

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ІНН енергетики, автоматки  
і енергозбереження  
/Калдун В.В./  
(Підпис)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
електропостачання ім. проф. В.М.Синькова  
(Назва кафедри)  
К.т.н. доц. /АНТИПОВ С.О./  
(Підпис)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**  
НА ТЕМУ:

**Дослідження параметрів та схемних рішень охоронної системи  
периметру об'єкту критичної інфраструктури на прикладі  
трансформаторної підстанції 35/10 кВ**

**02.03. – МР.1959"С" 2023.02.18 011ПЗ**  
умовне позначення роботи

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Гарант освітньої програми  
К.Т.Н., доц. Усенко С.М.  
(Науковий ступінь та вчене звання) (Підпис) (ПІБ)

Виконав /С.А. Банул/  
підпис ініціали та прізвище  
Керівник д.т.н., проф. Осипенко В.В.  
вчений ступінь, звання підпис ініціали та прізвище

НУБІП України

КИЇВ-2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ,  
АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К.т.н. доц.

(підпис)

АНУШОВ Є.О.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

слухачу магістратури **Бакул Євгену Андрійовичу**

**Спеціальність: 141 - «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**1. Тема проекту** «Дослідження параметрів та схемних рішень охоронної системи периметру об'єкту критичної інфраструктури на прикладі трансформаторної підстанції 35/10 кВ»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 27.10.2023 № 1959"С"

**2. Термін завершення роботи** 31.10.2023 р.

**3. Вихідні матеріали до виконання роботи:**

- матеріали оцестеження РТП 35/10

- технічні характеристик периметрових охоронних систем

**4. Перелік питань, що підлягають дослідженню і розрахунку:**

4.1. Дослідження розташування апаратури трансформаторної підстанції РТП-35/10 на території об'єкту.

4.2. Обґрунтування застосування сейсмічних датчиків.

4.3. Дослідження розповсюдження сейсмічних хвиль в ґрунті.

4.4. Розрахунок пристрою первинної обробки сейсмосигналу.

4.5. Розрахунок елементів периметрової сейсмічної охоронної системи.

4.6. Обґрунтування засобів забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

5. Дата видачі завдання « 28 » червня 2023 року

Науковий керівник, д.т.н., проф.

ОСИПЕНКО В.В.

Завдання прийняв до виконання

Бакул Є.А.

# НУБІП України

## АНОТАЦІЯ

В даній роботі розглянуті дослідження параметрів та схемних рішень периметрової охоронної системи трансформаторної підстанції РТП 35/10 кВ.

В результаті дослідження параметрів розповсюдження сейсмічних коливань розроблена функціональна схема периметрової охоронної системи, показано, що двоконтурна периметрова система має переваги перед одноконтурній, обґрунтований вибір комплексу сучасних технічних засобів виявлення сейсмічних сигналів сейсмодатчиків, розроблена схема пристрою для первинної обробки сейсмосигналів, розроблена електрична схема периметрової охоронної системи,

# НУБІП України

## ABSTRACT

In given robot explored location equipments to transformer substation RTP 35/10 kV and is executed calculation of the circuital decisions safe perimeter system with use seismic signals.

As a result of studies parameter spreading the seismic fluctuations, which appear under striking influence on soil, is designed scheme safe system with use two sidebars seismic sensors on 32 sensors in each sidebar, is executed basic research of the system of the finding seismic pulse, is motivated choice modern technical device for finding such signal, is designed schemes device primary processing and filtering seismic signals, is designed scheme safe system.

# НУБІП України

# НУБІП України

# ЗМІСТ

# НУБІП України

Вступ ..... 8

РОЗДІЛ 1. Аналіз методів охоронної сигналізації ..... 15

1.1. Призначення засобів електричної сигналізації ..... 15

1.2. Аналіз існуючих методів охоронної сигналізації ..... 17

1.2.1. Механізм порушення сейсмічних коливань  
людиною ..... 19

1.2.2. Математична модель сейсмічного сигналу ..... 20

1.2.3. Перешкоди в СЗВ ..... 23

1.2.4. Чутливі елементи СЗВ ..... 26

1.3. Структурні схема сейсмічної охоронної системи ..... 27

РОЗДІЛ 2. Обґрунтування вибору структурної схеми

сейсмічної периметрової охоронної системи ..... 31

2.1. Вибір типу сейсмічної периметрової охоронної системи ..... 31

2.2. Технічні вимоги до системи сигналізації ..... 34

2.3. Теоретичний розрахунок складових частин ..... 36

2.3.1. Розрахунок ймовірності вірного виявлення  
сигналу порушення ..... 37

2.3.2. Розрахунок підсилювача сигналів сейсмодачика зі  
смуговим фільтром ..... 39

2.3.3. Розрахунок пасивного фільтру нижніх частот ..... 41

2.3.4. Розрахунок схеми активного фільтру НЧ ..... 43

2.4. Розрахунок параметрів системи охорони ..... 54

2.4.1. Розрахунок споживаної потужності модуля ППО ..... 54

2.4.2. Розрахунок струму споживання транзисторів ..... 55

2.4.3. Розрахунок струму споживання модуля ППО ..... 55

РОЗДІЛ 3. Розрахунок двоконтурної охоронної системи ..... 57

3.1. Функціональна схема двоконтурної охоронної системи ..... 57

3.2. Функціональна схема пристрою первинної обробки сигналу . 59

3.3. Схема електрична принципова приладу первинної обробки . . . . . 60

3.4. Конструкція приладу первинної обробки . . . . . 61

3.5. Обґрунтування вибору процесора вторинної обробки . . . . . 62

3.6. Розробка електричної схеми охорони периметру РТП 35/10 . 65

РОЗДІЛ 4. Розрахунок собівартості розробленої системи охорони. 73

4.1. Обґрунтування застосування . . . . . 73

4.2. Розрахунок собівартості приладу ППО . . . . . 74

4.2.1. Розрахунок вартості покупних елементів . . . . . 74

4.2.2. Розрахунок заробітної плати . . . . . 76

4.3. Розрахунок економічної ефективності . . . . . 78

Висновок . . . . . 79

Висновки . . . . . 80

Література . . . . . 82

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

НУБІП України

АЛП – арифметико-логічний пристрій

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

НУБІП України

А – адреса даних

ВМ – вимірювальний механізм

ВМР – вартість молодшого розряду

НУБІП України

D - дані

ДОН – джерело опорної напруги

ЗА - загальний анод

ЗК загальний катод

НУБІП України

МК – мікроконтролер

МП – мікропроцесор

ОП – операційний підсилювач

НУБІП України

ПАЗ – перетворення амплітудного значення

ПУ – пристрій управління

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

НУБІП України

**Ключові слова:** РТП 35/10, периметр, сейсмічна охоронна система, двоконтурна сейсмічна система, визначення сеймосигналу

НУБІП України

## ВСТУП

Об'єкти критичної інфраструктури - це стратегічно важливі підприємства й установи, необхідні для функціонування суспільства країни і її економік. Їхня незапланована зупинка, виведення з ладу або повне руйнування здатні являти загрозу державній безпеці, природному середовищу, спричинити погіршення оборонної здатності, матеріальний і фінансовий збиток або навіть привести до людських жертв.

В Україні до даного виду об'єктів відносяться різної форми власності підприємства й установи, що працюють у наступних галузях: енергетична, хімічна, продовольча, транспортна, фінансова і банківська, комунальне господарство, водо-, тепло-, газопостачання, охорона здоров'я і т.п.

Порядок визнання об'єкта критичною інфраструктурою встановлений Кабінетом Міністрів України і за станом на 2023 рік регламентується Постановою № 1109. Рішення відносно такого визнання приймають секторальні органи - державні органи, відповідальні за захист об'єктів критичної інфраструктури.

Постанова № 1109 визначає перелік органів, у який входять:

- Госпечзв'язку;
- МВС;
- Мінекономіки;
- Міненерго;
- Мінінфраструктури;
- Міноборони;
- Мінцифры;
- Мінфін;
- МОЗ;
- Національний банк;
- СБУ.

Усі вони відповідальні за окремі сектори, підсектори основних послуг об'єктів критичної інфраструктури держави, типи яких зазначені в переліку.

Категорії критичності об'єктів КИ

Постанова № 1109 розділяє дані підприємства й установи на чотири категорії критичності

I - об'єкти, що мають високу важливість для держави в цілому і здатні впливати на інші об'єкти КИ. Якщо їхня робота буде порушена, виникне кризова ситуація державного значення.

- II - об'єкти, що є життєво важливими, а припинення або порушення їхньої роботи спричинить за собою кризову ситуацію регіонального значення.

III - важливі об'єкти, порушення або припинення роботи яких спричинить за собою кризову ситуацію місцевого значення.

- IV - необхідні об'єкти, порушення або припинення роботи яких спричинить за собою кризову ситуацію локального значення.

Сучасні електронні системи охорони досить різноманітні й у цілому досить ефективні. Однак більшість з них мають загальний недолік: вони не можуть забезпечити раннє визначення вторгнення на територію об'єкта. Такі системи, як правило, орієнтовані на виявлення порушника, що вже проникнув на охоронювану територію або в будинок. Це стосується, зокрема, систем відеоспостереження, вони найчастіше за допомогою пристрою відеозапису можуть лише підтвердити факт вторгнення після того, як він уже відбувся.

Кваліфікований порушник завжди розраховує на визначене тимчасове "вікно", що проходить від моменту проникнення на об'єкт до моменту спрацьовування сигналізації. Мінімізація цього інтервалу часу є корінним чинником, що визначає ефективність будь-якої охоронної системи, і в цьому змісті привабливість периметрової охоронної сигналізації незаперечна.

Периметрова границя об'єкта є найкращим місцем для раннього визначення вторгнення, тому що порушник взаємодіє в першу чергу з фізичним периметром і створює збурювання, які можна зареєструвати спеціальними датчиками. Якщо периметр являє собою огороження у виді



металевих ґрат, то неї приходиться перерізати або переборювати зверху; якщо це стіна або бар'єр, то через них потрібно перелізти; якщо це стіна або дах будинку, те їхній потрібно зруйнувати; якщо це відкрита територія, те її потрібно перетнути.

Усі ці дії викликають фізичний контакт порушника з периметром, що надає ідеальну можливість для електронного виявлення, тому що він створює визначений рівень вібрацій, що містять специфічний звуковий "образ" вторгнення. За певних умов порушник може уникнути фізичного контакту з периметром. У цьому випадку можна використовувати "об'ємні" датчики вторгнення, звичайно граюча роль вторинної лінії захисту.

Датчик будь-який периметрової сигнальної системи реагує на появу порушника в зоні охорони або визначені дії порушника. Сигнали датчика аналізуються електронним блоком (аналізатором або процесором), що, у свою чергу, генерує сигнал тривоги при перевищенні заданого граничного рівня активності в охоронюваній зоні.

Будь-яка периметрова система охорони повинна відповідати визначеному наборові критеріїв, деякі з яких перераховані нижче:

- Можливість раннього виявлення порушника - ще до його проникнення на об'єкт
- Точне проходження контурам периметра, відсутність "мертвих" зон
- По можливості схована установка датчиків системи
- Незалежність параметрів системи від сезону (зима, літо) і погодних умов (дощ, вітер, град і т.д.)
- Несприйнятливість до зовнішніх факторів "нетривожного" характеру - промислові перешкоди, шум минаючого поруч транспорту, дрібні тварини і птахи
- Стійкість до електромагнітних перешкод - грозові розряди, джерела могутніх електромагнітних випромінювань і т.п.

Очевидно, що периметрова охоронна система повинна мати максимально високу чутливість, щоб знайти навіть досвідченого порушника.

У той же час ця система повинна забезпечувати по можливості низьку імовірність помилкових спрацьовувань. Причини помилкових тривог можуть бути різними. Система може, наприклад, зреагувати з появою в зоні охорони птахів або дрібних тварин. Сигнал тривоги може з'явитися при сильному вітрі, граді або дощі. Крім того, помилкова тривога може виникнути через "технологічні" причин: неписьменний монтаж датчиків на огорожі, неправильне настроювання електронних блоків або просто незадовільний інженерний стан самої огорожі, що може, наприклад, вібрувати при сильному вітрі.

Сьогодні ринок периметрових систем, як вітчизняних, так і імпортованих, досить широкий. Проте вибрати найбільш ефективну систему, що відповідає специфічним вимогам об'єкта, іноді буває непросто. При виборі і проектуванні системи потрібно враховувати безліч факторів - тип огорожі, топографію і рельєф місцевості, можливість виділення смуги відчуження, наявність рослинності, сусідство залізниць, естакад і автомагістралей, наявність ліній електропередач.

Для оцінки ефективності периметрових систем найчастіше використовують спеціальні іспитові полігони. Охоронні системи там монтує на стандартних огорожах і оцінюють них по спеціальних методиках, імітуючи різні дії порушника - руйнування огорожі, перемазання, підкоп і ін. Особливість периметрових систем полягає в тому, що звичайно вони конструктивно інтегровані з огороженням і сигнали, що генеруються охоронною системою, в сильному ступені залежать як від фізико-механічних характеристик огорожі (матеріал, висота, твердість та ін.), так і від правильності монтажу датчиків (вибір місця кріплення, метод кріплення, виключення випадкових вібрацій огорожі і т.п.) Дуже велике значення має правильний вибір типу охоронної системи, що найбільше адекватно відповідає даному типові огорожі.

Периметрові системи використовують, як правило, систему розподілених або дискретних датчиків, загальна довжина яких може складати

кілька кілометрів. Така система повинна забезпечувати високу надійність при широкій варіації навколишньої температури, при дощі, снігу, сильному вітрі. Тому будь-яка система повинна забезпечувати відповідну автоматичну адаптацію до погодних умов і можливість дистанційної діагностики.

Будь-яка периметрова система повинна легко інтегруватися з іншими охоронними системами, зокрема, із системою відеоспостереження.

Охоронна сигналізація призначена для устаткування на об'єктах, що вимагають попередження можливості проникнення на об'єкт, що знаходиться під охороною, сторонніх осіб.

Периметрова система сигналізації складається з багатьох датчиків, що розташовані по периметру об'єкта, що охороняється, і видають аналоговий сигнал, що характеризує стан зовнішнього середовища периметру.

Сигнали датчиків приймаються й обробляються одним або декількома пристроями первинної обробки (УПО), що на основі логічного аналізу виносять рішення про наявність або відсутність порушника в зоні периметру в даний момент часу. Сигнал датчика складається з корисного сигналу,

адитивного шуму і сигналів, що заважають, тому правильне рішення про

наявність або відсутність сигналу порушення виноситься УПО з деякою

імовірністю, називаною імовірністю правильного виявлення або імовірністю

виявлення. Гарною вважається система, що забезпечує імовірність

правильного виявлення 0,92-0,95. Високоякісна система забезпечує

імовірність виявлення 0,98 і вище. Імовірність виявлення залежить від

співвідношення потужності корисного сигналу і сумарної потужності шуму і

перешкод, називаного відношенням сигнал/шум, і від способу обробки

сигналів, що надходять від датчиків. В даний час розроблені кілька типів

периметрових охоронних систем, кожна з яких має свої достоїнства і

недоліки. Існують оптичні, інфрачервоні, радіопроміневі, магнітоконтактні й

акустичні системи периметрової сигналізації.

**Оптичні охоронні системи** являють собою набір телевізійних передавальних камер, розташовуваних по периметрі об'єкта. Ці системи дозволяють робити візуальне спостереження тільки при гарній освітленості об'єкта (удень) і дають мало інформації вночі. Крім того, опади (сніг, дощ, туман, дим) майже цілком маскують порушника.

Крім того, зовнішні засоби спостереження легко виявляються і порушник легко може них вивести з ладу. Вартість телевізійних систем висока, тому вони застосовуються в основному для охорони невеликих об'єктів або усередині приміщень.

Радіус їхньої дії знижується в кілька разів при атмосферних опадах, особливо при сильному снігопаді. Вони дають сигнали помилкової тривоги при загорянні, хоча ці сигнали можуть бути корисними для пожежної охорони.

**Радіолучеві і магнітоконтактні системи** в основному призначені для виявлення металевих об'єктів, що рухаються (автомобілів і інших транспортних засобів). Ці системи практично не виявляють людей і тварин!

**Акустичні системи** дозволяють добре виявляти сильні акустичні сигнали при слабкому рівні промислових перешкод. Їхній недолік – перевантаження при сильних звуках, неможливість роботи при сильних звукових перешкодах. Крім того, рівень звуків, створюваних порушником, залежить від стану поверхні землі. При дощі акустичні сигнали, створювані порушником, настільки слабкі в порівнянні із шумом дощу, що практично не виявляються.

**Сейсмічні охоронні системи** слабо залежать від стану зовнішнього середовища, краще виявляють слабкі сигнали, хоча їхня імовірність помилкових спрацьовувань сильно залежить від рівня зовнішніх промислових перешкод.

Більш високі категорії порушників, здатні використовувати хитрі способи пересування, маскування і технічні засоби для обходу охоронних систем, вимагають закриття всіх ймовірних шляхів руху такого порушника. Тому для блокування реальних ділянок і стосовно до реальних порушників потрібно використовувати кілька систем виявлення, створювати комбіновані засоби виявлення. У цих системах периметрові сейсмічні охоронні засоби застосовуються в комплексі з іншими, і часто є основними, оскільки мають скритність і високу чутливість.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 1

### Аналіз методів охоронної сигналізації

#### 1.1. Призначення засобів електричної сигналізації.

Електрична охоронна сигналізація призначена для швидкої подачі на центральну прийомну станцію електричного сигналу про виникнення події в місці розташування сповіщателя. Подією може бути спрацьовування одного або декількох сповіщателів, перевищення числа спрацьовувань датчика деякого критичного рівня і т.д. сигнал, що надійшов, повинний бути сприйнятий апаратурою центральної прийомної станції, перетворений і відтворений сигналами оптичних і акустичних приладів.

Акустичний сигнал (сирена) повинний звернути увагу чергових операторів, а оптичний – указати місце виникнення події або критичної ситуації.

Будь-яка електрична сигналізація складається з двох взаємозалежних частин: сповіщателів – пристроїв, що є датчиками сигналу тривоги і встановлюються безпосередньо на об'єктах, що охороняються, і центральних приймаючих пристроїв, що сприймають і обробляють сигнали датчиків.

В даний час при організації охорони території поряд з іншими засобами сигналізації широко використовуються сейсмічні засоби виявлення (СЗВ), у яких реєструються, а потім обробляються сигнали, що виникають у ґрунті (або іншій поверхні, що підстилає,) при перетинанні людиною або іншим об'єктом, що рухається, охоронюваної зони.

До основних достоїнств СЗВ відносяться відсутність власного випромінювання, скритність, можливість повного усунення демаскуючих ознак на охоронюваній ділянці за рахунок установки лінійної частини (чуттєвих елементів і сполучних кабелів) у ґрунт. Сейсмічні засоби виявлення, що є пасивними засобами охорони, не виявляються електронними пристроями розвідки. Візуальна прихованість СЗВ різко знижує імовірність їхнього подолання навіть при поінформованості порушника про принципи роботи і ТТХ охоронної системи. Сейсмічні засоби зручні для охорони протяжних

границь територій і периметрів, для блокування ділянок на сильно пересіченій місцевості. Вони можуть працювати в повній темряві, при будь-якій температурі і вологості навколишнього середовища.

У якості чутливих елементів (ЧЕ), що перетворюють сейсмічні коливання ґрунту в електричні сигнали, найчастіше використовуються сейсмоприймачі (СП). Невеликі маса і габарити СП у сполученні із сучасними методами обробки сигналу в шумах дозволили створити портативні автономні засоби блокування малих ділянок місцевості радіусом до 5 м.

Такі засоби застосовуються для блокування підходів до місць тимчасового розташування техніки, для виявлення людей і техніки в місцях їхнього ймовірного пересування.

До недоліків СЗВ в цілому відноситься відносно низька перешкодостійкість (схильність до помилкових спрацьовувань від літаків, руху автотранспорту, дощу) при нескладних алгоритмах обробки сигналу. Відомо, що імовірність помилкової тривоги від літака, що пролітає на висоті 2-3 км перевищує 0,1 для більшості СЗВ, а в цілому ряді випадків інтенсивність перешкод буває така, що імовірність правильного виявлення  $P_v$  може знизитися до 0,5. Звичайно СЗВ мають середній час наробітку на помилкове спрацьовування  $T_{лп}=20$  ч, приблизно в 10-100 разів уступаючи засобам виявлення, що мають активний принцип дії (радіолокаційні, радіо променеві, активні інфрачервоні).

