально мінімальне.

4. Показано відмінність процесів формування розтрубу для труби з ПВХ-О і НПВХ труби.

5. Визначено, що релаксація напружень в трубі при виробництві труб з ПВХ-О проходить швидше при мінімальних швидкостях протяжки, в результаті чого застосування вакуумної ванни після конічної оправки може бути не обов'язковим, однак враховуючи те, що швидкість випуску труби повинна бути достатньою для промислових масштабів, звичайно для цього слід застосовувати вакуумну ванну, де йде подальше формування зовнішнього діаметру труби і закінчення релаксаційних процесів в трубі.

6. Досліджено, що кращі механічні властивості труба з ПВХ-О отримує при її виготовленні в діапазоні температур орієнтації 100-110°C.

Основні результати розділу 4 опубліковані в працях [25, 126-129, 132].

## ВИСНОВКИ

В дисертації вирішено важливе наукове технічне завдання – орієнтація полівінілхлориду, аморфного полімеру, при виготовленні циліндричного кільцевого виробу – труби. Результат досліджень – вирішення на підставі теоретичних уявлень і результатів експериментальних досліджень важливої для промисловості проблеми створення вітчизняних рецептури полімерного композиційного матеріалу ПВХ-О, технології і обладнання для виготовлення з нього орієнтованих труб, впровадження процесу в промислове виробництво.

1. Обґрунтована можливість модифікування аморфного полівінілхлориду в складі композиції орієнтацією при виготовленні труб екструзією.

2. Визначений склад композиційного полімерного матеріалу на основі ПВХ (ПВХ-О), здібного орієнтуватися і здатного перероблятися у труби. Розроблена технологія підготовки сумішей композицій ПВХ-О.

3. Обґрунтований роздільний (одностадійний) метод орієнтації заготовки труби з непластифікованого ПВХ.

4. Розроблена загальна технологія роздільного одностадійного виробництва орієнтованих труб з полівінілхлориду, котра складається з наступних локальних технологій:

– екструзійної безперервної технології переробки порошкоподібної композиції ПВХ-О на двочерв'ячному пресі в неорієнтовану трубу;

– технології порізки неорієнтованої труби на штучні заготовки-відрізки для одностадійної орієнтації;

– технології так званої одностадійної (точніше одночасної) орієнтації полівінілхлориду при розтягуванні трубної заготовки в подовжньому і радіальному напрямках;

– технологія термостабілізації орієнтованого ПВХ у тілі труби;

– технологія утворення раструбів на трубі з ПВХ-О.

5. Для проведення експериментальних досліджень одностадійної орієнтації заготовок труб з ПВХ-О були створені спеціальні стенди.

6. Експериментально встановлені основні технологічні режими одержання труб з ПВХ-О, у тому числі режими підготовки сумішей композицій ПВХ-О; режими екструзії труби-заготовки; режими одностадійної орієнтації ПВХ заготовок-відрізків труби; режими термостабілізації ПВХ в тілі труби; режими раструбівки відрізків орієнтованих труб з ПВХ-О.

7. Виконано порівняння фізико-механічних і експлуатаційних характеристик труб з НПВХ і модифікованих орієнтацією труб з ПВХ-О. Показана перевага двовісноорієнтованих водонапірних труб з ПВХ-О.

8. Розроблені технічні умови (ТУ), технологічний регламент (ТР), проект ДСТУ на двовісноорієнтовані водонапірні труби з ПВХ-О.

9. На базі ТОВ «Калуський трубний завод» створена і впроваджена технологічна лінія для виготовлення труб з ПВХ-О.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бейдер Р. Атомы в молекулах. Квантовая теория / Р.Бейдер – М.: Мир, 2001. – 532 с.
2. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений / Н.К. Барамбойм – М.: Химия, 1978. – 384с.
3. Бартенъев Г.М. Физика полимеров / Г.М. Бартенъев, С.Я. Френкель – Л.: Химия, 1990. – 432с.
4. Гуль В.Е. Структура и механические свойства полимеров / В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнёв – М.: Высшая школа, 1979.– 351с.
5. Бобович Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы.– М.: МГИУ, 2009. – 384с.
6. Тугов И.И. Химия и физика полимеров, учебное пособие для вузов / И.И. Тугов, Г.И. Кострыкина – М.: Химия, 1989. – 432с.
7. Тагер А.А. Физикохимия полимеров / А.А. Тагер. – М.: Химия, 1978. – 544с.
8. Підвищення надійності газотранспортних систем: монографія/ [Б.В.Копей, А.Бенмуна, А.М.Найда та ін.] – Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна; Університет М'амед Буггара, м.Бумердес, Алжир, 2012. –302 с.
9. Копей Б.В. Зміцнення пошкодження сталеві труби композитним бандажем: модель і розрахунок / Б.В. Копей, В.В. Розгонюк, А.М. Найда та ін. // Східно-європейській журнал передових технологій. –2003. –№5(5) . –С.31-36.
10. Kopey B.V. Strengthening and residual life prediction of damaged pipelines with a composite bandages/Book of abstracts. The 5-th international symposium on hydrocarbons and chemistry (ISHC5), Sidi Fredj, Algiers, May the23<sup>rd</sup> 25<sup>th</sup>, 2010, – p.123-124
11. Копей Б.В. Експериментальна оцінка ефективності бандажів для зміцнення пошкоджених трубопроводів / Б.В. Копей // Нафтогазова енергетика. – 2009. –№1(10) . –С.60-63.

12. Гузеев В.В. Структура и свойства наполненного ПВХ/ В.В.Гузеев.– СПб.: Научные основы и технологии, 2012. – 284 с.
13. Гузеев В.В. Исследование и разработка композиционных материалов на основе поливинилхлорида. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. – Дзержинск: Ротопринт НИИ полимеров, 1979. – 46с.
14. Уилки Ч. Поливинилхлорид / Ч. Уилки, Дж.Саммерс, Ч. Даниелс (ред.). Пер. С англ. Под ред. Г.Е. Заикова. – СПб: Профессия, 2007. – 728с.
15. Трубы из непластифицированного ПВХ. Техническое описание. Компания Plastic Pipe Systems «ДУКА», – 2013. – 75с.
16. Будівельні матеріали. Труби із непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для холодного водопостачання. Технічні умови: ДСТУ Б.В.2.7-141:2007. (EN ISO 1452:1999, MOD) – [Чинний від 2008 – 07– 01]. – К: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008. — 55 с. — (Національний стандарт України).
17. Найда А.М. Порівняльні дослідження властивостей труб з не пластифікованого полівінілхлориду (НПВХ) і орієнтованого полівінілхлориду (ПВХ-О) / А.М.Найда // Будівельні матеріали і вироби. – 2015. – №1(88). – С. 40 - 43.
18. Суберляк О.В. Атлас технологічних схем виробництва полімерів та пластичних мас на їх основі, навчальний посібник / О.В. Суберляк, Т.Т. Яковенко, Т.Г. Бабаханова, І.Г. Тхір. – Львів: Вид. Львівської Політехніки, 2002. – 239с.
19. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів, підручник / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Львів: Вид. "Растр-7, 2007. – 376с.
20. PVC-O Pipes. A revolution in water and sewerage solutions [Електронний ресурс] / Hypro Molecor South East Asia// Режим доступу: <http://www.mwa.org.my/pdf/bwwe2015/d2/The%20Pipe%20Revolution%20How%20PVC%20O%20Pipes%20are%20Transforming%20the%20Industry.pdf>. – Назва з екрану.
21. Трубы из ориентированного поливинилхлорида для водоснабжения. Технические условия: ГОСТ Р56927-2016 – [Действующий от 2017 – 01– 01]. – М:

Федеральное агенство по техническому регулированию и метрологии, 2016. — 28 с. — (Национальный стандарт Российской Федерации).

22. Найда А.М. Вплив орієнтації на механічні властивості труб з ПВХ/ А.М.Найда // Східно-Європейський журнал передових технологій. –2015. – №1/1(73). – С. 23–27.

23. Найда А.М. Випробовування полівінілхлоридних труб, отриманих методом орієнтації щодо оптимального ступеня витяжки / А.М.Найда // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. –№5/3(31). - С. 4 – 7.

24. Найда А.М. Випробовування труб з НПВХ і ПВХ-О з використанням методів тензометрії і акустичної емісії / А.М.Найда // Молодий вчений. – 2016. – №6 (33). – С. 175 – 178.

25. Найда А.М. Релаксація напружень труб з ПВХ-О на установці виготовлення труб з ПВХ-О / А.М.Найда // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. –№2/3(22). - С. 51 - 55.

26. Найда А.М. Порівняльні дослідження властивостей труб з не пластифікованого та орієнтованого полівінілхлориду (ПВХ-О) / А.М.Найда // Науковий вісник НЛТУ України – 2015. – №25.2. - С. 150 - 157.

27. Адриади Ю. Применение труб из полимерных материалов в инженерных сетях / Ю. Адриади // Полимерные трубы. — 2005. — № 2. — С. 3—8.

28. Завизенов К. В. Обзор некоторых аспектов производства труб для нефтяной промышленности / К. В. Завизенов // Территория НЕФТЕГАЗ. — 2004. — № 10. — С. 25—32.

29. Коврига В. Применение полимерных материалов в производстве труб различного назначения / В. Коврига, И. Гвоздев // Полимерные трубы. — 2003. — № 1. — С. 16—20.

30. Михасёнок О.Я. Трубы, которые берегут деньги / О.Я.Михасёнок // Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии. –1999. –№5, 6 – С. 4, 10.

31. Хольгер Мальмстен Пластмассовые трубы, их характеристики и область применения / Мальмстен Хольгер. — Стокгольм: Северное объединение производителей пластмассовых труб, 2000. — 116 с.
32. Альперн В.Д. ПВХ в мире и России: мифы, факты и перспективы/ В.Д.Альперн, Э.Э.Азизов //Пластик. – 2004. – №1. –С. 20–28.
33. Коваль В. Экструдированные трёхслойные ПВХ трубы / В.Коваль// Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии. 1999. -№7. – С. 8.
34. Сергунин В.А. Анализ рынка полимерных труб. Инновационное оборудование для производства ПВХ-труб / В.А.Сергунин // Проблемы нефтегазового комплекса России: Сб. научн. тр. –Уфа, 1997. –С. 49–50.
35. Петухов А. Д. Рынок трубного полимерперерабатывающего оборудования в Украине — сегодня / А. Д. Петухов, М. В. Сезонов // Полимерные трубы. — 2008. — № 2. — С. 23—27.
36. Сахаров О.С. Моделивання процесів плавлення та гомогенізації полімерних композицій в черв'ячному устаткуванні / О.С. Сахаров, В.І. Сівецький В.І., О.Л. Сокольський. – Київ: ВП"Едельвейс", 2012. – 120с.
37. Готовко Н. Анализ работы современного одношнекового экструдера / Н. Готовко, В. Швабауер // Полимерные трубы. — 2008. — № 4(9). — С. 33—36.
38. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. — М. : Химия, КолосС, 2005. — 568 с.
39. Козулин Н.А. Оборудование для переработки и производства пластических масс / Н.А.Козулин, А.Я.Шапиро, Р.К.Гавурина. – М.: Госхимиздат, 1963. – 783 с.
40. Кольвах И. Трубное производство / И. Кольвах, Г. Соловьёв // Полимерные трубы. — 2007. — Спецвыпуск, сентябрь. — С. 13—19.
41. Лукач Ю.Е. Оборудование для производства полимерных плёнок / Ю.Е. Лукач, А.Д.Петухов, В.А. Сенатос. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
42. Основы технологи переработки пластмасс: учеб. для ВУЗов / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. — М : Химия, 2004. — 600 с.

43. Мікульонок І. О. Матеріали і вироби, одержувані неперервним формуванням. Аналіз умов охолодження / І. О. Мікульонок // Хімічна промисловість України. — 2006. — № 4. — С. 33—37.

44. Мікульонок І. О. Екструдовані полімерні труби. Дослідження процесу охолодження / І. О. Мікульонок, В. Т. Вознюк // Хімічна промисловість України. — 2010. — № 5. — С. 44—46.

45. Мурашов Р. Полимерные трубы. Классификация и назначение / Р. Мурашов // Строительная Инженерия. — 2004. — С. 12—16.

46. Фаттахов М. М. Создание и использование пластмассовых трубопроводов в нефтегазовой отрасли России : автореф. дис. на соиск. уч. степ. док. техн. наук : спец. 25.00.19 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» / М. М. Фаттахов. — Уфа, 2009. — 37 с.

47. Швабауэр В. В. Новое в технике и технологии производства труб из термопластов / В. В. Швабауэр // Пластические массы. — 2006. — № 10. — С. 22—26.

48. Справочник по пластмассовым трубам / под ред. Г. Лауэра ; пер. с нем. под. ред. В.С. Кима. — Л. : Химия, 1985. — 248 с.

49. Труби та корпуса фільтрів з трапецеїдальною різьбою з не пластифікованого полівінілхлориду (НПВХ) для свердловин. Технічні умови. ТУ У В.2.7-25.2 – 35615975-002:2012.

50. Беренфельд В.А. Изделия из поливинилхлорида в современном зарубежном строительстве / В.А.Беренфельд //Строительство и архитектура. Вып. 4: ВНИИН, ТПИ. – 1995. – С. 45.

51. Бухин В.И. Трубы из ПВХ в России. Борьба за выживание / В.И.Бухин //Пластические массы. – 1998. – № 3. - С. 34-36.

52. Бухин В. В. Новое в производстве и применении труб из полимерных материалов / В. В. Бухин // Трубопроводы и экология. — 2002. — № 2. — С. 26—32.

53. Каган Д. Ф. Трубопроводы из пластмасс / Д. Ф. Каган. — М. : Химия, 1980. — 296 с.

54. Коваль В. Производство рифлёных труб из ПВХ/ В.Коваль// Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии. 2000. –№7. –С. 1–3.
55. Шварев Е.П. Состояние рынка поливинилхлорида в России и странах СНГ/ Е.П.Шварев, Е.С.Клюжин, В.В.Гузеев, В.Б.Мозжухин// Международные новости мира пластмасс. – 2004. – №5-6. - С. 36-37.
56. Брагинский С.Р. Материалы на основе модифицированного поливинилхлорида для дренажных труб с улучшенными эксплуатационными свойствами: Дис. канд. техн. наук / С.Р.Брагинский. –М., 1987. -123 с.
57. Горилловский М. Повышение эффективности и инновации – необходимые условия выживания / М. Горилловский, К. Трусов // Полимерные трубы. — 2009. — № 1. — С. 8—14.
58. Гришин А.Н. Современные тенденции развития производства ПВХ/ А.Н. Гришин, А.Д.Гуткович, В.В. Шебырев //Пластик. – 2004. –№1. – С. 29-33.
59. Коваль В. Строительные ПВХ профили экологически безопасный материал / В.Коваль// Полимерные материалы: изделия, оборудование, технологии. – 1999. – №6. – С. 9.
60. Перепелкин К. Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы / К.Е.Перепелкин. – СПб: Издание СПГУТД, 2008. — 354 стр.
61. Лукач Ю.Е. Оборудование для производства полимерных плёнок / Ю.Е.Лукач, А.Д. Петухов, В.А. Сенатос.– / М.:Машиностроение. – 224 с.
62. Мікульонок І.О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей: навч.посіб. / І.О. Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 312 с.
63. Пат. № 116264 U Україна, МПК В29D 28/00. Лінія для вироблення плоскої полімерної сітки / І.Л. Ліснічук, Л.І. Мельник, І.О. Мікульонок, А.Д. Петухов, В.А. Свідерський, С.С. Сніжко, О.М. Шнирук; заявники і патентовласники І.Л. Ліснічук, Л.І. Мельник, І.О. Мікульонок та інші. – № UA 116264 U; заявл. 12.12.2016; опубл. 10.05.2017; Бюл. № 9. – 4 с.
64. Пат. № 116265 U Україна, МПК В29D 28/00 Спосіб вироблення плоскої полімерної сітки / І.Л. Ліснічук, Л.І. Мельник, І.О. Мікульонок, А.Д. Петухов, В.А.

Свідерський, С.С. Сніжко, О.М. Шнирук; заявники і патентовласники І.Л. Ліснічук, Л.І. Мельник, І.О. Мікульонок та інші. – № UA 116265 U; заявл. 12.12.2016; опубл. 10.05.2017; Бюл. № 9. – 4 с.

65. Пат.№ 116263 U Україна, МПК В29D 28/00 Пристрій двовісного орієнтування рулонного або листового полімерного матеріалу / І.Л. Ліснічук, Л.І. Мельник, І.О. Мікульонок, А.Д. Петухов, В.А. Свідерський, С.С. Сніжко, О.М. Шнирук; заявники і патентовласники І.Л. Ліснічук, Л.І. Мельник, І.О. Мікульонок та інші. – № UA 116265 U; заявл. 12.12.2016; опубл. 10.05.2017; Бюл. № 9. – 6 с.

66. Кристалізаційна орієнтація і коефіцієнт корисної дії полімерів / В.А. Свідерський, А.Д. Петухов // Збірка матеріалів ІХ Міжнародної науково-технічної WEB-конференції «Композиційні матеріали», травень 2016 р. / М-во освіти і науки України, Націон.техн.універс. «Київський політехнічний інститут».– Київ, 2016.

67. Формование химических волокон [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Формование\\_химических\\_волокон](https://ru.wikipedia.org/wiki/Формование_химических_волокон). – Назва з екрану.

68. Михасенок О. Я. Тенденции индустрии пластмасс / О. Я. Михасенок // Полимерные материалы. — 2003. — № 2. — С. 4—8.

69. Плужникова М. Г. Статистика утечек нефти из трубопроводов в 1994 г. в Западной Европе / М.Г.Плужникова // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. –1996. – № 11. – С. 6 – 7.

70. Торнер Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. — М. : Химия, 1986. — 400 с.

71. Сезонов М. В. Полимерные канализационные трубы – предложение есть. Что же выбрать? / М. В. Сезонов // Полимерные трубы. — 2009. — № 1. — С. 46–51.

72. Кобеко П.П. Аморфные вещества/ П.П. Кобеко.–М.: Химия,1952. –242 с.

73. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров / В.Н.Кулезнев. – М.: Химия, 1980. – 304 с.

74. Липатов Ю.С. Энциклопедия полимеров / Ю.С.Липатов. – М.: Советская энциклопедия, 1974. –Т.2. – 325 с.

75. Ульянов В.М. Поливинилхлорид / Ульянов В.М., Рыбкин Э.П., Гуткович А.Д. –М.: Химия, 1992. –280 с.

76. Пат. 2142362 Российская Федерация. МПК В29С055/26. Способ и устройство для изготовления двухосноориентированного трубопровода из термопластичного материала/ Ян Гендрик Пренгер (изобретатель), патентообладатель Вавин Б.В.– № 96119396.

77. Пат. 23214932 Российская Федерация. МПК В29С55/26. Способ и устройство для управления процессом ориентации пластмассовых труб / Джордж Маковац, Ярвенкуля Йюри и др. (изобретатели), патентообладатель Винидекс ПТИ Лимитед, Юпонор Инновейшен АБ.

78. Экструзия ПВХ труб: пути повышения производительности [Электронный ресурс] / Петер Цервенка // Режим доступа: [http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n\\_id=4951](http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=4951). – Назва з екрану.

79. Baousu PVC-O Pipe for water supply [Электронный ресурс] / Baousu// Режим доступа: <http://www.baosupipe.com/product.php?cid=56>.– Назва з екрану.

80. Introducing the high strength Bi-axially oriented PVC (PVC-O) Pipes [Электронный ресурс] / Optiflux Pipe Industries// Режим доступа: <http://optifluxpipes.com>.– Назва з екрану.

81. New developments in PVC-O [Электронный ресурс] / Plastics// Режим доступа: <http://www.plastics.gl/construction/new-developments-in-pvc-o/>.– Назва з екрану.

82. Oriented PVC-O Pipes [Электронный ресурс] / Think Pipes. Think PVC // Режим доступа: <http://www.thinkpipethinkpvc.com.au/technical-details/oriented-pvc-o-pipes>. – Назва з екрану.

83. PVC-O Biax [Электронный ресурс] / Wavin// Режим доступа: <http://overseas.wavin.com/web/licensing/pvco-biax-1.htm>. – Назва з екрану.

84. PVC-O Technology [Электронный ресурс] / Molecor// Режим доступа: <http://pvcpipemachine.com/pvc-o-technology>. – Назва з екрану.

85. Revolution in Pipes [Электронный ресурс] / Molecor// Режим доступа: <http://revolutioninpipes.com/reliable-pvc-o-pipes>.– Назва з екрану.



86. Supermain PVC-O. Molecular oriented for Superior Strength and Performance [Электронный ресурс] / Vinidex Systems and Solutions// Режим доступа: <http://www.vinidex.com.au/wp-content/uploads/VIN162-Supermain-PVC-O-Catalogue.pdf>. – Назва з екрану.

87. The new generation of PVC-O Pipes [Электронный ресурс] / Molecor// Режим доступа: <http://www.molecor.com/sites/default/files/catalogtomen.pdf>. – Назва з екрану.

88. Басов Н.И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков, В. А. Любартович — М. : Химия, 1986. — 488 с.

89. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты / В. Микаэли ; пер. с англ. ; под ред. В. П. Володина. — СПб. : Профессия, 2007. — 472 с.

90. Аскадский А.А. Структура и свойства теплостойких полимеров/ А.А.Аскадский.– М.: Химия, 1981. –320 с.

91. Д.В. Ван Кревелен Свойства и химическое строение полимеров/ Д.В. Ван Кревелен.–М.: Химия, 1976. – 416 с.

92. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учеб. пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г.С. Головкин. — СПб. : Профессия, 2009. — 560 с.

93. Лапутько Б.Н. Реологические свойства поливинилхлорида, обзор./ Б.Н.Лапутько, А.Я. Малкин, С.Г.Куличихин – М.: НИИТЭХИМ, 1983. – 39 с.

94. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров / Ю.С.Липатов. – М.: Химия, 1977. – 304 с.

95. Власов В.С. Основы технологии переработки пластмасс / С.В.Власов, Э.Л.Калиничев, Л.Б.Кандырин и др. – М.: Химия, 1995– 528 с.

96. Басов Н.И. Техника переработки пластмас / Н.И.Басов., В.М.Броя. – М.:Химия,1985.-528 с.

