

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра наноелектроніки та модифікації поверхні

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА  
зі спеціальності 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»

на тему:  
«Моделювання дифракційно-черенковського випромінювання в метало-  
діелектричних структурах»

Белявий Олександр Романович

Завідувач кафедру  
\_\_\_\_\_ проф. О. Д. Погребняк

Науковий керівник  
\_\_\_\_\_ доц. А. І. Рубан

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

Суми 2020

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ТА ДИФРАКЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	6
1.1 Дифракційне і черенковське випромінювання. Теорія миготливого диполя.....	6
1.2 Теоретичні методи дослідження.....	10
1.3 Метод експериментального моделювання .....	13
2 СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ДИФРАКЦІЙНОГО ТА ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАНЬ .....	16
2.1 Модель з напівнескінченим діелектриком .....	16
2.2 Модель з діелектричною пластиною .....	19
3 МОДЕЛЮВАННЯ ДИФРАКЦІЙНОГО ТА ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	27
4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	46
4.1 Шкідливі чинники під час роботи в офісних приміщеннях .....	46
4.1.1 Персональний комп'ютер .....	46
4.1.2 Принтер .....	53
4.1.3 Копіювальний апарат .....	55
4.1.4 Телефон .....	56
4.2 Характеристика приміщення .....	57
4.2.1 Аналіз природного освітлення.....	59
4.2.2 Аналіз достатності штучного освітлення в приміщенні .....	63
4.2.3 Розрахунок ефективності природної вентиляції .....	65
4.2.4 Оцінка метеорологічних умов.....	69
4.2.5 Аналіз пожежної безпеки .....	71
4.3 Заходи щодо поліпшення умов праці.....	72
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	73
5.1 Конкуренція на оптовому ринку електроенергії.....	73
5.1.1 Основні принципи організації оптового ринку .....	74
5.1.2 Ринок двосторонніх договорів .....	75
5.1.3 Ринок на добу вперед і балансуєчий ринок.....	75

5.1.4	Форми конкуренції та структура відбиття.....	<u>78</u>
5.1.5	Основні проблеми переходу до конкуренції .....	<u>80</u>
5.2	Державна політика енергозбереження в Україні.....	<u>82</u>
5.2.1	Правова база енергозбереження в Україні .....	<u>82</u>
5.2.2	Завдання і діяльність органу управління енергозбереженням .....	<u>83</u>
5.2.3	Реалізація політики енергозбереження .....	<u>85</u>
5.2.4	Податкові пільги та дотації в галузі енергозбереження.....	<u>87</u>
5.5.5	Контроль за реалізацією політики енергозбереження.....	<u>88</u>
5.5.6	Проблеми енергозбереження .....	<u>90</u>
5.3	Розрахунок повної собівартості ціни розроблюваного програмного продукту .....	<u>93</u>
5.4	Розрахунок економічної ефективності використання програмного продукту .....	<u>97</u>
	ВИСНОВКИ.....	<u>100</u>
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	<u>102</u>
	ДОДАТОК А.....	<u>108</u>

## ВСТУП

Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення фізичних систем. Часто комп'ютерні моделі простіше і зручніше досліджувати, вони дозволяють проводити обчислювальні експерименти, реальна постановка яких ускладнена або може дати непередбачуваний результат. Логічність і формалізованість комп'ютерних моделей дозволяє виявити основні фактори, що визначають властивості досліджуваних об'єктів, досліджувати відгук фізичної системи на зміни її параметрів і початкових умов.

Комп'ютерне моделювання вимагає абстрагування від конкретної природи явищ, побудови спочатку якісної, а потім і кількісної моделі. Після цього відбувається проведення серії обчислювальних експериментів на комп'ютері, інтерпритація результатів, зіставлення результатів моделювання з поведінкою досліджуваного об'єкта, подальше уточнення моделі і т.д.

До основних етапів комп'ютерного моделювання відноситься: постановка задачі, визначення об'єкту моделювання; розробка концептуальної моделі, виявлення основних елементів системи та елементарних актів взаємодії; формалізація, тобто перехід до математичної моделі; створення алгоритму та написання програми; планування та проведення комп'ютерних експериментів; аналіз і інтерпритація результатів.

Розрізняють аналітичне та імітаційне моделювання. Аналітичними називаються моделі реального об'єкта, що використовують алгебраїчні, диференціальні та інші рівняння, а також передбачають здійснення однозначної обчислювальної процедури, що призводить до їх точного розв'язання. Імітаційними називаються математичні моделі, які відтворюють алгоритм функціонування досліджуваної системи шляхом послідовного виконання великої кількості елементарних операцій.

Комп'ютерне моделювання та проведення обчислювального експерименту є одним із сучасних методів дослідження фізичних явищ. Він має свої особливості, переваги і недоліки в порівнянні з іншими методами вивчення

фізичних систем. Цілком очевидно, що фахівці повинні мати уявлення про комп'ютерні моделі, чисельні методи вивчення різних об'єктів пізнання, досить вільно орієнтуватися в сучасних програмних продуктах. Сучасний персональний комп'ютер дозволяє за кілька секунд вирішити складну систему рівнянь, побудувати графік досліджуваної залежності, змоделювати важко відтворюваний експеримент.

Важливим рівнем оволодіння методами обчислювальної математики і фізики є написання різних комп'ютерних програм на алгоритмічних мовах програмування. Створюючи подібні комп'ютерні моделі "з нуля", працюючи з вихідним кодом програми, можна глибше зрозуміти конкретні способи обробки інформації, методи програмування.

# 1 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ТА ДИФРАКЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1.1 Дифракційне і черенковське випромінювання. Теорія миготливого диполя

Ефект Черенкова-Вавилова – випромінювання світла електрично зарядженою часткою, що виникає при її русі в середовищі зі швидкістю, що перевищує фазову швидкість світла в цьому середовищі (швидкість поширення світлових хвиль). Уже перші експерименти Черенкова, зроблені за ініціативою С. І. Вавилова, виявили ряд характерних особливостей випромінювання:

- світіння спостерігається у всіх чистих прозорих рідин, причому яскравість мало залежить від їх хімічного складу;
- випромінювання має поляризацію з переважною орієнтацією електричного вектора уздовж напрямку первинного пучка, при цьому на відміну від люмінесценції не спостерігається ні температурного, ні домішкового гасіння.

На підставі цих даних Вавиловим було зроблено основоположне твердження, що виявлене явище - не люмінесценція рідини, а світло випромінюють рухомі в ній швидкі електрони (такі електрони виникають під дією гамма-променів в результаті ефекту Комптона). Випромінювання (ефект) Вавилова-Черенкова характерно і для твердих тіл.

Умова виникнення випромінювання Вавилова-Черенкова і його спрямованість можуть бути пояснені за допомогою принципу Гюйгенса - Френеля. Для цього кожна точку траєкторії зарядженої частки (наприклад, А, В, С, D, рис. 1.1) слід вважати джерелом хвилі, що виникає в момент проходження через неї заряду [1-4].