Однак, застосувавши складні алгоритми обробки сигналу, можна значно поліпшити перешкодостійкість СЗВ. Наприклад, застосувавши алгоритм швидкого перетворення Фур'є (БПФ) можна підвищити імовірність правильного виявлення  $P_v$  до 0,95, що є дуже високим показником навіть для активних засобів виявлення.

Зовнішній вигляд трансформаторної підстанції РТП 35/10 представлено на рис.1.1.



Рис. 1.1 – РТП 35/10

З рис. 1.1 видно, що підстанція має досить великі розміри – 50x45 м. На її території знаходяться кілька ліній електропередач, трансформатор потужністю 500-600 МВт, службові споруди, засоби захисту. Довжина периметру 210-250 м. Тому охорона периметру достатньо складана.

## 1.2. Аналіз існуючих методів охоронної сигналізації.

**Принцип дії** сейсмічних засобів охорони заснований на реєстрації (виявленні) коливань, що виникають у ґрунті при переміщенні людини або механізму по поверхні землі. Чуттєві елементи, встановлювані в поверхні ґрунту на глибині 40-70 см, перетворюють сейсмічні коливання ґрунту в електричні сигнали, що надходять на вхід засобу обробки (З). Ділянка місцевості, подолання якого повинно бути виявлене сейсмічним засобом, називається зоною виявлення (ЗВ) радіус якого не перевищує 3-5 м. Довжина зони виявлення ЗВ другого класу може бути 2-5 км., а ширина від 5 до 20 м.



СЗВ можна розділити на два класи: для блокування малих ділянок місцевості і для охорони протяжних рубежів. Виходячи з особливостей розв'язуваних тактичних задач, перші мають ЗВ близьку до форми кола,

У якості чуттєвих елементів використовуються крапкові ЧЭ – сейсмоприймачі і протяжні ЧЭ -трибокабелі, що являють собою еластичні труби з рідиною, з'єднані з датчиками тиску, або волоконно-оптичні перетворювачі.

Одним з найпоширеніших варіантів СЗВ для протяжних рубежів є варіант, коли крапкові чуттєві елементи встановлюються в один або два ряди, утворити лінійну частину сигналізаційного засобу на охоронюваному рубежі.

У зв'язку з тим, що на виході ЧЭ поряд з корисним сигналом (КС)  $s(t)$  присутні перешкоди різного походження  $p(t)$ , задача виявлення корисного сигналу носить імовірнісний характер, тобто завжди істи можливість прийняти перешкоду за корисний сигнал (помилкова тривога) з імовірністю  $P_{лт}$  або не знайти корисний сигнал, замаскований перешкодами (пропуск сигналу) з імовірністю  $P_{п}$ . Звичайно в тактико-технічних вимогах на сигналізаційні засоби задають середній час наробітку на помилкове спрацьовування  $T_{лт}=100..500$  ч

( $T_{лт}$  назад пропорційно  $P_{лт}$ ) і імовірність виявлення  $P_{обн}=0,90 .. 0,98$ . При цьому

$$P_{обн} = 1 - P_{п}$$

Ймовірнісні характеристики повинні зберігатися при впливі перешкод від автомобільного транспорту, промислових підприємств, літаків, вітру, дощу, коливань чагарнику і дерев при вітрі.

СЗВ призначені для виявлення людини, що переміщається кроком або бігом зі швидкістю  $0,5 .. 6$  м/с. Найбільше важко виконати вимога по імовірності виявлення людини, що рухається з мінімальною швидкістю, тому задача забезпечення надійного виявлення об'єкта звичайно розглядається стосовно до швидкості людини більше  $0,5$  м/с.

При установці сигналізаційного засобу на рубежі, що охороняється, бажано мати візуально лінійну частину, що замаскована, не порушувати

екологію навколишнього середовища, наприклад, не робити заселення ґрунту з метою запобігання її замерзання. Безпосередньо в зоні виявлення допускається наявність трави і дрібного чагарнику, а на відстані більш 15 м від зони виявлення – великих дерев.

До дійсного часу для периметрової охорони об'єктів розроблені комплекси охоронної сигналізації, до складу яких входить стаціонарна апаратура керування і відображення інформації, а також визначена номенклатура засобів виявлення.

Знову створювані периметрові охоронні системи призначені для поліпшення характеристик виявлення і для поширення функціональних можливостей охоронних комплексів, а також для підвищення маскування засобів виявлення.

### **1.2.1. Механізм порушення сейсмічних коливань людиною.**

Дослідження особливостей пересування людини [2] показали, що ходьба людини по горизонтальній поверхні являє собою ряд послідовних піднімань і опускань усіх частин людського тіла.

У результаті нерівномірних вертикальних зсувів загальний центр маси тіла (ЗЦМТ) випробує періодичні коливання складної форми.

У вертикальній площині траєкторія центра ваги являє собою криву, близьку до синусоїди, що володіє періодом одиночного кроку ( $1/2 - 1/3$  сек) і амплітудою 3,5 - 6... 6 см. Такі зміни центра ваги визначають значення горизонтальної швидкості і величини реакції на горизонтальну опору при русі. У результаті підйому ноги з поверхні і наступного опускання її на поверхню відстані кроку  $\Delta l_{ш} \approx 70$  див у ґрунті виникає сейсмічна хвиля, що представляє собою періодичні стиски і розширення пружного середовища, який є верхній шар ґрунту. Сейсмічна хвиля має дві складові: горизонтальними і вертикальну, котрі поширюються з різними швидкостями в горизонтальному напрямку і всередину.

При поширенні сейсмічної хвилі вона загасає як у горизонтальній, так і в вертикальній площині, причому загасання у вертикальній площині відбувається швидше, оскільки має місце наростання щільності середовища. Практично вже на глибині 1 м амплітуда коливань близька до нуля. В горизонтальній площині коливання розповсюджуються рівномірно в усі сторони (кругові сейсмічні хвилі) на відстань 20-25 м і вже на відстані 5 м мають практично плоский фазовий фронт.

Загасання плоскої гармонійної хвилі в неідеально пружному твердому тілі описується рівнянням

$$\frac{U_2}{U_1} = e^{-\gamma(\Delta x)}, \quad (1.1)$$

де  $\Delta x$  - відстань між крапками виміру 1 і 2,  $\gamma$  - коефіцієнт поглинання  $U_1$  і  $U_2$  амплітуди хвиль у крапці 1 і в крапці 2.

Вираз для амплітуди коливань на відстані  $r$  від джерела має вигляд:

$$U_r = \frac{U_0}{r} e^{-\gamma r}, \quad (1.2)$$

де  $U_0$  - амплітуда коливань поблизу джерела.

Відповідно до теорії грузлого тертя  $\gamma = b\omega^2$ ,

де  $\omega$  - частота коливань,  $b$  - коефіцієнт загасання.

Теорія пружної післядії пророкує відносно складний характер зв'язку коефіцієнтів поглинання з частотою, але в досить широкій області частот

(3...50...50 Гц) залежність близька до лінійного, тобто

$$\gamma = b_2 \omega, \quad (1.3)$$

де  $b_2$  - лінійний коефіцієнт загасання.

### 1.2.2 Математична модель сейсмічного сигналу

Сейсмічна хвиля чуттєвим елементом (сейсмодатчиком) перетвориться в електричний сигнал. Типові реалізації сигналів, що виникають при русі людини

через зону виявлення (мал.1) зі швидкістю 1 м/с (крок) і 4м/с (біг), приведені на мал.2.

Флуктуації амплітуди імпульсів порозуміваються в основному наявністю нерівностей рельєфу і неоднорідностями поверхневого покриття. Обгинаюча всієї імпульсної послідовності (пачки імпульсів) визначається швидкістю зміни відстані між крапкою впливу на ґрунт і місцем установки сейсмодатчика.

Рух людини

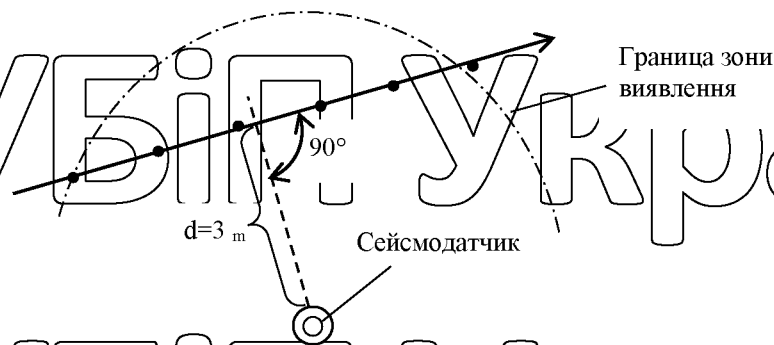


Рис.1.1. Рух людини у зоні виявлення

На мал.1.3. приведені миттєві спектри сигналів при русі людини зі швидкістю 0,5 м/с на відстані 1 м від СП по доріжці з трав'яним покритвом (а), по ґрунтовій дорозі (б) і по асфальтовій доріжці (в).

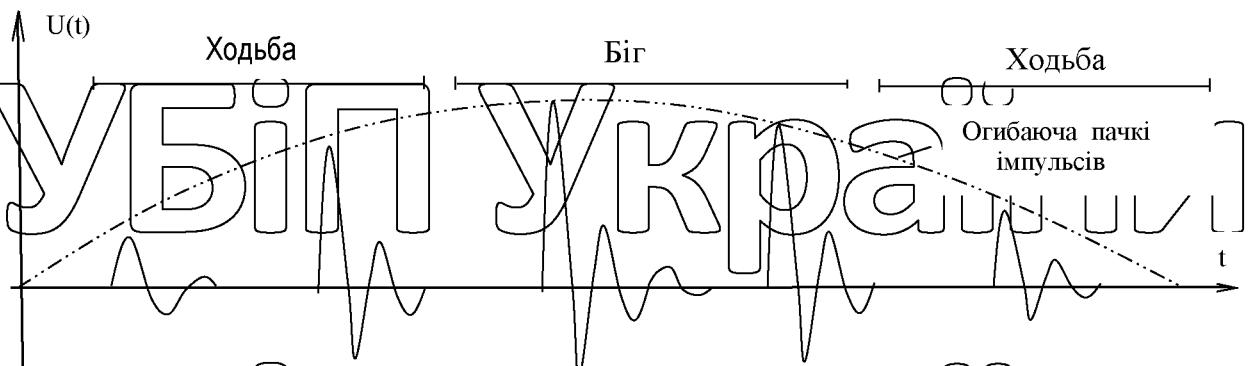


Рис.1.2. Форма сигналу на виході сейсмодатчика при руху людини в зоні виявлення.

# НУБІП України

Ширина спектрів сигналів за рівнем  $-20$  дБ складає відповідно  $83$  Гц,  $92$  Гц і

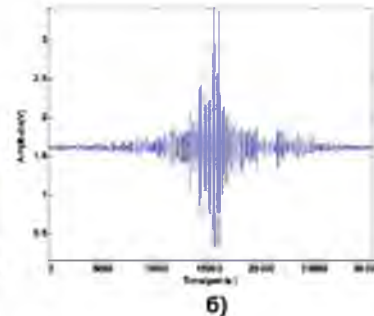
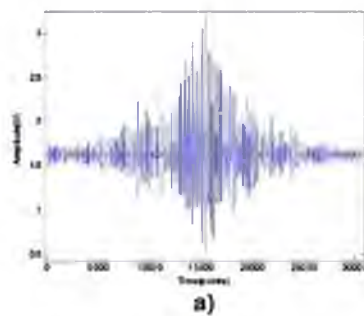
$98$  Гц, тобто зменшується при наявності м'якого покриття. М'яка поверхня

(розмоклий ґрунт) сприяє формуванню сигналу зі спектром, максимум якого

зміщується від  $50$  Гц у низькочастотну область. Однак у більшості випадків,

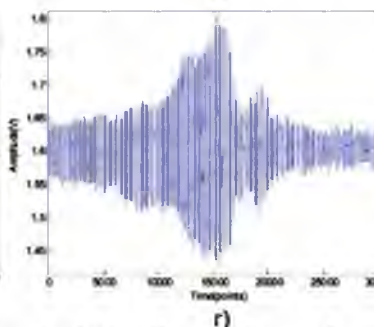
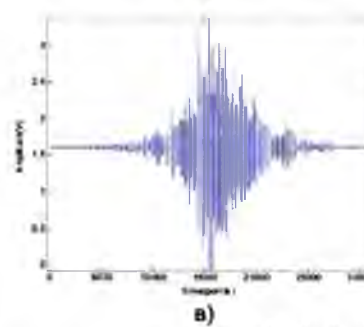
характерних для охорони об'єктів, сигнал має ширину спектра від  $55$  до  $100$  Гц

НУ



ІИ

НУ



ІИ

# НУБІП України

Рис.3.4. Записи сейсмічного сигналу близько 30 секунд від різних рухових джерел: а – людини; б – автомобіля; в – гусеничного транспортного засобу ; г - гелікоптера

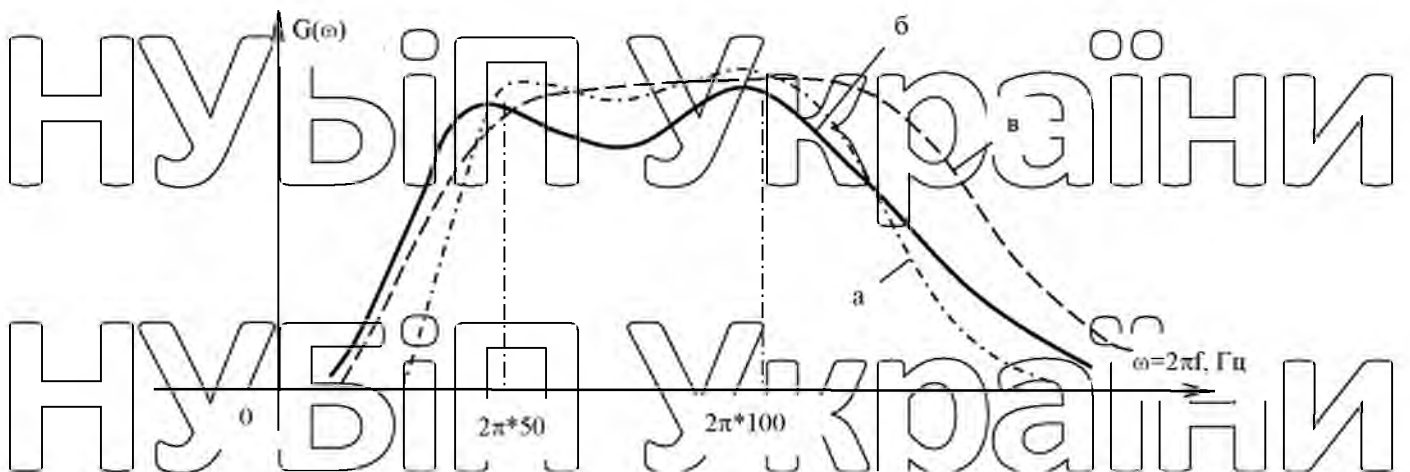


Рис.1.3. Експериментальні залежності ширини спектру сигналів від стану верхнього покриття землі

# НУБІП України

Наявність окремих локальних мінімумів у спектрах порозумівається

відображенням сигналів від неоднорідностей у ґрунті і наступному додаванні

прямого і відбитого сигналів у крапці установки СП (інтерференцією)

Корисний сигнал  $S(t)$  можна описати виразом [ 1 ]:

$$S(t) = \sum_{i=1}^N A_{oi}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_{Si}) \quad (1.4)$$

де  $N$  - кількість кроків у зоні виявлення,

$\varphi_{Si}$  - початкова фаза,  $A_{oi}(t)$  - функція, що описує огинаючі пачки імпульсів.

Прийнято вважати, що початкові фази імпульсів  $\varphi_{Si}$  є незалежними

випадковими величинами, що мають рівномірний розподіл від 0 до  $2\pi$ .

Функція  $A_{oi}(t)$  може бути виявлена експериментально або з аналізу спектра сигналів.

## 1.2.3. Перешкоди в СЗВ.

У загальному випадку сигнал сейсмодачика складається з адитивної суміші

корисного сигналу  $s(t)$  і шуму  $n(t)$ :  $x(t) = s(t) + n(t)$

Шум має різне походження, тому спектр його складових різний. Для побудови оптимального пристрою обробки необхідно досліджувати і врахувати статистичні параметри шуму.

1) Стационарна перешкода в часі і просторі.

Шум (шумова перешкода) може бути декількох типів:

**1-й тип – стационарна в часі і просторі.**

До цього типу перешкод відносять **геосейсмічний фон**, що зберігає свою стаціонарність протягом часу до декількох хвилин і має широкий спектр.

Такий шум присутній завжди, тому знайти корисний сигнал можна лише за

умови, що він відрізняється по своїх статистичних параметрах від даної перешкоди. З огляду на, що точність визначення місця перетинання охоронюваного периметра не перевищує 100 м,

можна побудувати багатоканальну систему, що складається з 40...50

зосереджених каналів з різними параметрами, за даними яких перевіряються гіпотези про наявність або відсутність сигналу в даному каналі.

При виборі обробних алгоритмів виявлення можуть використовуватися як параметричні критерії (Стюдента, Фишера й ін.), так і непараметричні

(Вилкоксона, Колмогорова-Смирнова).

Вибір того або іншого критерію визначається властивостями шуму в даній місцевості. Треба враховувати, що сніжний покрив змінює спектр сигналу і може розглядатися як стаціонарна перешкода. До такого типу перешкод варто віднести і промерзання ґрунту.

**2-й тип – нестационарна в просторі і стаціонарна в часі перешкода.**

До цього типу перешкод відносять перешкоди, що діють тривалий час у визначеному місці:

- шум від лінії електропередач, розташованої на відстані менш 500 метрів;
- хитання трави і гілок дерев;
- рух колісного транспорту;
- шум, викликаний життєдіяльністю населених пунктів.

Корисними методами боротьби з перешкодами 2-го типу може з'явитися компенсаційний спосіб, при якому можна змінювати поріг виявлення або безпосередньо компенсувати перешкоду, оскільки її властивості відомі.

**3-й тип- нестационарна в часі і стаціонарна в просторі перешкода.** До

цього типу відносять перешкоди, що діють на значній частині рубежу, що охороняється, протягом невеликого часу:

- проліт літаків або вертольотів на низькій висоті над охоронюваним рубежем;

- піщані бурі зі швидкістю вітру вище 30 км/год;
- опади у вигляді граду і снігу;
- гуркоти грому.

*Вплив цього типу перешкод можна послабити за рахунок просторової і частотної фільтрації.*

#### **4-й тип перешкод - нестационарна в часі і просторі перешкода**

Це перешкода, що діє в локальному місці протягом невеликого проміжку часу,

а саме:

- перетинання охоронюваного рубежу дрібними тваринами;
- блукаючі струми в ґрунті;
- переміщення уздовж охоронюваного рубежу без його перетинання однієї людини або групи людей.

Цей тип перешкод найбільш подібний з корисним сигналом, тому для його зменшення (фільтрації) потрібно оцінювати сигнал, що заважає, по швидкості і напрямку зміни, по масі й інших параметрах, тобто застосовувати **теорію розпізнавання образів**. Інший підхід – використання навчальної слабо

зашумленої вибірки. Гарні результати виходять при розпізнаванні образів, що

не перекриваються. Реальний сигнал на виході сейсмодачика має вигляд, як показано на рис. 1.4.