97. Биргер И. А. Остаточные напряжения / И. А. Биргер. — М. : Машгиз, 1963. — 232 с.
98. Брацихин Е.А. Технология пластических масс / Е.А.Брацихин, Е.С.Шульгина.– Л.:Химия, 1982.–302 с.
99. Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс / В.Г.Бортников.–Л.: Химия, 1983. – 303 с.
100. Калинин Е.Л. Свойства и переработка термопластов / Е.Л.Калинчев, М.В. Саковцева . –М.:Химия, 1983. – 288 с.
101. Шварц О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф-В. Эмбелинг, Б. Фурт. — СПб : Профессия, 2008. — 320 с.
102. Радченко Л. Б. Переробка термопластів методом екструзії: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Радченко Л. Б. — К.: ІЗМН, 1999. — 220 с.
103. Рауендаль К. Экструзия полимеров / К. Рауендаль ; пер. с англ. ; под ред. А. Я. Малкина. — СПб. : Профессия, 2006. — 768 с.
104. Торнер Р.В. Основные процессы переработки полимеров (теория и методы расчёта) / Р.В.Торнер. – М.: Химия, 1972. – 456 с.
105. Володин В. П. Экструзия пластиковых труб и профилей / В. П. Володин — СПб. : Профессия, 2010. — 240с.
106. Бартенев Г.М. Природа релаксационных переходов в поливинилхлориде / Г.М.Бартенев, Г.М.Синицина, Н.В.Хихловская// Высокомолекуляр. соединения. Серия Б. – 1992. –Т. 34, №7. –С. 3–12.
107. Виноградов В. М. Остаточные напряжения в деталях из пластических масс / В. М. Виноградов // Пластические массы. — 1975. — № 4. — С. 20—31.
108. Бочкарева О.Н. Высокоэффективные смазки и комплексные стабилизирующие системы для переработки ПВХ-композиций / О.Н. Бочкарева, Т.П. Мухина, А.П. Савельев, Л.П.Коровин // Пластические массы. – 1996. – № 6. – С. 43-44.
109. Заварова Т.Б. Методы получения изделий из ПВХ с повышенной ударной прочностью (обзор) / Т.Б.Заварова , И.В.Воронкова, А.П.Савельев, Л.М. Шевчук // Пластические массы. – 1983. –№12. – С. 32–35.

110. Рябец Ю. С. Несущая способность и долговечность металлопластовых труб / Ю. С. Рябец, В. Т. Антонов, Н. И. Маширов // Полимергаз. — 2004. — № 2. — С. 12—14.
111. Уилоуби Д. Полимерные трубы и трубопроводы / Дэвид Уилоуби. — СПб. : Профессия, 2010. — 485с.
112. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров / Ч.Д.Ханч. — М.: Химия, 1979. — 396 с.
113. Scheelen A. Facilitating the pipe system choice of European water engineers / A. Scheelen // European Plastics News. — Belgium, 2005. — P. 105—121.
114. Продолжается рост цен европейского ПВХ для рынков стран СНГ/ [Электронный ресурс] / Евротрубпласт // Режим доступа: <http://polyplastic.ua/news/prodolzhaetsa-rost-cen.html>. - Назва з екрану.
115. В апреле для рынков стран СНГ европейский полиэтилен подорожает на EUR 70-80 за тонну/ [Электронный ресурс] / Евротрубпласт // Режим доступа: <http://polyplastic.ua/news/v-aprele-dlya-rinkov-sng.html>. - Назва з екрану.
116. Виробництво труб для холодного водопостачання з непластифікованого полівінілхлориду. Технологічний регламент ТОВ «Калуський трубний завод» №ТР 35615975.001:2015 – [Чинний від 2015 – 05– 03]. – Калуш:, 2015. — 125 с.
117. Назарчук З.Т. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: Науково-технічний посібник: у 3 т.-Т.1. Теоретичні основи методу акустичної емісії / З.Т.Назарчук, В.Р.Скальський. —К.:Наукова думка, 2009. — 287 с.
118. Гроссман Ф. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ/ под.ред.Ф.Гроссмана.; пер.с англ.под ред.Гузеева В.В.— СПб.:Научные основы и технологии, 2009. — 614 с.
119. Лукач Ю. Е. Методические указания по проведению НДРС по курсу «Машины и аппараты химических производств. Исследование процесса производства полимерных труб» / составители Ю. Е. Лукач, С. И. Доброногова, Е. А. Назаренко и др. — К. : КПИ, 1984. — 44 с.
120. Гуль В.Б. Основы переработки пластмасс / В.Б.Гуль, М.С. Акутин.— М.: Химия, 1985. — 398 с.

121. Виноградов Г.В., Исследование расплавов полимеров вискозиметра постоянных давлений / Г.В. Виноградов, Н.В. Прозоровская // Пластические массы. –1964. – №5 – С. 50–57.

122. Огибалов П. М. Конструкционные полимеры: методы экспериментального исследования / П. М. Огибалов, Н. И. Малинин, В. П. Нетребко, Б. П. Кишкин ; Под ред. П.М. Огибалова. — М. : Изд-во МГУ, 1972. — 327 с.

123. Оничко В.И. Пластифицированные композиции поливинилхлорида / В.И.Оничко // Полимерные материалы. – 2003, – №11. – С. 20–23.

124. Милов В.И. Влияние смазок на технологические свойства пластифицированных композиций на основе ПВХ / В.И.Милов , В.В.Гузеев, В.Б.Мозжухин, В.И.Максименко // Пластические массы. – 1989. – № 5. – С. 59–61.

125. Малкин А.Я. Релаксация нормальных напряжений в текучих полимерных системах / А.Я.Малкин, М.П.Забугин // Механика полимеров. – № 2. – С. 335–339.

126. Пат. № 97723 U Україна, МПК В29С 55/00. Спосіб орієнтаційного одержання труб з полівінілхлориду / А.М.Найда, А.Д.Петухов.– № u201500012; заявл. 05.01.2015 ; опубл. 25.03.2015, Бюл. № 6.

127. Пат. № 100889 U Україна, МПК В29С 55/26. Спосіб одержання труб з полівінілхлориду / А.М.Найда.– № u201502405 ; заявл. 18.03.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.

128. Пат. № 100890 U Україна, МПК В29С 55/26. Пристрій одержання труб з полівінілхлориду / А.М.Найда.– № u201502406 ; заявл. 18.03.201 ; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.

129. Пат. № 97724 U Україна, МПК В29С 55/26. Пристрій орієнтаційного одержання труб з полівінілхлориду / А.М.Найда, А.Д.Петухов– № u2015000014 ; заявл. 05.01.2015 ; опубл. 25.03.2015, Бюл. № 6.

130. Вплив орієнтації на опір удару напірних труб НПВХ / А.М. Найда, А.Д.Петухов, Л.І.Мельник та ін. // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та

пакувальної техніки», 9-10 червня 2016 р. / М-во освіти і науки України, Націон.техн.універс. «Київський політехнічний інститут».– Київ, 2016. – С. 73–75.

131. Вплив орієнтації на опір удару напірних труб НПВХ / Найда А.М., Петухов А.Д., Свідерський В.А. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології одержання та переробки полімерних матеріалів», 21-23 вересня 2016 р. / М-во освіти і науки України, Націон.універс. «Львівська політехніка». –Львів,2016. –с.12.

132. Вплив орієнтування ПВХ на релаксацію видовження зразків після випробовувань / А.М. Найда, О.М. Шнирук, О.В.Тимошенко та ін. // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної WEB-конференції «Композиційні матеріали», травень 2016 р. / М-во освіти і науки України, Націон.техн.універс. «Київський політехнічний інститут».– Київ, 2016. – С. 111–113.

133. Експериментальний модуль для досліджень орієнтування труб із НПВХ / А.М. Найда, А.Д.Петухов, В.А.Свідерський// Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної WEB-конференції «Композиційні матеріали», травень 2016 р. / М-во освіти і науки України, Націон.техн.універс. «Київський політехнічний інститут».– Київ, 2016. – С. 104–106.

134. Порівняльні дослідження властивостей труб з НПВХ і ПВХ-О / А.М. Найда // Матеріали ІІІ міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку сучасної науки», 6–7 травня 2016 р.– Чернігів,2016.-с.25-28.

135. Порівняльні дослідження властивостей труб з НПВХ і ПВХ-О / А.М. Найда, А.Д.Петухов, В.А.Свідерський// Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної WEB-конференції «Композиційні матеріали», травень 2016 р. / М-во освіти і науки України, Націон.техн.універс. «Київський політехнічний інститут».– Київ, 2016. – С. 100–103.

136. Порівняльні показників труб з неластифікованого полівінілхлориду і орієнтаційного полівінілхлориду / А.М. Найда // Матеріали ІV Українсько-Німецької конференції «Інформатика.Культура.Техніка», 30 червня–02 липня 2016 р.– Одеса,2016. –с.71–72.

137. Инженерные методы расчёта погрешностей при выполнении лабораторных работ по курсам «Тепломассообмен» и «Техническая термодинамика» / сост. В. В. Босый, Г. Н. Васильченко, Е. Н. Панов. — К. : «КПШ», 1985. — 72 с.

138. Калиткин Н. Н. Численные методы : учеб. пособие / Н. Н. Калиткин ; под ред. А. А. Самарского. — М. : Наука, 1978. — 512 с.

## Додаток А

Апаратура та обладнання дослідження труб ПВХ-О з використанням методів акустичної емісії і тензометрії

### Тензометрична апаратура:

- Восьмиканальна апаратура на несучій частоті 8АНЧ-26	2 шт.
- Тензорезистор КФ 5П1-10-200-Б-12	15 шт.
- Тензорезистор КФ 5П1-5-100-Б-12	3 шт.
- Тензорезистор КФ 5П1-20-400-Б-12	2 шт.
- Тензометричний міст	1 шт.
- Осцилограф Н071.4М	2 шт.
- Гальванометр М041-1.0	17 шт.
- Установа СМ-25Б	1 шт.
- Комплект кабелів	2 шт.
- Фотопапір УФ-67	2 рул.

### Акусто-емісійна апаратура:

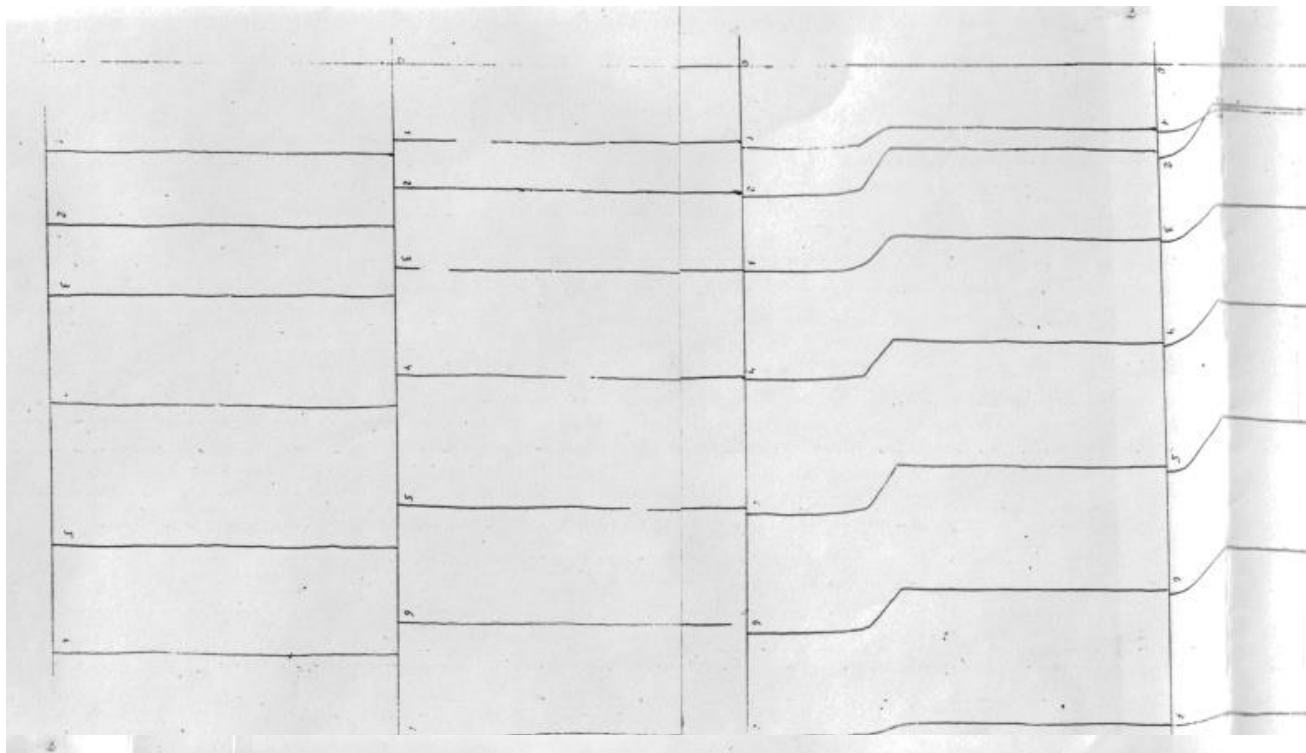
- Прилад акустичної емісії АФ-15	2 шт.
- Датчик акустичної емісії П113	4 шт.
- Персональний комп'ютер Пентіум-111	1 шт.
- Підсилювач САА-06	4 шт.
- Модуль паралельного цифрового інтерфейсу Р10-48	1 шт.
- Комплект кабелів	1 шт.

### Стенд утворення необхідного тиску:

- Насос Г12-31М	1 шт.
- Клапан ПГ66-12	1 шт.
- Кран	1 шт.
- Манометр 0—10 МПа з ціною поділки 0,2 МПа	1 шт.
- Манометр 0—4,0 МПа з ціною поділки 0,1 МПа	1 шт.

- Захисний кожух 1 шт.
- Система трубопроводів 1 шт.
- Бак з мастилом 10л. 1 шт.



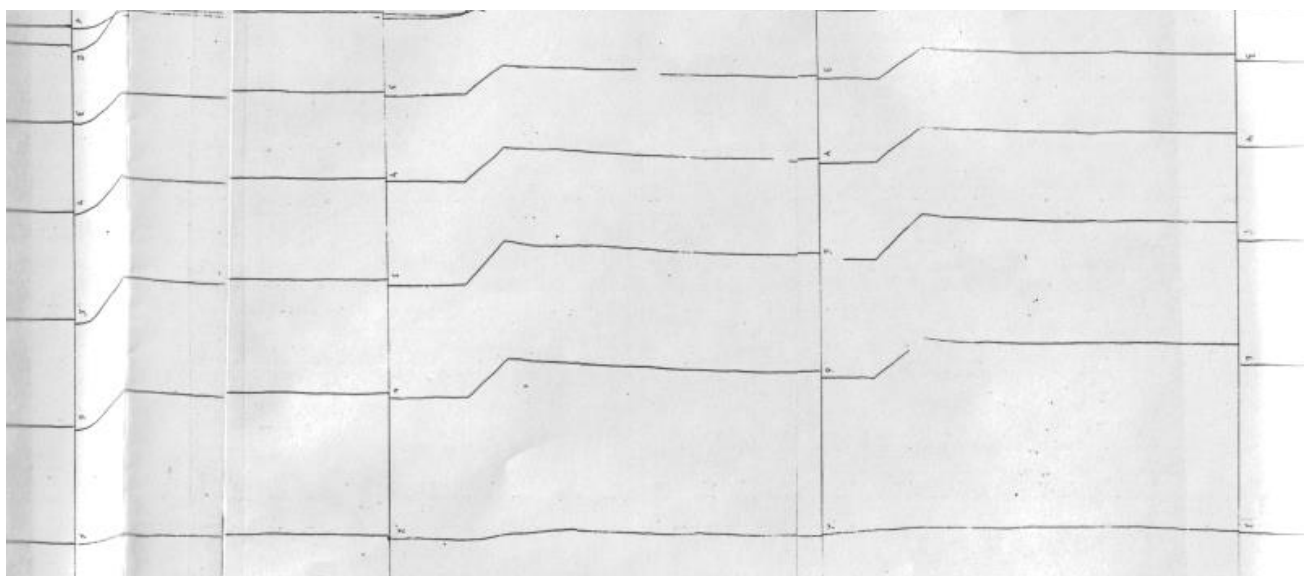
**Додаток Б****Фотострічки дослідження труб з НПВХ і ПВХ-О**

Кадр№1

Кадр№2

Кадр№3

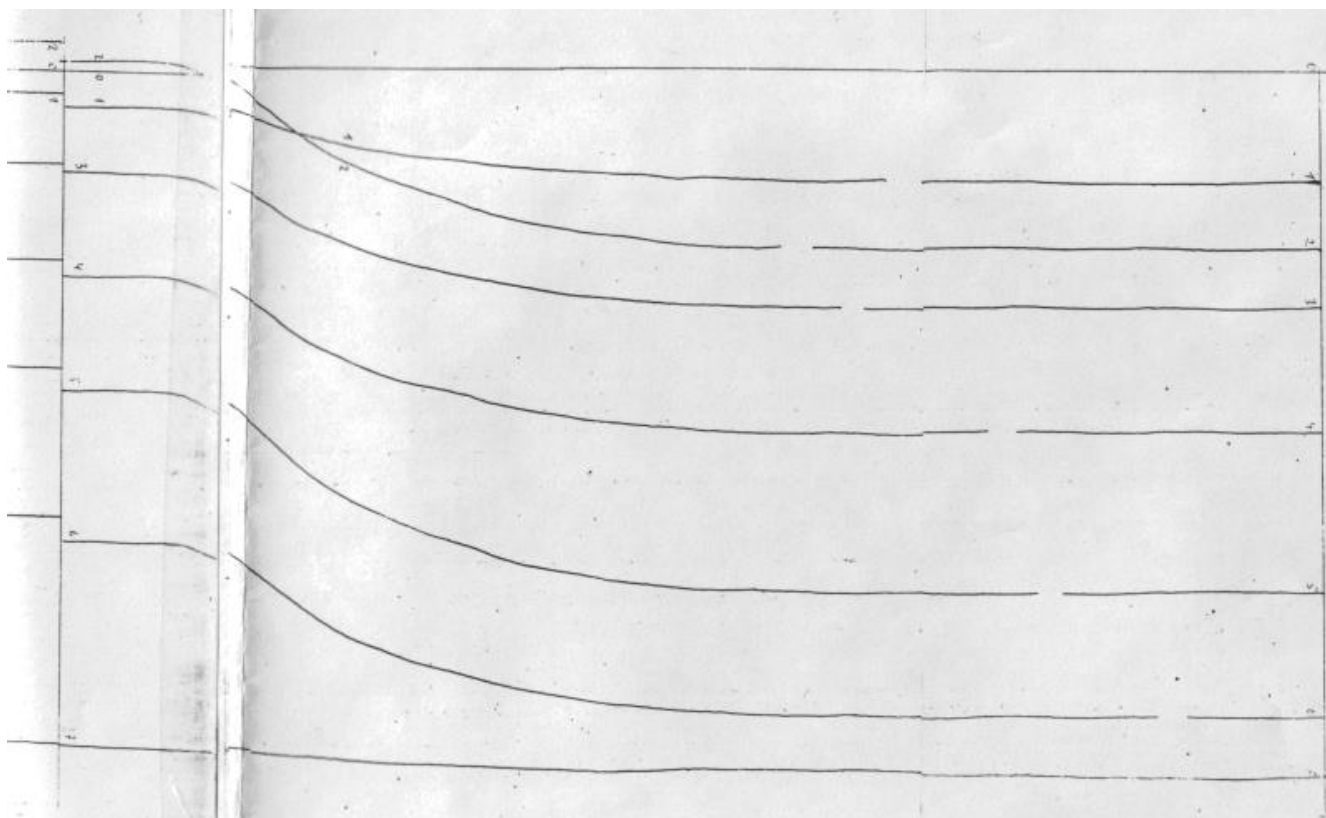
Кадр№4



Кадр№4

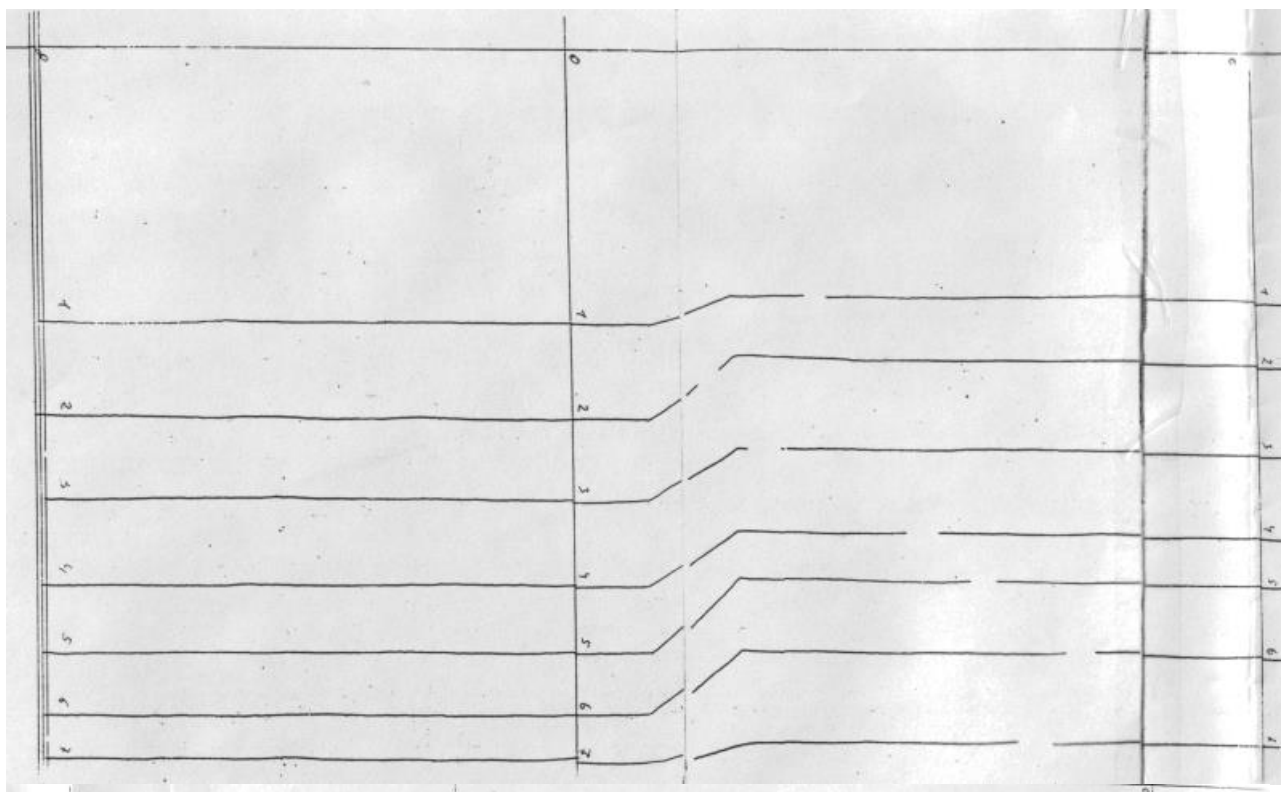
Кадр№5

Кадр№6



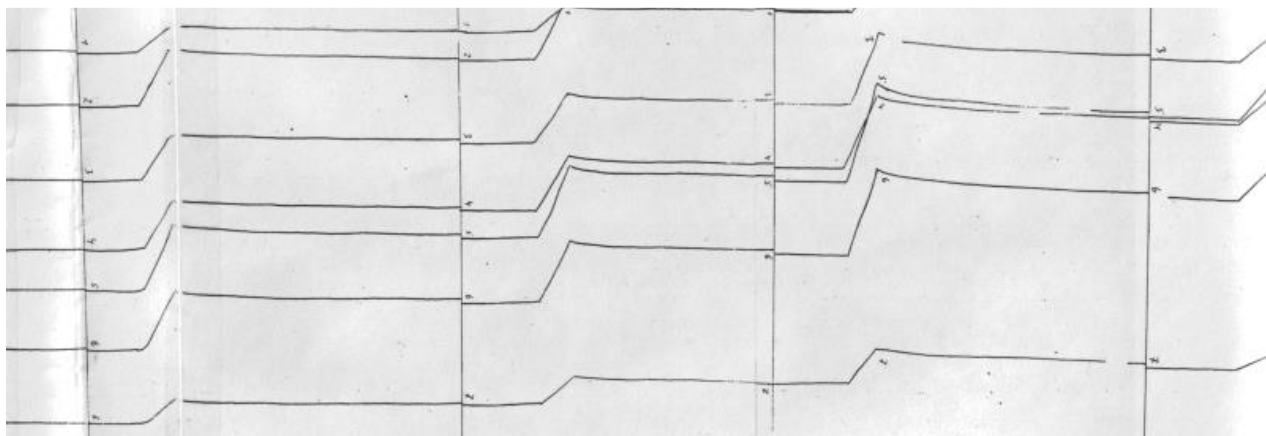
Кадр №7

Рис.Д.Б.1 - Фотострічка дослідження труби з НПВХ з тиском до 0,5 МПа.