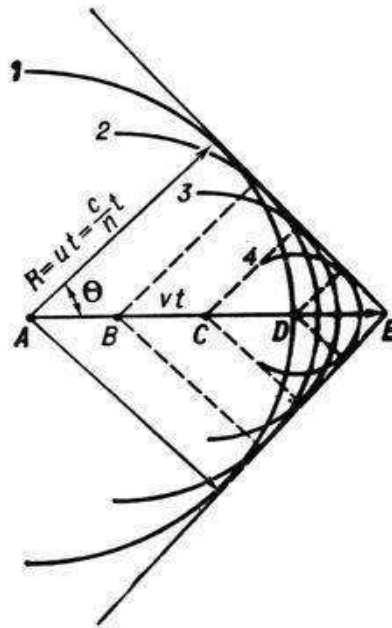


Рис. 1.1 - Випромінювання Вавилова-Черенкова

У оптично ізотропному середовищі такі парціальні хвилі будуть сферичними, тому що вони поширюються на всі боки з однаковою швидкістю -  $u = c/n$  (де  $c$  - швидкість світла у вакуумі, а  $n$  - показник заломлення світла даного середовища). Припустимо, що частка, рухаючись зі швидкістю  $u$ , в момент спостереження перебувала в точці E. За  $t$  секунд до цього вона проходила через точку A (відстань до неї від точки E одно  $vt$ ). Отже, хвиль, випущених із точки A, до моменту спостереження представиться сферою радіусу  $R = ut$  (на рис. 1.1 їй відповідає коло 1). З точок B, C, D світло було видано у все більш і більш пізні моменти часу, і хвилі з них представляють кола 2, 3, 4. За принципом Гюйгенса парціальні хвилі гасять одна одну в результаті інтерференції усюди, за винятком їх загальної огинаючої хвилі, якої відповідає хвильовій поверхня світла, що поширюється в середовищі [5,6].

На основі випромінювання Вавилова-Черенкова розроблені експериментальні методи, які широко застосовуються в ядерній фізиці як для реєстрації частинок, так і для вивчення їх природи (наприклад, Черенковський

лічильник). Випромінювання Вавилова-Черенкова, що виникає в атмосфері Землі, служить для вивчення космічних променів.

Випромінювання Вавилова-Черенкова може спостерігатися в чистому вигляді лише в ідеальних випадках, коли частка рухається з постійною швидкістю в радіаторі необмеженої довжини. При перетині часткою поверхні радіатора виникає т. н. перехідне випромінювання [7].

Дифракційне випромінювання відноситься до класу радіаційних ефектів, які виникають при розсіюванні власного поля електронного потоку, що рухається у вакуумі поблизу металевої неоднорідності. Електромагнітне поле дифракційного випромінювання являє собою об'ємні хвилі, що поширюються від джерела у вільний простір. При цьому, змінивши параметри джерела і електродинамічної системи можна ефективно управляти інтенсивністю, діаграмою спрямованості, поляризацією і іншими характеристиками випромінювання. Цим пояснюються широкі можливості практичного використання ефекту дифракційного випромінювання в різних областях науки і техніки [8].

До теперішнього часу при дослідженні характеристик дифракційного випромінювання отримано ряд нових теоретичних і експериментальних результатів, що представляють науковий і практичний інтерес для подальшого розвитку дифракційної електроніки. Вивчено особливості порушення дифракційного, черенковського і дифракційно-черенковського випромінювань електронним потоком, що рухається поблизу металевої решітки з діелектричною підкладкою; проаналізовані можливості підвищення інтенсивності дифракційного випромінювання шляхом зміни параметрів дифракційних решіток; реалізовані методи «холодного» моделювання процесів збудження дифракційного і черенковського випромінювань.

З метою з'ясування тонкої структури дифракційного випромінювання вивчений електронно-хвильовий механізм збудження дифракційного випромінювання потоком електронів, які взаємодіють з дифрагованим на решітці електромагнітним полем. На цій основі запропоновано і реалізовано



безконтактні способи вимірювання динамічних параметрів електронних потоків в приладах з відкритою електродинамічною системою; створені аналізатори дифракційного випромінювання і електронного потоку в міліметровому діапазоні хвиль [9-11].

Теорія миготливого диполя. Спочатку теорія ефекту Сміта-Парселла ґрунтувалася на рішенні задач в наближенні миготливого диполя. Найбільш цікаві в цьому напрямку роботи, в яких методом миготливого диполя визначені деякі характеристики випромінювання Сміта-Парселла і наведені результати експериментальних досліджень.

Відповідно до теорії електрон  $e^-$  і його відображення  $e^+$ , рухаючись з постійною швидкістю  $v_e = \beta_e \cdot c$  з поблизу поверхні металевої дифракційної решітки, утворюють диполя зі змінним дипольним моментом (рис. 1.2) [12].

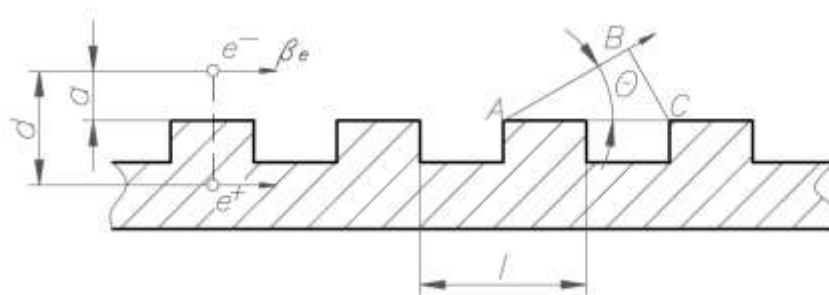


Рис. 1.2 – Модель миготливого диполя в ефекті Сміта-Парселла

Когерентне випромінювання збуджується внаслідок періодичної зміни дипольного моменту  $p = ed$ . Даний ефект проявляється тим сильніше, чим ближче електрон рухається від поверхні дифракційної решітки. Зазвичай в наближенні миготливого диполя передбачається, що відстань  $a$  (прицільний параметр) значно менше періоду решітки  $l$  ( $a \ll l$ ) [13].

Умова когерентного випромінювання легко визначається з побудови Гюйгенса (рис. 1.2).

Лінія ВС є фронтом всіх випромінюваних хвиль і, якщо різниця між часом прольоту електронів  $t_1$  на одному періоді  $l$  решітки і часом  $t_2$  поширення хвилі поля на відріжку АВ кратна періоду коливань  $T$  з довжиною хвилі  $\lambda$ , тобто  $t_1 - t_2 = nT$ , де  $t_1 = l / \beta_e c$ ;  $t_2 = (l/c) \cdot \cos \theta$ ;  $T = \lambda/c$ , то довжина хвилі випромінювання  $\lambda = (l/n) \cdot (1/\beta_e - \cos \theta)$ ,  $n=1, 2, 3 \dots$

Звідси випливає, що випромінювання електронів, що рухаються поблизу металевої дифракційної решітки, залежить від періоду структури, а при фіксованій швидкості  $\beta_e = v_e/c$  випромінювання на довжині хвилі  $\lambda$  спостерігається тільки під певним кутом  $\theta$  [14].