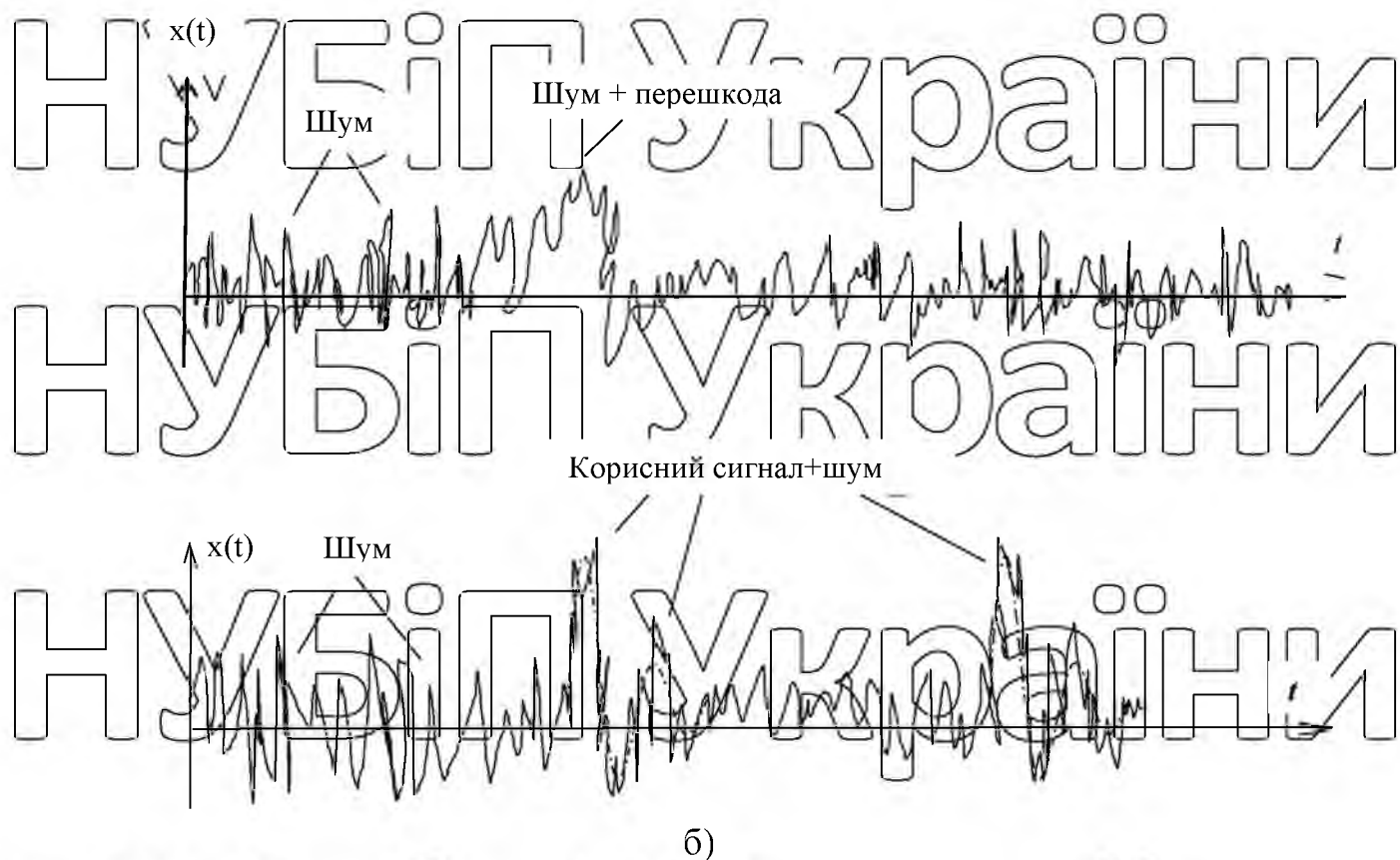


Рис.1.4. Напряга на виході сейсмодатчика, якщо корисний сигнал відсутній (а), и при наявності корисного сигналу (б).

#### 1.2.4. Чуттєві елементи СЗВ.

У якості чуттєвих елементів, призначених для перетворення механічної енергії сейсмічних коливань в електричний сигнал, можуть бути використані

- крапкові чуттєві елементи (сейсмоприймачі);
- протяжні чуттєві елементи.

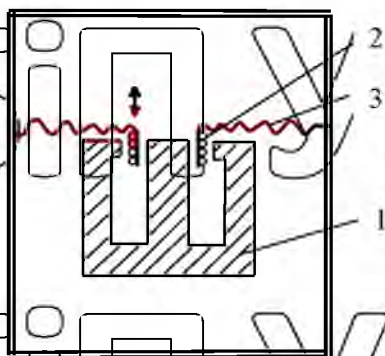


Рис.1.5. Конструкція сейсмодачика електродинамічного типу

Самим поширеним типом точкового чуттєвого елемента є сеймоприймач електродинамічного типу. Такі сеймоприймачі широко використовуються в геології при сейморозвідці. Вітчизняною промисловістю випускаються сейсмодачики СВ-5, СВ-10, СГ-10, СВ-20. Конструкція їх являє собою герметичний корпус, усередині якого знаходиться магнітна система 1 із зазором (рис.1.5)

У зазорі магнітної системи вільно переміщається котушка індуктивності 2, підвішена на гнучких підвісках 3. ЕРС самоіндукції, що виникає якщо витки котушки рухаються у сталому магнітному полі, надходить на зовнішні затискачі.

Відомі також інші типи точкових чуттєвих елементів: п'єзоелектричні, тензометричні та ін.

У якості протяжного чуттєвого елемента, як правило, використовується лінія, утворена ланцюжком послідовно з'єданих точкових чуттєвих елементів. На виході такої лінії відбувається підсумовування сигналів від окремих СП.

Типова кількість СП у лінії – 10...20, відстань між СП – 5...10 м.

### **1.3. Структурні схеми сейсмічної охоронної системи**

1.3.1. *Одноконтурна сейсмічна охоронна система* містить один рядок сейсмодачиків, які розташуються по контуру об'єкту, що охороняється. Датчики розташуються на відстані 10...15 м один від одного так, щоби їх зони виявлення перехрещувалися (рис.1.6).

Утворюється зона виявлення шириною  $L_3$ . Якщо датчики розташовані на відстані 10 м один від одного, тоді  $L_3 \approx 7,5$  м.

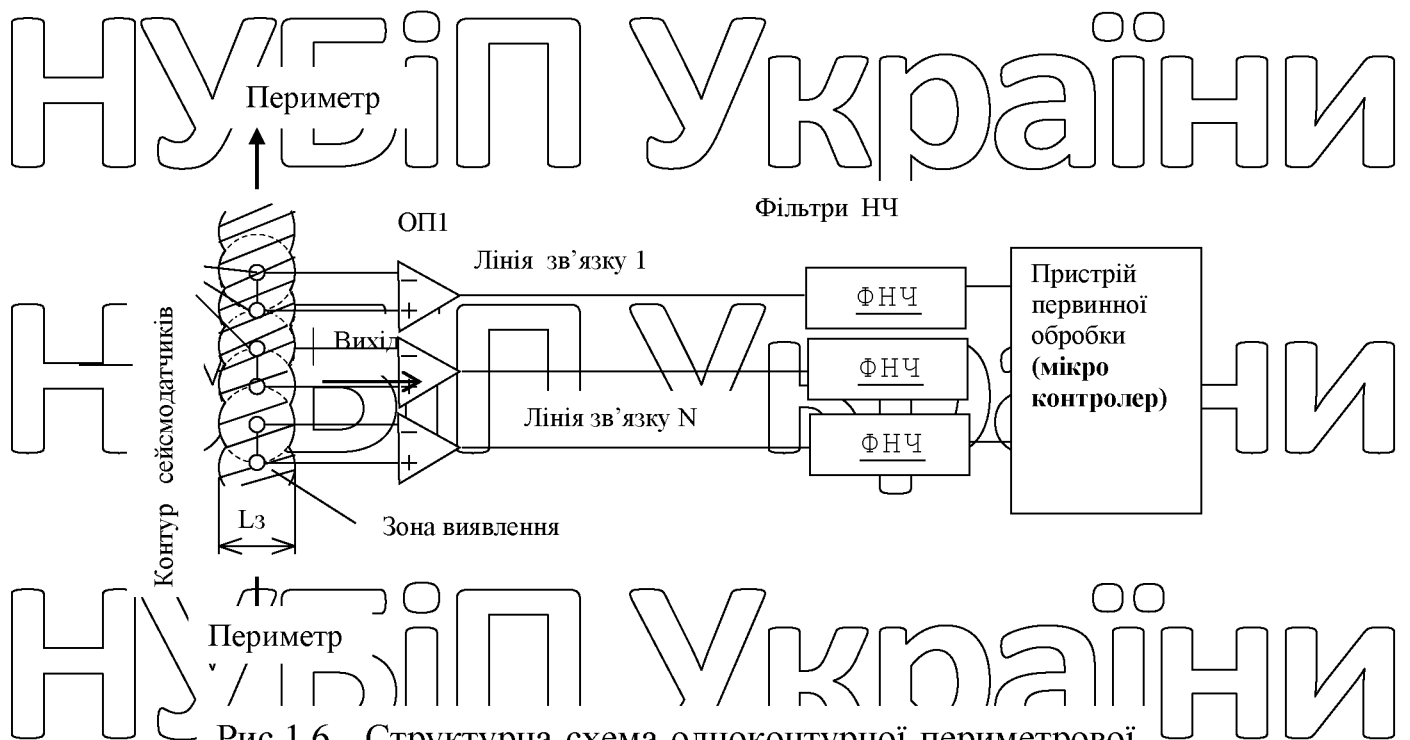


Рис.1.6. Структурна схема одноконтурної периметрової охоронної сейсмічної системи

Оскільки сигнал сейсмоматчика слабкий (не більше 20 мВ), його треба підсилювати. Для цього служить рядок операційних підсилювачів ОПІ, коефіцієнт підсилення яких більше 20 дБ. Виходи підсилювачів навантажені на лінію зв'язку з пристроєм первинної обробки, виконаним на базі сигнального процесора або швидкого промислового контролера. Довжина ліній зв'язку 1000-1200м. В такій лінії наростає рівень шуму і перешкод, спектр яких перевищує спектр сигналу у кілька разів. Тому на вході пристрою обробки включають фільтри НЧ з частотою зрізу 200 –250 Гц. Пристрій обробки має аналогово-цифровий перетворювач, вхід якого за допомогою комутатора по чергові під'єднується до кожної лінії зв'язку. Цифрові сигнали дані подаються в мікропроцесор або сигнальний процесор для обробки і виявлення корисного сигналу.

Перевага одно контурної системи – простота побудови, невисока вартість.

Недоліки одноконтурної системи :

- малий радіус дії датчиків за високим рівнем шуму;

- великий рівень шуму в лініях зв'язку зменшує ймовірність вірного виявлення до 0,92-0,84
- неможливо виявити вектор руху об'єкта і місце його розташування.

1.3.2. Двоконтурна сейсмічна охоронна система містить два рядка сейсmodатчиків (рис.1.7), які розташовуються по периметру об'єкта. Утворюються дві лінійні зони виявлення: зона 1- першого контуру і зона 2- другого контуру.

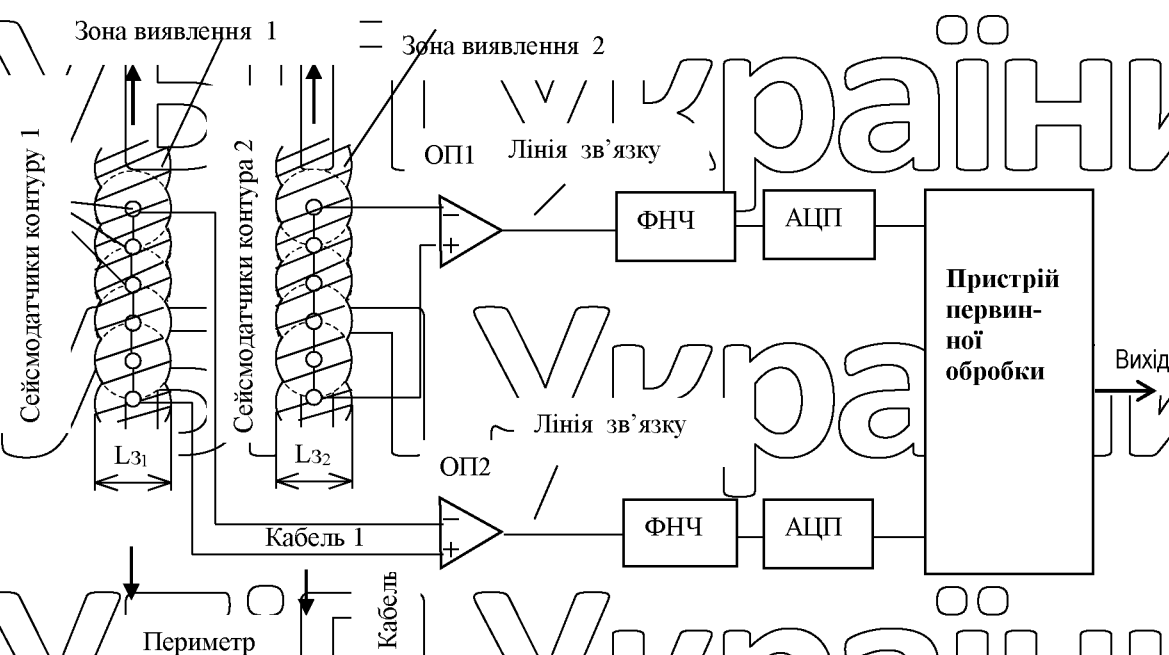


Рис.1.7. Структурна схема двоконтурної периметрової охоронної системи.

Середина зони 1 розташована на відстані 15-20 м від середини зони 2.

Датчики кожної зони підключені до свого підсилювача і мають особисту лінію зв'язку з процесором первинної обробки.

Інші кола двоконтурної системи не відрізняються від схеми, наведеної на рис.1/6.

Процесор первинної обробки аналізує сигнали сейсмодатчиків першого і другого контурів, порівнює їх і по їх співвідношенню виносить рішення о наявності або відсутності людини в зоні, що охороняється.

Аналіз амплітуди сигналів датчиків першого і другого контурів дає можливість визначити положення і напрямок руху порушника. Наприклад, якщо порушник знаходиться з зовнішньої сторони периметру і рухається в напрямку об'єкту, що охороняється, тоді сигнали сейсмодатчиків другого контуру відсутні, а сигнали датчиків першого контуру є і їх амплітуда

поступово збільшується. Якщо порушник рухається в напрямку протилежному напрямку до об'єкту, то сигнали датчиків першого контуру поступово зменшуються.

Аналогічно, якщо порушник знаходиться усередині периметру і рухається назовні, тоді сигнали датчиків другого контуру є і збільшуються, а сигнали першого контуру відсутні або мали.

Якщо порушник знаходиться проміж контурів і рухається в напрямку до об'єкту, тоді амплітуда сигналів датчиків другого контуру збільшуються, а сигналів першого контуру зменшується.

Таким чином, двоконтурна система сигналізації дає більше інформації о порушниках, ніж одно контурна, дозволяє виявити вектор його руху. По відстані у часі проміж імпульсами сейсмодатчика (частоті слідкування імпульсів) може бути виявлена і швидкість руху порушника, а по формі імпульсів і максимальній амплітуді імпульсів – його вага.

Самою головною перевагою двоконтурної системи є висока ймовірність правильного виявлення порушення - 0,97 – 0,99.

Недолік двоконтурної системи – складність, необхідно вдвічі більше датчиків. Програма обробки також складна і у 1,5-2 рази дорожче.

## РОЗДІЛ 2.

### Обґрунтування вибору структурної схеми сейсмічної периметрової охоронної системи

#### 2.1. Вибір типу сейсмічної периметрової охоронної системи

При виборі структурної схеми сейсмічної охоронної системи необхідно урахувати такі фактори:

- треба забезпечити найвищу ймовірність вірного виявлення порушника ( $P > 0,98$ );

- забезпечити малий рівень шуму в лініях зв'язку, що збілує радіус дії сейсмодатчиків;

- забезпечити первинну обробку сигналу максимально наближену до оптимальної з метою одержання найвищої ймовірності виявлення порушника.

##### **а) Вибір типу сейсмічної периметрової охоронної системи.**

Як було показано у главі 1, двоконтурна система більш надійна і має високу ймовірність правильного виявлення, хоча і більш дорожча (на 15-20 %).

Однак у більшості випадків вартість охоронної системи не є головним

фактором. Основні показники – ймовірність вірного виявлення  $P$  при найменшій ймовірності пропуску порушника  $D$ .

Тому з всіх типів сейсмічних охоронних систем двоконтурна має перевагу.

Крім того, двоконтурна система охорони дозволяє обчислювати вектор руху порушника, що дає можливість персоналу охорони правильно оцінювати характер порушення і прийняти адекватні міри.

##### **б) Вибір типу лінії зв'язку з приладом первинної обробки.**

Основним недоліком периметрових систем всіх типів є велика довжина

ліній зв'язку, що приводить к погіршенню відношення сигнал/шум, і, як слідок цього, зменшенню ймовірності вірного виявлення порушника.

Рішенням цієї проблеми є наближення пристрою первинної обробки до датчиків (до периметру) і передача по лініям зв'язку або цифрового відеосигналу, або тільки результатів виявлення. У останньому випадку процесор первинної обробки повинен бути розташований біля контуру сейсмодатчиків.

Цифровий сигнал на відстань до 1200 метрів передається за допомогою інтерфейсу RS-422 або інтерфейсу RS-485.

Інтерфейс RS-422 містить 4 дроти і забезпечує дуплексний зв'язок. Тому він застосовується для передачі великих масивів даних.

Крім того, RS-422 забезпечує зв'язок лише двох користувачів, один з яких ведучий, а другий – відомий.

Інтерфейс RS-485 двопровідний, тому він може застосовуватись лише в напівдуплексному режимі, що вдвічі зменшує швидкість обміну. Однак RS-485 забезпечує обмін даними між декількома користувачами, для чого використовують програму – арбітр.

Оскільки в нашому випадку масив даних невеликий, всього 4-8 слів, вигідно використовувати інтерфейс RS-485.

### **в) Вибір способу первинної обробки.**

Первинна обробка може бути аналоговою або цифровою. У даному випадку частота сигналу не перевищує 200 Гц, тому аналогові смугові фільтри або ФНЧ мають низьку крутизну скатів і для її поліпшення їх характеристик треба включати многокаскадні фільтри (8 каскадів і більше). Тому аналогові фільтри на таких низьких частотах практично не використовуються. Якісні характеристики забезпечують цифрові фільтри як з безконечною імпульсною характеристикою (БІХ-фільтри), так і з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ-фільтри). Обидва типи фільтрів реалізуються

програмно і виконуються сигнальними процесорами, швидкість обчислення яких 65 – 150 MIPS.

В останній час розроблені і широко використовуються програмувальні логічні інтегральні схеми (ПЛІС), які містять кілька тисяч або мільйонів логічних елементів, зв'язки між якими програмуються споживачем. Таким чином, споживач може побудувати свою мікросхему високої складності. Таки ПЛІС випускаються фірмами Altera і Xilinx. Випускаються також ПЛІС, які містять мікропроцесори і набір з кілька тисяч логічних елементів (мікросхеми ф. Trident, ф. Altera та ін.).

ПЛІС дозволяють в одній мікросхемі побудувати і КІХ-фільтр і процесор первинної обробки. Однак ці мікросхеми в 10 разів дорожче простих мікроконтролерів, їх вартість досягає 5000 грн, а налагоджувальна плата з середою програмування має вартість 12000 грн. Тому у даному випадку вигідно використовувати швидкий мікроконтролер фірми Atmel, вартість якого 100 ... 500 грн.

Виходячи з вище сказаного, двоконтурна периметрова сейсмічна охоронна система повинна містити:

- два контури сейсмотатчиків;

- виносний підсилювач з ФНЧ з смуговими фільтрами і процесором первинної обробки;

- контролер інтерфейсу RS-485 для зв'язку з постом охорони, де розташовано процесор вторинної обробки;

- лінії зв'язку інтерфейсу RS-485 між виносними пристроями і процесором вторинної обробки довжиною до 1000 метрів.



## 2.2. Технічні вимоги до системи сигналізації

### 2.2.1 Вимоги до конструкції

Двоконтурна периметрова сейсмічна охоронна система повинна складатися з :

1. Виносного приладу (ВП), який містить підсилювач сеймосигналів , ФНЧ і прилад первинної обробки (ППО).
2. Приладу вторинної обробки ( промисловий комп'ютер)

### 2.2.2. Вимоги до застосування комплектуючих виробів

Всі комплектуючі вироби застосовані в комплекті повинні мати документацію, підтверджуючу їх відповідність стандартам і ТУ на них.

2.2.3 Маса складових частин комплекту повинна бути не більше 1 кг.

2. 2.4 ВП і ППО повинні зберігати працездатність при впливі на нього кліматичних факторів:

- Зовнішня температура – 40 ...+50 градусів.
- Вологість 90%.

2.2.5 Запакований комплект повинен витримати транспортування

авіаційним (в герметизованому відсіку), автомобільним і залізничним транспортом.