Кадр№1

Кадр№2

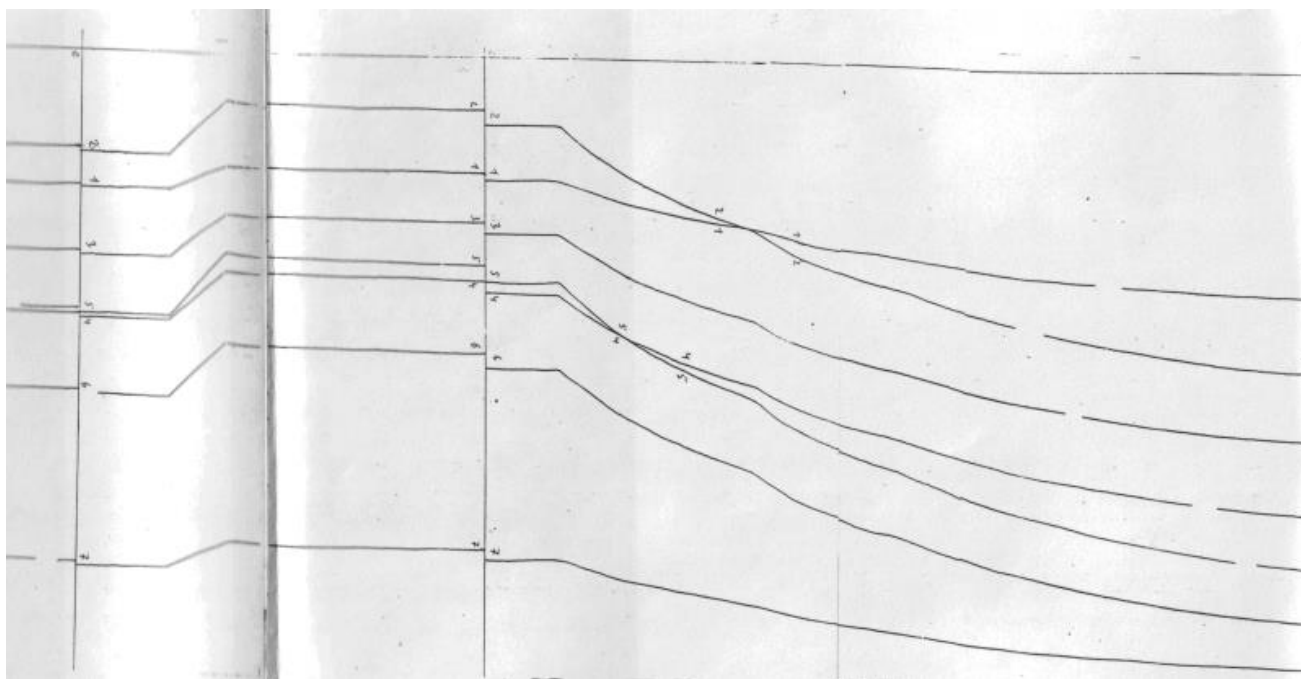


Кадр№3

Кадр№4

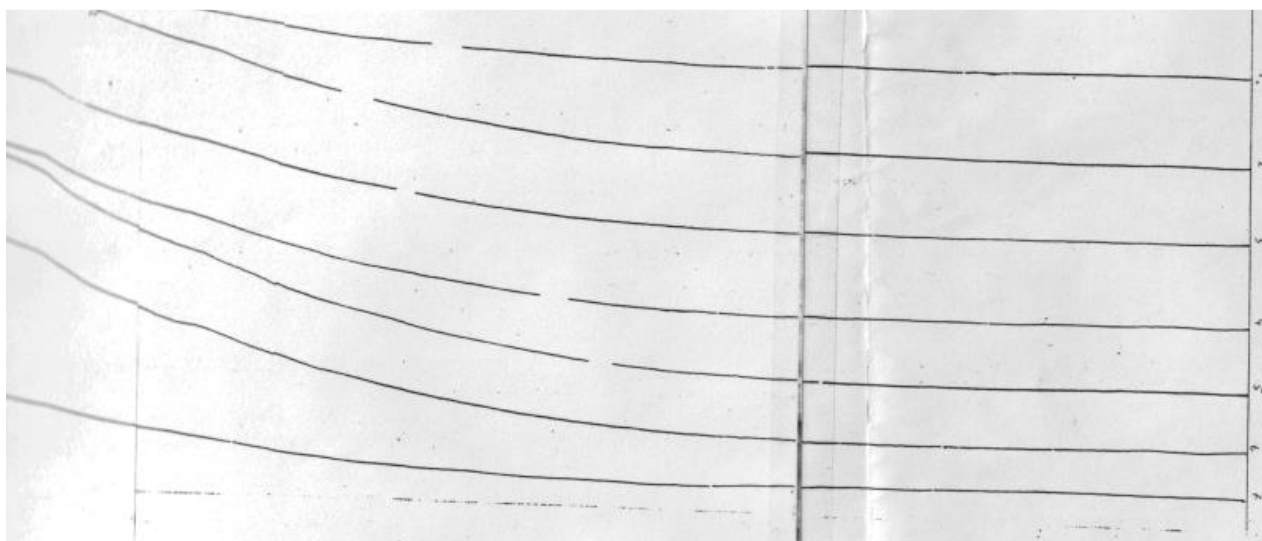
Кадр№5

Кадр№6



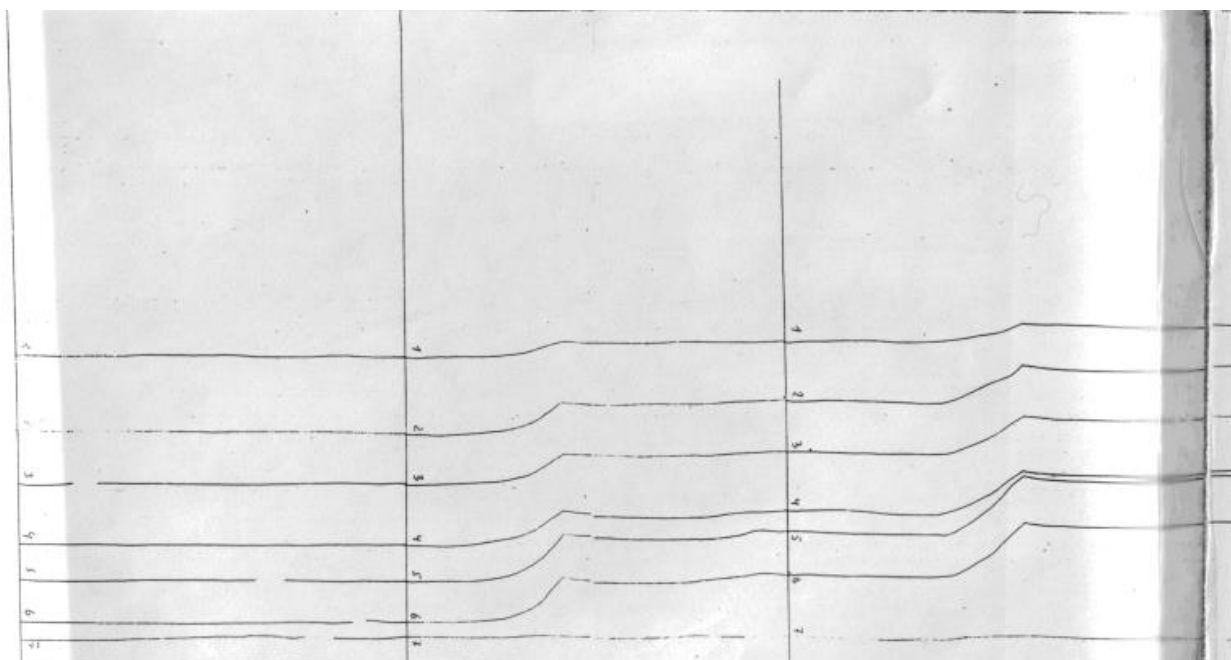
Кадр№6

Кадр№7



Кадр№7

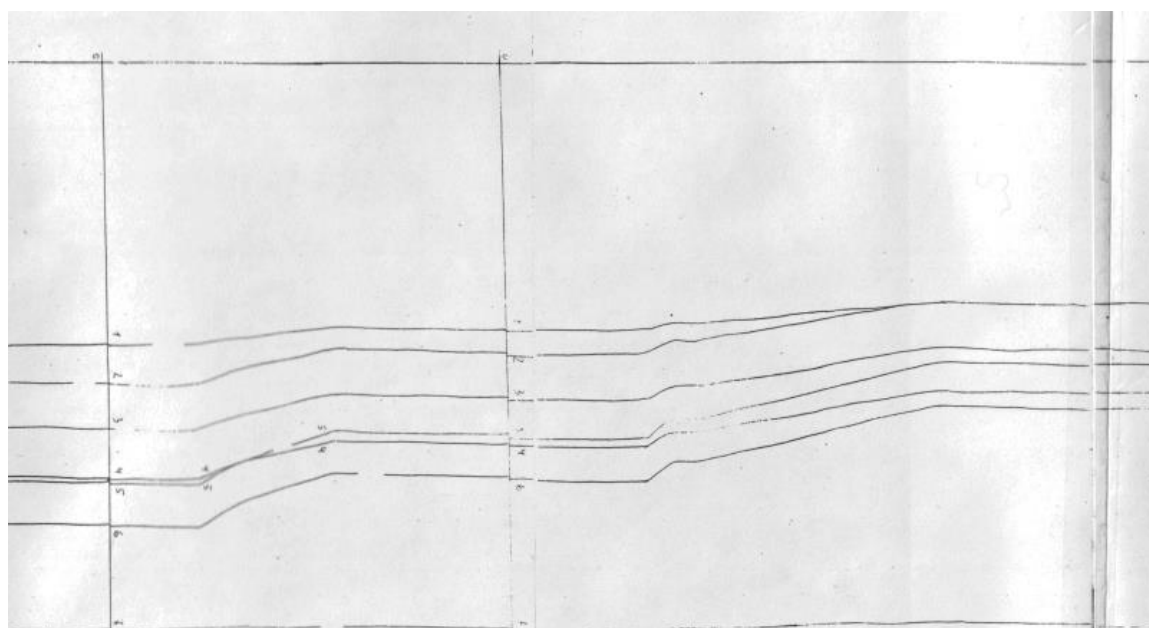
Рис.Д.Б.2 - Фотострічка дослідження труби з НПВХ з тиском до 1,0 МПа