Незважаючи на отримані експериментальні результати (включаючи виявлення та вивчення деяких особливостей зміни характеристик випромінювання Сміта-Парселла в оптичному діапазоні довжин хвиль), фізична інтерпретація теоретичних даних в наближенні миготливого диполя привела до помилкових висновків. Особливо негативно позначилося все це при спробі використання ефекту Сміта-Парселла в техніці мілі- і субміліметрових хвиль. Дійсно, в такому випадку суттєво зменшується інтенсивність випромінювання при збільшенні довжини хвилі, і реалізація виявленого ефекту під кутом  $\theta = 90^\circ$  неможлива. Як відомо, саме ці характеристики випромінювання Сміта-Парселла складають основу розвитку сучасної дифракційної електроніки, для чого потрібна була розробка теорії дифракційного випромінювання в наближенні заданого струму, а також облік зворотного впливу поля дифракційної решітки на рух електронного потоку [15,16].

## 1.2 Теоретичні методи дослідження

При чисельному аналізі енергетичних характеристик дифракційно-черенковского випромінювання в металодіелектричних структурах, наприклад,

наведених на рис. 1.3 (а, б) застосовувалися співвідношення, отримані в наближенні заданого струму.

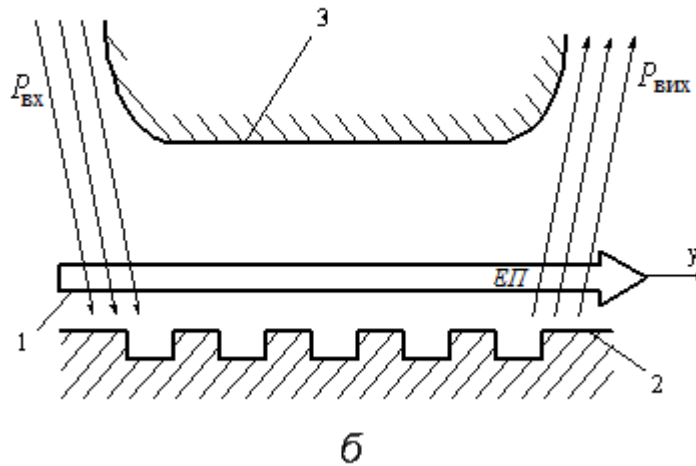
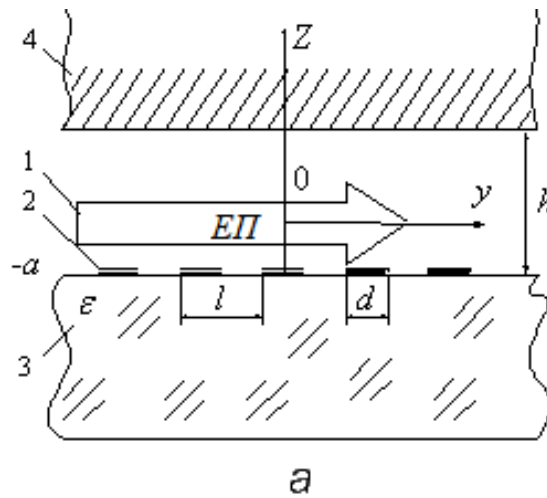


Рис. 1.3 – Схеми досліджуваних електродинамічних систем: а) металодіелектрична структура типу металодіелектричний канал; б) підсилювач на об'ємних хвилях

Цей метод ґрунтується на рішенні рівнянь Максвелла в наближенні заданого джерела (щільності заряду або конвекційного струму). Чим точніше теоретична модель описує реальне джерело в конкретному пристрої, тим більш достовірними виходять в наближенні заданого струму характеристики збуджуемого випромінювання. Розглядаючи дифракцію власного електромагнітного поля електронного потоку на дифракційній решітці з урахуванням відбиває екрану, що (рис. 1.3 а) можна визначити з точністю до

невідомих коефіцієнтів Фур'є електромагнітне поле всередині і поза каналу. Скориставшись потім точними граничними умовами Леонтовича на екрані, знаходимо зв'язок між невідомими коефіцієнтами і системою функціональних рівнянь щодо одного з невідомих коефіцієнтів Фур'є. Остання зводиться до нескінченної системи алгебраїчних рівнянь, що розв'язується чисельними методами [17-20].

При спільному рішенні рівнянь руху і поля виходить система нелінійних нестационарних рівнянь, аналіз яких можливий лише в деяких граничних випадках. Якщо ж вирішувати самоузгоджену задачу в малосигнальному наближенні, вихідну систему нелінійних диференціальних рівнянь електроніки в приватних похідних вдається лінеаризувати і отримати лінійну систему рівнянь. Вирішуючи крайову задачу, можна знайти умови збудження коливань.

В рамках вищевикладеного підходу розглянемо модель взаємодії електронного пучка з полем періодичної структури відкритого хвилеводу (рис. 1.3 б). Періодична сповільнююча система уявляє собою нескінченну структуру типу "гребінка" з металевим екраном, розташованим паралельно її площині. Стрічковий пучок кінцевої товщини, нескінченний, як і уповільнююча система, в площині  $xu$  поміщений в простір між "гребінкою" і екраном [21].

Будемо вважати, що електрони рухаються в одному напрямку, а саме вздовж осі  $y$  (рис. 1.3 б). Таке припущення фізично відповідає нескінченно великому постійному магнітному полю, спрямованому вздовж траєкторії електронів. Електричне поле  $\vec{E}$ , швидкість пучка  $\vec{V}$ , щільність заряду  $\rho$  представляємо у вигляді суми постійних і малих змінних величин, гармонійно залежать від часу. У пучку постійна щільність заряду електронів  $\rho_0$  вважається зкомпенсованою зовнішніми джерелами так, що обумовлена їй кулоновська частина поля  $E_0 = 0$ .

Рішення електродинамічної задачі проводимо методом часткових областей. Поле в кожній області визначаємо, виходячи з системи рівнянь Максвелла і необхідних граничних умов. З огляду на вимоги безперервності компонент поля на кордонах областей, отримуємо самоузгоджену систему

рівнянь, що дозволяє визначити дисперсійне рівняння, що описує власні режими системи "гребінка" - пучок - екран [22-24].

### 1.3 Метод експериментального моделювання

Одним з ефективних способів вирішення задач електродинаміки і електроніки є метод експериментального моделювання. В електроніці «холодне» (без електронного потоку) моделювання «гарячого» (з електронним потоком) приладу дозволяє вивчити деякі фізичні процеси збудження коливань і оптимізувати ряд параметрів електродинамічної системи.