2.2.6 Система сигналізації повинна нормально робити при номінальній напрузі живлення (мережі 50 Гц 220 В) і забезпечувати:

- постановку зони під охорону і зняття зони з охорони при введенні коду адміністратора або коду чергового;
- виявлення порушення будь-якої зони охорони при появленні вхідного синусоїдного сигналу з частотою 10..250 Гц амплітудою  $50 \pm 5$  мВ, індикацію номера порушеної зони та видачу сигналу «Тривога»;
- скасування сигналу «Тривога»;
- обмін даними с ПЕОМ і передачу результатів подій по інтерфейсу RS-485 або RS-232;

- введення і відмінування кодів адміністратора і чергового;

- інформаційну ємність — 32 зони охорони;

- струм споживання — не більше 1 А.

### 2.2.7. Вимоги до параметрів і характеристик приладу вторинної обробки (ПВО).

2.2.7.1 Прилад повинен відповідати вимогам п.1.7 при живленні від однофазної мережі змінного струму з номінальною напругою 220 В і частотою 50 Гц. Діапазон відхилення напруги від 187 до 242 В. Споживаний струм не більше 1,0 А.

2.2.7.2 Інформативність приладу вторинної обробки (ПВО) повинна складати не менше 8 повідомлень, які наведені в таблиці 2.1..

Таблиця 2.1

№ повідомлення	Повідомлення
1	Тривога по зоні № XX
2	Аварія по зоні № XX обрив
3	Електромережа 220 В вимкнена
4	Електромережа 220 В увімкнена
5	НСД розрив
6	НСД замкнено
7	Поставлено під охорону зону № XX по коду доступу № ZZZ
8	Знято з-під охорони зону № XX по коду доступу № ZZZ

2.2.7.3 Прилад ПВО повинен забезпечувати видачу сигналу «Тривога» при виявленні сигналу порушення будь-якої зони.

Тривалість повідомлення сигналізації про тривогу повинна становити не менше 2 с.

2.2.7.4 Час технічної готовності до роботи – не більше 2 хвилин.

2.2.7.5 Прилад ПВО повинен забезпечувати автоматизований контроль функціонування в режимі КОНТРОЛЬ.

2.2.7.6 Прилад ПВО повинен забезпечувати відлік часу (години, хвилини) та реєстрацію дати (число, місяць, дві останні цифри року).

2.2.7.7 Прилад ПВО повинен забезпечувати реєстрацію подій і можливість їх зчитування.

2.2.7.8 Прилад ПВО повинен забезпечувати видачу повідомлень при несаакціонованому доступі до нього.

2.2.7.9 Прилад ПВО повинен забезпечувати спрацьовування реле типу „сухий контакт” при виявленні сигналу порушення на будь-якій зоні.

**2.2.8 Вимоги до параметрів і характеристик приладу виносного підсилювача і первинної обробки (в подальшому – прилад ППО)**

2.2.8.1 Прилад ППО повинен забезпечувати коефіцієнт підсилення напруги не менше 38 дБ в діапазоні робочих частот.

2.2.8.2. Прилад ВПО повинен забезпечувати діапазон робочих частот від 10 до 250 Гц.

2.2.8.3 Прилад ППО повинен забезпечувати безперервну цілодобову роботу.

## **2.3. Теоретичний розрахунок складових частин**

### **2.3.1 Розрахунок ймовірності вірного виявлення сигналу порушення**

Сигнал сейсмодачика, що надходить на вхід виявляла, має випадкову амплітуду і фазу. Ймовірність вірного виявлення такого сигналу визначається виразом [3]:

$$D = \int_{V_0}^{\infty} v e^{-(v^2 + q_0^2)/2} I_0(q_0 v) dv,$$

де  $V_0 = \sqrt{2 \ln \frac{1}{F}}$  – гранична напруга;

$F$  – ймовірність помилкового виявлення;

$I_0$  – функція Беселя нульового порядку;

$v$  – амплітуда сигналу;

$q_0 = \sqrt{\frac{2E_c}{N_0}}$  - відношення енергії сигналу  $E_c$  к спектральній щільності шуму  $N_0$ .

Розрахунок даного інтегралу може бути виконано за допомогою спеціальних таблиць або приблизно за допомогою асимптотичної формули [4]. Результати розрахунків надані на графіку рис.2.1.

Оскільки  $E_c = \frac{U_c^2}{R_{ex}}$ , спектральна потужність шуму  $N_0 = \frac{N_{cp_{ш}}}{R_{ex}}$ ,

де  $U_c$  - напруга сигналу на вході приймача зі вхідним опором  $R_{ex}$ ,

$N_{cp_{ш}}$  - мат очікування амплітуди шуму,

тоді  $q_0 = \sqrt{2} \frac{U_c}{U_{cp_{ш}}}$ .

Для сигналу з випадковою фазою і амплітудою для  $F=10^{-4}$  по графіку рис.

2.1 знайдемо : необхідне відношення сигнал/шум для  $D=0,9$  повинно бути  $q_0=10...12$ . Тоді  $U_c \approx (10..12)U_{cp_{ш}}$ , тобто амплітуда сигналу повинна бути великою.

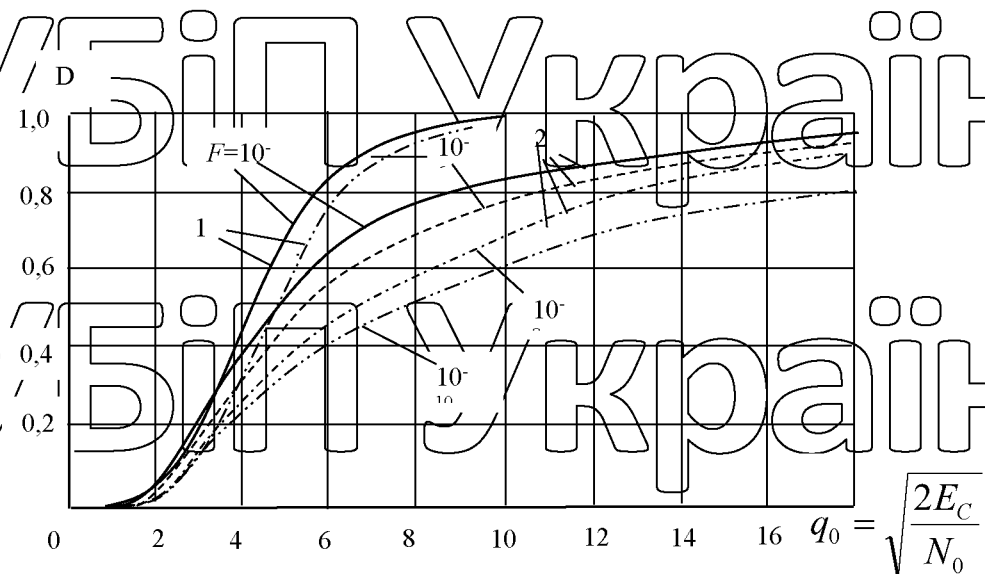


Рис.2.1. Характеристики виявлення когерентного приймача при різній ймовірності помилкової тривоги  $F$  для сигналу :  
 1- з випадковою амплітудою і відомою початковою фазою  
 2- з випадковою початковою фазою і амплітудою .

# НУБІП УКРАЇНИ

Існуючі методи обробки сигналу в цумах показують, що при використуванні оптимального приймача або фільтру, погодженого з сигналом, випадкова початкова фаза компенсується. Тоді характеристики наближуються до характеристик виявлення сигналу з відомою фазою і випадковою амплітудою.

# НУБІП УКРАЇНИ

По графіку рис.2.1 для  $D=0,95$  при  $F=10^{-4}$  знайдемо:  $q_0 \approx 7$ . Тоді  $U_c / U_{срм} = 4,5 \dots 5$ .

Це визначає, що кількість сейсмодатчиків може бути зменшено вдвічі.

Структурна схема оптимального фільтрового приймача надана на рис.2.2. Роль фільтру, погодженого з сигналом, може виконати смуговий фільтр з шириною смуги пропускання 210..20% від середньої частоти сигналу.

# НУБІП УКРАЇНИ



# НУБІП УКРАЇНИ

Рис.2.2. Структурна схема оптимального фільтрового приймача некогерентної пачці імпульсів.

# НУБІП УКРАЇНИ

Таким чином, розрахована сейсмічна охоронна система має такі параметри:

- максимальна довжина периметру, що охороняється - 3,2 км;
- кількість шлейфів - 16;
- кількість контурів охорони - 2;

# НУБІП УКРАЇНИ

- ймовірність вірного виявлення порушника - більше 0,95;
- ймовірність помилкового виявлення порушника -  $10^{-4}$ ;
- тип лінії зв'язку - RS-485;

- максимальна довжина ліній зв'язку - 1200 м;

кількість ліній зв'язку - від 2 до 32.

# НУБІП УКРАЇНИ

## 2.3.2. Розрахунок підсилювача сигналів сейсмодатчика зі смуговим фільтром.

### 2.3.2.1 Електричні фільтри. Загальний розрахунок

**Електричний фільтр** - це чотирьохполюсник, що володіє виборчими властивостями, тобто проникний струми у визначеному діапазоні частот (смуга пропускання) з невеликим загасанням, а струми з частотами, що лежать поза цією смугою, - з великим загасанням (смуга загасання). Частота, що лежить на границі смуг пропускання і не пропускання, називається *частотою*

*зрізу* і позначається  $f_{cp}$  або  $f_g$ .

Електричні фільтри розділяються на наступні типи :

- 1) нижніх частот (ФНЧ), що пропускають струми з частотами від 0 до визначеної частоти (частоти зрізу  $f_{cp}$ );
- 2) верхніх частот (ФВЧ), що пропускають струми, починаючи з визначеної частоти  $f_{cp}$  до нескінченності;
- 3) смугові, проникні струми, що пропускають струми в смугі частот від  $f_1$  до  $f_2$ .
- 4) що загороджують, на проникні струми в смугі частот від  $f_1$  до  $f_2$ .

Фільтри можуть бути пасивними й активними.

**Пасивними** називаються фільтри, що не мають у своїй схемі підсилювальних елементів і побудовані тільки з пасивних компонентів (резисторів, конденсаторів і котушок).

**Активними** називаються фільтри, у схему яких включені підсилювачі (активні елементи).

Електричні фільтри застосовуються для :

- 1) виділення необхідної смуги посилюваних частот у різних радіоприймальних пристроях;
- 2) придушення гармонік на виході радіопередаючих пристроїв;
- 3) придушення індустриальних і інших перешкод.

4) зменшення перемінної складової спрямованого струму.

Якість електричних фільтрів звичайно характеризуються характеристикою загасання, що представляє собою залежність загасання від частоти. Загасання в

децибелах визначається по формулі

$$a = 20Lg \frac{U_{вх}}{U_{вых}},$$

Де  $U_{вх}$  і  $U_{вых}$  - напруга на вході і виході фільтра.

Вибірковістю фільтрів називають здатність виділяти визначені частоти з усіх вхідних. Для оцінки вибірковості користуються характеристикою

пропущення, що є залежністю коефіцієнта передачі  $K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$  від частоти .

Очевидно, що  $a = 20Lg \frac{1}{K}$  .

Залежність коефіцієнта передачі фільтра  $K$  від вхідної частоти називається амплітудно-частотною характеристикою фільтра (АЧХ). На малюнку 2.1

показані АЧХ різних фільтрів.

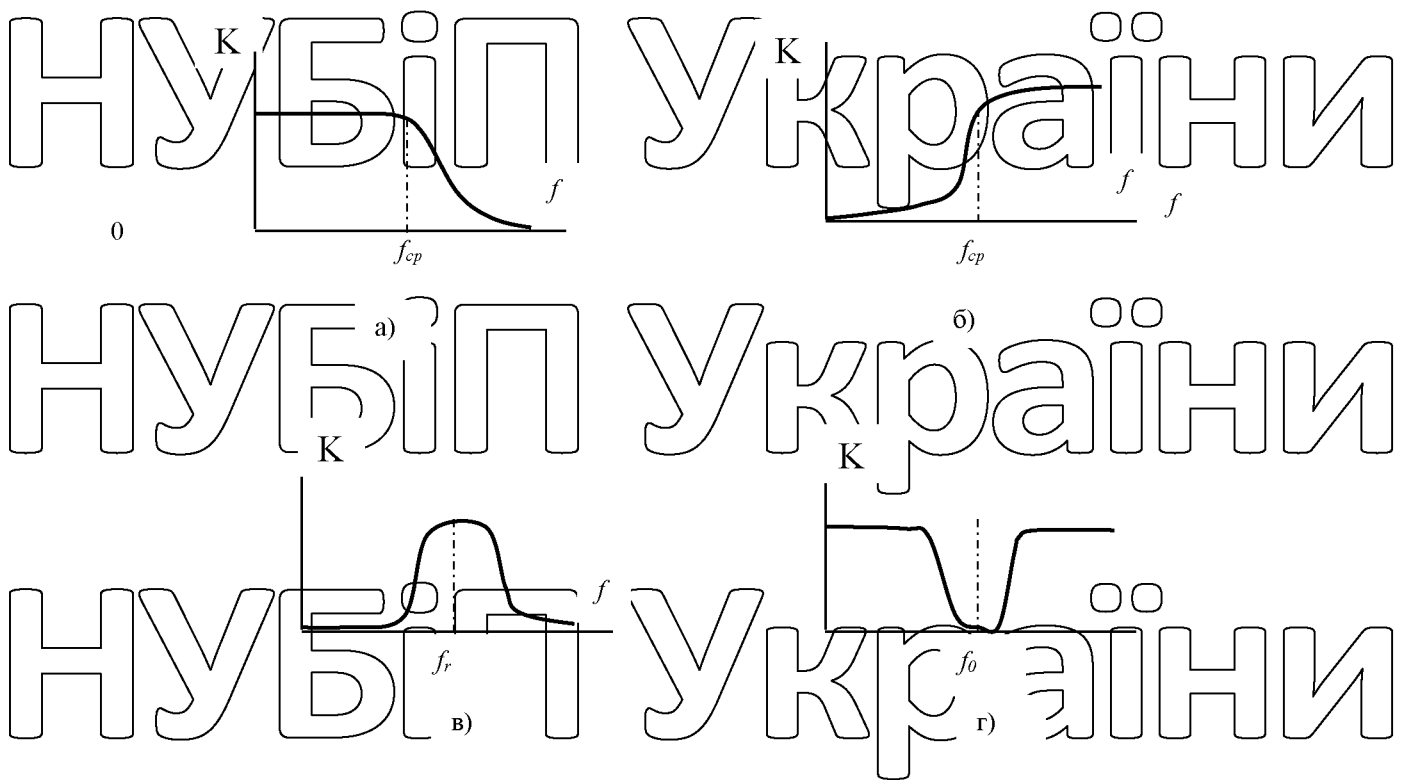


Рис.2.1. Амплітудно-частотні характеристики :

- а- фільтра нижніх частот (ФНЧ),
- б- фільтра верхніх частот (ФВЧ),
- в- смугового фільтра,
- г- режекторного фільтра.

Важливим параметром фільтра є характеристичний опір (хвильовий опір).

Воно дорівнює вхідному опоріві при роботі фільтра на погоджене навантаження.

### 2.3.3. Розрахунок пасивного фільтра нижніх частот

Фільтр нижніх частот є схемою, що без змін повинна передавати сигнали нижніх частот, а на високих частотах забезпечувати високе загасання, при цьому відбувається запізнювання вихідного сигналу щодо вхідного. На рис.

2.2 зображена схема простого RC-фільтра нижніх частот (RC-ФНЧ).



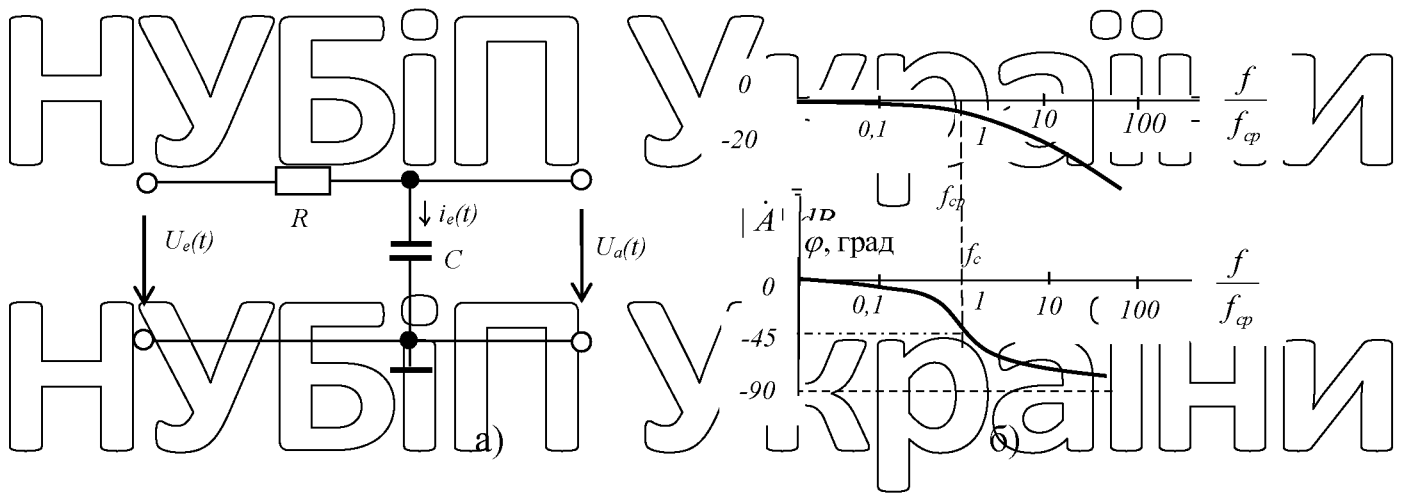


Рис. 2.2. RC-фільтр нижніх частот (інтегруючий фільтр) (а) і діаграма Бодє для ФНЧ (б).

### 2.3.3.1 Опис ФНЧ у частотній області.

Для розрахунку частотної характеристики застосуємо формулу відносини напруги, представлених у комплексній формі. Коефіцієнт передачі (посилення) фільтра дорівнює відношенню вихідної напруги до вхідного:

$$A(j\omega) = \frac{U_a(t)}{U_e(t)} = \frac{U_e(t) \cdot Z_c}{U_e(t) \cdot (R + Z_c)} = \frac{j\omega C}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}, \quad (2.1)$$

де  $Z_c$  - реактивний опір конденсатора  $C$ .

Звідси, думаючи, що  $A = |A| e^{j\varphi}$  знаходимо:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 (RC)^2}}, \quad \varphi = -\arctg(\omega RC). \quad (2.2)$$

Обидві залежності представлені на мал. 2.2б.

Частоту зрізу прийнято визначати за рівнем загасання  $\sqrt{2} = 3$  дБ.

Поклавши  $|A| = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_c^2 (RC)^2}},$

одержимо для частоти зрізу  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (2.3)$

Як видно з мал.2.26, при збільшенні частоти вхідного сигналу в 10 разів коефіцієнт підсилення зменшується в 10 разів, тобто він зменшується на 20 дБ на декаду.

## НУБІП УКРАЇНИ

### 2.3.4 Розрахунок схеми активного фільтра НЧ

Активними називаються фільтри, що містять у своєму складі активні елементи, якими є різного типу підсилювачі (на біполярних транзисторах, на лампах, на польових транзисторах, однокаскадні і многокаскадні підсилювачі, операційні підсилювачі і т.п. ).

#### 2.3.4.1 Розрахунок ФЧХ активного фільтра нижніх частот

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) розглянутого раніше пасивного ФНЧ (мал.2.2а) визначається вираженням ( 8.1 ) :

$$A(j\omega) = 1/(1+j\omega RC).$$

АЧХ визначає частотні властивості фільтра або будь-якого чотириполюсника.

Вплив фільтра на форму вхідного сигналу визначає передатна функція

фільтра

Якщо початкова фаза фільтра сигналу, що надходить  $\sigma$  на вхід, дорівнює, то формулі (2.1) необхідно комплексну кругову  $j\omega$  частоту з початковою фазою

, рівної нулеві, замінити  $p = j\omega + \sigma$  на  $p$ . Тоді передатна функція фільтра буде

виглядати так :  $A(p) = L\{U_a(t)\} / L\{U_e(t)\} = 1/(1 + pRC)$ ,

де  $L\{\}$  - перетворення Лапласа.