Кадр№1

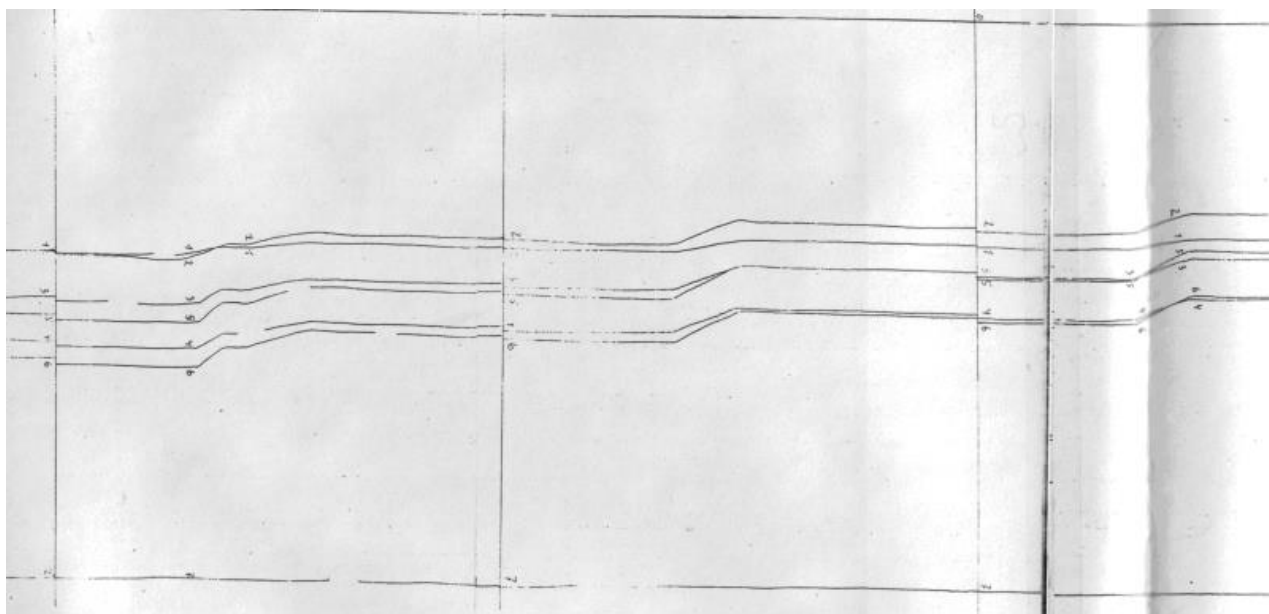
Кадр№2

Кадр№3



Кадр№4

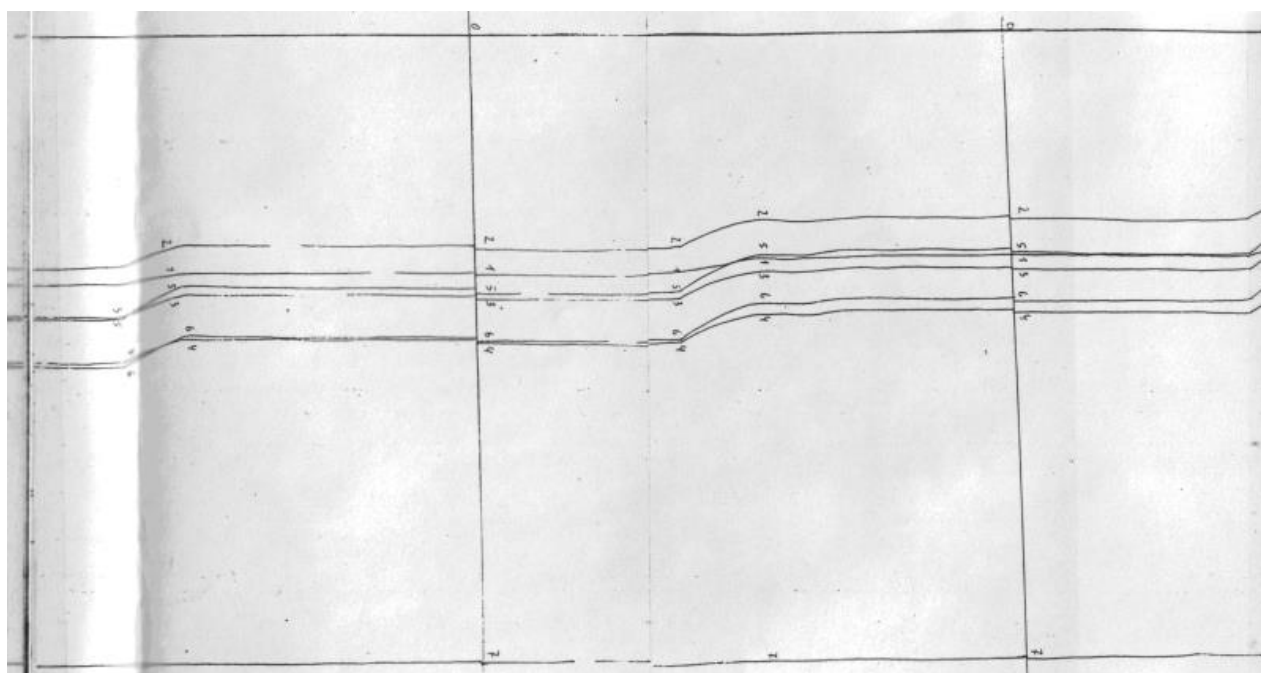
Кадр№5



Кадр№6

Кадр№7

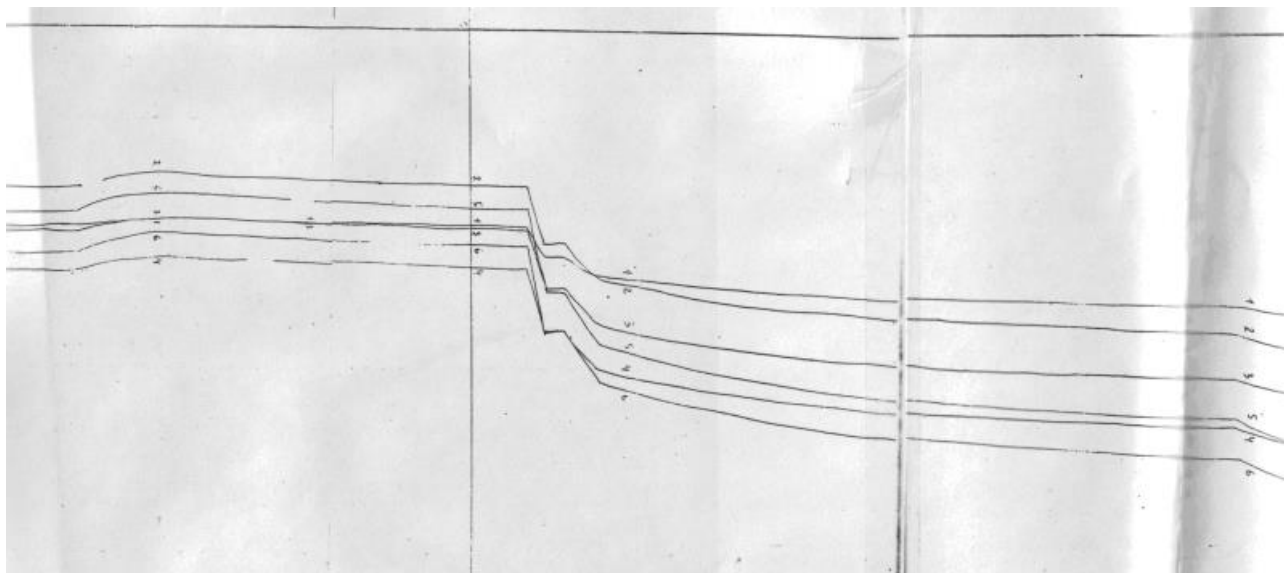
Кадр№8



Кадр№8

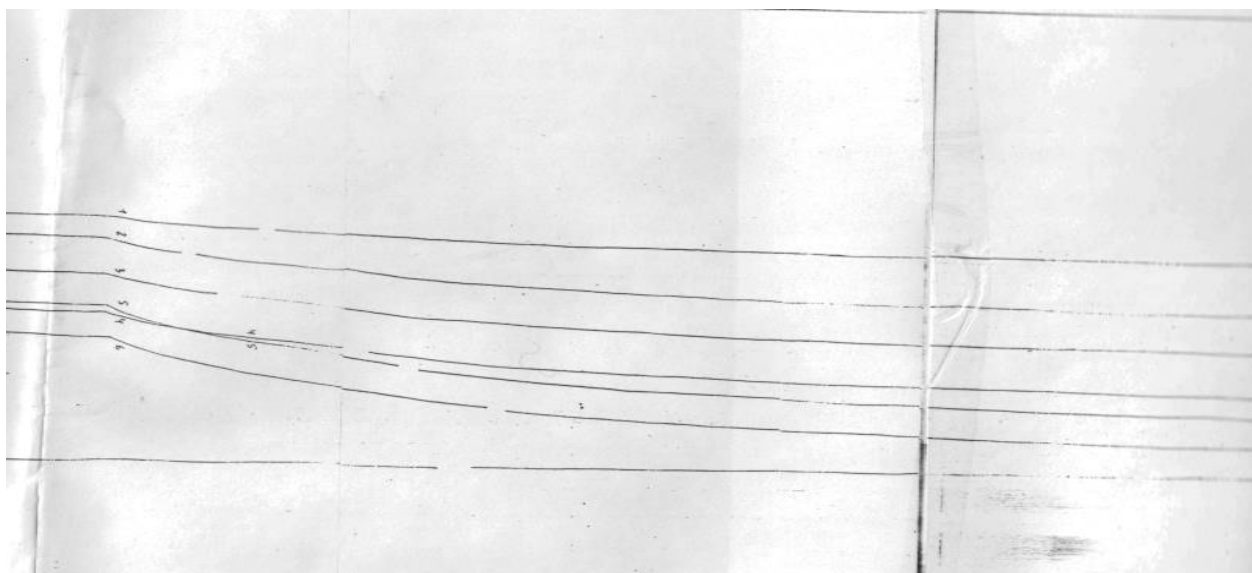
Кадр№9

Кадр№10

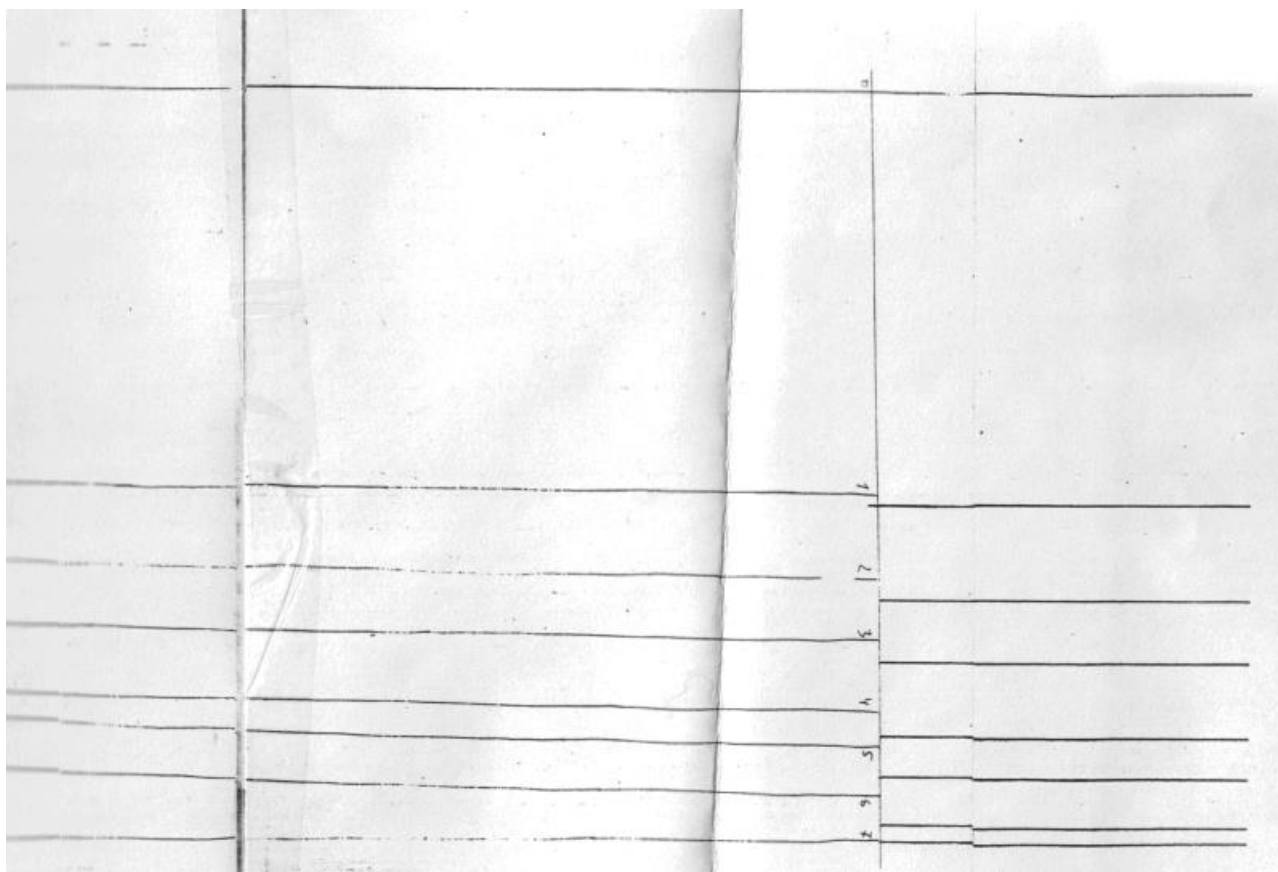


Кадр№11

Кадр№12



Кадр№12

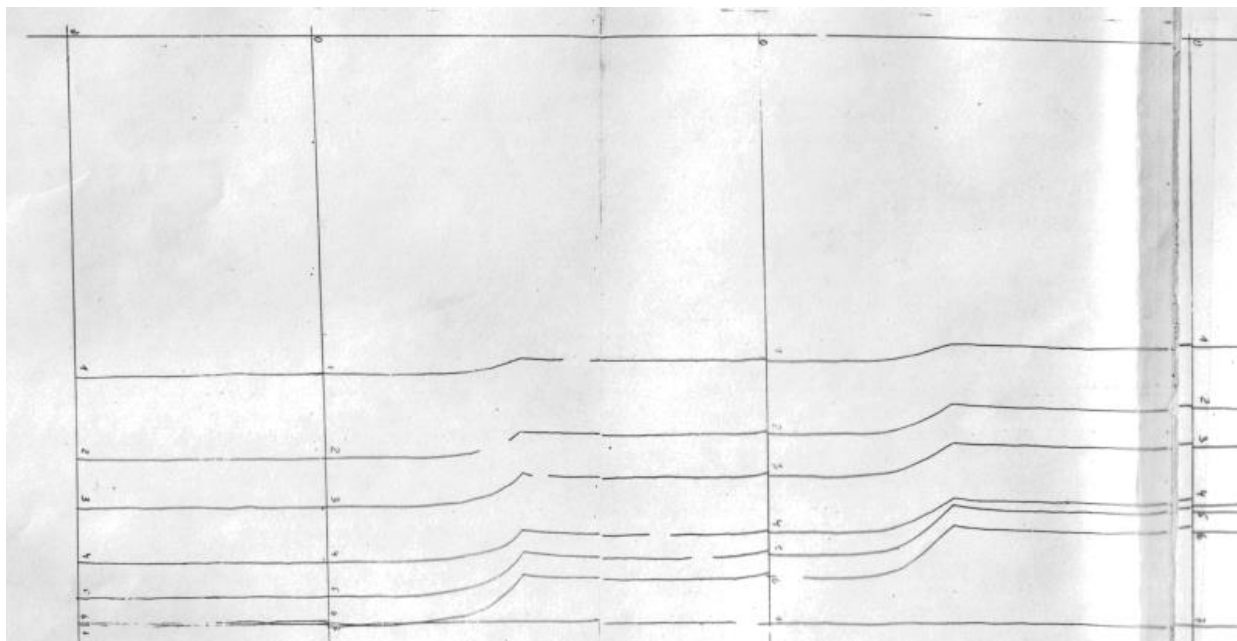


Кадр №12

Кадр №13

Рис.Д.Б.3 - Фотострічка дослідження труби з НПВХ з тиском до 1,6 МПа

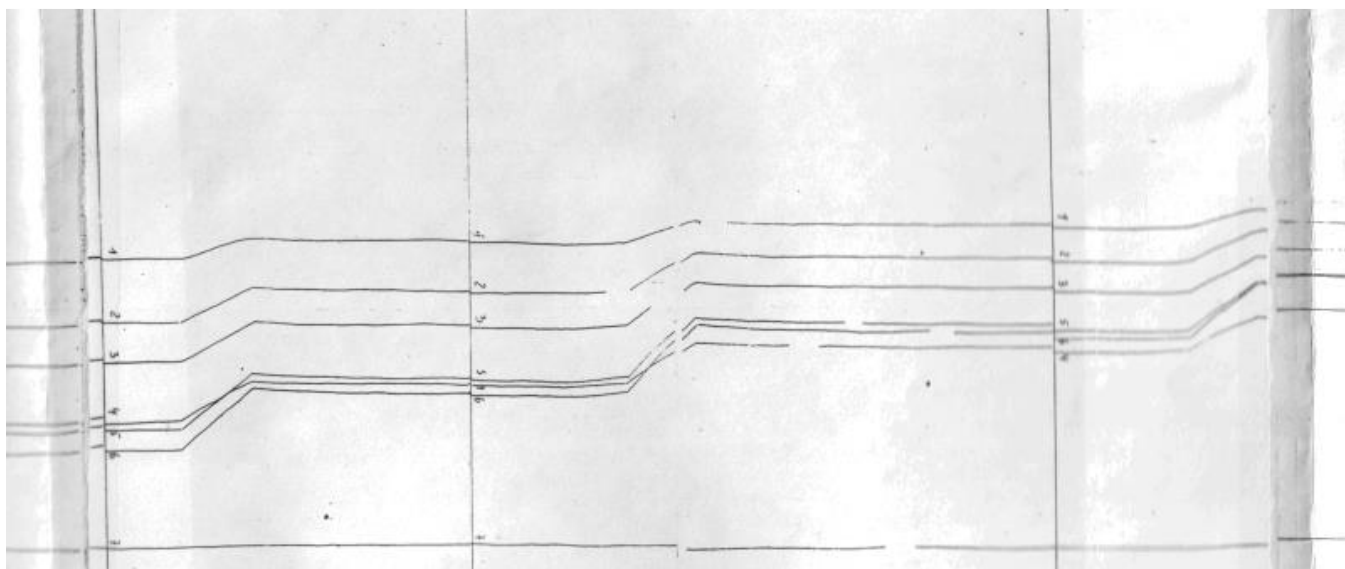




Кадр №1

Кадр №2

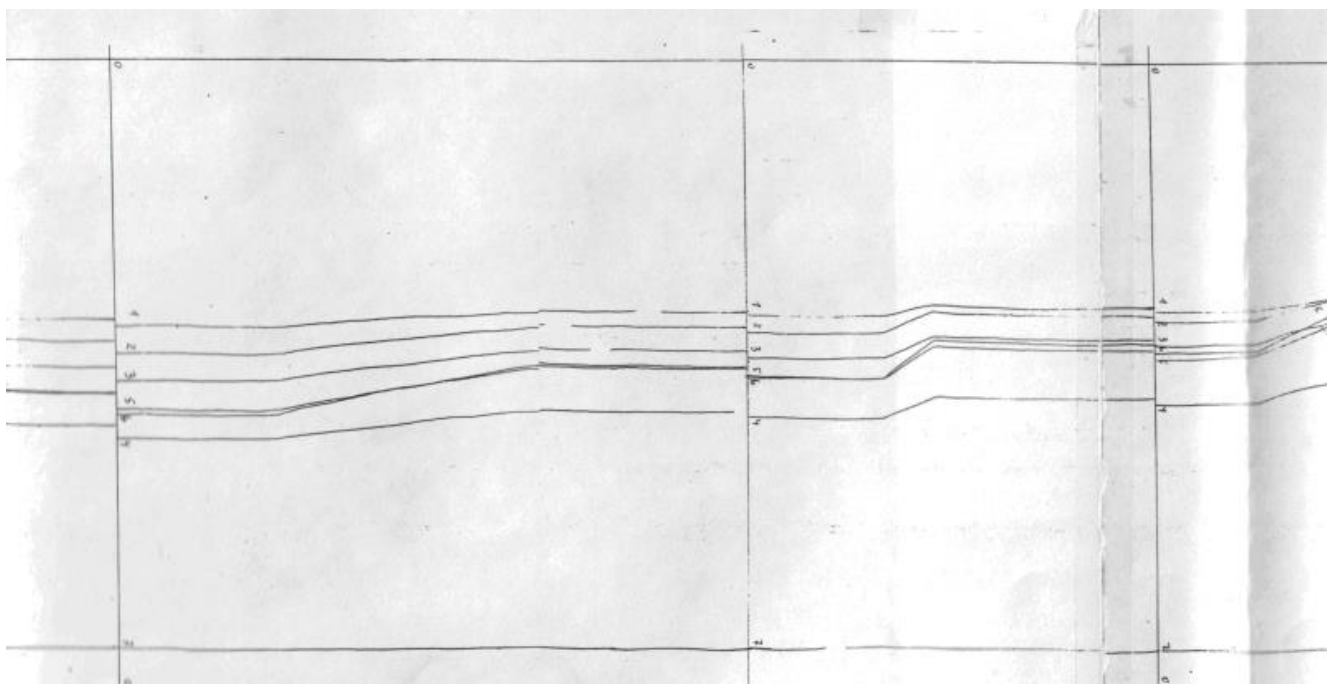
Кадр №3



Кадр №4

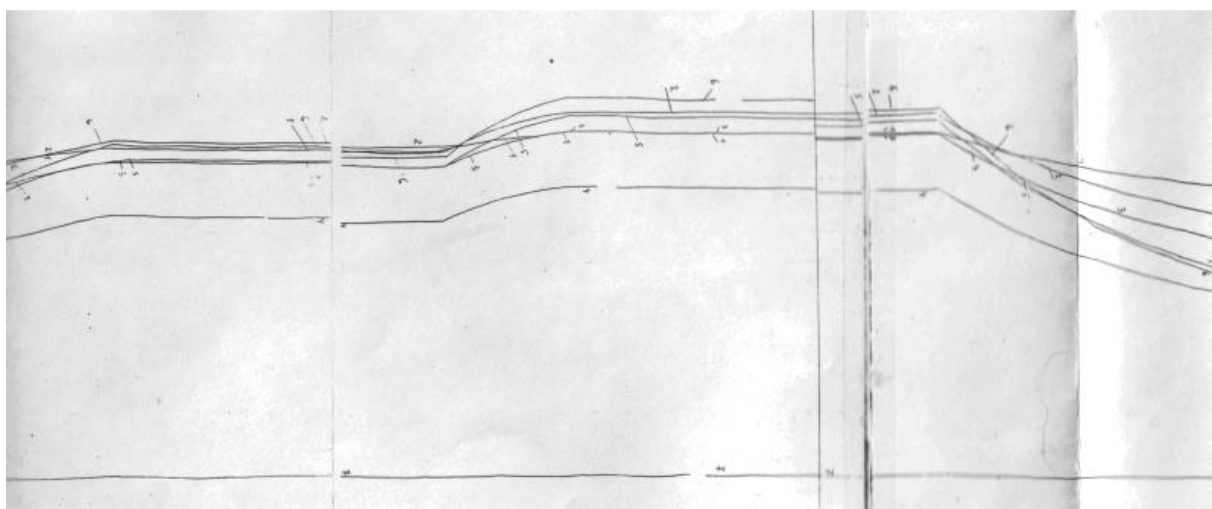
Кадр №5

Кадр №6



Кадр №7

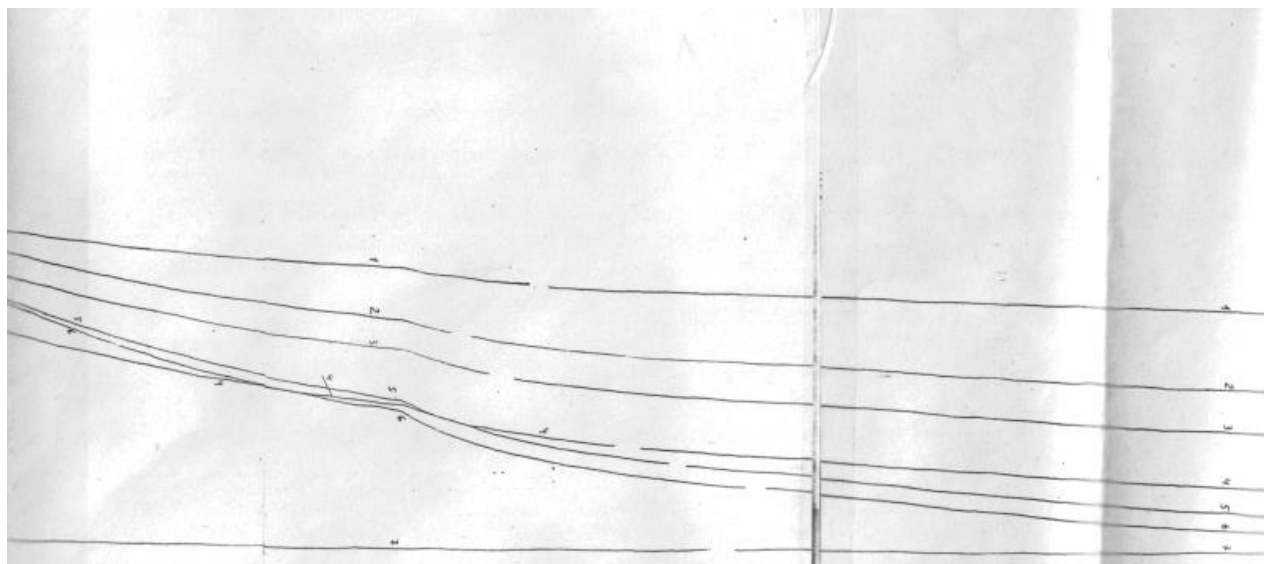
Кадр №8



Кадр №9

Кадр №10

Кадр №11



Кадр №11

Рис.Д.Б.4 -Фотострічка дослідження ПВХ-О труби з тиском до 1,6 МПа

### Додаток В

Результати випробовувань на визначення оптимальних ступеней витяжки труби з ПВХ-О з використанням методів акустичної емісії

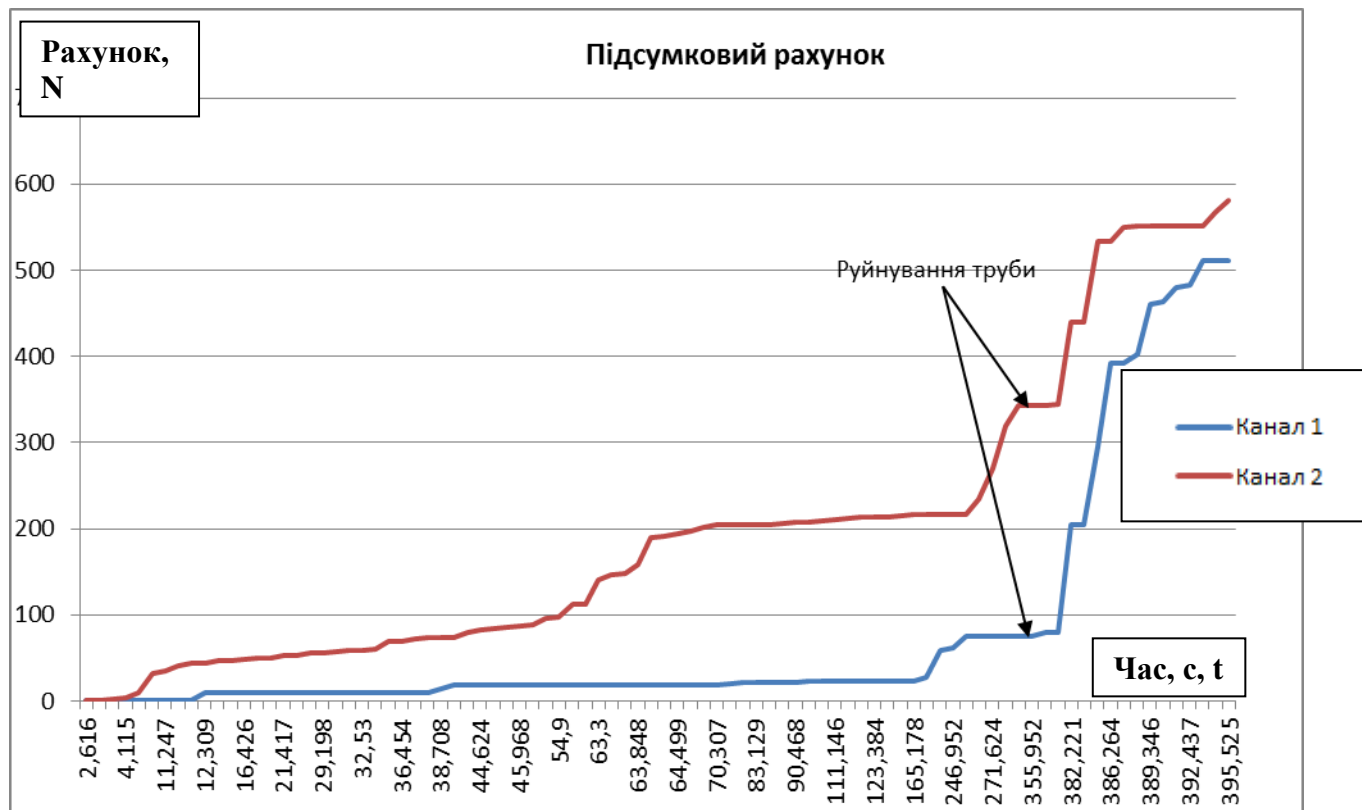


Рис.Д.В.1 – Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм



Рис.Д.В.2 – Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 125 мм з товщиною стінки 2,5 мм