Таке експериментальне моделювання можна реалізувати і для вивчення процесів збудження дифракційного і черенковського випромінювань електронної хвилі струму просторового заряду. В цьому випадку монохроматичний електронний потік моделюється одномодовим планарним діелектричним хвилеводом, розташованим поблизу стрічкової (або іншого виду) решітки, нанесеної на поверхню діелектричного середовища [25].

Теоретичне обґрунтування перетворення електромагнітного поля діелектричного хвилеводу в об'ємні хвилі, еквівалентні дифракційному і черенковському випромінюванню, проводиться шляхом вирішення завдання в наближенні заданого поля діелектричного хвилеводу. Моделлю черенковського випромінювання є канал трансформації хвиль діелектричного хвилеводу в об'ємні, обумовлений порушенням повного внутрішнього відображення в діелектричному хвилеводі.

Такий канал реалізується, якщо діелектрична проникність,  $\epsilon_{\text{в}}$  хвилеводу не перевищує  $\epsilon_{\text{с}}$  середовища, а фазова швидкість поширення хвилі в діелектричному хвилеводі задовольняє умові порушення черенковського випромінювання. Моделлю дифракційного випромінювання електронного потоку є дифракційні канали витікаючих хвиль з планарного хвилеводу в діелектричне середовище або одночасно в вакуум та діелектрик.

Шляхом вибору параметрів діелектричного хвилеводу, решітки та діелектричного середовища завжди можна промоделювати різні випадки порушення дифракційно-черенковського випромінювання [26-29].

При теоретичному моделюванні збудження дифракційно-черенковського випромінювання прийнято вважати, що вздовж планарного діелектричного хвилеводу (рис. 1.4, область 2), розташованого на відстані  $z = -a$ , від стрічкової дифракційної решітки, яка нанесена на поверхню діелектричного середовища (рис. 1.4, область 4), з фазовою швидкістю  $v_e$  поширюється в напрямку осі  $o_y$  двовірна поперечно-магнітна хвиля з компонентами поля  $E_{0x}=0, H_{0y}=0, H_{0z}=0$ .

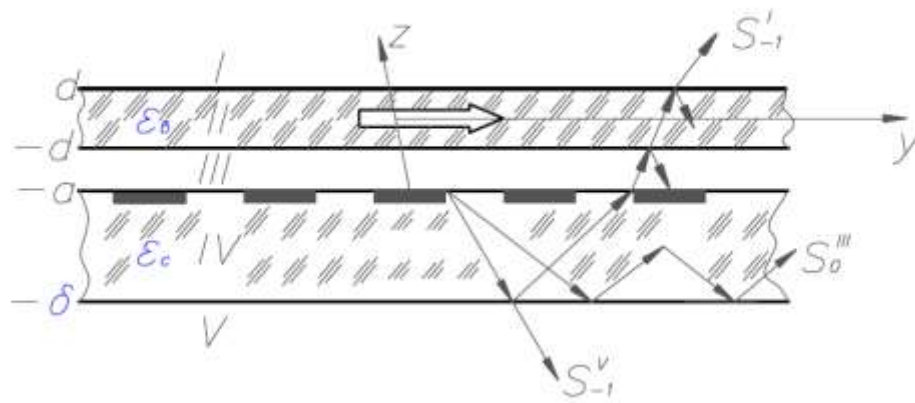


Рис 1.4 – Теоретичне моделювання збудження дифракційно-черенковського випромінювання

Фазова швидкість  $v_e$  визначається діелектричною проникністю матеріалу хвилеводу, його поперечними розмірами, середовищем, в якому цей діелектричний хвилевід розташований. Тому в подальшому введемо ефективну діелектричну проникність хвилеводу  $\varepsilon_e^*$ , яка визначається як  $\varepsilon_e^* = c^2/v_e^2$ . Тоді,  $\beta_e^* = \frac{v_e}{c} = \frac{1}{\varepsilon_n^*}$ , з виразів для поля в окремих областях діелектричного хвилеводу (рис. 1.4) випливає, що перетворення його у випромінювання можливо тільки при фазових швидкостях:

$$\frac{\chi c}{|n| + \chi} \leq v_g \leq \frac{\chi c}{|n| - \chi}, z > -a(\text{вакуум}),$$

$$\frac{\chi c}{|n| + \chi \sqrt{\epsilon_c}} \leq v_g \leq \frac{\chi c}{|n| - \chi \sqrt{\epsilon_c}}, -\delta < z < -a(\text{діелектрик}),$$

відповідно при цьому випромінювання направлено під кутами [30-33]:

$$\gamma_{n1} = \arccos\left(\sqrt{\epsilon_a^*} + \frac{n}{\chi}\right),$$

$$\gamma_{n2} = \arccos\frac{\sqrt{\epsilon_a^*} + \frac{n}{\chi}}{\sqrt{\epsilon_n}}$$

Таким чином, проведений теоретичний аналіз відкриває шляхи експериментального моделювання радіаційних ефектів випромінювання електронного потоку, що рухається поблизу періодичної структури. Таке моделювання проводиться при вивченні характеристик різних пристроїв дифракційної електроніки

З проведеного аналізу випливає, що при порушенні об'ємних хвиль діелектричним хвилеводом, як і у випадку з електронним пучком, можливі різні режими випромінювання, найбільш характерні з яких можна наочно проаналізувати шляхом побудови діаграм Бріллюена для різних значень діелектричної проникності середовища [34].

## 2 СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ДИФРАКЦІЙНОГО ТА ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАНЬ

### 2.1 Модель з напівнескінченим діелектриком

В якості моделі напівнескінченим діелектричного середовища з  $\varepsilon = 2.05$  використовувалася фторопластова призма 1 трикутного перетину  $70 \times 70 \times 100$  мм, товщиною 40 мм (рис. 2.1).

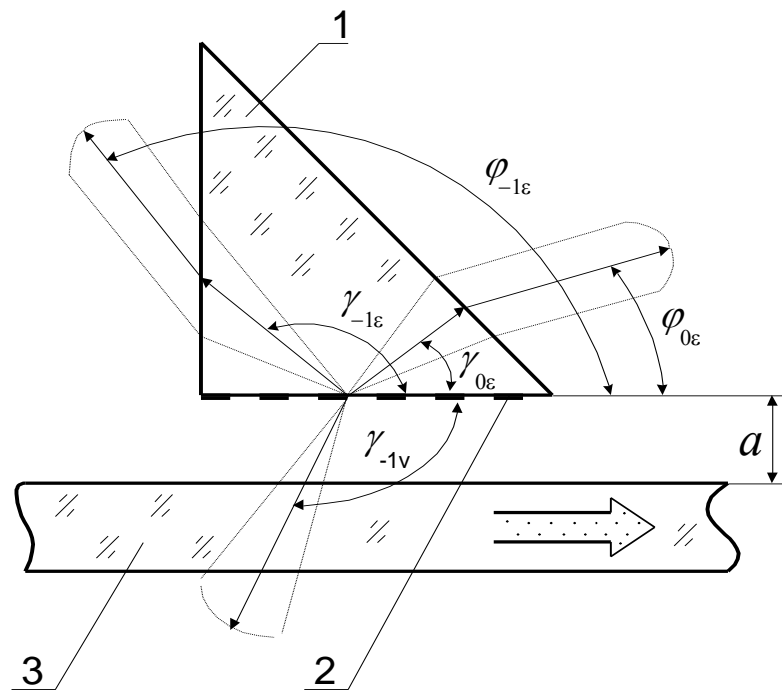


Рис 2.1 – Експериментальна модель дифракційно-черенковського випромінювання з напівнескінченим діелектричного середовища ( $\varepsilon = 2.05$ ): 1 - діелектрична призма, 2 - стрічкова дифракційна решітка, 3 - діелектричний хвилевід  $70 \times 40$  мм

На бічній стороні призми розташовувалася стрічкова дифракційна решітка 2 з періодом  $l$  і коефіцієнтом заповнення  $u$ . Призма збуджувалася планарним діелектричним хвилеводом 3 [35-37].