Передатна функція  $A(p)$  визначає залежність перетворень Лапласа вихідної і вхідної напруги від довільних тимчасових сигналів. Перехід від передатної

функції  $A(p)$  до частотної характеристики  $A(j\omega)$  для синусоїдальних сигналів

можна виконати, поклавши час  $t=0$ .

Для реалізації загального підходу і спрощення подальших формул

комплексну перемінну  $p$  звичайно нормують. Для цього приймають

$P = p/\omega_{cp}$ , де  $\omega_{cp}$  - частота зрізу.

При початковій фазі  $\sigma=0$  одержимо:

$$P = j\omega/\omega_{cp} = j(f/f_{cp}) = j\Omega.$$

Частота зрізу ФНЧ  $f_{cp} = 1/2\pi RC$ . Звідси одержимо

$$P = pRC \quad \text{і} \quad A(p) = \frac{1}{1+P}. \quad (2.3)$$

Якщо ми хочемо одержати оцінку залежності амплітуди вихідного сигналу від частоти, то треба у формулі (2.3) покласти  $P = j\Omega$ . Тоді  $|A(j\omega)|^2 = 1/(1+\Omega^2)$ .

При  $\Omega \gg 1$ , тобто для випадку, коли частота вхідного сигналу  $f \gg f_{cp}$ ,

буде  $|A| = 1/\Omega$ . Це відповідає зниженню коефіцієнта передачі ФНЧ на 20 дБ на декаду.

Якщо необхідно одержати більш прямокутну характеристику передачі, можна

включають  $n$  фільтрів послідовно. Передатна характеристика такої системи

має вигляд

$$A(P) = \frac{1}{(1 + \alpha_1 P)(1 + \alpha_2 P) \dots (1 + \alpha_n P)}, \quad (2.4)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  - дійсні позитивні коефіцієнти.

У цьому випадку зменшення коефіцієнта передачі дорівнює 20 дБ на

декаду

$$A(P) = \frac{1}{(1 + \alpha_1 P)(1 + \alpha_2 P) \dots (1 + \alpha_n P)}, \quad (2.4)$$

Перевіримо, що корені передатної функції (2.4) є негативними і дійсними.

Передатна функція ФНЧ у загальному виді може бути записана як

$$A(P) = \frac{A_0}{1 + c_1 P + c_2 P^2 + \dots + c_n P^n}, \quad (2.5)$$

де  $c_1, c_2, \dots, c_n$  - позитивні дійсні коефіцієнти,

$A_0$  - коефіцієнт передачі фільтра на частоті  $f = 0$ .

Максимальний ступінь перемінної  $P$  називається **порядком фільтра**.

$$A(P) = \frac{A_0}{1 + c_1 P + c_2 P^2 + \dots + c_n P^n}, \quad (2.5)$$

Вираження (8.20) являє собою поліном, серед коренів якого можуть бути і

комплексні.

У цьому випадку

$$A(P) = \frac{1}{(1 + a_1 P + b_1 P^2)(1 + a_2 P + b_2 P^2) \dots} \quad (2.6)$$

У випадку комплексних коренів за допомогою пасивних RC-ланцюгів ФНЧ реалізувати не можна. Потрібний або фільтр, що містить коливальні контури (RLC-фільтр), або активний фільтр.

Як показали дослідження, поліном (2.6) може являти собою записані в такому виді функції Бесселя, або поліноми Чебишева, або поліноми

$$A(P) = \frac{1}{(1 + a_1 P + b_1 P^2)(1 + a_2 P + b_2 P^2) \dots} \quad (2.6)$$

Баттерворта і т.д. Фільтри, побудовані на основі зазначених поліномів, називаються фільтрами Бесселя, фільтрами Чебишева, фільтрами Баттерворта. Якщо фільтр складається з декількох послідовно включених однакових

ланок, то формулу (2.6) можна записати в узагальненому виді

$$A(P) = \frac{A_0}{\prod_i (1 + a_i P + b_i P^2)}$$

Порядок фільтра визначається максимальним ступенем перемінної  $P$ .

Для того, щоб перетворити ФНЧ у смуговий фільтр, необхідно в передатній функції ФНЧ провести наступну заміну перемінних  $P \rightarrow \frac{\Omega}{\Delta\Omega} \left( P + \frac{1}{P} \right)$ ,

де  $\Delta\Omega$  - ширина смуги пропускання.

Якщо це вираження привести до передатної функції ФНЧ першого порядку

А<sub>0</sub>, то одержимо:  $A(P) = \frac{A_0}{1 + P}$ .

При цьому передатна функція смугового фільтра буде мати другий порядок:

$$A(P) = \frac{A_0}{1 + \frac{1}{\Delta\Omega} \left( P + \frac{1}{P} \right)} = \frac{A_0 \Delta\Omega P}{1 + \Delta\Omega P + P^2} \quad (2.7)$$

Оскільки добротність є відношення резонансної частоти до ширини смуги, то

$$Q = \frac{f}{f_{\max} - f_{\min}} = \frac{1}{\Delta\Omega}$$

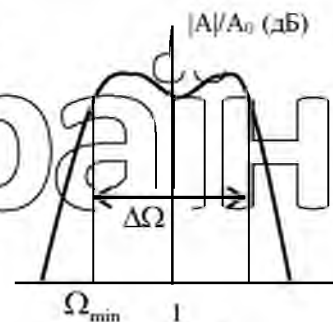


Рис.2.3. АЧХ смугового фільтра

де  $\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$  - нормована частота,

$$\Delta\Omega = \Omega_{1, \max} - \Omega_{1, \min}$$

Підставив цей вираз у (2.7), одержимо:

$$A(P) = \frac{\frac{A_r P}{Q}}{1 + \frac{1}{Q}P + P^2}$$

АЧХ смугового фільтра наведена на рис.2.3.

Для того, щоб перетворити ФНЧ у смуговий фільтр, необхідно в передатній

функції ФНЧ провести наступну заміну перемінних  $P \rightarrow \frac{1}{\Delta\Omega} \left( P + \frac{1}{P} \right)$ .

Якщо це вираження привести до передатної функції ФНЧ першого порядку  $A_0$ ,

то одержимо:  $A(P) = \frac{A_0}{1 + P}$ .

При цьому передатна функція смугового фільтра буде мати другий порядок:

$$A(P) = \frac{A_0}{1 + \frac{1}{\Delta\Omega} \left( P + \frac{1}{P} \right)} = \frac{A_0 \Delta\Omega P}{1 + \Delta\Omega P + P^2} \quad (2.8)$$

Оскільки добротність є відношення резонансної частоти до ширини смуги

$$Q = \frac{f_r}{f_{\max} - f_{\min}} = \frac{1}{\Delta\Omega} \quad (2.9)$$

де  $\Omega = \frac{\omega}{\omega_r}$  - нормована частота, то, підставив (2.9) у (2.8), одержимо:

$$A(p) = \frac{\frac{A}{Q} p}{1 + \frac{1}{Q} p + p^2} \quad (2.10)$$

### 2.3.4.2. Розрахунок параметрів активного смугового фільтра.

Для даного пристрою доцільно реалізувати смуговий фільтр зі смугою пропускання 25 Гц ... 250 Гц. Для забезпечення досить крутих схилів смуги

пропускання досить застосувати активний фільтр другого порядку, на операційному підсилювачі, котрий забезпечує заданий коефіцієнт підсилення.

Оскільки смуга пропускання реального фільтра не прямокутна і має

заокруглення на частотах зрізу, доцільно нижню частоту зрізу вибрати на

(5..10) % більше нижньої частоти смуги пропускання, а верхню – на 10..15% менше верхньої частоти пропускання.

Тоді необхідні частоти зрізу:

нижня  $f_H = 30$  Гц, верхня  $f_B = 230$  Гц..

Ширина смуги пропускання  $\Pi = F_B - F_H = 230 - 30 = 200$  (Гц)

Резонансна частота  $f_r = \frac{F_B + F_H}{2} = 150$  (Гц).

При входному сигналі  $U_{ВХ} = 25$  мВ і вихідному сигналі  $U_{Вых} = 250$  В

отримуємо:

необхідний коефіцієнт посилення фільтра  $K_y = U_{Вых} / U_{ВХ} = 2500 / 25 = 100$ .

Типова схема активного ФНЧ другого порядку [1] наведена на рис.2.4.

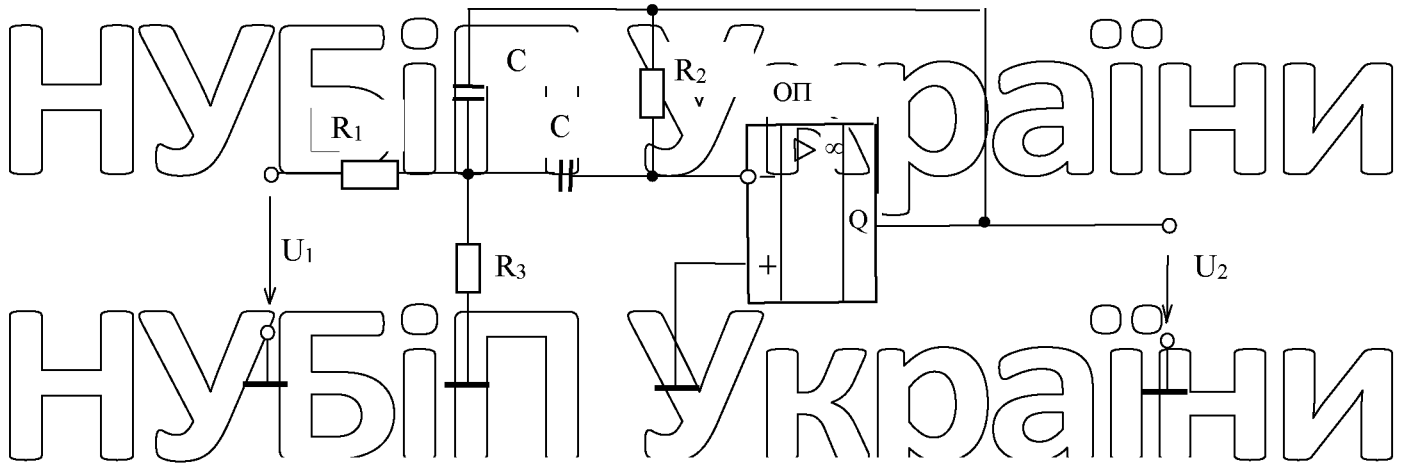


Рис.2.4. Активний смуговий фільтр другого порядку з негативним зворотним зв'язком.

Передатна характеристика такого фільтра [1]

$$(2.11) \quad A(p) = - \frac{R_2 R_3 C \omega_r p}{R_1 + R_3 + \frac{2R_1 R_3 C \omega_r p + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^2 \omega^2 p^2}{R_1 + R_3}};$$

де  $\omega = 2\pi \cdot f$ ;  $f$  - частота сигналу.

З формули (2.10) відомо, що на резонансній частоті  $f_r$  коефіцієнт при  $p^2$  повинний бути 1, тобто

$$\frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^2 2\pi^2 f_r^2 = 1.$$

Звідси  $f_r = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}}$ . (2.12)

Підставив вираз (2.12) в формулу для передатної характеристики (2.11), Отримаємо необхідні формули для обчислення характеристик фільтра:

Коефіцієнт підсилення  $A_r = (R_2 / 2R_1)$ ; (2.13)

Добротність  $Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_2 (R_1 + R_3)}{R_1 R_3}} = \pi R_2 C f_r$ . (2.14)

Вираз для ширини смуги пропущення  $B$  получим із формули (2.14).



$$B = \frac{f_r}{Q} = \frac{f_r}{\pi R_2 C f_r} = \frac{1}{\pi R_2 C} \quad (2.15)$$

Із формули (2.15) видно, що смуга  $B$  не залежить від  $R_1$  і  $R_3$ , а із (2.13) слідкує, що  $A$  не залежить від  $R_3$ , тому **можна змінювати**

**резонансну частоту  $f_r$  шляхом змінювання  $R_3$ , при цьому коефіцієнт підсилювання  $A_r$  і ширина смуги  $B$  не змінюються.**

Можна покласти  $R_3 = 1$ , тоді із формул (2.13) і (2.14) отримуємо, що буде  $A_r = 2Q^2$  (2.15)

Вираз (2.15) показує, що операційний підсилювач зобов'язаний коефіцієнт підсилення не менше  $2Q^2$ .

### 2.3.4.3 Розрахунок елементів активного фільтра другого порядку:

Вихідні дані:

- резонансна частота  $f_r = 150$  Гц;
- коефіцієнт підсилювання на резонансній частоті  $A_r = -100$ ;
- частоти зрізу  $f_H = 30$  Гц,  $f_B = 230$  Гц;
- ширина смуги пропускання  $B = f_H - f_B = 200$  Гц;
- добротність  $Q = 100$ ;

Спочатку задамо повільно значення ємності конденсатора  $C$ :

$$C = 1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Тоді з (2.14) одержимо:

$$R_2 \frac{Q}{\pi f_r C} = \frac{100}{3,14 \cdot 150 \cdot (1 \cdot 10^{-6})} = 212 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}$$

Приймаємо  $R_2 = 220 \text{ кОм}$ .

З формули (2.13) слідкує, що  $R_1 = \frac{R_2}{-2A_r} = \frac{220 \cdot 10^3}{-2(-100)} = 1,1 \text{ кОм}$

Приймаємо  $R_1 = 1,1 \text{ кОм}$ .

Величину резистора  $R_3$  знайдемо з виразу (2.12):

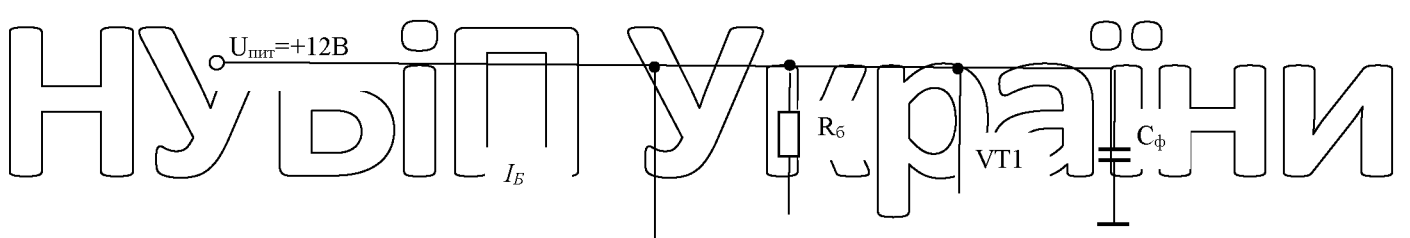
$$R_3 = \frac{(A)R_1}{2Q^2 + A} = \frac{100 \cdot 11 \cdot 10^3}{2 \cdot 100^2 + 100} = 5,5 \text{ Ом}$$
 Приймаємо  $R_3 = 5,6 \text{ Ом}$ .

Коефіцієнт підсилення операційного підсилювача на резонансній частоті повинен бути більше, як  $K_y = 2Q^2 = 2 \cdot 100^2 = 20000$ .  
 На вихід підсилювача підключаються головні телефони з опором  $R_H = 56 \text{ Ом}$ .

Тому максимальний вихідний струм підсилювача запов'язан бути  $I_{\text{вихMax}} > U_{\text{дв}} / R_H$ .  
 Так як операційний підсилювач вмикається мікроконтролером, який має напругу живлення 5 В, то він запов'язан мати  $I_{\text{вихMax}} > 5 / 56 = 0,09 \text{ А}$ .  
 Обираємо диференціальний підсилювач OP279GP

- ф. Analog Devices, параметри якого:
- $U_{\text{питMax}} = +12 \text{ В}$  однополярне;
  - $K_y = 100000$ ;
  - максимальна частота підсилення  $f_{\text{max}} > 1 \text{ МГц}$ ;
  - струм споживання - 500 мА;
  - максимальний струм навантаження - 100 мА;
  - вхідний опір  $R_{\text{вх}} = 100 \text{ кОм}$ ;
  - максимальна потужність розсіяння - 5 Вт.

Для того, щоб мати можливість відключати підсилювач, треба включити комутаційний ключ на транзисторі VT1, як наведено на рис.2.5.



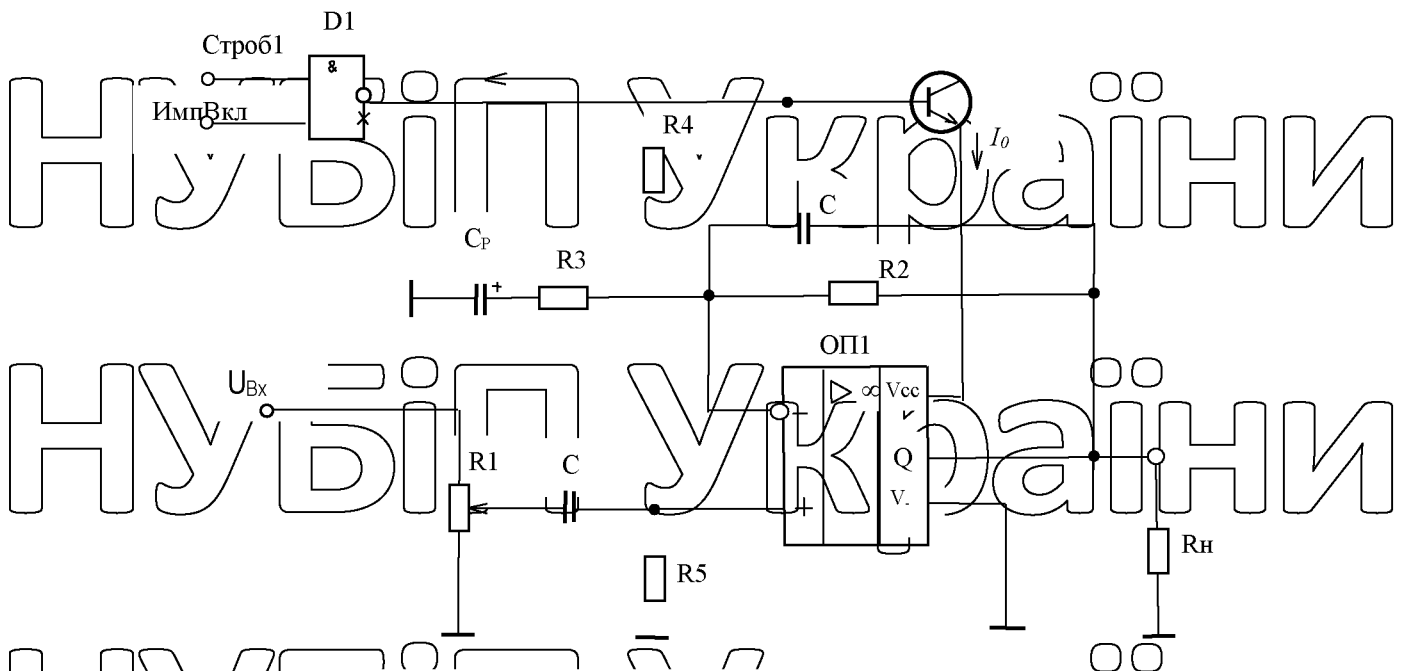


Рис.2.5. Схема активного смугового фільтра

Транзистор VT1 робитиме у режимі ключа.

Оскільки необхідно забезпечити струм живлення мікросхеми операційного підсилювача  $I_0$ , максимальний струм колектора VT1 запов'язан бути  $I_{K1} \geq I_0$ , тобто більше 100 мА.

Тоді струм бази транзистора (статичний)  $I_B = I_K / \beta$ ,

де  $\beta \approx 100$  - коефіцієнт підсилення транзистора,

то струм бази повністю відкритого транзистора

$$I_{B0} = I_K / \beta = 100 \cdot 10^{-3} / 100 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ (А)} = 1 \text{ мА.}$$

З урахуванням коефіцієнту насичення відкритого транзистора  $K_{нас} = 2$

необхідний струм бази повинен бути:

$$I_B = I_{B0} \cdot K_{нас} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ (мА).}$$

$$\text{Тоді } R_0 = \frac{U_{зис} - U_{EB}}{I_B} = \frac{5 - 1}{2} = 2 \text{ (кОм).}$$

Тут  $U_{EB} = 1 \text{ В}$  - напруга емітер-база транзистора у режимі насичення.

Отриманим параметрам задовольняє транзистор р-п-р КТ3106 або з провідністю п-р-п КТ3107.