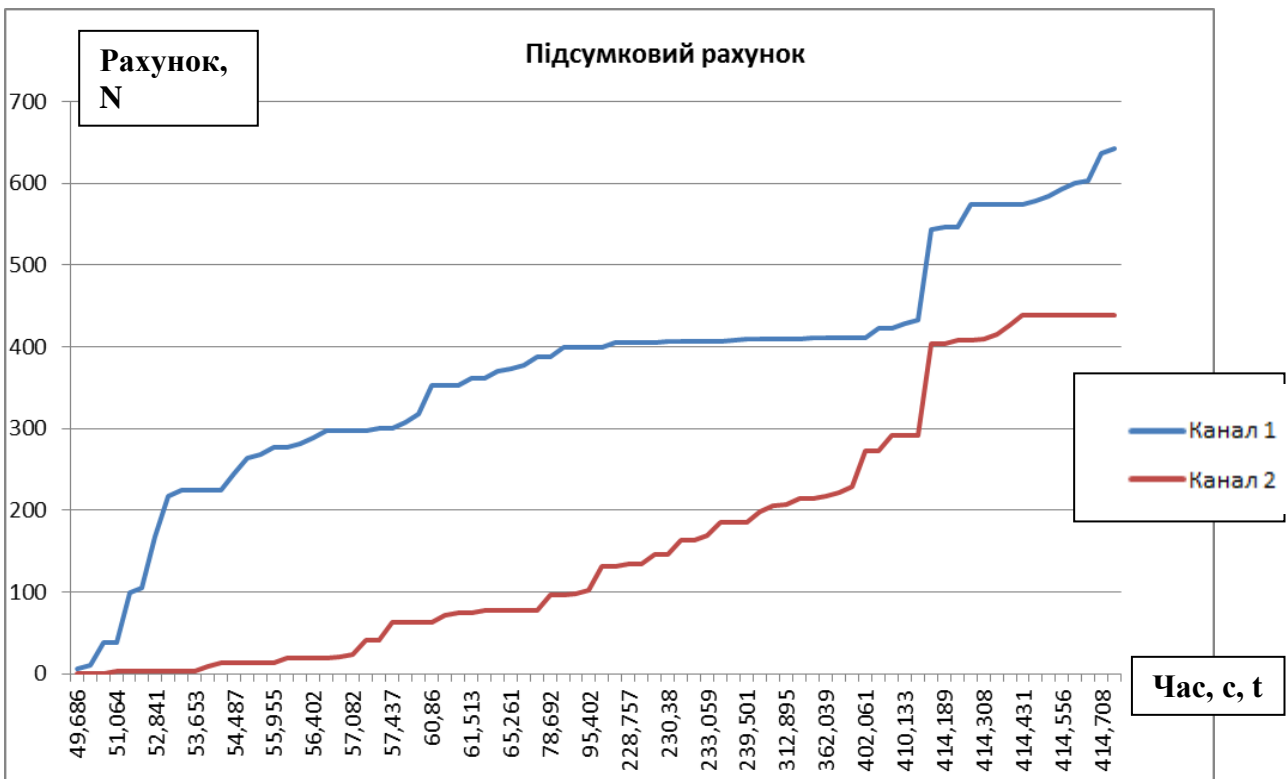


Рис. Д.В.3— Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 140 мм з товщиною стінки 2,0 мм

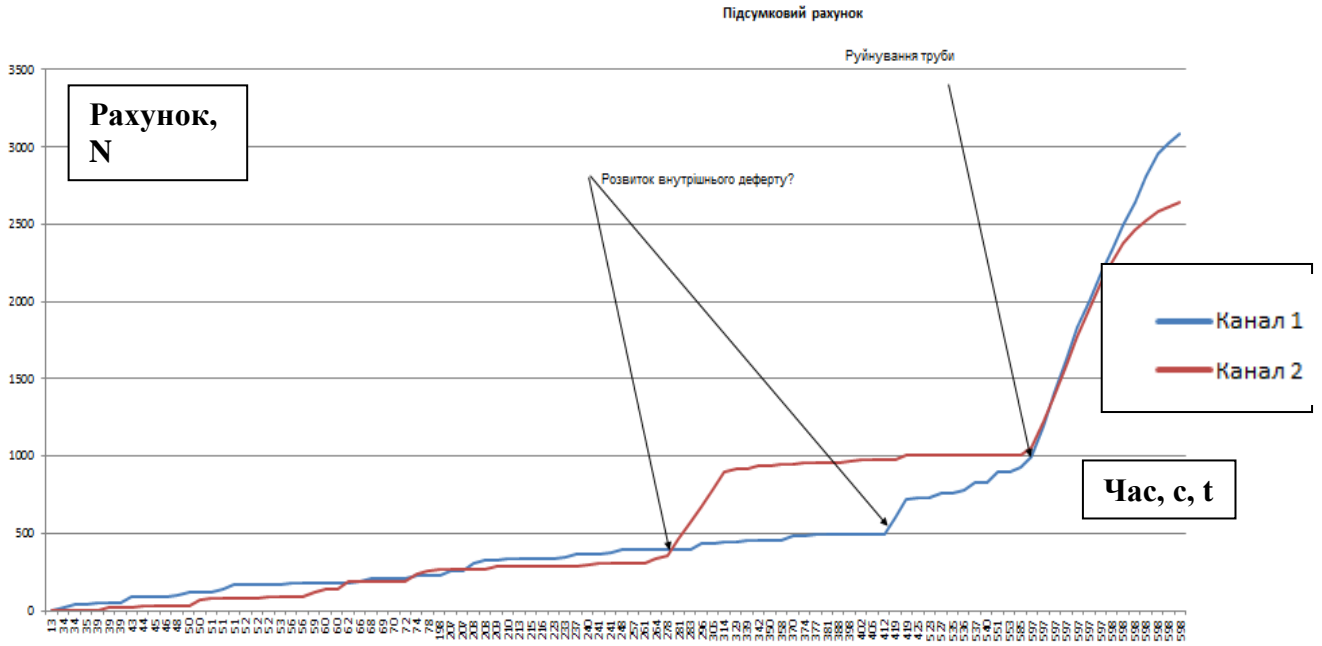


Рис. Д.В.4 – Графік залежності значень сум рахунків сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм

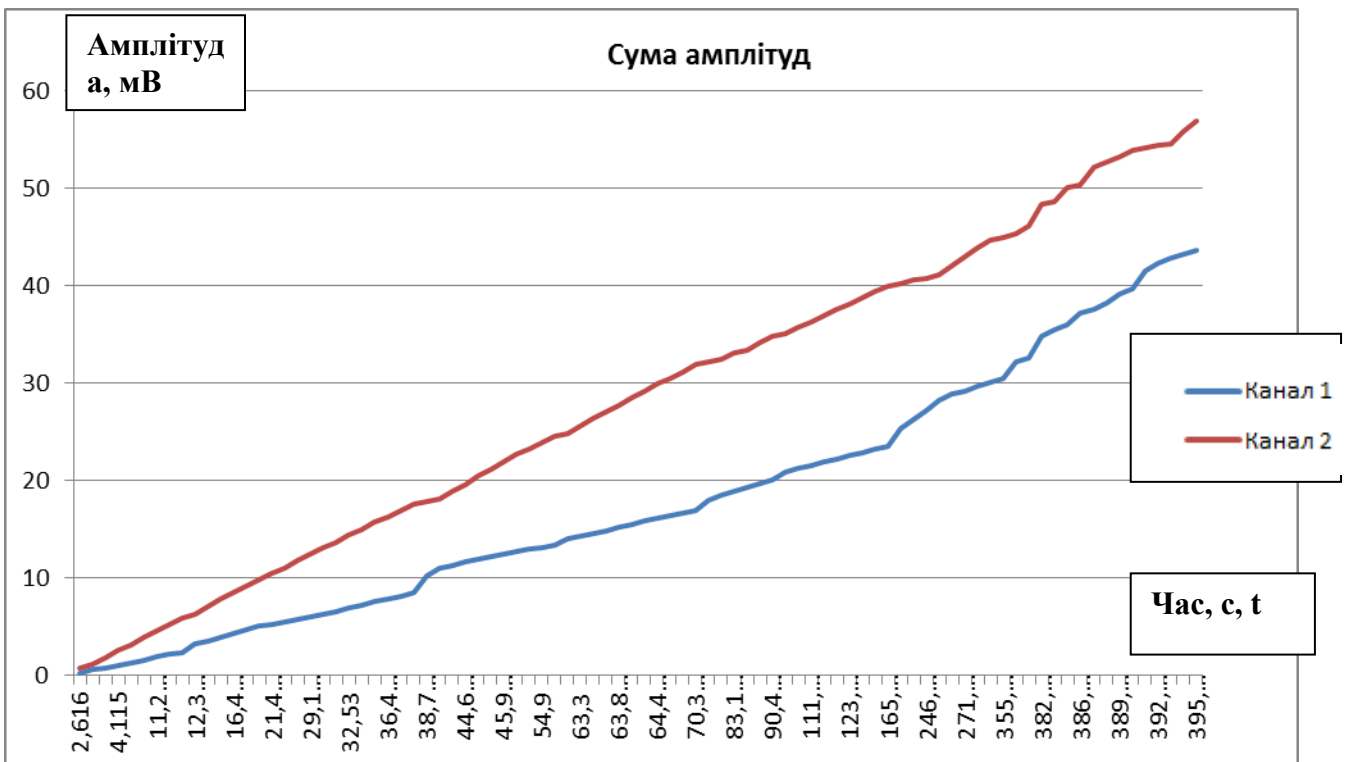


Рис. Д.В.5 – Графік залежності значень сум амплітуд сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм

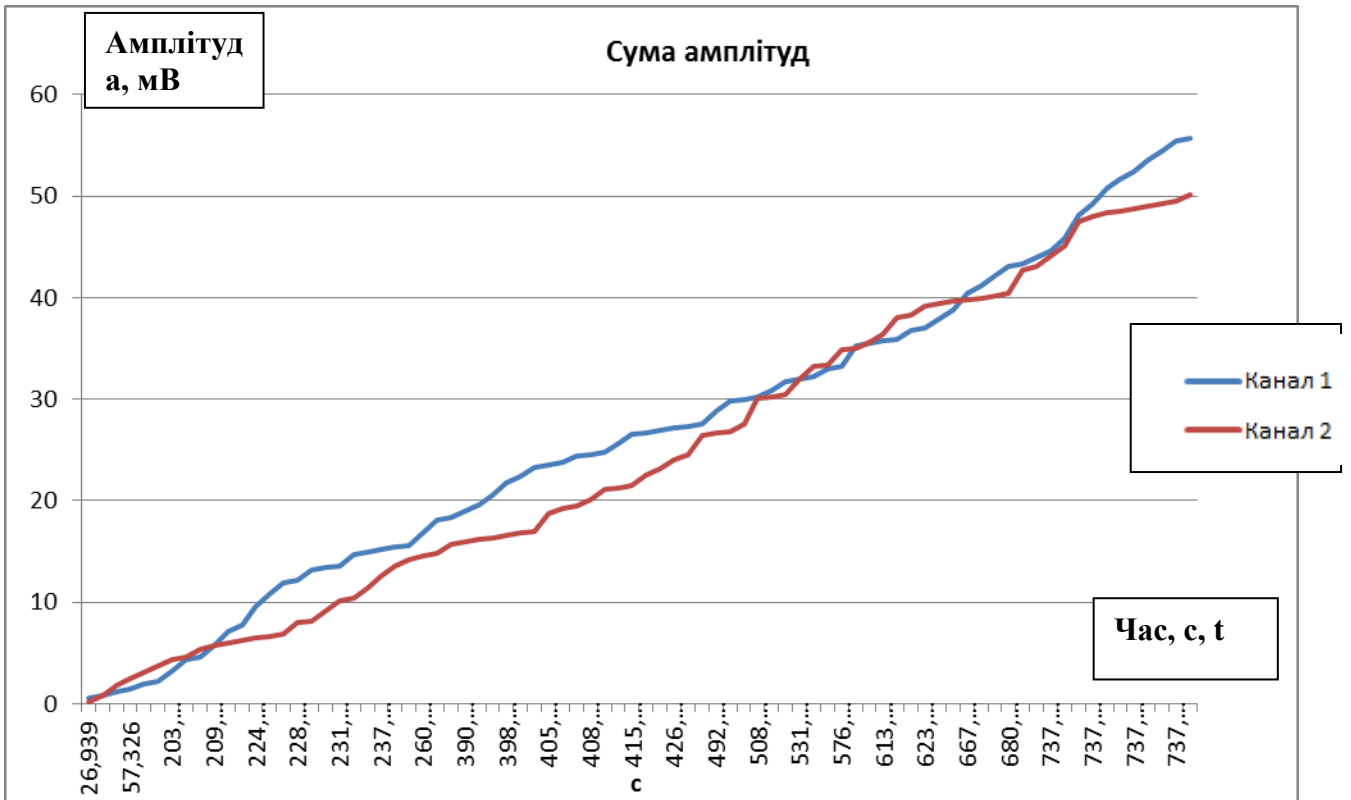


Рис. Д.В.6 – Графік залежності значень сум амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 125 мм з товщиною стінки 2,5 мм

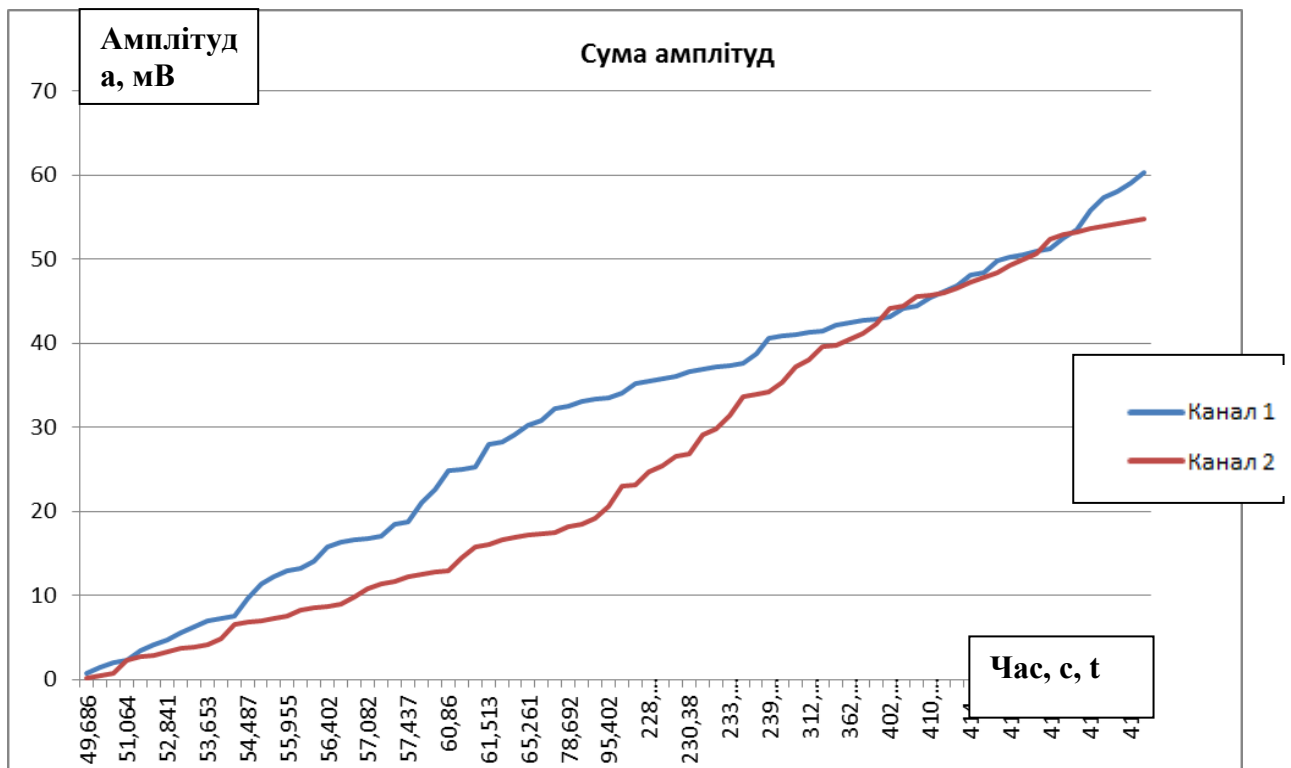


Рис. Д.В.7 – Графік залежності значень сум амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 140 мм з товщиною стінки 2,0 мм

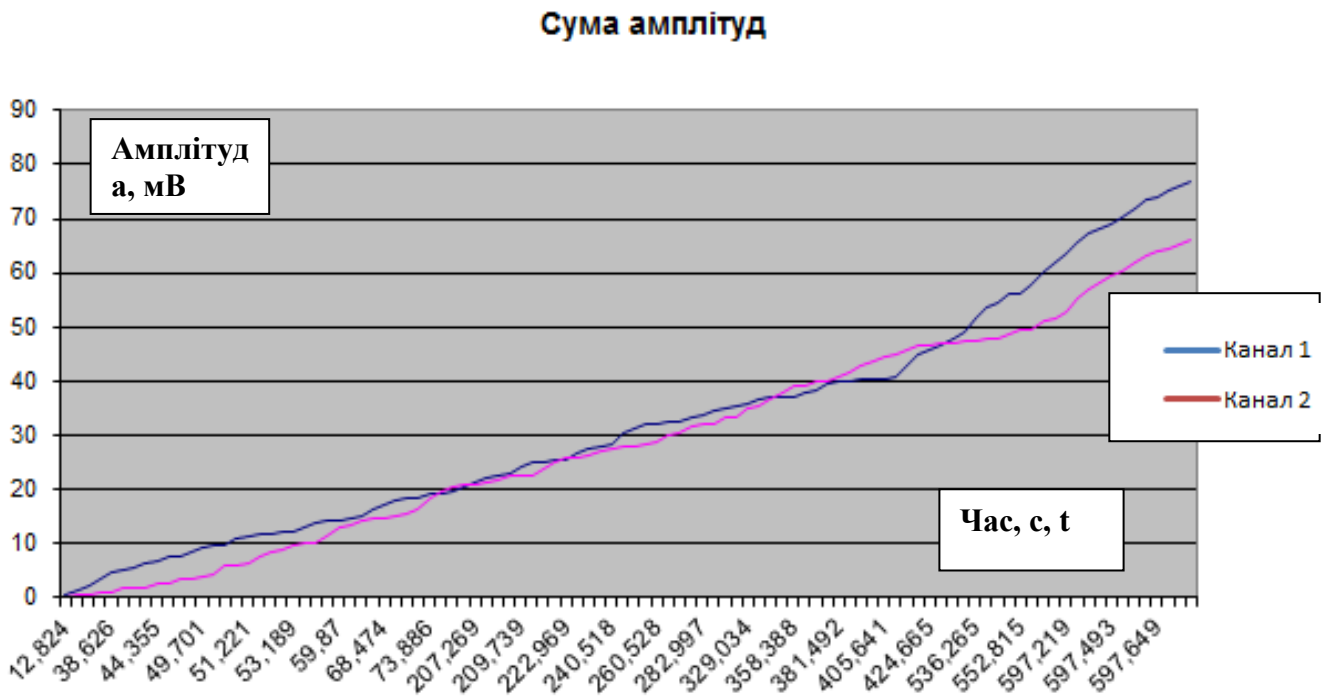


Рис. Д.В.8 – Графік залежності значень сум амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм



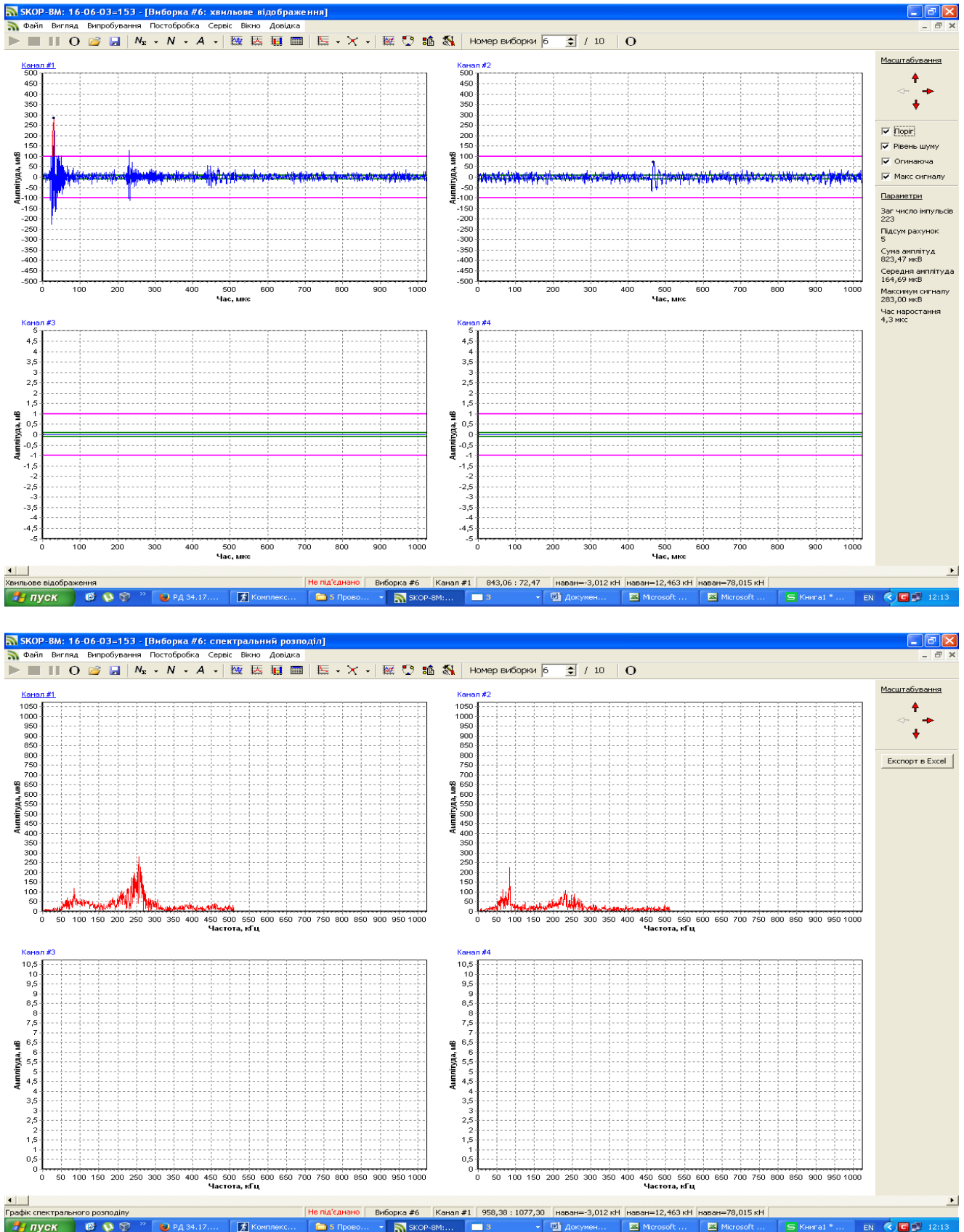


Рис. Д.В.9 – Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм в момент руйнування