Параметри електродинамічних систем досліджуваної металодіелектричної структури і інтервали значень  $\beta_g$ , для яких реалізуються відповідні зони Бріллюена, наведені в табл. 2.1 [38].

Таблиця 2.1 – Параметри електродинамічних систем досліджуваних металодіелектричних систем при  $\varepsilon = 2.05$

$u$		+0.5	+0.3	-0.5	-0.85
зона $1_0$	$l$ (мм)	2.0	2.0	2.0	2.0
	$d$ (мм)	0.7	0.8	1.3	1.65
	$\beta_g$	0.95-0.7			
зона $4_{0,-1}$	$l$ (мм)	2.7	2.7	2.7	2.7
	$d$ (мм)	0.9	1.09	1.8	2.2
	$\beta_g$	0.95-0.782			
зона $4_{0,-1}^{-1}$	$l$ (мм)	4.4	4.4	4.4	4.4
	$d$ (мм)	1.47	1.77	2.93	3.62
	$\beta_g$	0.95-0.70			

З таблиці видно, що зони  $1_0$ ,  $4_{0,-1}$  і  $4_{0,-1}^{-1}$  можуть бути отримані в одному інтервалі значень фазової швидкості хвилевода:  $\beta_g = 0.95 - 0.7$ .

Однією з основних характеристик дифракційно-черенковського випромінювання є діаграми спрямованості випромінювання, які дозволяють якісно проаналізувати фізичні процеси, що відбуваються в досліджуваній металодіелектричній структурі. У зоні Бріллюена  $1_0$  спостерігається однопелюсткова діаграма спрямованості черенковського випромінювання, що має максимальну інтенсивність. З появою гармонік с  $n = -1$ , випромінюваних в діелектрик і вакуум, інтенсивність черенковського випромінювання зменшується, що обумовлено перерозподілом потужності, що надходить в діелектричний хвилевід, між гармоніками випромінювання. При цьому

діаграми випромінювання стають багатопелюстковими як за рахунок появи гармоніки с  $n = -1$ , випромінюваної в діелектрик, так і за рахунок відбиття від рупора, що фіксує рівень випромінювання в вакуумі.

В цілому, порівняння результатів експериментального моделювання та чисельного аналізу вказує на достовірність побудованих моделей і можливість їх застосування при кількісному дослідженні процесів взаємодії просторових гармонік дифракційно-черенковського випромінювання [39-41]. Експериментальна модель металодіелектричних структур з  $\varepsilon = 10$  представлена на рис. 2.2.

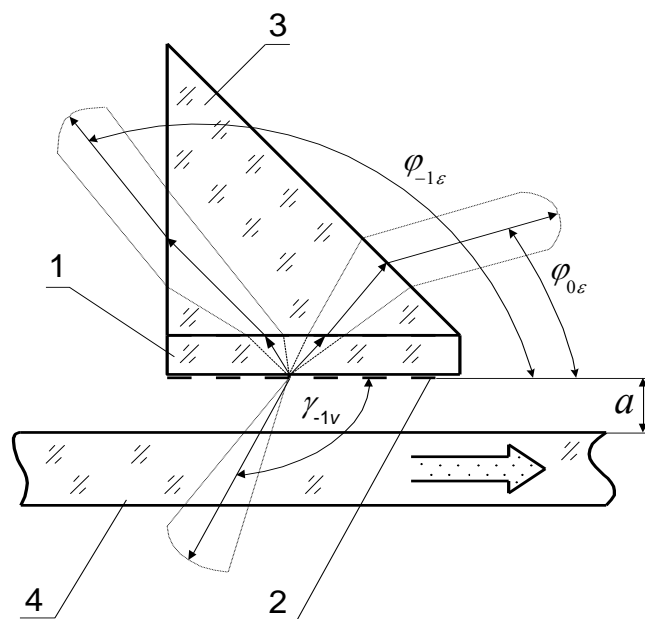


Рис 2.2 – Експериментальна модель дифракційно-черенковського випромінювання з комбінованим напівнескінченим діелектричним середовищем ( $\varepsilon = 10$ ): 1 - полікорова призма, 2 - стрічкова дифракційна решітка, 3 - фторопластова трикутна призма, 4 - діелектричний хвилевід.

В даному випадку діелектричним середовищем в структурі є полікорова ( $\varepsilon = 10$ ) пластина (1) перетином  $60 \times 48$  мм і товщиною 1 мм. На поверхню призми нанесена стрічкова дифракційна решітка (2). Для зручності реєстрації випромінювання у вільному просторі досліджувана металодіелектрична структура закріплювалася на бічній поверхні фторопластової призми (3).

Досліджувана електродинамічна система, збуджувалася планарним діелектричним хвилеводом (4), а її параметри для різних зон Бріллюена представлені в табл. 2.2 [42].

Таблиця 2.2 – Параметри електродинамічних систем металодіелектричної структури при  $\varepsilon = 10$

$U$		0				
	$l$ (мм)	0.8				
зона $1_0$	$d$ (мм)	0.4				
	$\beta_g$	0.95÷0.70				
$U$		+0.5	+0.3	-0.3	-0.5	-0.85
	$l$ (мм)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
зона $4_{0,-1}$	$d$ (мм)	0.93	1.13	1.67	1.87	2.3
	$\beta_g$	0.95÷0.70				
	$l$ (мм)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
зона $4_{0,-1}^{-1}$	$d$ (мм)	0.93	1.13	1.67	1.87	2.3
	$\beta_g$	0.754÷0.705				
	$l$ (мм)	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
зона $4_{+1,0,-1,-2}^{-1}$	$d$ (мм)	1.733	2.096	3.104	3.466	4.282
	$\beta_g$ (мм)	0.89÷0.86				

## 2.2 Модель з діелектричною пластиною

При вивченні задачі розсіювання плоскої хвилі з діелектрика з втратами, будемо вважати, що розміри паралелепіпеда порівняно більше довжини хвилі. При дослідженні використовується метод Віннера-Хопфа. Як характерну особливість запропонованого методу, можна вказати на те, що цей метод, так само як і метод в разі паралелепіпеда з провідника, виявляється надзвичайно

ефективним в застосуванні до тіл з поперечним перерізом у вигляді довгастого прямокутника, велика сторона якого порівняно велика по відношенню до довжини хвилі.