Параметри транзистора :

- максимальна напруга колектора 20 В;
- максимальний струм колектора 150 мА;
- коефіцієнт підсилення  $\beta=50-150$ .

Струм бази забезпечує логічний елемент 2И-НЕ з “ відкритим колектором”.

Його вихідний струм в режимі “логічний 0” повинен бути більше, ніж струм  $I_B$ , а швидкість переключення повинна задовольняти параметрам

управляючого регістра, від якого надходить сигнал включення ИмпВкл. Таким вимогам задовольняє логічний елемент структури TTLШ серії 1555 або 1533,

наприклад **КР1561ЛА7** (аналог CD4011), параметри якого:

- максимальна напруга живлення  $U_{жив} = 20 \text{ В} \pm 0,5 \text{ В}$ ;
- струм навантаження (у режимі  $U_{вих} = \text{лог.}0$ ) до 6,8 мА при  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- швидкість переключення  $f_{max} = 1 \text{ МГц}$ ;
- струм живлення 0,1 мА ( при  $U_{вх} = 0 \text{ В}$  ) ;
- корпус –14 виводів, “DIP-14”.
- температурний діапазон  $-40 \div +75 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 2.3.4.4. Робота активного фільтра.

Схема, наведена на рис.2.5 являє собою варіант схеми рис.2.4. Різниця тільки у тому, що вхідний сигнал в схемі рис.2.4 подається на інверсний вхід операційного підсилювача, а в схемі рис.2.5 – на не інверсний вхід, що застосовують при однополярному живленні операційного підсилювача.

Резистор R1 виконує функції дільника R1-R3 схеми рис.2.4.

Оскільки живлення – однополярне, то на неінверсний вхід включений делитель R4-R5, який забезпечує коефіцієнт ділення:

$$K_{д} = \frac{R_5}{R_5 + R_{ex}} = \frac{1}{2},$$

тут  $R_{ex}$  – вхідний опір операційного підсилювача.

Конденсатор  $C_p$  розділювальний. Його ємність повинна бути  $C_p \gg C$ .

Тому обрано  $C_p = 10 \text{ мкФ}$ .

При наявності на вході *Строб* логічної одиниці, якщо при цьому на вході *ИмВкл* з'являється логічна одиниця, на виході мікросхеми D1 з'явиться логічний нуль. Це означає, що вихід D1 підключене до корпусу. Тоді починає текти струм бази транзистора VT1 і з'являється струм колектора  $I_0$ , який подається на висновок електроживлення операційного підсилювача ОП1.

Операційний підсилювач починає робити у штатному режимі.

Якщо на вході *ИмВкл* присутній логічний нуль, то на виході D1 маємо логічну одиницю. У цьому випадку напруга між базою і емітером транзистора VT1 дорівнює нулеві, тому струм бази і струм колектора дорівнюють також нулеві. Оскільки  $I_B = 0$ , то і напруга живлення операційного підсилювача дорівнює нулеві, тому він відключений.

## 2.4. Розрахунок параметрів системи охорони

Схема модкля наведена на аркуші 3 Додатку 1. Модуль містить 32 каналу прийома сигналів, це означає, що він має 32 ФНЧ на операційних підсилювачах.

### 2.4.1. Розрахунок споживаної потужності модуля ШО.

Споживаний струм розраховується як сума струмів споживання усіх елементів плати.

Номінальні струми споживання мікросхем зведені до табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Найменування елемента	Кількість	Режим роботи	Номінальний струм споживання елемента, мА	Сумарний струм, мА
D1	1	Безперервний	400	400
D2	1	Імпульсний	12	12
D3	1	Імпульсний	20	20
D4	1	Імпульсний	30	30
D5..D11	12	Імпульсний	10	120
D12	1	Імпульсний	25	25
D13	1	Імпульсний	10	10
D14	1	Імпульсний	25	25

D15	1	Імпульсний	30	30
D16..D31	16	Імпульсний	10	160
Всього				842

Таким чином, сумарний струм споживання мікросхем  $I_{MC}=842$  мА.

#### 2.4.2. Розрахунок струму споживання транзисторів.

Транзистори VT1, VT4 роблять у імпульсному режимі. Скважність досягає 2..4 і залежить від режиму роботи пристрою. Максимальний струм споживання одного транзистора  $I_{T1}=25$  мА.

Тому загальний струм транзисторів

$$I_T = I_{T1} * 4 * (1/Q) = 25 * 4 * (1/2) = 50 \text{ мА.}$$

Всього струм споживання плати СТ02 :  $I_{CT2}=I_{MC}+I_T=842+50=892$  мА.

Приймаємо  $I_{CT2}=1$  А.

Оскільки  $U_S=5$  В, потужність плати  $P_{CT2}=U_S * I_{CT2}=5 * 1=5$  Вт.

#### 2.4.3. Розрахунок струму споживання модуля ППО

Модуль СТ.07 містить клавіатуру (16 клавш) і  $N_D=32$  світлодіода.

Клавіатура являє собою два контакти, яки перемикаються при натисканні клавші, тому струм споживання клавіатури  $I_{кл}=0$ .

#### Розрахунок струму споживання світлодіодів.

В модулі ППО застосоване двокольорові світлодіоди L-115VGW, яки містять в себе два світлодіода: зеленого і красного кольору світіння, тому кожен світлодіод може світитися красним, зеленим або жовтим кольором.

Жовтий колір утворюється, якщо світиться обидва світлодіода, тому струм споживання у цьому випадку вдвічі більше.

Якщо номінальний струм споживання одного світлодіоду  $I_I=10$  мА, то при

жовтому кольорі світіння  $I_{Дж}=2 * 10 = 20$  мА.

Тому струм споживання в режимі контролю, коли світяться всі світлодіоди

$$I_{CT7} = I_{LD} \cdot N_{LD} = 20 \cdot 32 = 640 \text{ мА.}$$

2.5.2. Струм  $I_{CT7}$  є максимальний струм плати СТ.07.

Тому потужність споживання модуля ППО:

$$P_{CT07} = U_S \cdot I_{CT07} = 5 \cdot 0,64 = 3,2 \text{ Вт.}$$

Така потужність допускає застосування плати без додаткового охолодження.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 3. Розрахунок двоконтурної охоронної системи

### 3.1. Функціональна схема двоконтурної охоронної системи

З урахуванням вище сказаного функціональна схема обрана такою:

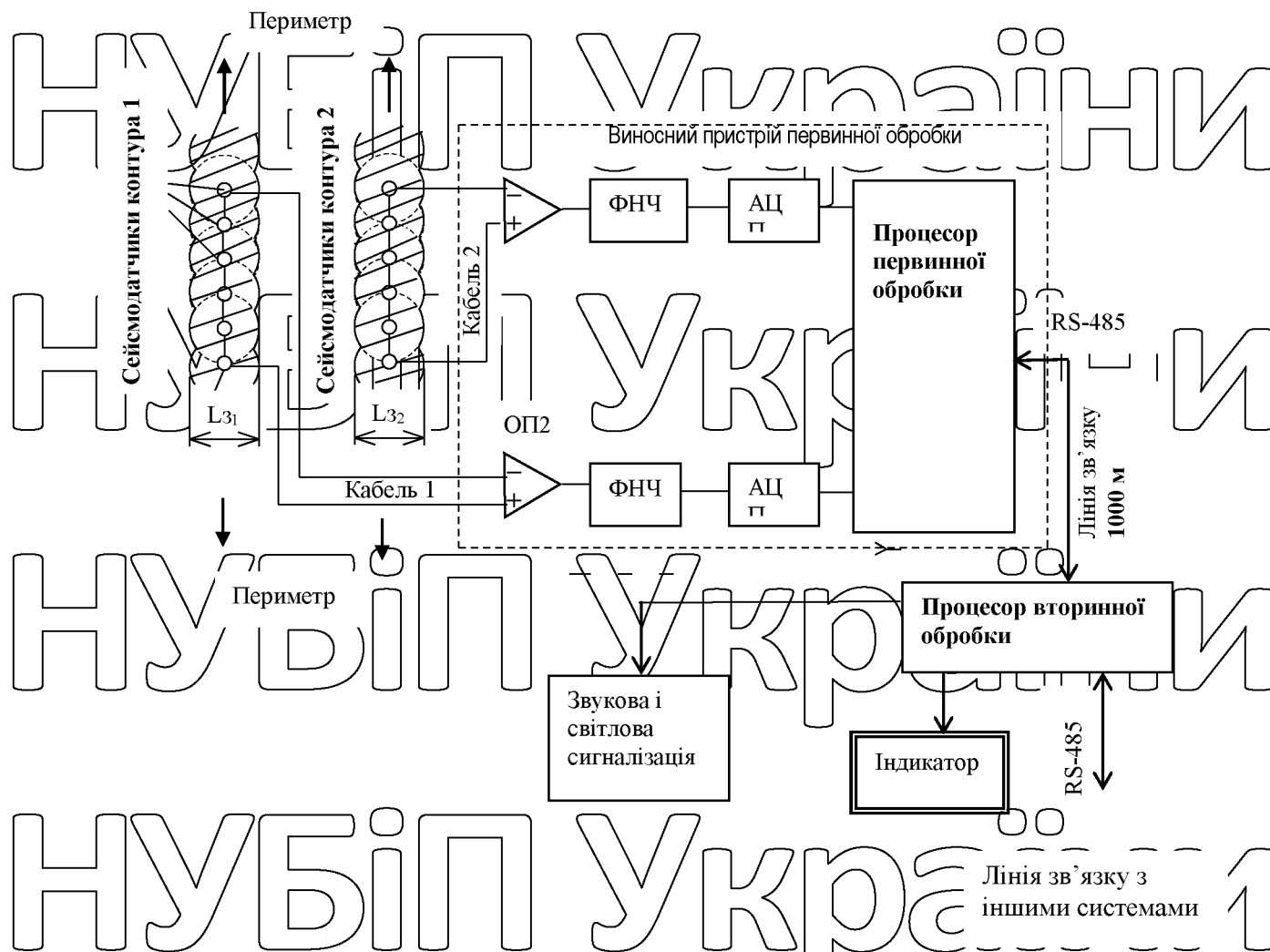


Рис.3.1. Функціональна схема двоконтурної периметрової охоронної системи

Оскільки сигнал сейсмодатчика низькочастотний, а період повтору імпульсів не менше 0,2 сек (бег), то функції сигнального процесора може виконати і швидкий мікроконтролер. Наприклад, мікро контролери ф. Atmel

забезпечують продуктивність 20 MIPS при тактовій частоті 20 МГц, що є достатньо для первинної обробки сеймосигналу. Крім того, мікроконтролери



мають розвинутий інтерфейс і різноманітні пристрої обміну зі стандартним програмним забезпеченням, що спрощує програмування обміну.

Процесор вторинної обробки розташовано в приміщенні, де знаходиться центральний персонал пост охорони.

Призначення процесору вторинної обробки:

- забезпечити обмін даними з виносним пристроєм первинної обробки;
- забезпечити звукову і світлову сигналізацію у випадку порушення периметру з метою залучення уваги чергового охоронця;

- відображати карту периметру на великому екрані;

забезпечити індикацію місця порушення на карті периметру;

- виконати контроль і діагностику ліній зв'язку;
- виконати контроль роботи і діагностику виносних пристроїв;
- забезпечувати підключення і відключення ліній охорони при введенні коду

доступу необхідного рівня;

- забезпечувати розпізнавання кодів доступу різного рівня;
- виконувати обмін даними з другими системами охорони і з пунктами спеціальної охорони по телефонній мережі ;
- виконувати обмін даними по мережі LAN.

Функціональна схема охоронної сейсмічної системи наведена на аркуші 1

Система містить 32 зони охорони. Кожна зона - двоконтурна.

Дві зони підключені до виносного приладу первинної обробки, всього приладів

-16. Кожен прилад ППО має 8 диференціальних входів, к кожному підключені шлейфи із 6 сейсмодатчиків. Кожен шлейф утворюють охоронну зону довжиною 50 метрів, всього шлейфів 4 в кожній зоні. Таким чином, один ППО обслуговує 200 метрів периметру.

Монтажна схема шлейфів наведена на аркуші 2.

### 3.2. Функціональна схема пристрою первинної обробки сигналу

Функціональна схема пристрою первинної обробки наведена на аркуші 1 і аркуші 8. У відповідності з рис.2.2 і рис.2.5.функціональна схема пристрою первинної обробки ППО має вигляд, як наведено на рис.3.2.

Сигнал датчиків подається на попередній підсилювач, який повинен мати постійний коефіцієнт підсилення ( 20 дБ) і перетворює парафазний сигнал в одинарний. Після підсилення сигнал подається на смуговий фільтр зі смугою пропускання 10...200 Гц. Після проходження фільтру сигнал подається на аналогово-цифровий перетворювач, з виходу якого сигнал подається в порт P1 мікроконтролера

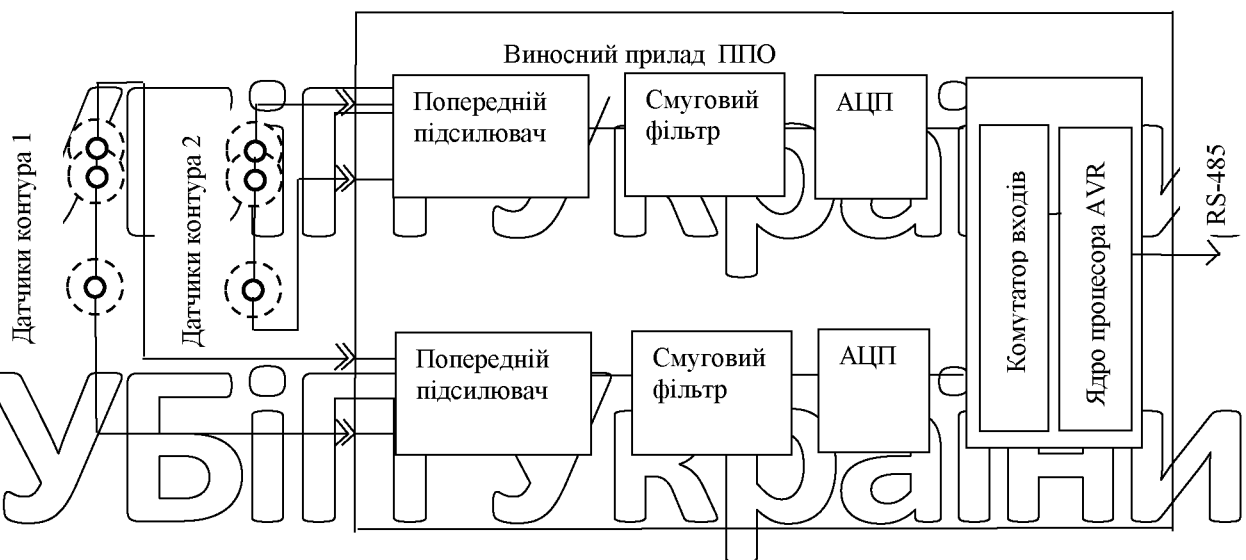


Рис.3.2. Функціональна схема одного каналу приладу ППО.

В наступний час випускаються процесори, які мають вбудований АЦП, комутатор 8х1 включено перед АЦП.

Як правило, мікроконтролери мають універсальний послідовний порт UART.

Для перетворення його сигналу в парафазний сигнал протоколу RS-485 з необхідним підсиленням застосовують мікросхему-перетворювач.

### 3.3. Схема електрична принципова приладу первинної обробки

Схема електрична принципова наведена на рис.3.9.

Вхідний сигнал поступає на входи “+” і “-“ непереднього підсилювача, який виконано на мікросхемі DA1 типу AD620AR фірми Analog Devices.

Мікросхема являє собою диференційний операційний підсилювач з наднизьким рівнем власного шуму і фіксованим коефіцієнтом підсилення. Коефіцієнт підсилення визначається резистором R11, який необхідно підключити до входів Rg1 та Rg2.

Величина R11 визначає значення коефіцієнту підсилення  $K_y$  і визначається по формулі:

$$R_g = \frac{49,4}{K_y - 1} \text{ (кОм)}.$$

Для коефіцієнту підсилення 20 дБ ( $K_y=100$ ) повинно бути  $R_g = 470 \text{ Ом}$ .

Резистори R12 і R13 служать для визначення потенціального зв'язку з шиною “0 живлення”. Для зменшення впливу наводок і електричного шуму в лінії зв'язку застосовано RC-фільтри, які виконані на елементах R18-C18 та C15-C12.

В колі живлення “-5 В” є аналогічний фільтр на елементах R19-C19-C16-C13. Високочастотні танталові конденсатори C12, C13, C18, C19 служать для компенсації впливу індуктивностей провідників печатної плати і фільтрації високочастотних імпульсних наводок.

Смуговий фільтр, який забезпечує пропущення смуги частот корисного сигналу, виконано на операційному підсилювачі DA12 (AD743AR) з елементами кола зворотного зв'язку R17- C14-C17. Коефіцієнт підсилення цього каскаду визначається величиною резисторів R15 і R16 і може керуватися мікроконтролером.

Резистори R14-R15 утворюють дільник 1:20, що забезпечує коефіцієнт підсилення 100.

При підключенні резистора  $R_{16}=5,6 \text{ Ом}$  паралельно резистору  $R_{16}=56 \text{ Ом}$  коефіцієнт підсилення зменшується у 10 разів.

Комутацію каналів і перетворення вхідної напруги у цифровий код виконує мікроконтролер ( мікросхема D1 Atmega168-20AI). Мікроконтролер містить 8 аналогових входів, які по чергову підключаються з частотою 200 кГц до 10 розрядного АЦП.

Цифрову обробку виконує RISC – процесор мікроконтролера з тактовою частотою 20 МГц і продуктивністю 20 MIPS. Командна система

мікроконтролера містить 133 команди. Програмування забезпечується середою AVR-Studio 4.

#### **3.4. Конструкція приладу первинної обробки .**

Прилад первинної обробки виконано в виразі модуля з печатною платою на якій встановлено всі радіоелементи.

Модуль ППО міститься в поліетиленову муфту , яка має властивість термоусадки. Для обтиску вхідних проводів муфту нагрівають до  $75-80 \text{ }^\circ\text{C}$  ,

потім охолоджують. Діаметр її фланців зменшується на 10 мм і вона міцно

обжимає кабель. Муфта збірна, містить дві частини, які з'єднуються після монтажу кабелів. Шви обробляються термолісом.

Модуль встановлений в каркас (аркуш 6), який закріплюється в муфті.

Муфта з кабелями встановлюються в ґрунті на глибину 70 см.

### 3.5. Обґрунтування вибору процесора вторинної обробки

Пристрій первинної обробки виконує підсилення сигналу сейсмодатчиків, попередню фільтрацію активним ФНЧ і перетворення суміші

сигнал+шум з виходу ФНЧ у 10-розрядний двійковий код, при якому

отримаємо  $N_D = 1023$  дискрети. При амплітуде сигналу на вході процесора

первинної обробки  $U_{ср} = 2,5$  В ціна молодшого розряду

$$C_{мр} = N_D / U_{ср} = 2,5 / 1023 = 0,00244 \text{ В} = 2,5 \text{ мВ.}$$

Але процесор ППО 8-розрядний і обмін даними більш чим 8 розрядів по

8-розрядному інтерфейсу повинен бути двома байтами, що передаються

послідовно – спочатку старший байт, потім молодший. Це призводить до

зменшенню швидкості обміну у кілька разів і складному протоколу обміну.

Якщо використовувати тільки 8 розрядів з виходу АЦЦ, то це дає ціну

молодшого розряду  $C_{мр} = 2,5 / 256 = 0,01 \text{ В} = 10 \text{ мВ}$ , що достатньо для вторинної

обробки ( накопичування до 10 імпульсів і порівнянн суми амплітуд з

порогом). Крім того, процесор ППО і ПВО розташовані на загальній печатній

платі і легко забезпечити обмін по паралельному інтерфейсу. Тому обираємо

обмін між процесором ППО і процесором вторинної обробки (ПВО) по 8 –

розрядному паралельному інтерфейсу, використовуємо тільки 8 старших

розрядів АЦЦ. Процесор вторинної обробки виконує також цифрову фільтрацію

з ціллю поліпшення відношення сигнал/шум, що підвищує чутливість і

розширює радіус зони виявлення сейсмодатчиків, тобто процесор вторинної

обробки повинен працювати як сигнальний процесор, і ,крім того, повинен за

допомогою відеопроцесора відображати інформацію на екрані і безперервно

записувати інформацію, що надійшла протягом 4 тижнів. Це великий об'єм

відеоінформації, і як звісно. Відео-дані вимагають високої швидкості роботи

процесора – кілка MIPS ( Million Instraction per Sekond). Таким чином, вимоги до

процесорв вторинної обробки такі:

- висока швидкість обробки сигналу, така як у сигнального процесора;

- можливість відображати відеодані на великому екрані РКІ а світлодіодному екрані 1000х1000 точок);

- можливість передачі даних по Internet-мережі:

- підключення клавіатури і миши через роз'єднувачі USB;

- діапазон робочих температур: від 0 до +50 градусів (так я апаратура буде смонтована у приміщенні).