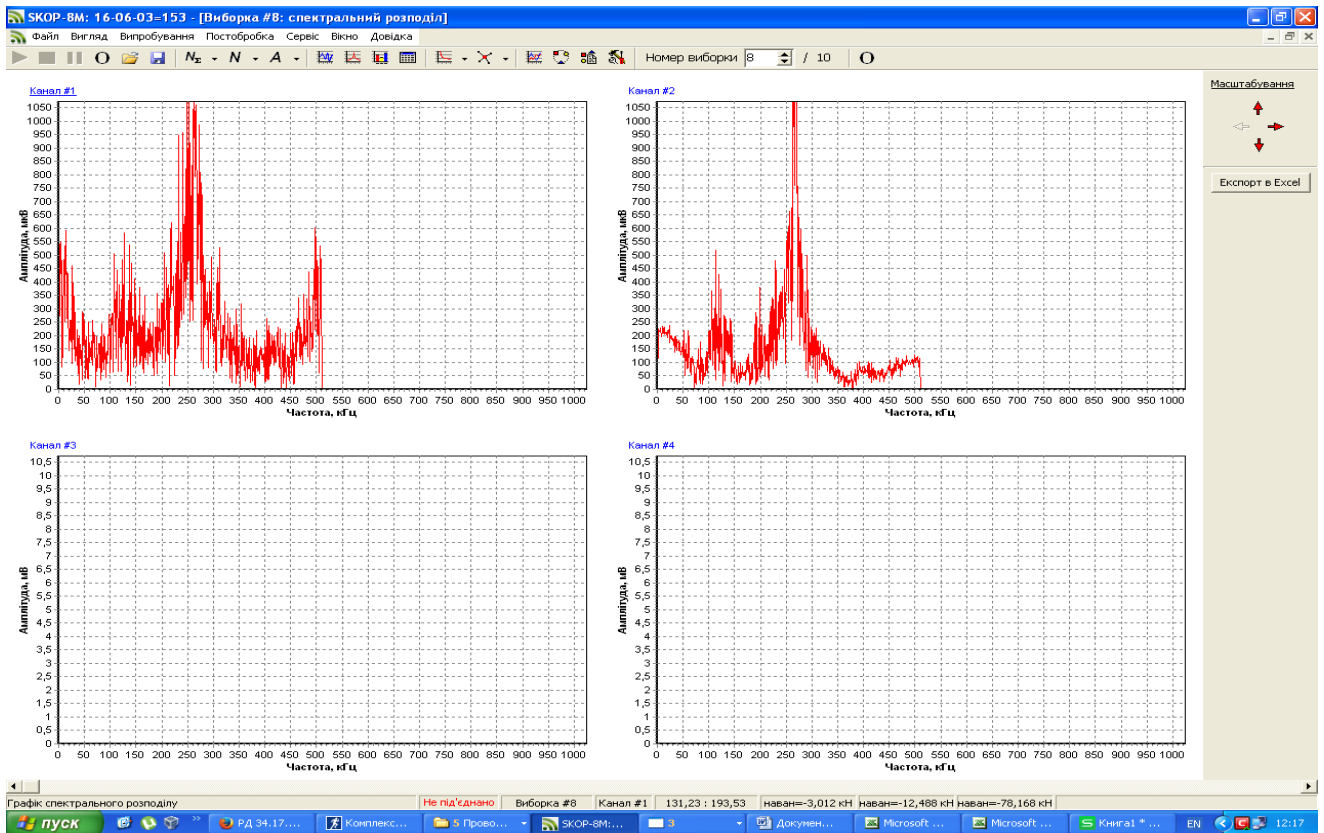
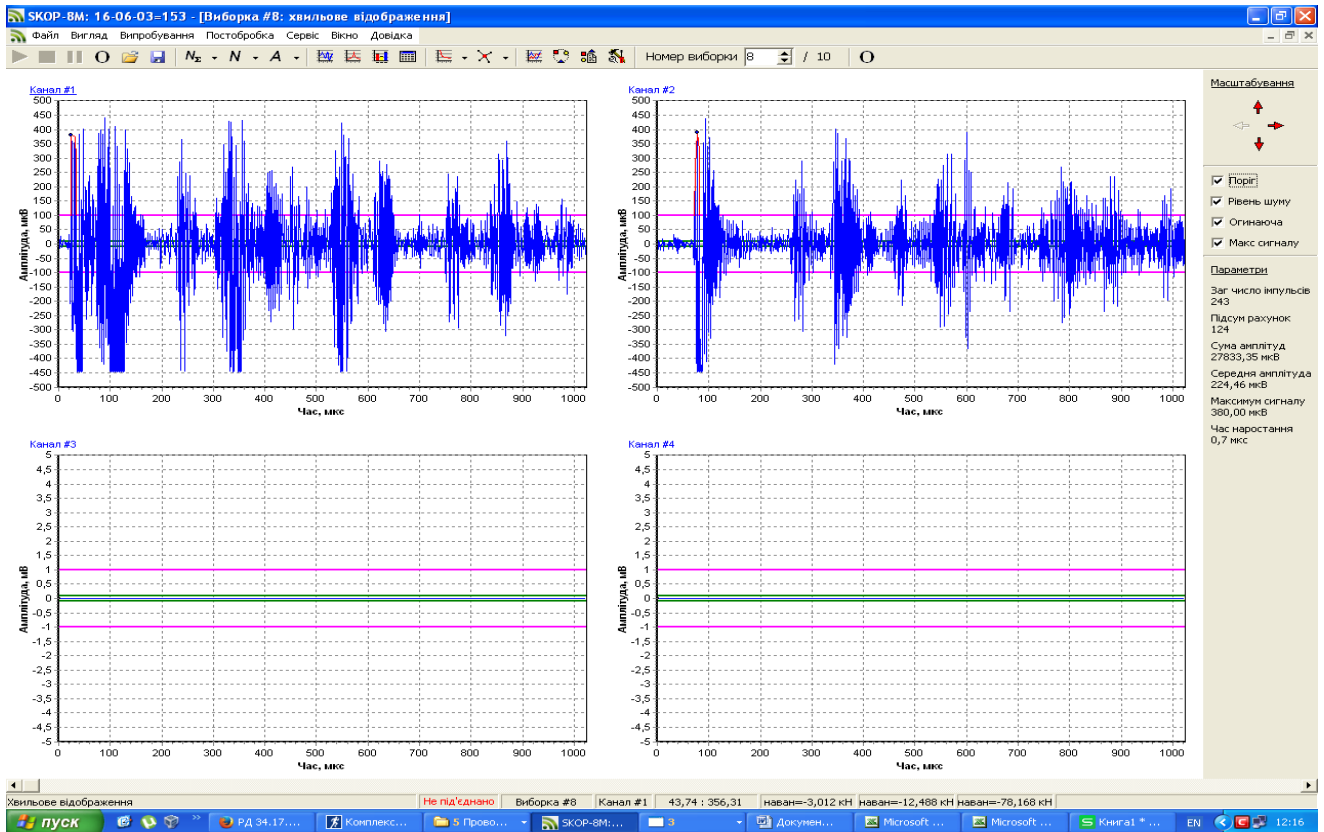


Рис. Д.В.10 – Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби з НПВХ зовнішнім діаметром 90 мм з товщиною стінки 3,5 мм в момент витікання середовища

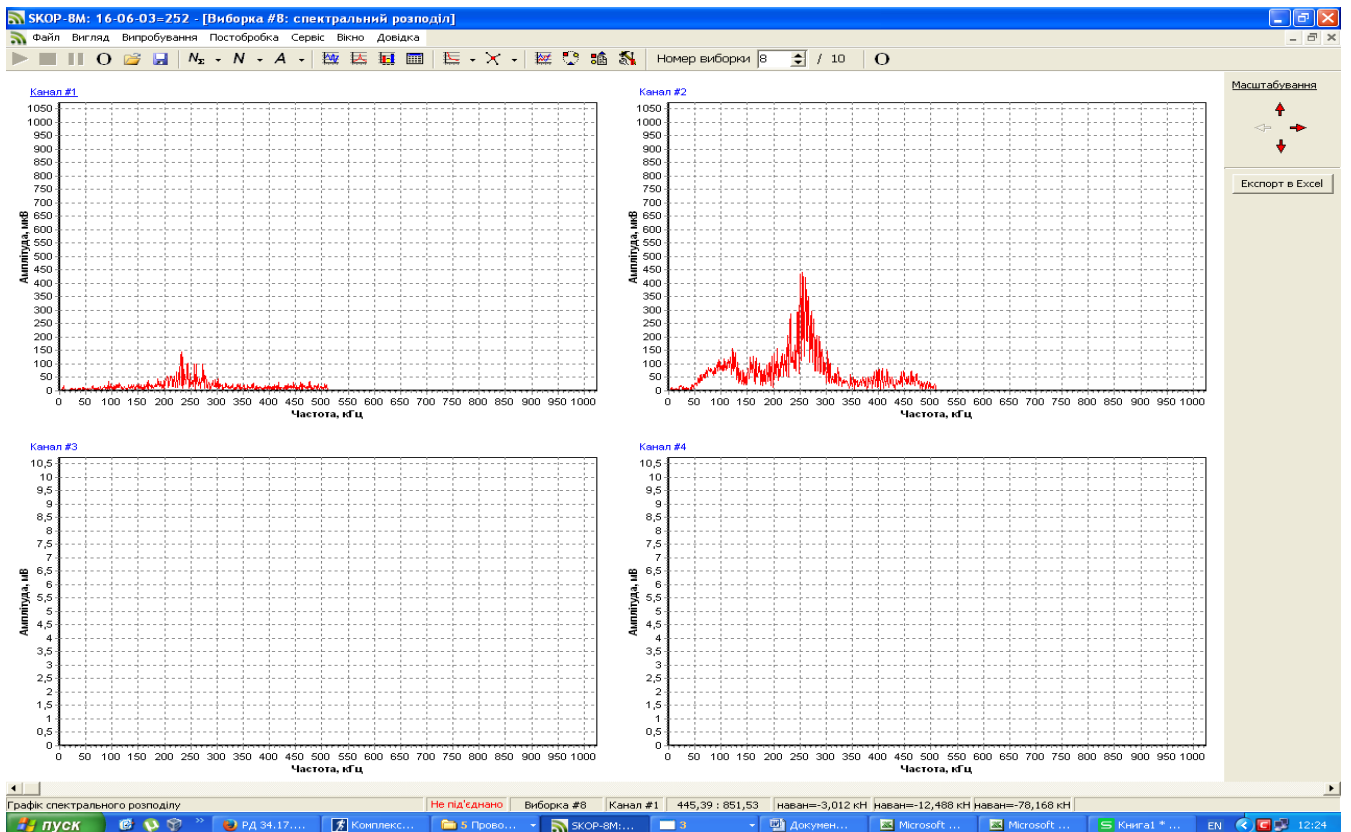
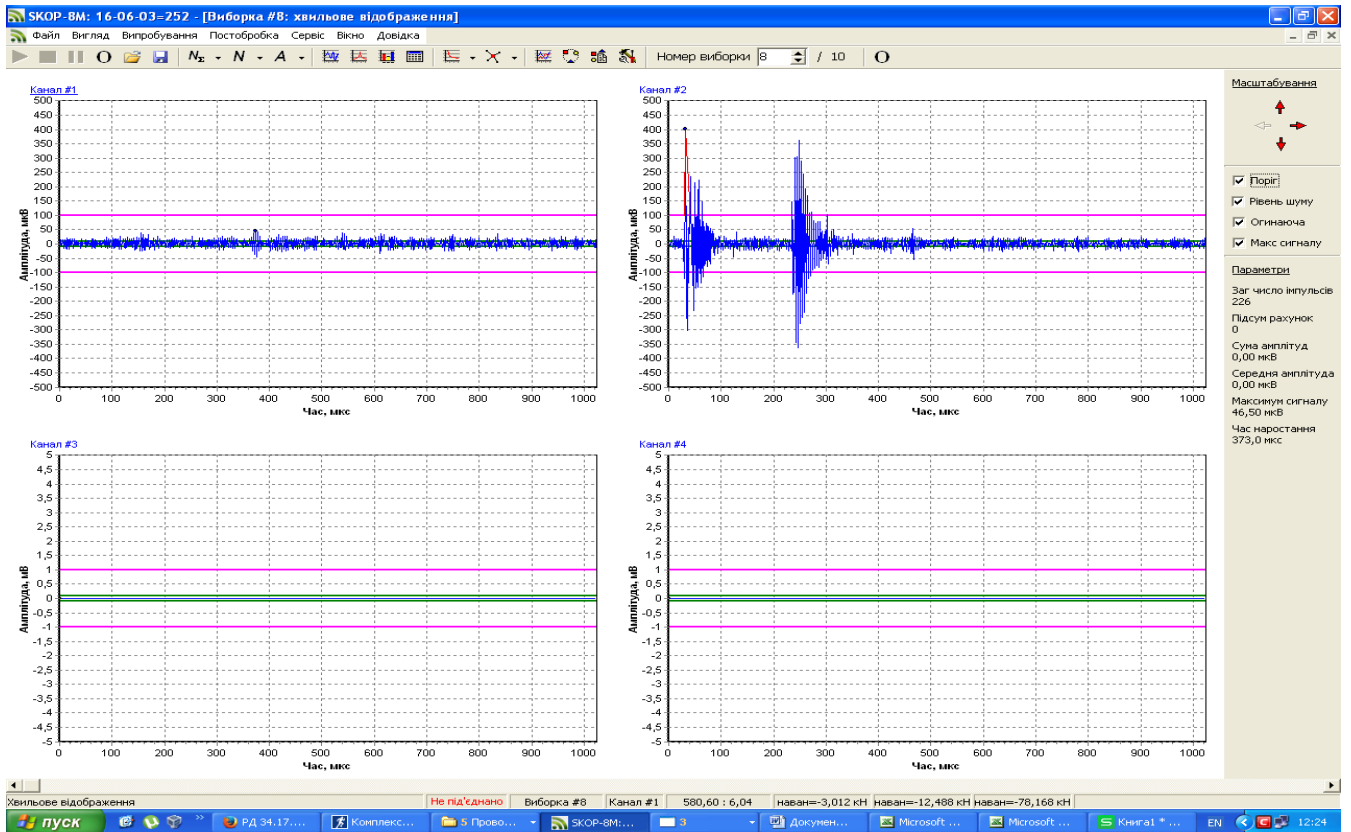


Рис. Д.В.11 –Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 125 мм з товщиною стінки 2,5 мм в момент руйнування

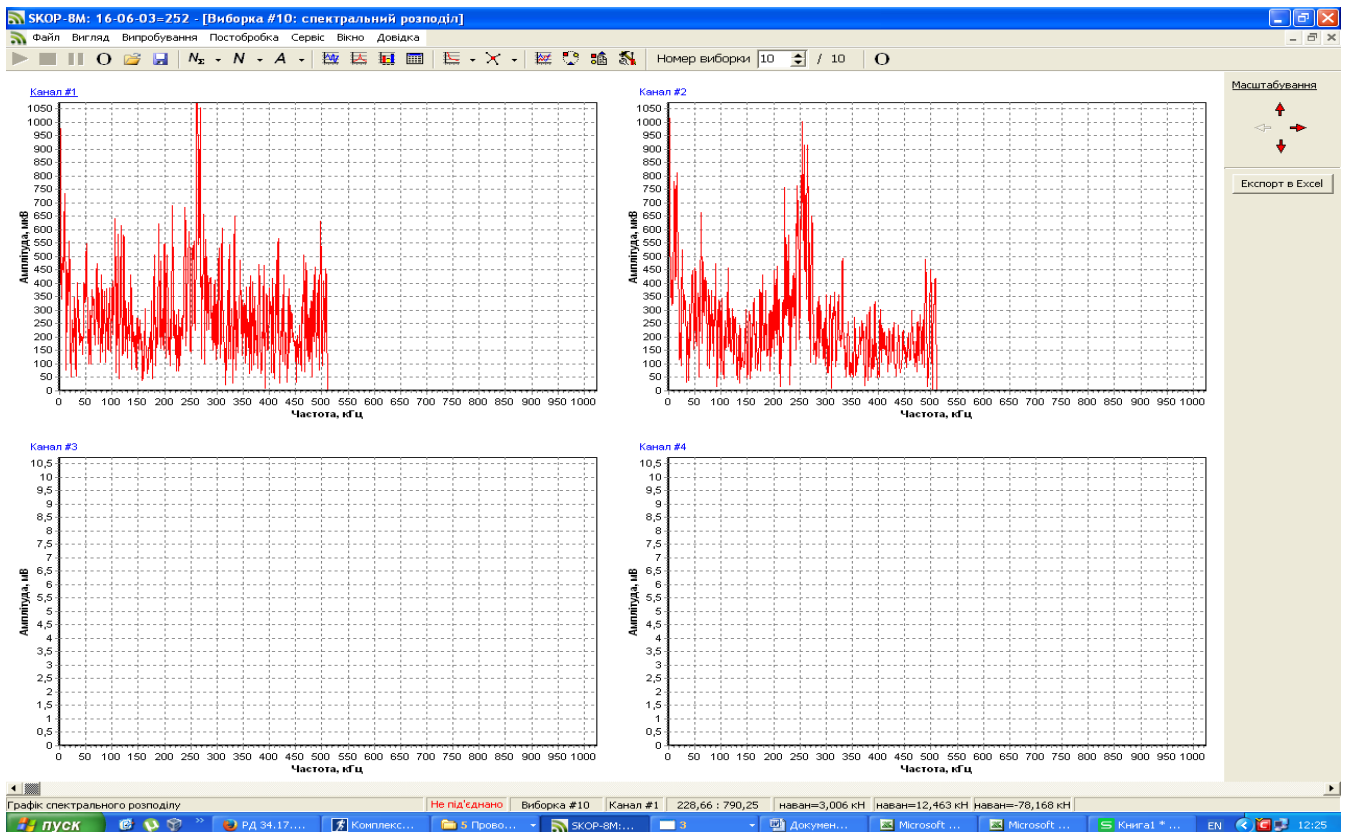
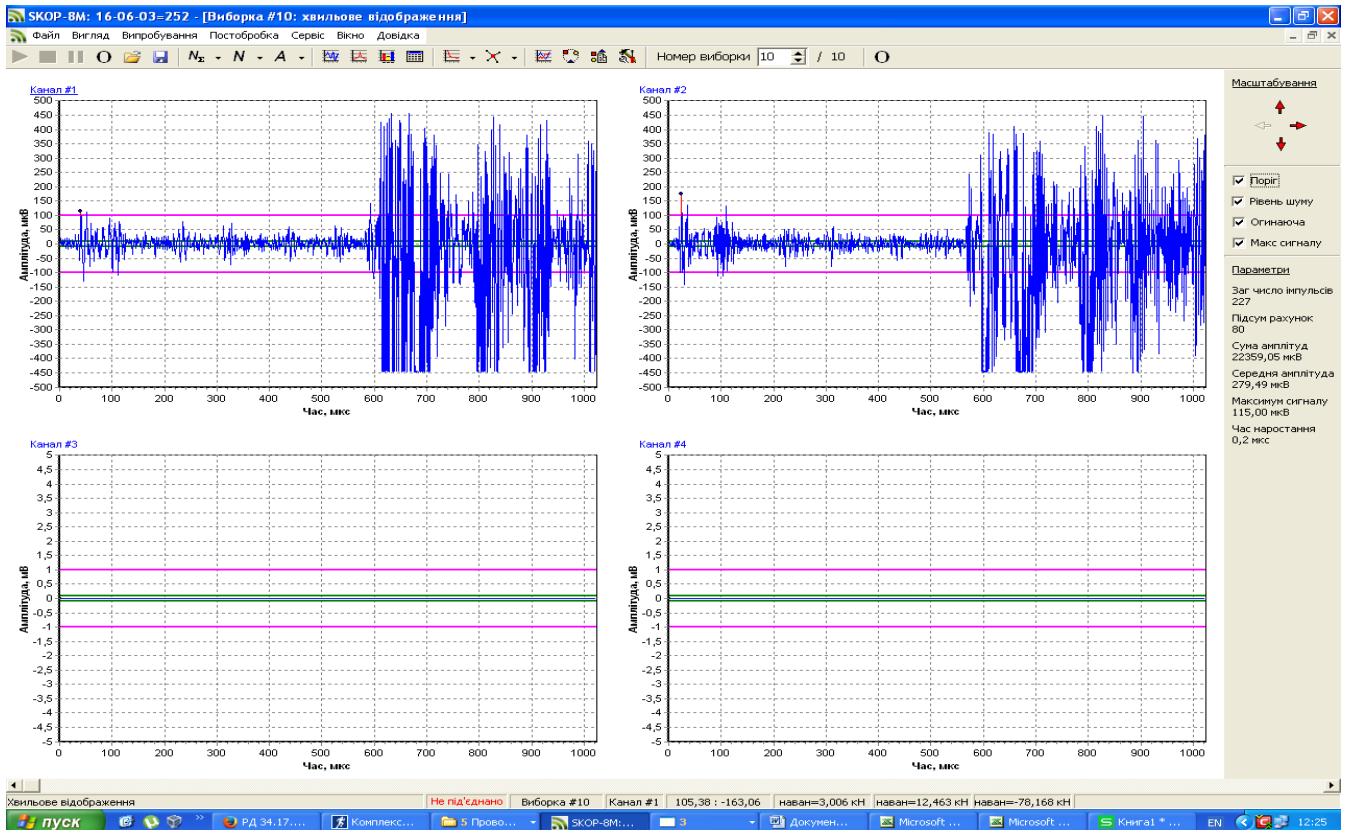


Рис. Д.В.12 –Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 125 мм з товщиною стінки 2,5 мм в момент витікання середовища