На рис. 2.3 представлено схематичне зображення паралелепіпеда і геометричні дані розглянутої задачі. В даному випадку досліджується задача розсіювання (двовірна) плоскої хвилі (E-хвилі), що падає на паралелепіпед з діелектрика з великими втратами під кутом  $\theta$  до осі  $x$ . Ширина паралелепіпеда дорівнює  $2a$ , товщина -  $2b$ . Вважаємо, що зміна в часі описується фактором  $e^{i\omega t}$ .

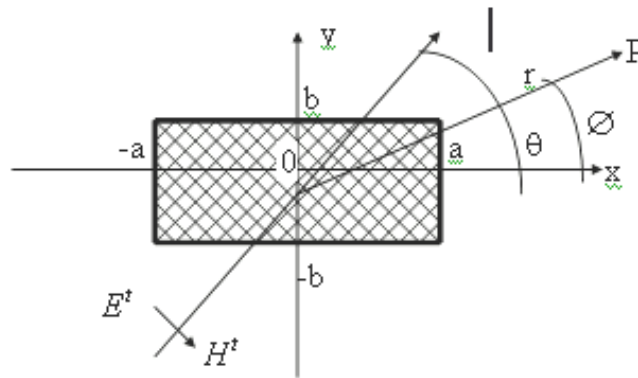


Рис. 2.3 – Схематичне зображення моделі дифракційно-черенковського випромінювання з діелектричною пластиною

Наведемо основні рівняння. Повне електромагнітне поле, розсіяна хвиля і падаюча хвиля пов'язані наступним співвідношенням:

$$(E^t, H^t) = (E^s, H^s) + (E^i, H^i) \quad (2.1)$$

Вважаємо, що падаюча плоска хвиля в розглянутій задачі може бути задана в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} E^i &= i_x e^{-iK_0 r}, H^i = K_0 E^i / (\omega \mu_0), \\ K_0 &= k_0 (\cos \theta, \sin \theta, 0), k_0 = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}, \\ r &= (x, y, 0). \end{aligned} \quad (2.2)$$

де  $\varepsilon_0$  – діелектрична проникність, і  $\mu_0$  – магнітна проникність у вакуумі.

В силу будови розсіювання тіла площина поляризації незмінна, рівняння Максвелла можна записати в наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} & \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + K_j^2 \right) E_x^S(x,y) = 0, (j = 0,1), \\ & H_x^S = \frac{-1}{i\omega\mu_0} \cdot \frac{\partial E_z^S}{\partial y}, H_y^S = \frac{1}{i\omega\mu_0} \cdot \frac{\partial E_z^S}{\partial x}, \\ & E_x^S = E_y^S = E_z^S = 0, \\ & K_1 = K_0 \sqrt{\varepsilon_S}, \varepsilon_S = (\varepsilon - i\sigma / \omega) / \varepsilon_0. \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Тут індекс  $i=0$  відноситься до хвильового рівняння в вакуумі,  $a \cdot i=1$  – до хвильового рівняння в середовищі з втратами. Крім того, величини  $\varepsilon$  і  $\sigma$  є діелектрична проникність і питома електрична провідність середовища з втратами,  $\varepsilon_S$  позначає комплексну відносну діелектричну проникність.

Рішення рівнянь (2.3) в цій задачі можна відшукувати так, щоб задовольнялися наступні граничні умови:

- а) умови випромінювання зовні при  $r \rightarrow \infty$ ;
- б) безперервність при  $E_z^S$  при  $|y|=b$ ;
- в) безперервність при  $E_z^S, H_y^S$  при  $|x|=a, |y|=b$ ;
- г) безперервність при  $H_x^S$  при  $|y|=b$ ;
- д) умови кінцевої точки при  $|x|=a, |y|=b$ .

При вирішенні задачі використовується перетворення Фур'є і зворотне перетворення Фур'є, які визначаються нижче наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} & f(\zeta) = F[f(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{i\zeta x} dx, \\ & f(x) = F^{-1}[f(\zeta)] = \frac{1}{2\pi} \int_c f(\zeta) e^{-i\zeta x} d\zeta. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Тут контур інтегрування  $C$  в зворотному перетворенні є контуром інтегрування в інтегралі з нескінченними межами, що знаходиться в загальній області  $D'$ , яка може бути отримана на підставі припущення про те, що в вакуумі є незначні втрати – область  $D$ , яка не є загальною, обумовлена існуванням полюса  $\zeta = \zeta_0$ , супутнього падаючої хвилі (рис. 2.4).

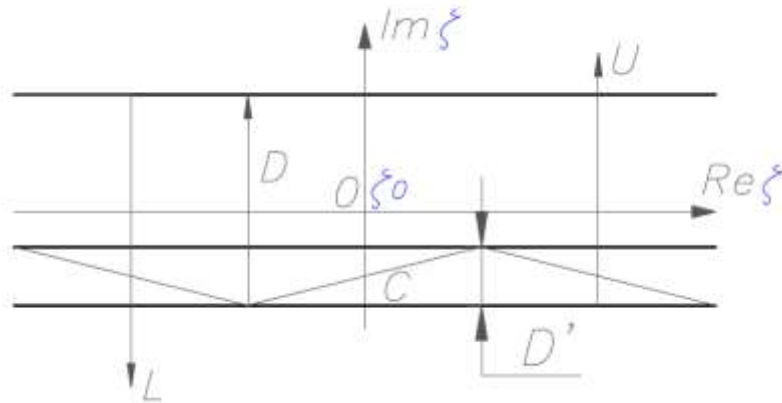


Рис. 2.4 – Площина комплексної змінної  $\zeta$  і контур інтегрування  $C$ .

Для проведення дослідження далі розкладемо розсіяну хвилю на три електромагнітні хвилі наступним чином:

$$(E^S, H^S) = (E_0^{S(+)}, H_0^{S(+)} + (E_1^S, H_1^S) + (E_0^{S(-)}, H_0^{S(-)}). \quad (2.5)$$

Причому вважаємо, що кожна електромагнітна хвиля при  $|y| \leq b$  задовольняє наступним співвідношенням:

$$\left. \begin{aligned} (E_0^{S(+)}, H_0^{S(+)} &= (E^S, H^S)L(x-a) - (E^i, H^i)L(a-x), \\ (E_1^S, H_1^S) &= (E^t, H^t)L(a-x)L(A+x), \\ (E_0^{S(-)}, H_0^{S(-)} &= (E^S, H^S)L(-a-x) + (E^i, H^i)L(-a-x). \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Тут:  $L(x)$  - ступінчаста функція:

$$L(x) = \begin{cases} 1, (x > 0), \\ 0, (x < 0). \end{cases} \quad (2.7)$$

Сенс індексів, якими забезпечені кожна з електромагнітних хвиль, як видно з формул (2.6), що визначають ці електромагнітні хвилі, полягає в наступному. Нижній індекс «0» відповідає тому, що поле задовольняє хвильовому рівнянню в вакуумі, а індекс «1» - тому, що поле задовольняє хвильовому рівнянню в середовищі з втратами. Іншими словами, ці індекси відповідають значенням індексу  $i=0, 1$  в рівняннях (2.3). Крім того, верхній значок (+) вказує на те, що дане поле має сенс тільки при  $x > a$ , а значок (-) - на те, що поле має сенс тільки при  $x < -a$ . В силу цих визначень робляться особливо ясними аналітичні властивості Фур'є-компонент кожної електромагнітної хвилі і стає можливим виконання дослідження, заснованого на теоретико-функціональних міркуваннях.