Таким вимогам відповідають одноплатні промислові комп'ютери. Багато з них можна встановлювати безпосередньо на печатну плату за допомогою

роз'єднувачів типу PC-104 або PC-104+. PC-104 – аналог шини ISA, але з

більш високою швидкістю обміну – до 10 МГц.

PC-104+ – аналог PCI зі швидкістю обміну до 100 МГц.

Серед останніх розробок звертають увагу до себе розробки фірми

Atlantis, яка випускає кілька найменувань промислових комп'ютерів на базі

мікропроцесорів Celeron і Pentium. Це комп'ютери “етажерочної”

конструкції (рис.3-4), яка дозволяє будувати пристрій обробки без з'єднуючих

багатопроводних кабелів (шлейфів). Для цього використовується штирьові

роз'єднувачі PC-104, які мають 104 контакти. Найменування виводів

аналогічне 16-розрядній шині ISA. Роз'єднувач PC-104 монтується на

печатну плату і має 2 ряди контактів: штирі довжиною до 15 мм знизу і

гнізди – зверху, що дозволяє встромляти іншу плату з роз'єднувачем PC-104.

Випускаються багато різних додаткових плат: джерела живлення +5 В, +12 В

– 5 В, -12 В; пристрої вводу/виводу паралельного 8 або 16-розрядного коду;

послідовні інтерфейси, пристрої з 8 вихідними реле та ін.

Роз'єднувачі PC-104 дозволяють зібрати необхідну систему обробки з власним джерелом живлення без паяння або застосування шлейфів.

Випускаються і спеціальні корпуси для типорозміру плат 116х96 мм. Вони

можуть бути з алюмінію або пластмасові.



Рис.3.4. Промисловий комп'ютер етажеркової конструкції

Фірма випускає кілька модифікацій промислових комп'ютерів, в тому числі багато плат до них для підключення периферійних пристроїв. Усі вони однакового розміру 116x96 мм. Роз'єднувач PC-104 має 4 рядки контактів : два 32-контактних та два 40-контактні, всього 104 контакта, тому й назва : «PC-104».

Роз'єднувач являє собою 104 гніздових контакти зі штирьовими виходами довжиною 8, 10 або 15 мм, що дозволяє їх або впаювати у печатну плату, або встромляти один у інший, тому збирається «етажерка» з кількох плат без шлейфів (рис.3.4). Є джерела живлення аналогічної конструкції, а також плати для підключення моторів, крокових двигунів та ін.

Найбільшу швидкість обчислень має 4-ядерний одноплатний промисловий комп'ютер IBW6954 B4 (рис.3.5).

#### Параметри промислового комп'ютеру IBW6954 B4 Atlantis:

Процессор 4-ядерный Intel Celeron N3160 Quad Core 1,6 ГГц

Тактова частота 1,6 ГГц ( або 2.24 ГГц – під додатковий заказ)

Кількість ядер - 4

Пам'ять РЗН (RAM) – до 4 GB

Вбудований відеопроцесор VGA 1920x1200, 60 Гц

Послідовні інтерфейси : 2 x RS-232, 2 x RS-232/RS-422/RS-485, 1x I<sup>2</sup>C

Габаритні розміри 116x96 мм

Живлення - 5V, 0,66 А, 34 Вт

Роз'єднувач для підключення до Internet LAN – 1шт

Роз'єднувач PC-104 - 1 ; Mini PCI slot - 1шт

Підтримка операційних систем W10, W7 (64 Bit)

Micro CD - SATA

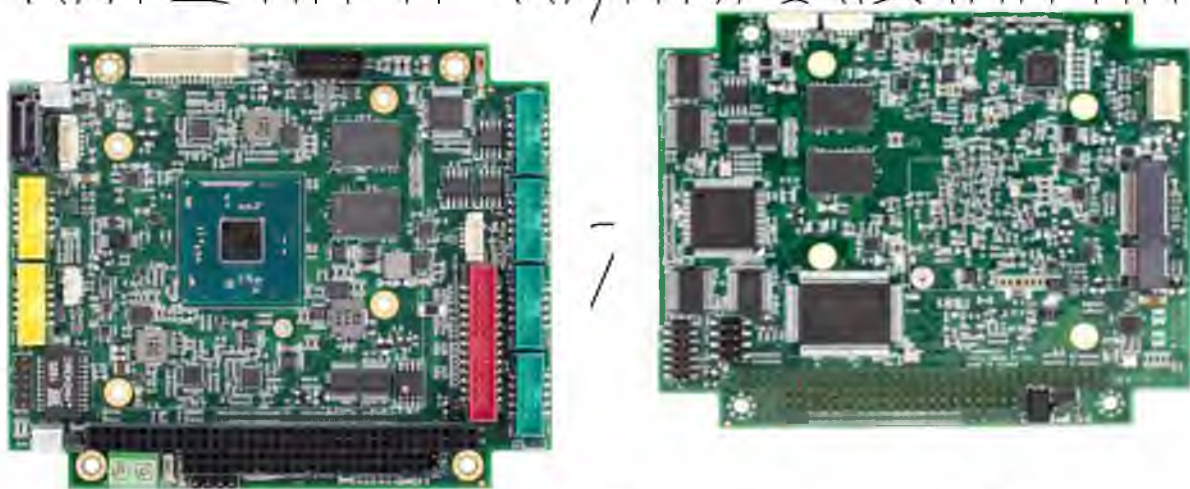


Рис.3.5. Одноплатний промисловий комп'ютер 4BW6954 B4 Atlantis

а – вид зверху, б – вид знизу.

### 3.6. Розробка електричної схеми охорони периметру РТП 35/10

При великій довжині периметру датчики можна включити попарно, як показано на рис.3.6. При цьому імпульсна напруга, що генерує один датчик

буде сумуватися до імпульсу другого датчика. На вхід АЦП мікроконтролера первинної обробки буде поступати сигнал двох датчиків, відстань між якими 8-



10 м. Сигнали будуть зсунути по фазі на 5-10 градусів, але це на параметри виявлення практично не впливає, оскільки ЦВО сумує сигнали усіх датчиків з даного напрямку, а потім суму порівнює з порогом.

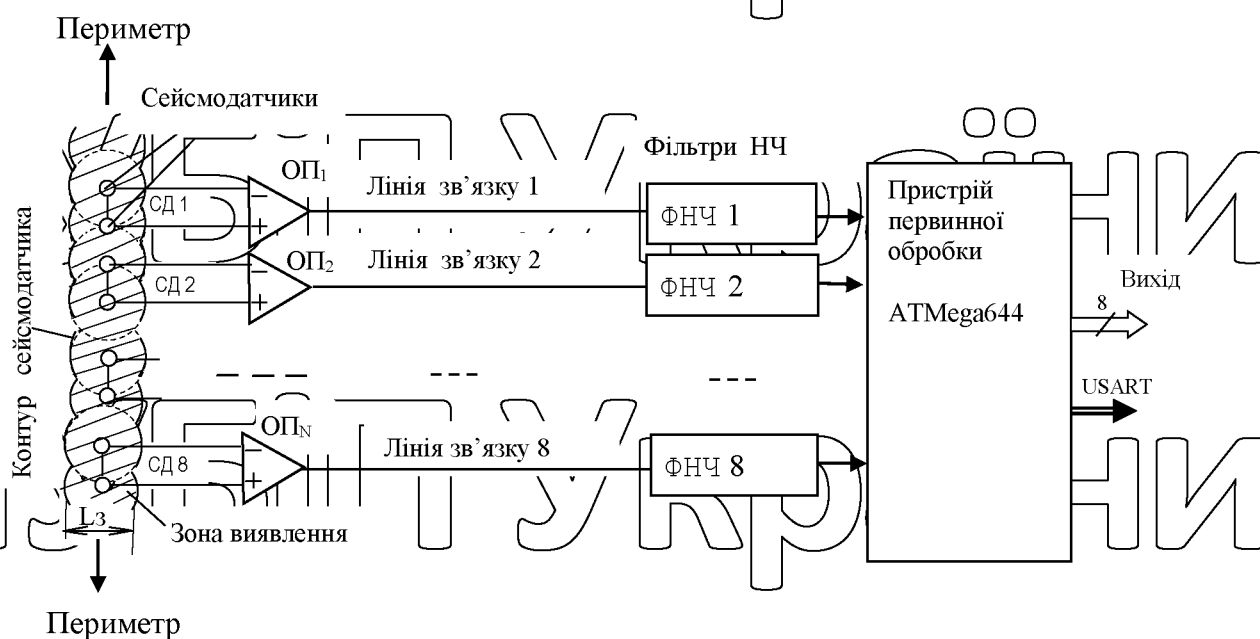


Рис.3.6. Включення сейсмотатчиків одного контуру

Габаритні розміри трансформаторної підстанції РТП-35/10 представлено на рис.3.7. Підстанція розташована на площадці 30x20 м. На території підстанції розташовано трансформатор потужністю 0,5 -5 ГВт, система розподілу і захисна апаратура. До підстанції підведено одна лінія 35 кВ.

Оскільки довжина периметру близько 100 м, сейсмотатчики цілесообразно розташувати на відстані 5 – 6 м по 8 датчиків на кожную сторону, що створює одну зона виявлення. Тоді образується 4 зони по 8 датчиків в кожній. Схема розташування датчиків показана на рис.3.8. Кабелі від датчиків підведено до службового приміщення, де розташовано пристрої первинної і вторинної обробки. Довжина кабелів не перевищує 10 м, і вони знаходяться на глибині 0,7 м в ґрунті, тому вплив перешкод буде невеликий. Як показали дослідження, електромагнітні імпульси практично не проникають на таку глибину.

Датчики кожної зони підключено до відповідного 8-входового ППО, як показано на схемі рис.3.9.

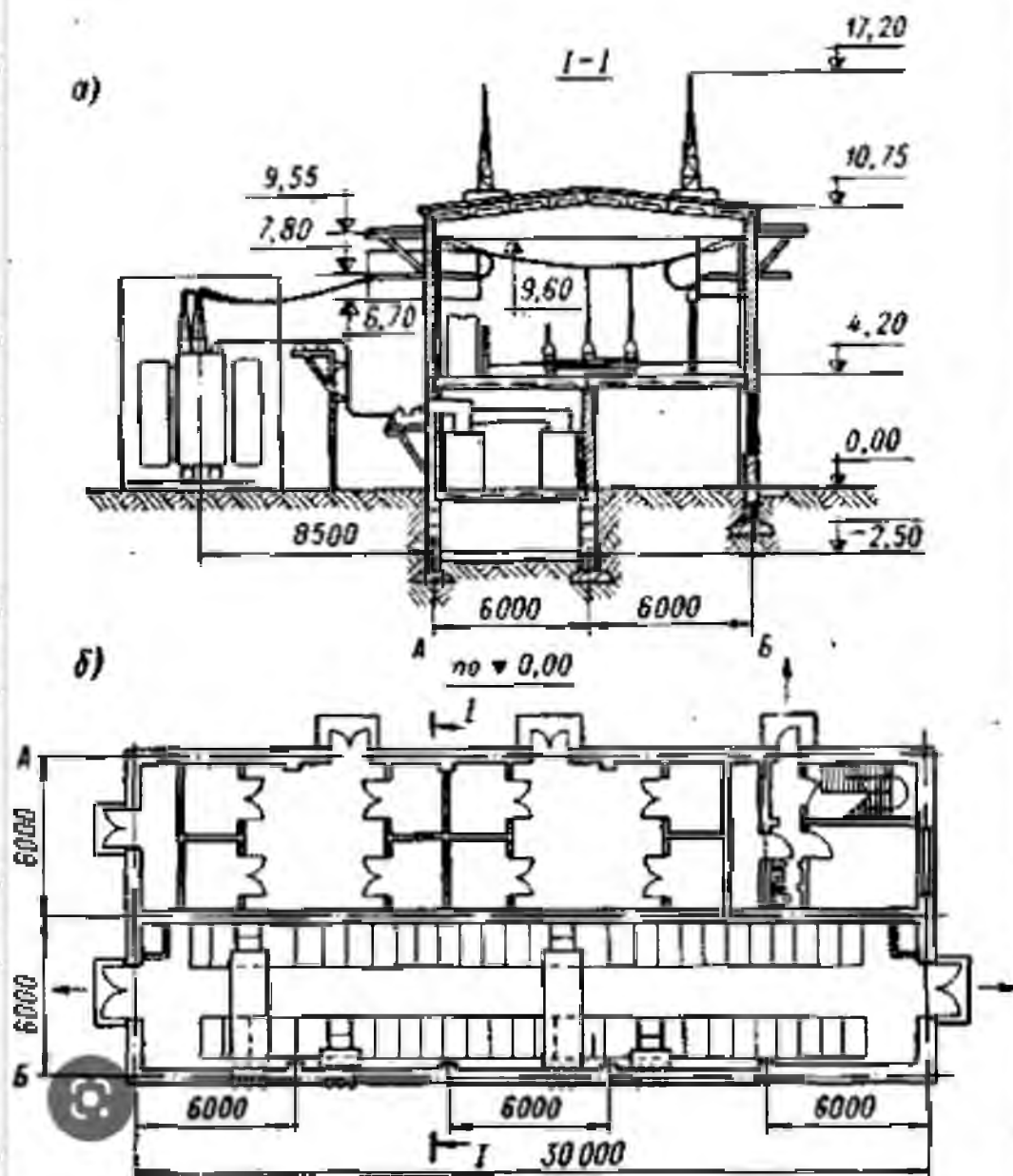


Рис.3.7. Трансформаторна підстанція РТП 35/10

НУБІП України

НУБІП України

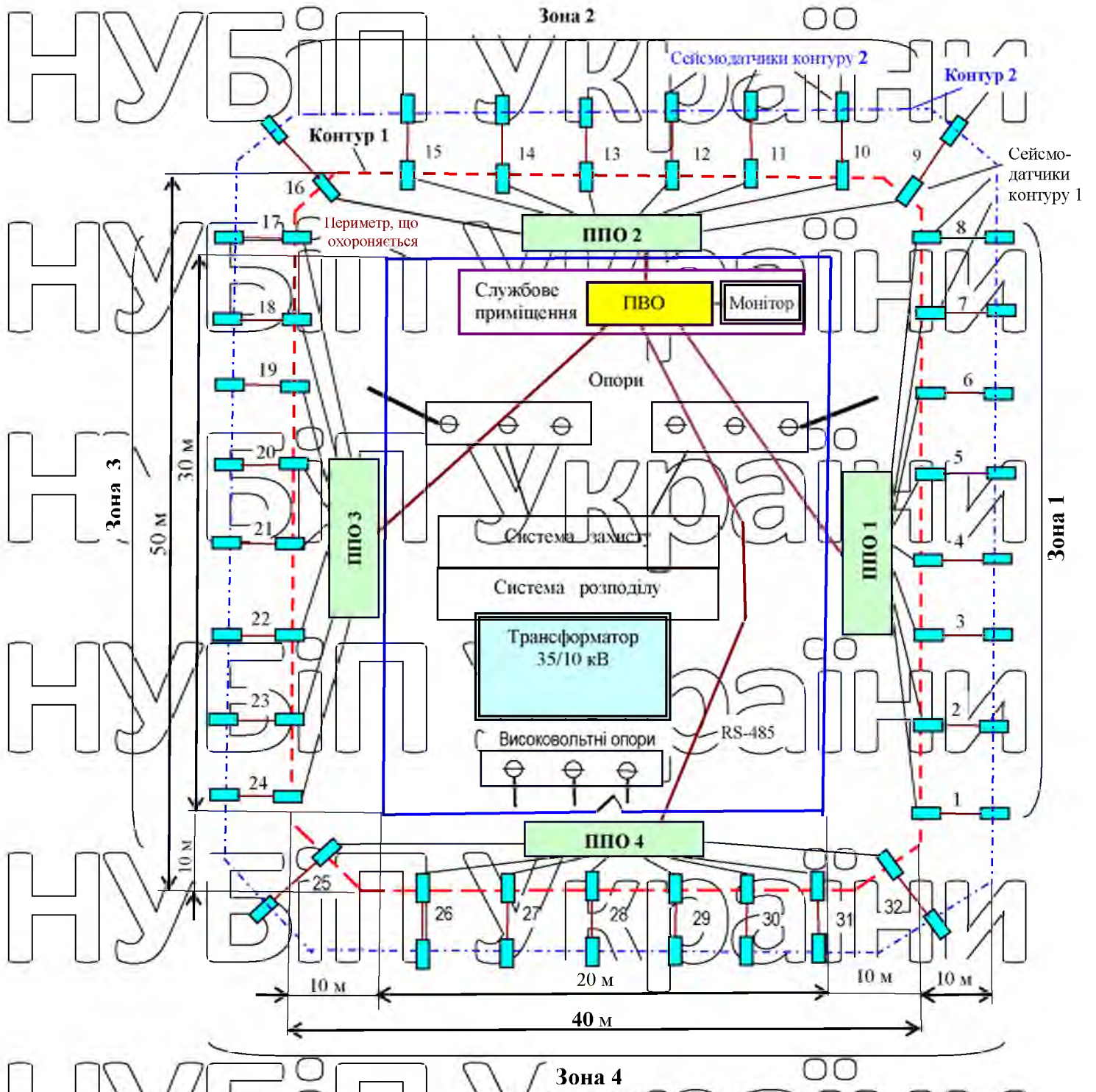


Рис.3.8. Розрахована периметрова охоронна система РТТІ 35/10

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



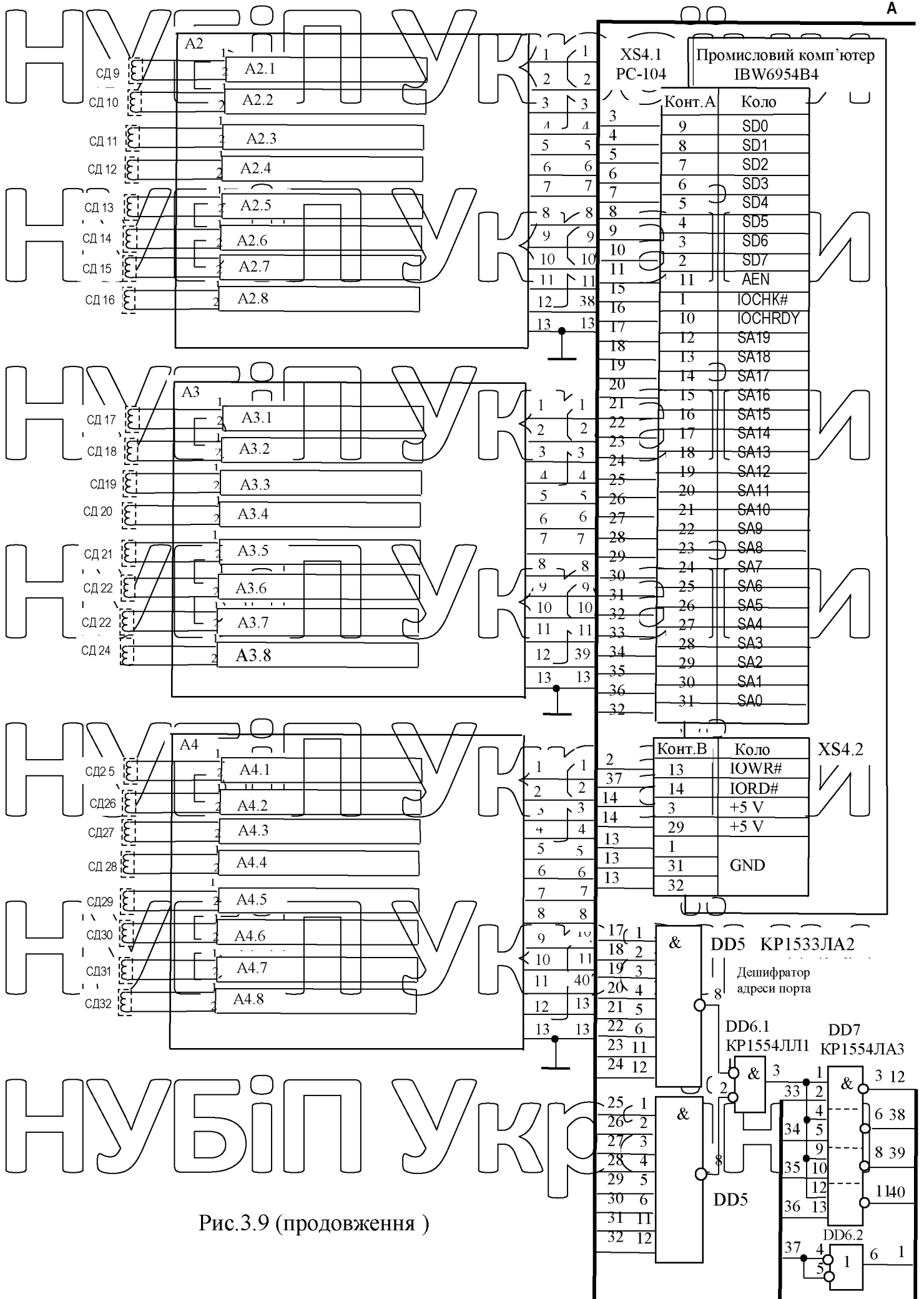


Рис.3.9 (продовження)