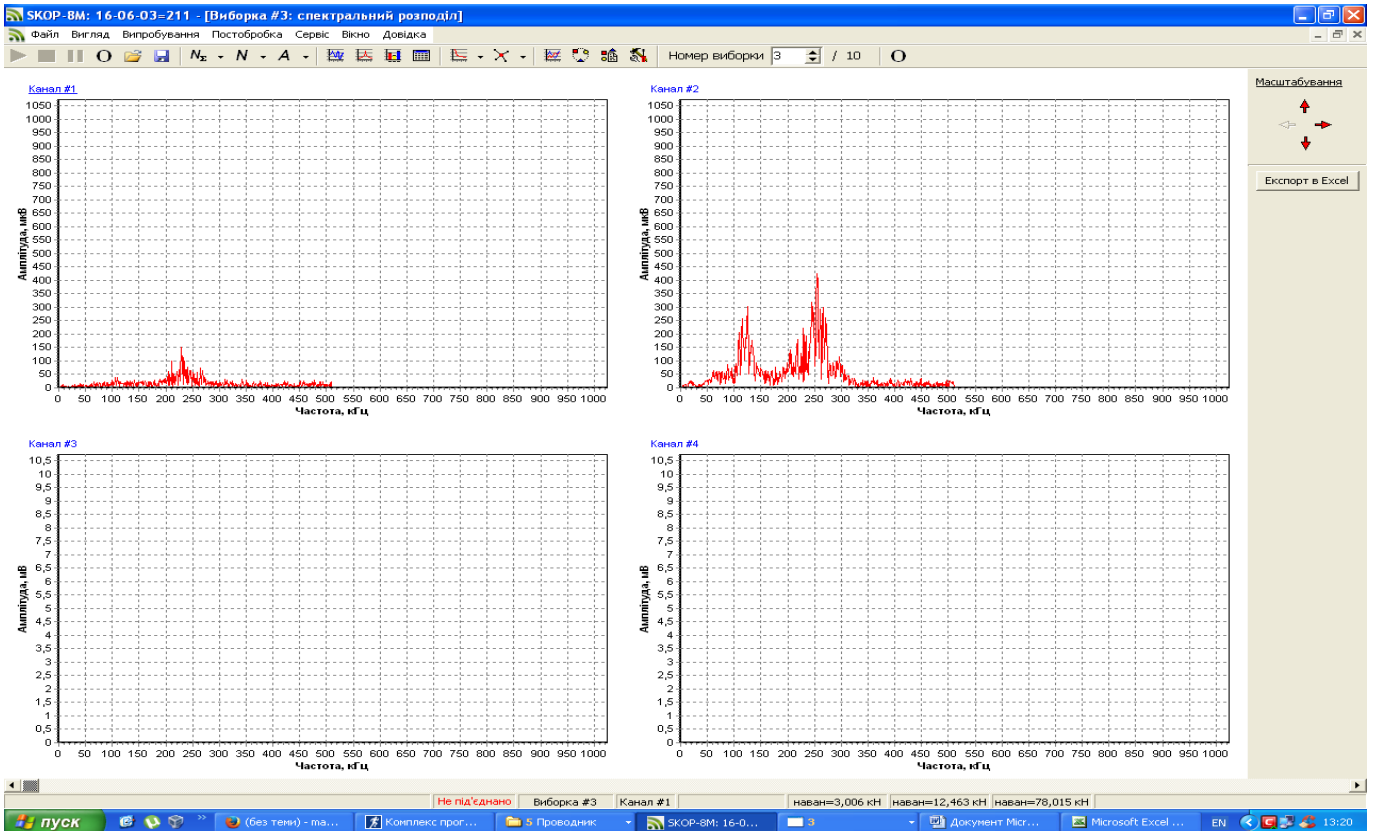
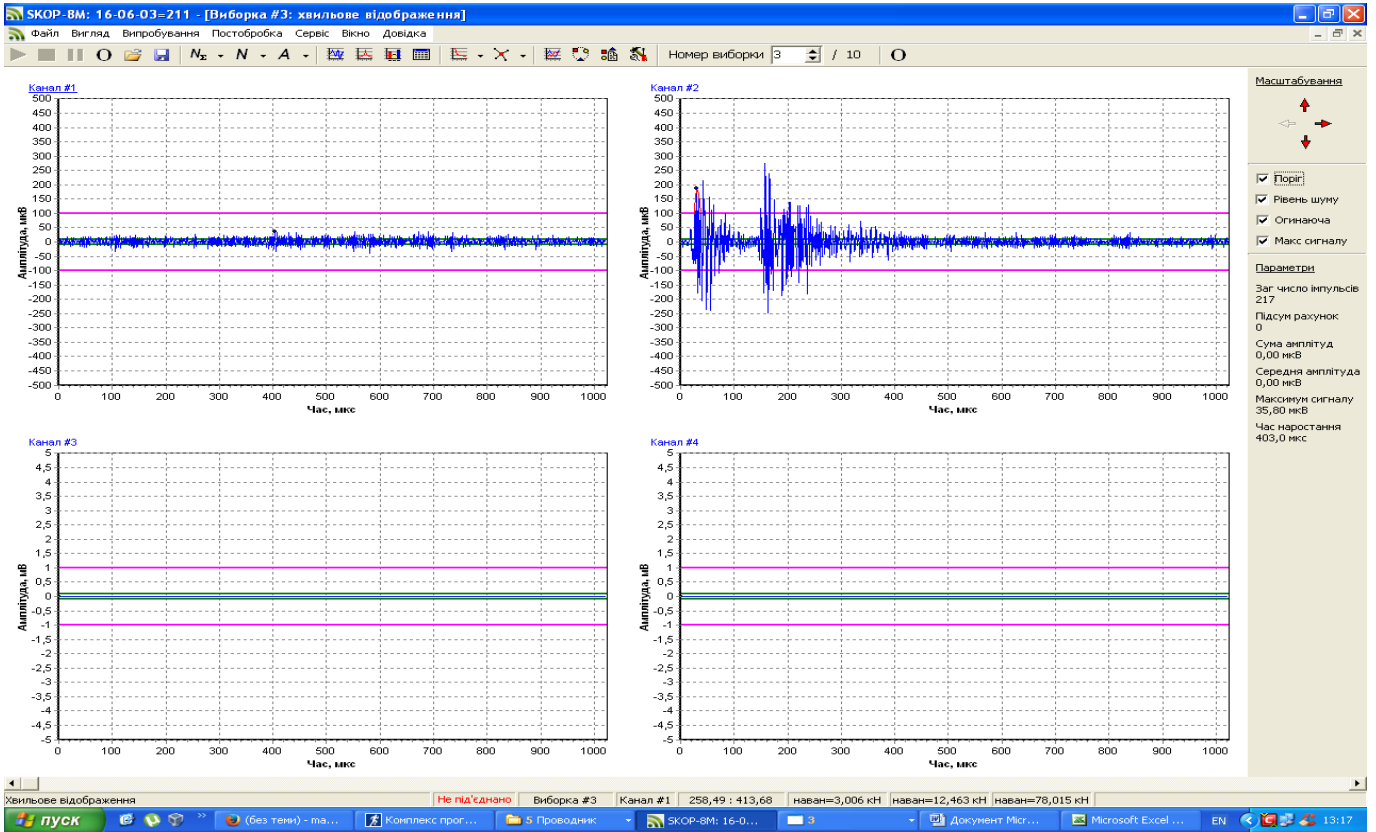


Рис. Д.В.13 –Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 140 мм з товщиною стінки 2,0 мм в момент руйнування

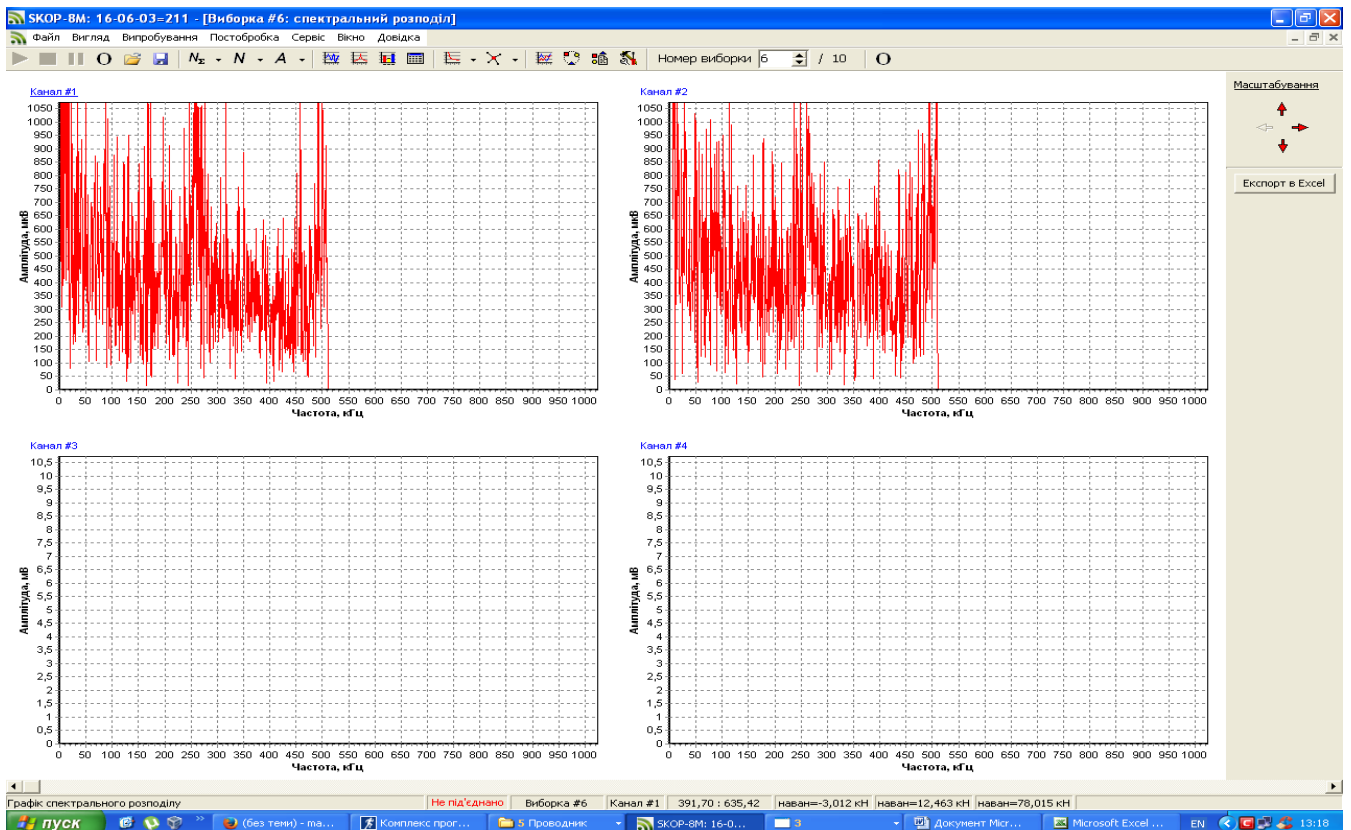
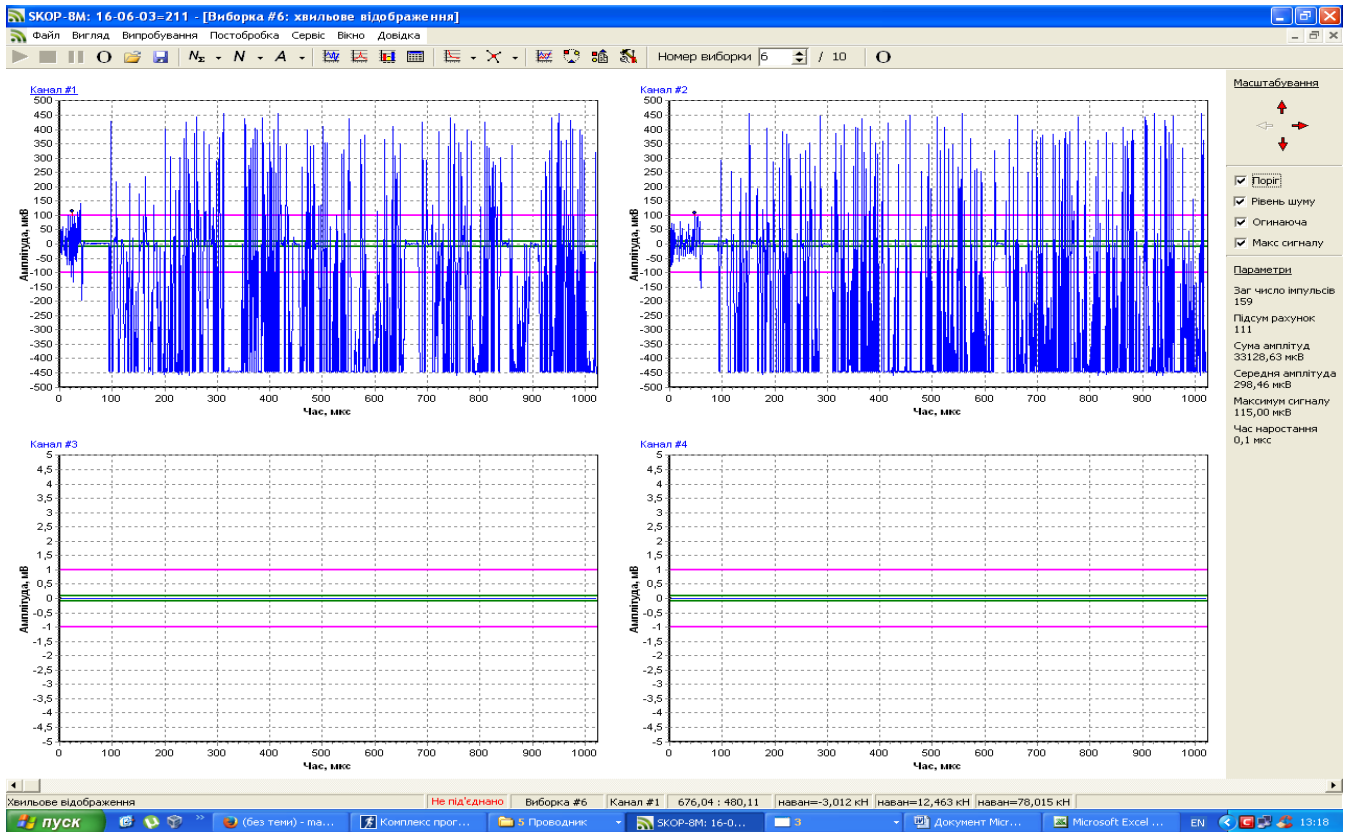


Рис. Д.В.14 –Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 140 мм з товщиною стінки 2,0 мм в момент витікання середовища

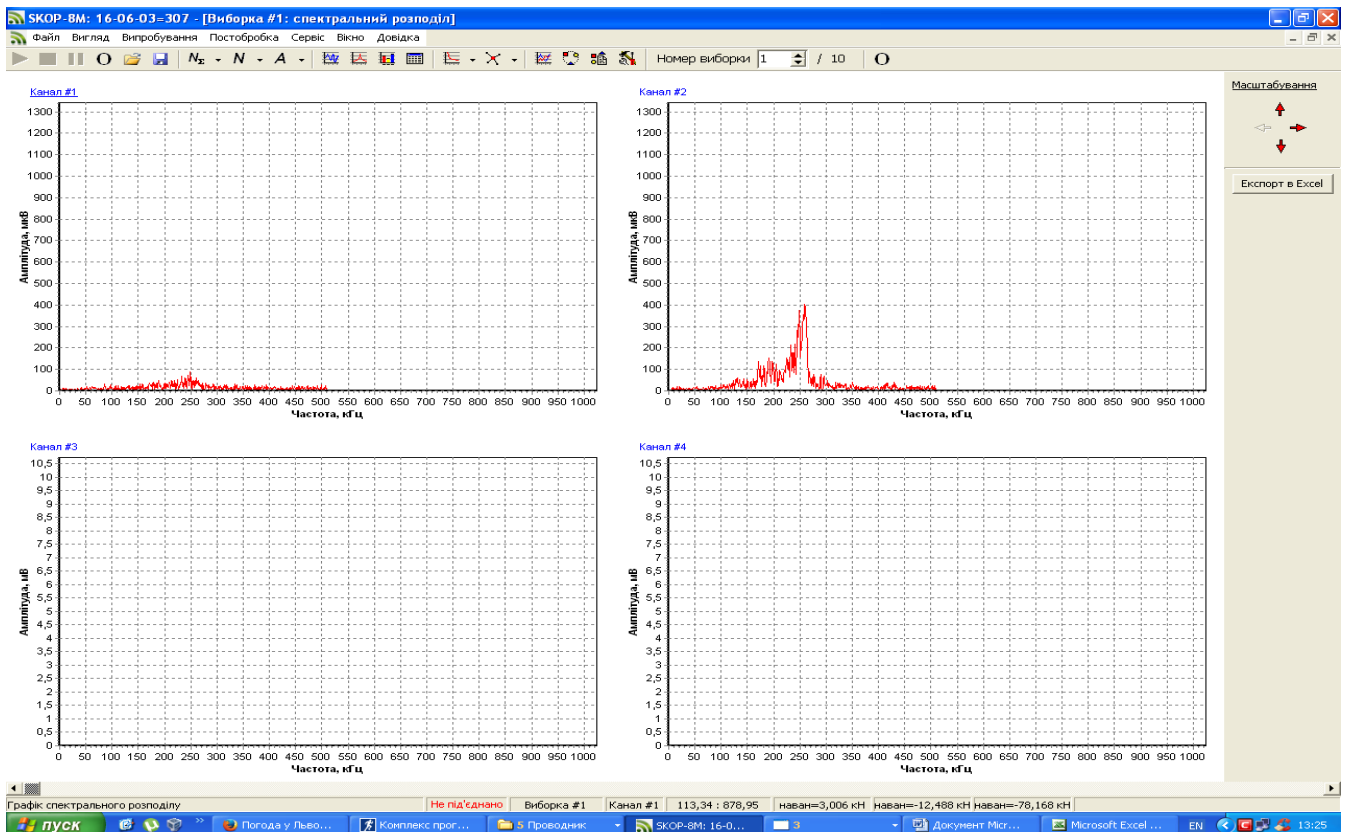
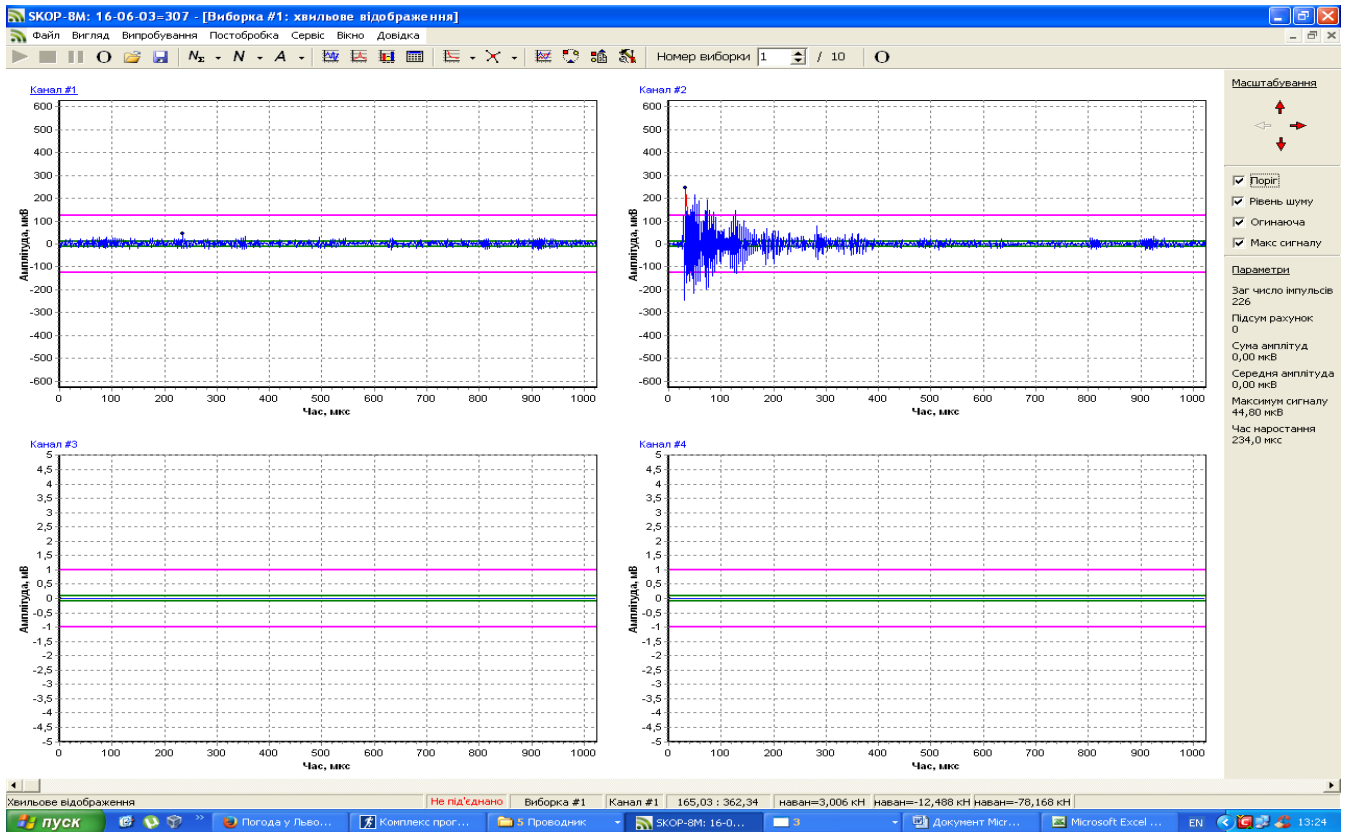


Рис. Д.В.15 –Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм в момент руйнування