Знайдемо тепер Фур'є-компоненти розсіяної хвилі. Перш за все за допомогою переходу до прямого перетворення Фур'є в хвильовому рівнянні (2.3) при  $|y| \geq b$  можна отримати наступне рівняння:

$$\left. \begin{aligned} (d^2 / dy^2 + k_0^2) E_x^S(\zeta, y) &= 0, \\ k_0^2 &= K_0^2 - \zeta^2, (\zeta \in D). \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Рішення цього рівняння, що задовольняє граничним умовам для 1 і 2 рівнянь (2.3), може бути записано наступним чином:

$$E_x^S(\zeta, y) = \left[ \begin{array}{l} U_0^+(\zeta, \pm b) e^{i\zeta a} + U_1(\zeta, \pm b) + \\ + U_0^-(\zeta, \pm b) e^{-i\zeta a} \end{array} \right] e^{\mp \frac{ik_0(y \mp b)}{\zeta - \zeta_0}}, \quad (2.9)$$

$(y \geq b, y \leq -b).$

Невідомі функції  $\epsilon$ , як показують наведені нижче формули, Фур'є-компоненти розсіяної хвилі при  $|y| = b$ . Нарешті, точка  $\zeta = \zeta_\theta$  являє собою полюс, що походить від падаючої хвилі:

$$\left. \begin{aligned} U_0^+(\zeta, \mp b)e^{i\zeta a} / (\zeta - \zeta_\theta) &= F \left[ E_x^{S(+)}(x, \pm b) \right], \\ U_1(\zeta, \pm b) / (\zeta - \zeta_\theta) &= F \left[ E_{z_1}^S(x, \pm b) \right], \\ U_0^-(\zeta, \pm b)e^{-i\zeta a} / (\zeta - \zeta_\theta) &= F \left[ E_z^{S(-)}(x, \pm b) \right], \\ \zeta_\theta &= K_0 \cos \theta; \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

$$\left. \begin{aligned} U_0^+(\zeta_\theta, \pm b) &= ie^{\mp iK_0 b \sin \theta - i\zeta_\theta a}, \\ U_0^-(\zeta_\theta, \mp b) &= -U_0^+(-\zeta_\theta, \pm b), \\ U_1(\zeta_\theta, \pm b) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Тут знак праворуч у невідомій функції  $U_0^\pm$  вказує на те, що в разі знака «+» ця функція регулярна у верхній півплощині (в області  $U$ ), а в разі знака «-» розглянута функція регулярна в нижній півплощині (в області  $L$ ). Надалі використовується цей спосіб позначень.

З іншого боку, при  $|y| \leq b$  існує розрив в середовищі. В результаті виконання прямого перетворення Фур'є в хвильовому рівнянні (2.3) воно перетворюється в наступні диференціальні рівняння різного порядку:

$$\left. \begin{aligned} (d^2 / dy^2 + k)E_{z_0}^{S(\pm)}(\zeta, y) &= \pm(\partial / \partial x - i\zeta)E_z^t(x, y) \times \\ &\times e^{i\zeta x} \Big|_{x=\pm a \pm 0}, \\ (d^2 / dy^2 + k_1^2)E_{z_1}^S(\zeta, y) &= -(\partial / \partial x - i\zeta)E_z^t(x, y) \times \\ &\times e^{i\zeta x} \Big|_{x=a-0} + (\partial / \partial x - i\zeta)E_z^t(x, y)e^{i\zeta x} \Big|_{x=-a+0}, \\ k_1^2 &= K_1^2 - \zeta^2. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Тут «вимушені» члени в правих частинах можна вивести, беручи до уваги ту обставину, що величини в співвідношеннях (2.6) і падаюча хвиля ( $E_z^t$ )



неперервні при  $x = a$ . З рівнянь (3) випливає, що  $H_y^t$  представляє собою похідну  $\partial E_z^t / \partial x$ , помножену на постійний коефіцієнт, тому, вважаючи:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial E_z^t(\pm a \pm 0, y)}{\partial x} &= \frac{\partial E_z^t(\pm a \mp 0, y)}{\partial x} = \frac{\partial E_z^t(\pm a, y)}{\partial x}, \\ E_z^t(\pm a \pm 0, y) &= E_z^t(\pm a \mp 0, y) = E_z^t(\pm a, y). \end{aligned} \right\} \quad (2.13),$$

можемо домогтися того, щоб задовольнялася гранична умова для 3 рівняння (2.3). У наведених співвідношеннях символ похідної  $\partial f(\alpha) / \partial x$  означає, що в похідній  $\partial f(x) / \partial x$  виконаний граничний перехід  $x \rightarrow \alpha$ . Таким чином, розкладаючи хвилю на торцевій площині (при  $|x| = \alpha$ ) в наступний ряд, можемо легко знайти спеціальні рішення рівнянь (2.12):

$$\left. \begin{aligned} \partial E_z^t(\pm a, y) / \partial x &= \sum_n (-1)^n [\alpha_{1cn}^{(\pm)} \cos b_{cn} y + \alpha_{2cn}^{(\pm)} \sin b_{cn} y], \\ E_z^t(\pm a, y) &= \sum_n (-1)^n [\alpha_{1cn}^{(\pm)} \cos b_{cn} y + \alpha_{2cn}^{(\pm)} \sin b_{cn} y]; \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{cn} &= (n - 1/2)\pi / b, \\ b_{cn} &= (n\pi / b), (n = 1, 2, 3, \dots). \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Що стосується співвідношень (2.14), то вони перетворюються в спеціальний спосіб розкладання в ряд Фур'є. Інакше кажучи, є розкладання по системі ортогональних функцій, які перетворюються в нуль при  $|y| = B$ . Фізично вони являють собою власні коливання плоскопаралельного хвилеводу.