В якості процесора ЦПО використовується мікроконтролер Atmel  
 ATМega644. Блок-схема МК АТМega644 представлена на рис

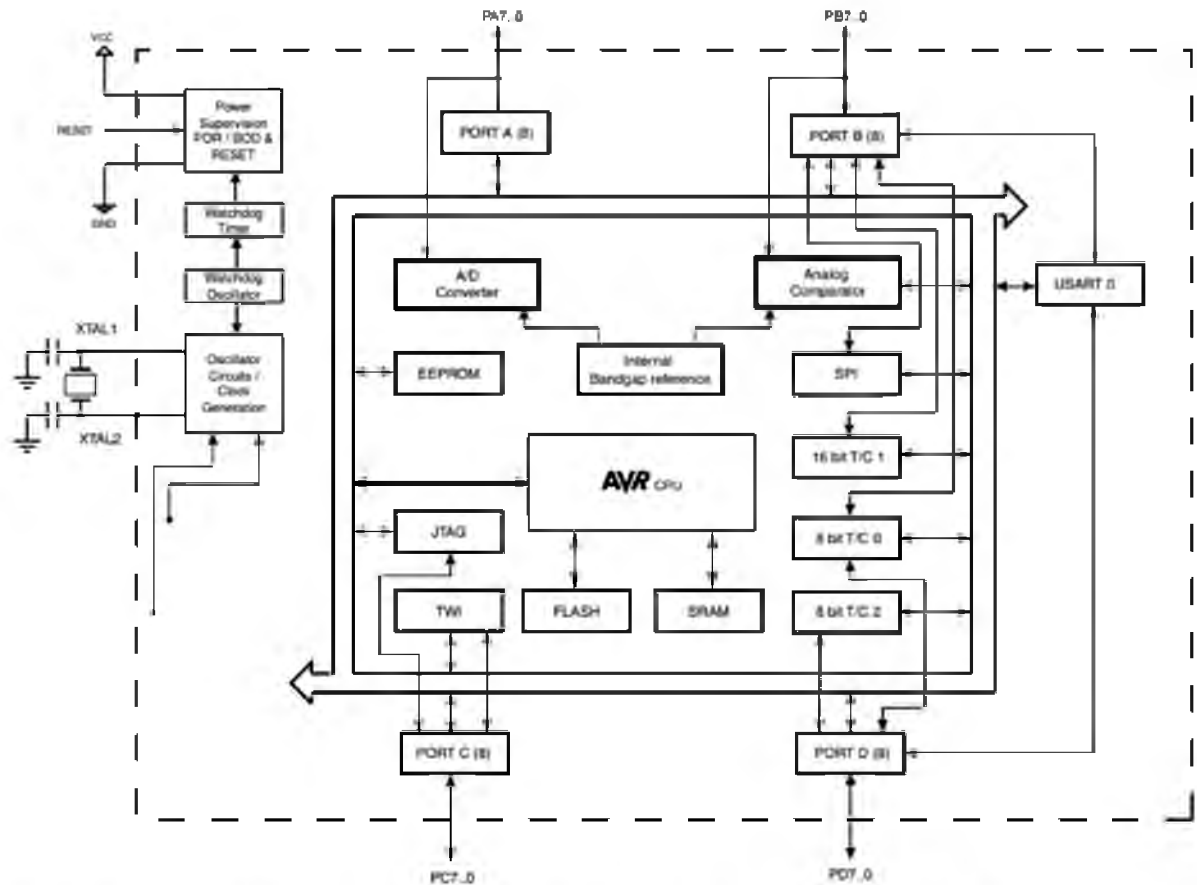


Рис.3.10. Блок-схема мікроконтролера АТМega644

Мікроконтролер має 8-розрядне ядро AVR, 32 регістри загального призначення, 16-розрядний лічильник адреси, 4 паралельних 8-розрядних порта PA, PB, PC і PD, послідовні порти USART і SPI.

Пам'ять : ОЗН – 2 кбайт, електрично програмована EEPROM – 1 кбайт, вбудована FLASH-пам'ять – 64 кб (пам'ять програм). Кількість РЗН – 32.

Таймери: 2 8-розрядних та 1 – 16-розрядний.

Максимальна тактова частота з зовнішнім кварцевим резонатором – 20 МГц, від внутрішнього генератора – 16 МГц.

МК має вбудований аналоговий компаратор і 8 аналогових входів для АЦП.

АЦП – один, тому є комутатор каналів 8x1 з частотою переключень 100 кГц.

Аналогові сигнали подаються на виводи порта PD, який може працювати і як звичайний паралельний 8-розрядний порт. Переключення виконується програмно, але коли виводи порта PD використовуються як аналогові входи, робота в якості паралельного 8-бітового порта неможлива.

Живлення – 1,8-5,5 В 0,2 мА. В «сплячому» режимі – 0,1 мкА, що дозволяє працювати від батареї або фотоелемента.

Більшість інструкцій (команд) виконується за один такт, тому продуктивність практично дорівнює 16 або 20 MIPS. Це дозволяє виконувати даний мікроконтролер в якості цифрового фільтра при обробці сейсмо сигналу.

## Розрахунок собівартости розробленої системи охорони

### 4.1. Обґрунтування застосування

На даний час кілька зарубіжних фірм і підприємств України пропонують периметрові охоронні системи різного складу і різної конструкції. Усі ці системи одноконтурні, мають можливість нарощування периметру за рахунок додаткових пристроїв виявлення і синалізації. Крім того, оптичні пристрої не працюють вночі, для їх праці необхідно освітлення периметру, що не тільки збільшує витрати на монтаж і експлуатацію, але і дає можливість виявлення відеокамер.

Лазерні пристрої не можуть працювати при дождю або снігопаді.

Ефективність подібних приладів невелика, так як вони реагують на зовнішні індустриальні перешкоди, тому їх можна застосовувати тільки на вилученій від міста території.

Даний проект розраховано для роботи в умовах високого рівня індустриальних перешкод і має малий рівень власних шумів, що дозволяє забезпечити більшу ймовірність вірного виявлення ніж інші аналогічні системи. Ці характеристики досягнуті за рахунок обробки сигналу в шумах за допомогою сучасних алгоритмів, що дозволяє забезпечити ефективну роботу в умовах високого рівня перешкод.

Тому прилади даного проекту можуть використовуватись і в межах міста.

Необхідність застосування периметрових охоронних систем обумовлена наявністю великої кількості протяжних об'єктів у межах міста, таких як гаражі, теплові електростанції і великі підприємства.

Мати великий штат охоронців для більшості підприємств невідносно. Тому вони розраховують на автоматичні охоронні системи, кращими з яких є сейсмічні охоронні системи.

Застосування виносного пристрою для обробки сигналу сейсмотачиків, якого розроблено у даному проекті, дозволяє робити конфігурацію периметру будь-якої складності і довжини. Крім того, в конструкції приладів системи застосовані сучасні мікроконтролери великої продуктивності, які при



швидкому розвитку сучасних мікро технологій коштують мало. Розроблено середовище програмування, яке дозволяє швидко розробляти та налагоджувати програми великої складності, а також автоматично програмувати і перепрограмувати мікропроцесори і мікроконтролери багатьох типів. Це дозволяє зменшити вартість розробки програмного забезпечення у кілька разів.

Тому системи з застосуванням мікроконтролерів коштують дешевше, ніж на окремих елементах.

## 4.2. Розрахунок собівартості приладу ППО

Собівартість виробу складається з статей витрат:

- вартість покупних виробів;
- вартість матеріалів;
- основна заробітна платня;
- додаткова заробітна платня;
- відрахування на соціальне страхування;
- оплата робіт сторонніх організацій;
- накладні витрати;
- витрати на відрядження;
- інші прями витрати;
- прибуток.

На додаткову заробітну платню, накладні витрати та прибуток існують коефіцієнти, які різні у різних типів підприємств.

### 4.2.1 Розрахунок вартості покупних елементів

*Розрахунок собівартості починається з розрахунку вартості покупних елементів, матеріалів і власних виробів.*

Затрати на покупні елементи і вироби зведені до таблиці 5.1.

Затрати на матеріали наведені до табл. 5.2.

Прилад ІІНО сейсмічної охоронної системи

Вартість покупних елементів і виробів

Таблиця 4.1.

Найменування	Вартість шт.,грн	Кількість, шт.	Ціна, грн
<i>Мікросхеми</i>			
ATmega644	1 200,00 грн.	1	1 200,00 грн.
ADM485AP	100,00 грн.	1	100,00 грн.
AD620AP	220,00 грн.	1	220,00 грн.
AD743JR	310,00 грн.	1	310,00 грн.
<i>Конденсатори</i>			
TAJ-B10 $\mu F \pm 10\%$ 16V	3,00 грн.	25	75,00 грн.
0805 X7R 0,1 $\mu F \pm 20\%$	0,50 грн.	18	9,00 грн.
<i>Резистори</i>			
1206 RC01	0,20 грн.	20	0,40 грн.
0603 RC21	0,10 грн.	19	1,90 грн.
Діод	2,00 грн.	3	6,00 грн.
Розрядник	200,00 грн.	2	400,00 грн.
Мудфта	100,00 грн.	16	1 600,00 грн.
Плата	510,00 грн.	16	8 160,00 грн.
<b>Всього</b>			<b>12 073,30 грн.</b>

Вартість матеріалів

Таблиця 4.2.

Найменування	Вартість 1 од.,грн	Кількість.	Ціна, грн
Капролон	500,00 грн.	1кг	500,00 грн.
Кабель	0,50 грн.	3200м	1600,00 грн.
Термоклей	220,00 грн.	0,5 кг	110,00 грн.
<b>Всього</b>			<b>2210,00 грн.</b>

Таким чином, вартість покупних елементів і виробів складає **14283,30 грн.**

# НУБІП України

## 4.2.2. Розрахунок заробітної плати

Основними вхідними даними для розрахунку величини заробітної платні є кількість працівників, їх посада і середня заробітна плата для даної посади.

Состав робітників, які необхідні для побудови приладу ППО, і їх заробітна платня ( $Z_{п_0}$ ) наведено у табл. 4.3.  
Додаткова заробітна платня складає 29,2% від основної.

Таблиця 4.3.

Розрахунок основної заробітної плати (на 1 комплект)								Усього основна зарплата (грн.)
Інженерно - технічні робітники				Робочі науково-дослідного, дослідно-експериментального виробництва та лабораторії				
Кількість учасників (чол.)	Кількість людино/місяців	Середня зарплата в місяць (грн.)	Сума основної зарплати (грн.)	Кількість учасників (чол.)	Кількість людино/місяців	Ср. з/п в місяць (грн.)	Сума основної зарплати (грн.)	
2	1	1 800,00 грн.	1 800,00 грн.	3	1,50	3 000,00 грн.	4 500,00 грн.	6 300,00 грн.

Заробітна платня основних робітників при побудові одного приладу пристрою первинної обробки ППО складає:  $Z_{п_0} = 6300$

Додаткова заробітна платня  $Z_{п_д} = 0,292 \cdot Z_{п_0} = 1839,6$  грн.

Тоді  $Z_{п_д} + Z_{п_0} = 8138$  грн.

4.2.3. Відрахування на соціальне страхування  $C_{стр}$  складає 38% від суми основної і додаткової заробітної плати:

$$C_{стр} = 0,38 \cdot (Z_{п_0} + Z_{п_д}) = 3093,05 \text{ грн.}$$

4.2.4. Накладні витрати  $H_v$  складають 121,8% від основної заробітної платні:

$$H_v = 0,1218 \cdot Z_{п_0} = 0,1218 \cdot 6300 = 767,34 \text{ грн.}$$

4.2.5. При розрахунку собівартості враховують також витрати на оплату робіт сторонніх організацій (якщо є договір), витрати на відрядження та інші прями

витрати. У даному випадку витрат стороннім організаціям немає.

Витрат на відрядження також на передбачається.

**Інші прями витрати** (для закупки канцтоварів та інших необхідних для роботи речей) , яки як правило , не передбачені іншими статтями витрат.

Сума інших прямих витрат різна для різних підприємств і в даному випадку може бути близько 1000 грн.

4.2.6. Собівартість  $C_v$  є сума усіх перерахованих вище статей з урахуванням виплат стороннім організаціям  $B_{ст}$  .

Вартість власних робіт  $B_v = C_v - B_{ст}$  .

4.2.7. Прибуток підприємства визначається як 25% від собівартості:

$$П = 0,25 * C_v.$$

Розрахунки по п.5.1.2.1 ... 5.1.2.7 зведені в таблицю 5.4, виконану за допомогою табличного процесора Microsoft Excel , в ячейки якої внесені необхідні вирази для обчислення вище наведених статей .

Таблиця 4.4

1.1. Найменування статей	Розрахункова ціна
1. Матеріали	2 210,00 грн.
2. Покупні	12 073,30 грн.
3. Основна заробітна платня	6 300,00 грн.
4. Додаткова заробітна платня (29.2%)	1 839,60 грн.
5. Відрахування на соціальне страхування (38%)	3 093,05 грн.
6. Роботи, які виконують сторонні організації	0,00 грн.
7. Накладні витрати (121,8%)	7 673,40 грн.
8. Витрати на відрядження	0,00 грн.
9. Інші прями витрати	1 000,00 грн.
10. Собівартість (в тому числі власних робіт)	34 189,35 грн.
11. Прибуток (25%)	7 833,17 грн.
<b>Всього</b>	<b>42 022,52 грн.</b>

# НУБІП України

## 4.3. Розрахунок економічної ефективності

Якість роботи підприємства визначається по відносному показнику, у якому зрівнюються рівень прибутку з витратами на виробництво товарів. Таким показником є *рентабельність*.

*Рентабельність підприємства* обчислюють як відношення прибутку до основних і оборотних засобів підприємства, яке виражено в процентах.

Крім рентабельності підприємства для виявлення ефективності виробництва окремих товарів обчислюють *рентабельність продукції*.

*Рентабельність продукції*  $P$  визначається як відношення прибутку  $\Pi$  від реалізації конкретного товару к сумі витрат  $C$  (повної вартості) на його виробництво :

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100 \%$$

Щоби визначити прибуток від продажу товару, треба визначити кількість приладів, що буде реалізовано (продано) за будь-який інтервал часу, наприклад, один місяць.. Для цього потрібно зробити бізнес-план підприємства, який урахує не тільки собівартість товару, але і витрати на менеджмент, рекламу і т.п.

Розрахунок бізнес-плану не входить до задач даного проекту.

Рентабельність продукції при відсутності цих витрат порівнює прибутку,

оскільки  $\Pi = 0,25 * C$ . Тоді

$$P = \frac{0,25 * C}{C} \cdot 100 = 25\%$$

Тому ми можемо тільки оцінювати економію від продажу одиниці даного товару по рівнянню з аналогічним товаром іншого підприємства. Однак виробляти аналогічний товар не має сенсу. Треба виробляти більш якісний

товар за меншою ціною, або товар, який має додаткові можливості, при цьому ціна нового товару може бути навіть вище.

Звичайно двоконтурна периметрова охоронна система дорожче ніж одно контурна, так як має більше складних одиниць, однак має дуже якісні характеристики.

Параметри деяких периметрових охоронних систем наведено в табл.4.5.

Таблиця 4.5.

Найменування	Параметр				Вартість
	Ймовірність вірного виявлення	Ймовірність помилкової тривоги	Максимальна довжина периметру, км	Виявлення координат об'єкту	
Сфера-T	0,8...0,85	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	2,0	нет	50000
Simens	0,9	$10^{-3}$	2,5	нет	150000
Даний проект	0,92...0,95	$10^{-4}$	3,2	да	42022

### Висновок

З таблиці бачимо, що розроблена периметрова сейсмічна охоронна має більш якісні характеристики, а її вартість менше, ніж вартість існуючих охоронних систем, за рахунок застосування більш технологічних схемних рішень.

## ВИСНОВКИ

При розв'язку задачі розроблення приладу первинної обробки охоронної периметрової сейсмічної системи виявлено низьку ймовірність вірного виявлення порушення периметру одноконтурних периметрових сейсмічних систем при впливу промислових та природних перешкод.

На основі аналізу існуючих методів забезпечення периметрової охорони виявлено, що задача підвищення ефективності виявлення порушення периметру може бути вирішена використанням двоконтурної периметрової системи і перенесенням пристрою первинної обробки сейсмосигналу якнайближче до периметру, який охороняється.

Тоді передається до центрального поста охорони на відстань до 1000 м не аналоговий слабкий сигнал, а цифровий результат обробки цього сигналу, якому практично не додають перешкод промислові пристрої.

Крім того, двоконтурна система має високу надійність роботи. Для досягнення поставленої цілі проведені теоретичні дослідження і розрахунки окремих елементів сейсмічної охоронної периметрової системи.

Основні висновки за результатом роботи такі:

1. Встановлено, що ймовірність вірного виявлення порушення одноконтурної системи зменшується з 0,92 до 0,8 при дощу, при наявності переміщень транспортних засобів. Електричні шуми у лінії зв'язку підвищуються у 5-7 разів на відстані 1000 м, що підвищує ймовірність помилкової тривоги.
2. Розроблено вносний прилад первинної обробки сейсмосигналу (ППО), який встановлюється в периметр, який охороняється на базі високопродуктивного мікроконтролера, що дає можливість виконати цифрову обробку первинного сигналу, створити програмні цифрові фільтри, які дають можливість виділити сигнал з електричних перешкод. Тому ймовірність системи виявлення порушення дуже висока і порівняє 0,95-0,98.

2. Розроблена апаратура дає можливість збільшити довжину периметра до 3,2 км при меншій вартості охоронної системи.

3. Розроблена електрична принципова схема приладу первинної обробки сейсмосигналу, розроблена відповідна конструкторська документація.

4. Оскільки ліній зв'язку багато і всі вони мають велику довжину, розроблена система захисту від впливу блискавки, яка вбудована у кожний ЦПО.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## Література

1. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации/ основы теории и принципы построения. учебное пособие для студ. Вузов.-М.: Горячая линия.- Телеком, 2004.-367 стр.
2. Геврик Е.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів -К.:Ельга, Ніка-центр, 2003.-280 с.
3. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. Учебник для вузов. М., “Сов.радио”, 1973, 496 с.
4. Бунилович В.И. Приближенное выражение вероятностей правильного обнаружения при оптимальном приеме сигнала с неизвестной фазой.- “Радиотехника и электроника”, 1968, Т.3, №4.
5. Мокренко П.В. Елементи і пристрої фізичної та електронної охорони об’єктів. Конспект лекцій. / Нац. університет “Львівська політехніка”.- Л.: Фенікс, 2000.-186 с., іл..
6. Локашнюк В.М. Мікропроцесорита мікроЕОМ у виробничих системах:- Посібник. К: Видавничий центр «Академія», 2002.-288 с.
7. Усатенко С.Т. и др. Графическое изображение электрорадиосхем. Справочник/С.Т.Усатенко и др.-К.:Техніка,1986.- 120 с.,ил.