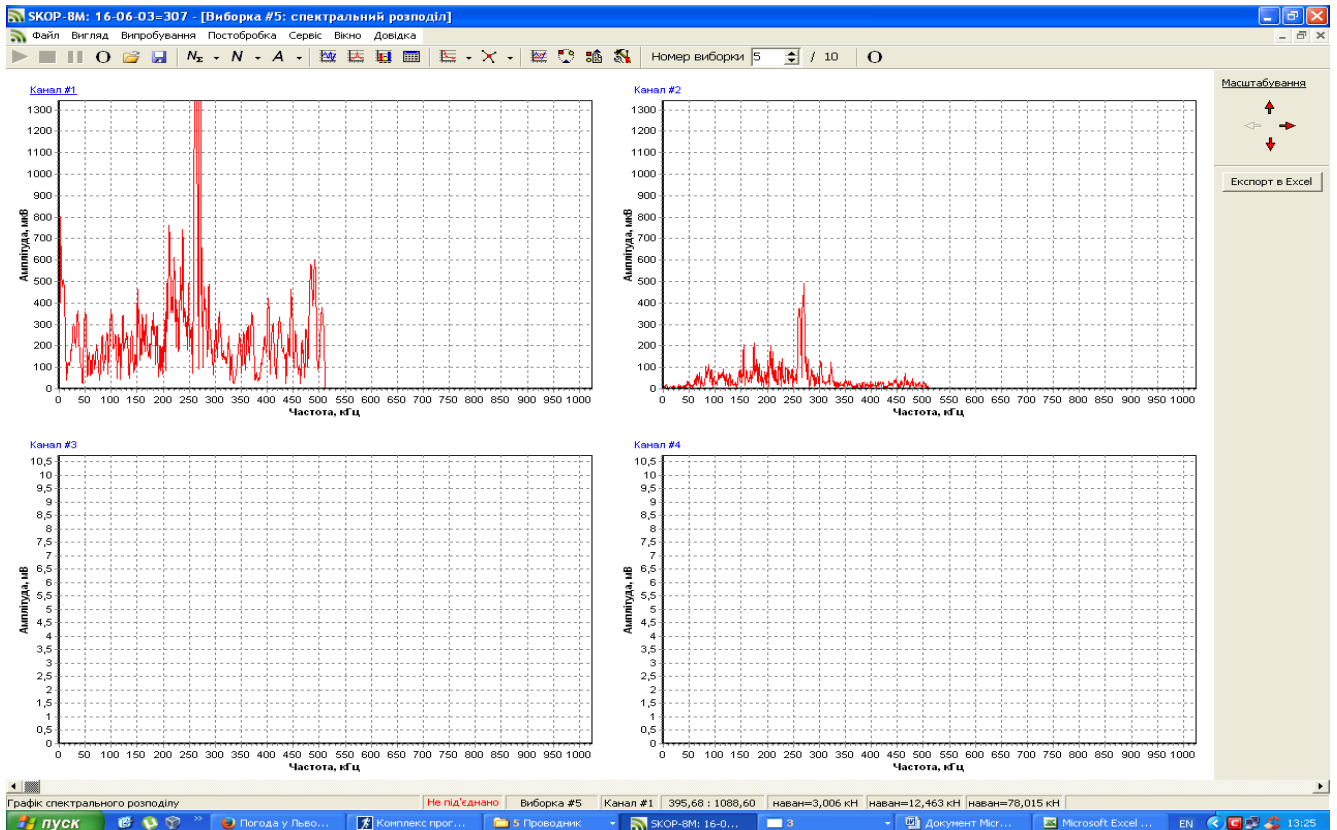
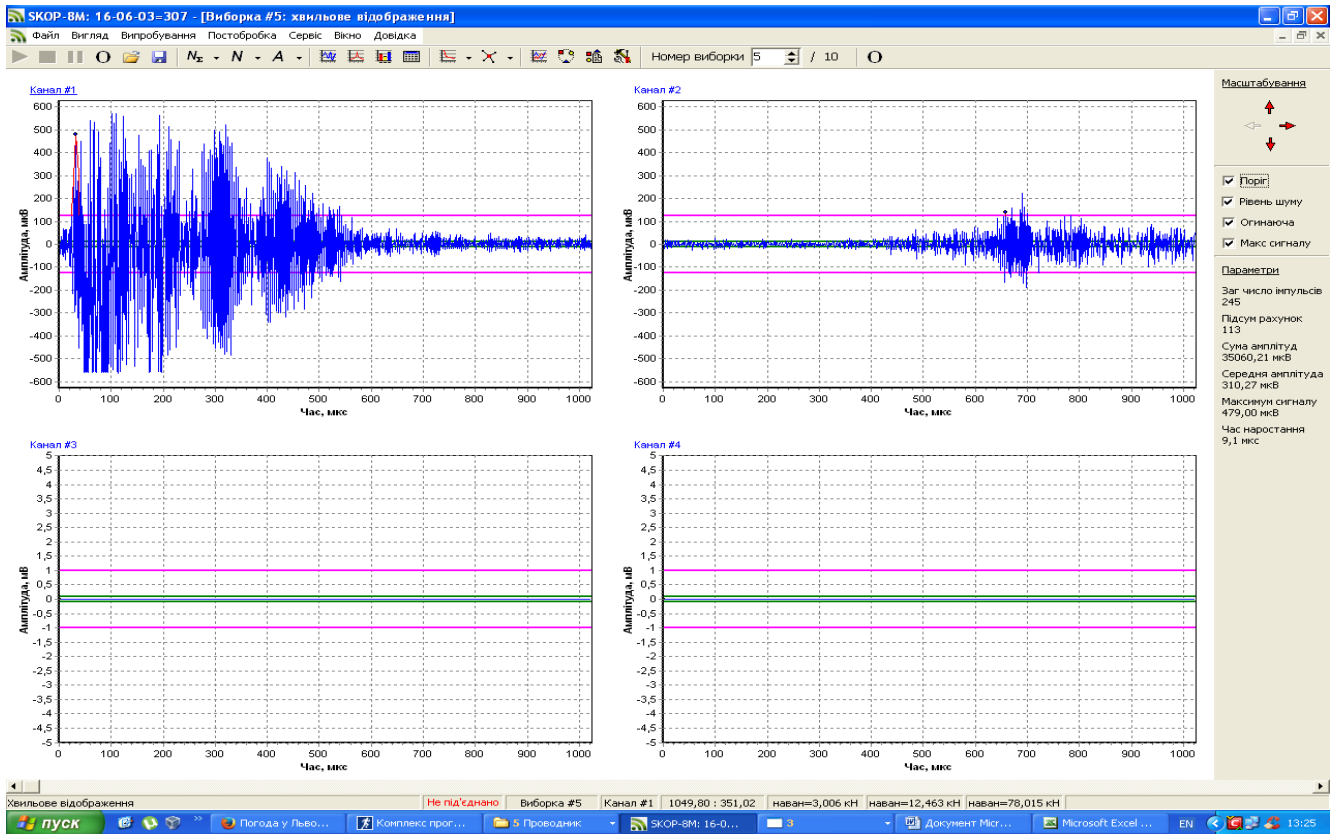


Рис. Д.В.16 –Графіки хвильового відображення і спектрального розподілу амплітуд сигналів акустичної емісії для труби ПВХ-О зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 2,9 мм в момент витікання середовища



## Додаток Г

### Документи, що підтверджують впровадження результатів роботи

 ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ <b>КАЛУШСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД</b> ЕДРПОУ 35615975 ИНН 356159712121 Св. НДС 100161809 77306, Украина, Ивано-Франковская обл., г. Калуш, ул. Промышленная, д. 7 Телефон/факс: +38 (03472) 794-99 office@katz.com.ua www.polyplastic.ru Т/Сч. п/р 26005414473 ПУАТ «Райффайзен банк Аваль» МФО 380805	ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ <b>КАЛУШСЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД</b> ЕДРПОУ 35615975 ІПН 356159712121 Св.ПДН 100161809 77306, Україна, Івано-Франківська обл., м. Калуш, вул. Промислова, буд. 7 Телефон/факс: +38 (03472) 794-99 office@katz.com.ua www.polyplastic.ru П/Рах. 26005414473 ПУАТ «Райффайзен банк Аваль» МФО 380805
--	--

## НАКАЗ

21.03.2014

м.Калуш

№ 21-1/03

*Про план розвитку  
випуску труб з ПВХ*

З метою збільшення ефективності роботи виробництва труб з полівінілхлориду, покращення економічних показників підприємства в цілому,

### НАКАЗУЮ:

1. Затвердити «План розвитку випуску труб з ПВХ на 2015-2017 рр на ТОВ «Калуський трубний завод».
2. Контроль за виконанням вищевказаного плану покласти на головного технолога Копалівського І.В.
3. Відповідальним керівникам структурних підрозділів надати необхідну інформацію головному технологу Копалівському І.В. для розрахунку і планування затрат на впровадження вищевказаного плану.
4. З даним наказом ознайомити відповідальних осіб.

Гол. інженер ТОВ «КатЗ»



Бабяк І.І.

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

**КАЛУШСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД**

ЄДРПОУ 35615975 ІНН 356159712121 Св. НДС 100161809  
77306, Україна, Івано-Франківська обл., г. Калуш, ул. Промышленная, д. 7  
Телефон/факс: +38 (03472) 794-99  
office@katz.com.ua www.polyplastic.ru  
Т/Сч. п/р 26005414473 ПУАТ «Райффайзен Банк Аваль» МФО 380805

**КАЛУШСЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД**

ЄДРПОУ 35615975 ІПН 356159712121 Св.ПДН 100161809  
77306, Україна, Івано-Франківська обл., м. Калуш, вул. Промислова, буд. 7  
Телефон/факс: +38 (03472) 794-99  
office@katz.com.ua www.polyplastic.ru  
П/Рах. 26005414473 ПУАТ «Райффайзен Банк Аваль» МФО 380805

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
Гол.інженер ТОВ «КатЗ»  
Бабяк І.І.



20 березня 2014 р.

**ПЛАН  
РОЗВИТКУ ВИПУСКУ ТРУБ З ПВХ  
НА 2015-2017 рр.  
НА ТОВ «КАЛУШСЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД»**

№	Найменування заходу	Термін освоєння	Примітка
1	Випуск обсадних труб для артезіанських свердловин, згідно DIN 4925-2, в діапазоні д-рів 125 мм і 140 мм	Квітень 2015 р.	
2	Випуск каналізаційних труб з вспіненим шаром, згідно ДСТУ Б. В.2.5.-32:2007	Березень 2015р.	
3	Експериментальний випуск ПВХ-О труб в діапазоні д-рів 125-200 мм	Травень 2015р.	
4	Розробка ТУ, регламента на ПВХ-О труби в діапазоні д-рів 125-200 мм	Серпень 2015 р.	
5	Промисловий випуск ПВХ-О труб	Вересень 2015 р.	
6	Експериментальний випуск вентиляційних труб з ПВХ в діапазоні д-рів 100-200 мм	Березень 2016р.	
7	Розробка ТУ на вентиляційні труби з ПВХ в діапазоні д-рів 100-200 мм	Травень 2016 р.	

	Промисловий випуск вентиляційних труб з ПВХ в діапазоні д-рів 100-200 мм	2016 р.	
9	Експериментальний випуск гофрованих труб з ПВХ в діапазоні д-рів 20-40 мм для електротехнічних потреб	Березень 2017р.	
10	Розробка ТУ на гофровані труби з ПВХ в діапазоні д-рів 20-40 мм для електротехнічних потреб	Травень 2017 р.	
11	Промисловий випуск гофрованих труб з ПВХ в діапазоні д-рів 20-40 мм для електротехнічних потреб	Липень 2017 р.	

**РОЗРОБИВ:**

**Гол.технолог**



**Копалівський І.В.**

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

**КАЛУШСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД**

ЕДРПОУ 35615975 ИНН 356159712121 Св. НДС 100161809  
77306, Украина, Ивано-Франковская обл., г. Калуш, ул. Промышленная, д. 7  
Телефон/факс: +38 (03472) 794-99  
office@katz.com.ua www.polyplastic.ru  
Т/Сч. п/р 26005414473 ПуАТ «Райффайзен банк Аваль» МФО 380805

**КАЛУШСЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД**

ЕДРПОУ 35615975 ІПН 356159712121 Св.ПДН 100161809  
77306, Україна, Івано-Франківська обл., м. Калуш, вул. Промислова, буд. 7  
Телефон/факс: +38 (03472) 794-99  
office@katz.com.ua www.polyplastic.ru  
П/Рах. 26005414473 ПуАТ «Райффайзен банк Аваль» МФО 380805

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Гол.інженер ТОВ «КатЗ»

Бабійчук Л.Г.  
30 січня 2015 р.

**АКТ**

30.01.2015

м.Калуш

№ 9

**Комісія в складі:**

Голова комісії:

Копалівський І.В.-головний технолог;

Члени комісії:

Шараневич М.С.-головний механік;

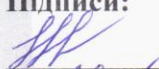
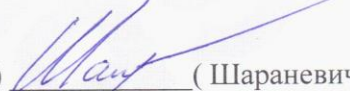
Бабійчук Л.Г.-начальник виробництва труб з ПВХ;

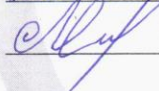
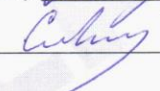
Смакула Л.Ю.-начальник ВТК,

засвідчила про відповідність створеної установки отримання ПВХ-О труб для початку виробництва ПВХ-О труб в діапазоні 125-200 мм і дозволяє її безпечно експлуатацію.

Комісія рекомендує матеріально-відповідальній особі начальнику складського господарства Сметанському Т.І., використати даний акт при підготовці документів по введенні в експлуатацію основного засобу «Установка отримання ПВХ-О труб».

**Підписи:**

 (Копалівський І.В.)  (Шараневич М.С.)

 (Бабійчук Л.Г.)  (Смакула Л.Ю.)

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

**КАЛУШСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД**

ЄДРПОУ 35615975 ІНН 356159712121 Св. НДС 100161809  
77306, Україна, Івано-Франківська обл., г. Калуш, ул. Промышленная, д. 7  
Телефон/факс: +38 (03472) 794-99  
office@katz.com.ua www.polyplastic.ru  
Т/Сч. п/р 26005414473 ПуАТ «Райффайзен Банк Аваль» МФО 380805

**КАЛУШСЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД**

ЄДРПОУ 35615975 ІПН 356159712121 Св.ПДН 100161809  
77306, Україна, Івано-Франківська обл., м. Калуш, вул. Промислова, буд. 7  
Телефон/факс: +38 (03472) 794-99  
office@katz.com.ua www.polyplastic.ru  
П/Рах. 26005414473 ПуАТ «Райффайзен банк Аваль» МФО 380805

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
Гол.інженер ТОВ «КатЗ»  
**Бабяк І.І.**  
30 січня 2015 р.



**АКТ**

**21.03.2015**

**м.Калуш**

**№ 5**

**Комісія в складі:**

Голова комісії:

Копалівський І.В.-головний технолог;

Члени комісії:

Шараневич М.С.-головний механік;

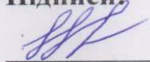
Бабійчук Л.Г.-начальник виробництва труб з ПВХ;

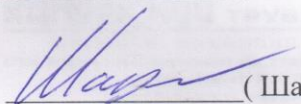
Смакула Л.Ю.-начальник ВТК,


засвідчила про отримання труби з ПВХ-О на «Установці отримання труб з ПВХ-О» 160\*1,9 мм з труби НПВХ 110\*2,7 мм. При цьому були отриманні наступні результати лабораторних випробовувань:


Назва показника	Значення показника, згідно ДСТУ Б.В.2.7- 147:2007	Фактичне значення	
		Труба з НПВХ 90*3,5 мм	Труба з ПВХ-О 110*2,9мм
1 Опір удару падаючого вантажу, кількість зруйнованих зразків (показник TIR), %, не більше	10 при $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ глибина тріщин не більше 20% товщини стінки	8	4
2 Відносне подовження труб при розриві, %, не менше	25	32	19
3 Межа текучості при розтягу, МПа, не менше	44,1	45	79
4 Зміна довжини труб після прогрівання при температурі $(150 \pm 2) ^\circ\text{C}$ протягом не менше 15хв, %, не більше	5	5	3,5
5 Температура розм'якшення за Віка, $^\circ\text{C}$ , не менше	80	81	85
6 Стійкість до дії дихлоретану при температурі $(15 \pm 1) ^\circ\text{C}$ протягом не менше 30хв	Без змін зовнішнього вигляду зразків, глибина тріщин не більше 20% товщини стінки	Витримує	Витримує
7. Стійкість при постійному внутрішньому тиску при $20^\circ\text{C}$ -1год.	Напруження в стінці труби, 42 МПа	Витримує	Витримує
8. Стійкість при постійному внутрішньому тиску при $20^\circ\text{C}$ -100год.	Напруження в стінці труби, 35 МПа	Витримує	Витримує
9. Вага труби, кг/м	1,44	1,445	1,445 (при нормі 3,034)
10. Вартість труби, грн./м. з ПДВ		65	80 (при нормі 135)
11. Економічний ефект на 1 тн сировини, грн., з ПДВ			37640

Підписи:

 (Копалівський І.В.)

 (Шараневич М.С.)

 (Бабійчук Л.Г.)

 (Смакула Л.Ю.)

Технологічний регламент виробництва ПВХ-О труб для холодного водопостачання

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

**КАЛУШСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД**

**КАЛУШСЬКИЙ ТРУБНИЙ ЗАВОД**

Виробництво профілю та труб з ПВХ

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ

№ ТР 35615975.004:2015

ВИРОБНИЦТВА ПВХ-О ТРУБ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ



РОЗРОБИВ:

Директор ТОВ «КатЗ»  
Найда А.М.

2015 р.

Чинний до 2018 р.

м.Калуш



## Додаток Д

### Розрахунок похибок вимірювання фізичних величин

Визначення похибки середнього результату вимірювань фізичних величин визначають за методикою, наведеною в праці [137].

Дослідно-інструментальну помилку середнього результату вимірювань фізичної величини  $\bar{x}$  визначається за залежністю

$$\sigma_{\text{дш}}(\bar{x}) = \sqrt{\sigma_{\text{пвп}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2}, \quad (\text{Д.1})$$

де  $\sigma_{\text{пвп}}$ ,  $\sigma_{\text{пр}}$ ,  $\sigma_{\text{окр}}$  – похибки первинного вимірювального перетворювача, приладу та округлення, де:

$$\sigma_{\text{пвп}} = \frac{\Delta_{\text{дшп}}}{3}, \quad (\text{Д.2})$$

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left( \frac{\gamma_0}{100} D_{\text{вим}} \right), \quad (\text{Д.3})$$

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}}. \quad (\text{Д.4})$$

де  $\Delta_{\text{дшп}}$  – довідникова похибка приладу;  $\gamma_0$  – клас точності приладу;  $D_{\text{вим}}$  – діапазон вимірювання приладу;  $C$  – ціна поділки шкали (ступінь дискретизації цифрового відліку) приладу.

Випадкова помилка середнього результату становить

$$\theta(\bar{x}) = \xi \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}. \quad (\text{Д.5})$$

де  $x_i$  –  $i$ -й результат вимірювання;  $\xi$  – коефіцієнт Стюдента, який залежить від довірчої імовірності  $P_d$  і кількості вимірювань  $n$ .

Повна похибка прямого вимірювання фізичної величини обчислюється за формулою

$$\sigma(\bar{x}) = \sqrt{\sigma_{\text{дін}}^2(\bar{x}) + \theta^2(\bar{x})}, \quad (\text{Д.6})$$

а значення фізичної величини для довірчої імовірності 0,6826 становитиме

$$x = \bar{x} \pm \sigma(\bar{x}). \quad (\text{Д.7})$$

Дослідно-інструментальна помилка середнього результату вимірювань фізичної величини  $\bar{x}$  визначається за формулою

$$\sigma_{\text{дін}}(\bar{x}) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{\text{дін}}^2(x_1) + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{\text{дін}}^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_k}\right)^2 \sigma_{\text{дін}}^2(x_k)}, \quad (\text{Д.8})$$

де  $x = F(x_1, x_2, \dots, x_k)$  – залежність шуканої величини  $x$  від величин  $x_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), що вимірюють безпосередньо.

Випадкова помилка середнього результату в цьому разі становить

$$\theta(\bar{x}) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \theta^2(x_1) + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \theta^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_k}\right)^2 \theta^2(x_k)}. \quad (\text{Д.9})$$

Остаточну повну похибку непрямого вимірювання фізичної величини з урахуванням (Д.8) і (Д.9) визначають за залежністю (Д.6), а значення фізичної величини для довірчої імовірності 0,6826 – за залежністю (Д.7).

Розрахунок похибки вимірювання температури труби проводимо наступним чином для первинного вимірювального перетворювача

Похибка первинного вимірювального перетворювача терморпарі згідно з (Д.2) дорівнює

$$\sigma_{\text{пвп}} = \frac{\Delta_{\text{дпш}}}{3} = \pm \frac{0,9}{3} = \pm 0,3 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де довідникова похибка приладу терморпарі типу J (ТЖК) становить

$$\Delta_{\text{дпш}} = \pm \left( 0,0075 * \left| T_{\text{в}} \right| \right) = \pm (0,0075 * |120|) = \pm 0,9 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $T_{\text{в}}$  – контрольоване значення параметра (максимальне значення

температури труби становило 120 °С).

Похибка приладу згідно з (Д.3) дорівнює

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left( \frac{\gamma_{\circ}}{100} D_{\text{вим}} \right) = \frac{1}{3} \left( \frac{0,15}{100} \cdot 900 \right) = 0,45 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $D_{\text{вим}} = T_{\text{в}} - T_{\text{н}} = 900 - 0 = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$  (тут  $T_{\text{н}}$  і  $T_{\text{в}}$  – нижня і верхня границі вимірювання приладу).

Похибка округлення згідно з (Д.4) становить

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Значення дослідно-інструментальної помилки визначаємо згідно з (Д.1):

$$\sigma_{\text{дип}}(\bar{T}) = \sqrt{\sigma_{\text{пвп}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,45^2 + 0,03^2} = 0,54 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тепер визначимо величину випадкової помилки середнього результату вимірювання температури в стінці труби. Для визначення випадкової похибки проводили три вимірювання зазначеної температури, які в одному з дослідів становили 101,2; 100,9; 101,3 °С, відповідно.

Середнє арифметичне температури становить

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i = \frac{1}{3} (101,2 + 100,9 + 101,3) = 101,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тоді випадкова помилка середнього результату становить

$$\begin{aligned} \theta(\bar{T}) &= \xi \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{T} - T_i)^2} = \\ &= 1,3 \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} [(101,2 - 100,9)^2 + (100,9 - 101,3)^2 + (101,3 - 101,3)^2]} = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

де  $\xi=1,3$  – значення коефіцієнта Стьюдента для  $P_{\text{д}} = 0,6826$  і  $n = 3$  [138].

Повна похибка прямого вимірювання температури (див. (Д.6))

$$\sigma(\bar{T}) = \sqrt{\sigma_{\text{дип}}^2(\bar{T}) + \theta^2(\bar{T})} = \sqrt{0,54^2 + 0,05^2} = 0,74 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Значення температури в стінці труби відповідно до (Д.7) становить

$$T = \bar{T} \pm \sigma(\bar{T}) = \bar{T} \pm 0,74 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

У більшості вимірювань фізичних величин значення випадкової помилки їх середнього результату, як і у випадку, що розглянуто, менше від значення дослідно-інструментальної помилки, тому надалі для визначення повної похибки прямого вимірювання фізичних величин братимемо до уваги тільки дослідно-інструментальну помилку, тобто приймаємо, що  $\sigma(\bar{x}) = \sigma_{\text{дін}}(\bar{x})$ .