$$\begin{aligned}
E_{z0}^{S(\pm)}(\zeta, y) &= e^{\pm i\zeta a} \left[ \frac{U_{oc}^{(\pm)}(\zeta)}{2(\zeta - \zeta_\theta)} \cdot \frac{\cos k_0 y}{\cos k_0 b} + \frac{U_{os}^{(\pm)}(\zeta)}{2(\zeta - \zeta_\theta)} \cdot \frac{\sin k_0 y}{\sin k_0 b} \right] \mp e^{\pm i\zeta a} \times \\
&\times \sum_n (-1)^n \left[ \frac{\alpha_{1cn}^{(\pm)} - i\zeta \alpha_{2cn}^{(\pm)}}{\zeta^2 - k_{0cn}^2} \cos b_{cn} y + \frac{\alpha_{1sn}^{(\pm)} - i\zeta \alpha_{2sn}^{(\pm)}}{\zeta^2 - k_{0sn}^2} \sin b_{sn} y \right] \\
E_{z1}^S(\zeta, y) &= \left[ \frac{U_{1c}(\zeta)}{2(\zeta - \zeta_\theta)} \cdot \frac{\cos k_1 y}{\cos k_1 b} + \frac{U_{1s}(\zeta)}{2(\zeta - \zeta_\theta)} \cdot \frac{\sin k_1 y}{\sin k_1 b} \right] + \\
&+ e^{i\zeta a} \sum_n (-1)^n \left[ \frac{\alpha_{1cn}^{(\pm)} - i\zeta \alpha_{2cn}^{(\pm)}}{\zeta^2 - k_{1cn}^2} \cos b_{cn} y + \frac{\alpha_{1sn}^{(\pm)} - i\zeta \alpha_{2cn}^{(\pm)}}{\zeta^2 - k_{1sn}^2} \sin b_{sn} y \right] - \\
&- e^{-i\zeta a} \sum_n (-1)^n \left[ \frac{\alpha_{1sn}^{(-)} - i\zeta \alpha_{2sn}^{(-)}}{\zeta^2 - k_{1sn}^2} \sin b_{sn} y \right].
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Тут члени рядів є приватними рішеннями. Крім того, невідомі функції, забезпечені нижніми індексами  $c, s$ , являють собою, з урахуванням властивостей парності в співвідношеннях (2.10), такі вирази ( $j = 0, 1$ ):

$$\left. \begin{aligned}
U_{jc}(\zeta) &= U_j(\zeta, b) + U_j(\zeta, -b), \\
U_{js}(\zeta) &= U_j(\zeta, b) / U_j(\zeta, -b).
\end{aligned} \right\} \tag{2.17}$$

Нарешті, виконуються наступні співвідношення ( $j=0, 1, q=c, s$ ):

$$k_{jqn}^2 = k_j^2 - b_{qn}^2. \tag{2.18}$$

Таким чином, проведені дослідження вказують на коректність побудованої фізичної моделі і дозволяють дати рекомендації щодо застосування металодіелектричних структур в пристроях дифракційної електроніки [43-46].

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ДИФРАКЦІЙНОГО ТА ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Провести розрахунок кутів дифракційного та черенковського випромінювання для діелектричних призм із заданими параметрами:

Фторопласт:  $\varepsilon = 2.05$ .

а)  $a=1.2$  мм,  $b=54.1$  мм;

б)  $a=4.0$  мм,  $b=53.9$  мм;

в)  $a=16.1$  мм,  $b=53.9$  мм.

Для наступних зон Бріллюена:

а) Зона  $1_0 - \chi = 0.3, 0.78 < \beta < 0.81$ ;

б) Зона  $4_{0,-1}^{-1} - \chi = 0.7, 0.78 < \beta < 0.81$ ;

в) Зона  $3_{-1} - \chi = 0.35, 0.595 < \beta < 0.61$ ;

г) Зона  $5_{-1}^{-1} - \chi = 0.598, 0.595 < \beta < 0.61$ ;

д) Зона  $4_{0,-1,-2}^{-1} - \chi = 0.788, 0.78 < \beta < 0.81$ .

Полікор:  $\varepsilon = 10$ .

$a=1$  мм,  $b=48$  мм.

Для наступних зон Бріллюена:

а) Зона  $1_0 - \chi = 0.18, 0.78 < \beta < 0.81$ ;

б) Зона  $4_{0,-1,-2}^{-1} - \chi = 0.486, 0.78 < \beta < 0.81$ ;

в) Зона  $4_{1,0,-1,-2}^{-1} - \chi = 0.788, 0.78 < \beta < 0.81$ .

Розглянемо хід променів гармонік дифракційно-черенковського випромінювання в досліджуваній електродинамічній системі (рис. 3.1).

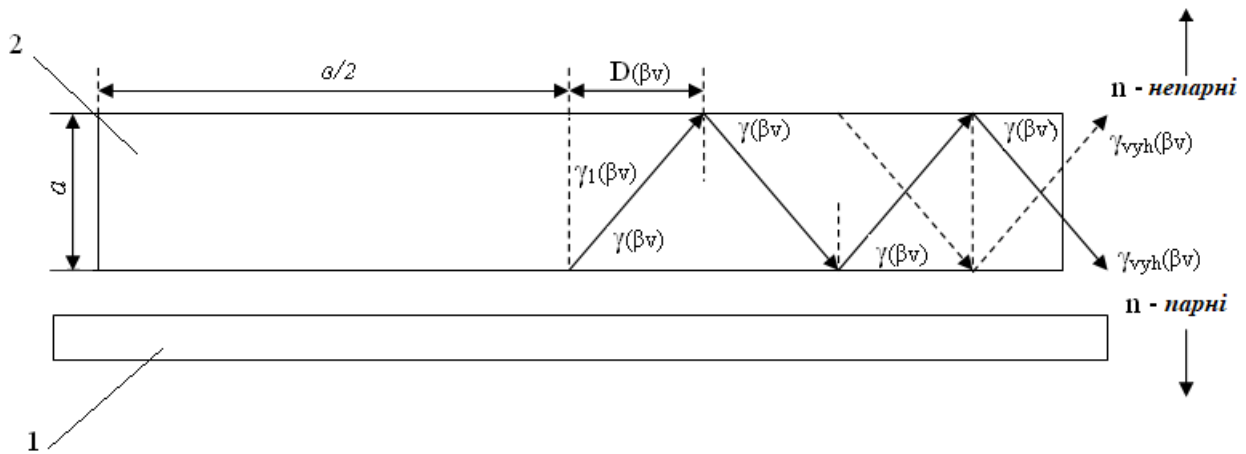


Рис. 3.1 – Хід променів гармонік дифракційно-черенковського випромінювання в досліджуваній електродинамічній системі: 1 - хвилевід, 2 - діелектричне середовище

Тут  $\gamma(\beta_v)$  – кут, під яким хвиля входить в діелектрик,  $\gamma_{vyh}(\beta_v)$  – вихідний кут,  $\gamma_1(\beta_v)$  – кут, суміжний з  $\gamma(\beta_v)$ ,  $a$  і  $a$  – габаритні розміри призми.

Результати моделювання гармонік випромінювання для діелектричних призм із фторопласта ( $\varepsilon = 2.05$ ) представлені нижче.

Розглянемо зону Брілюена  $1_0$  для трьох товщин діелектричної призми (рис. 3.2 - 3.4):

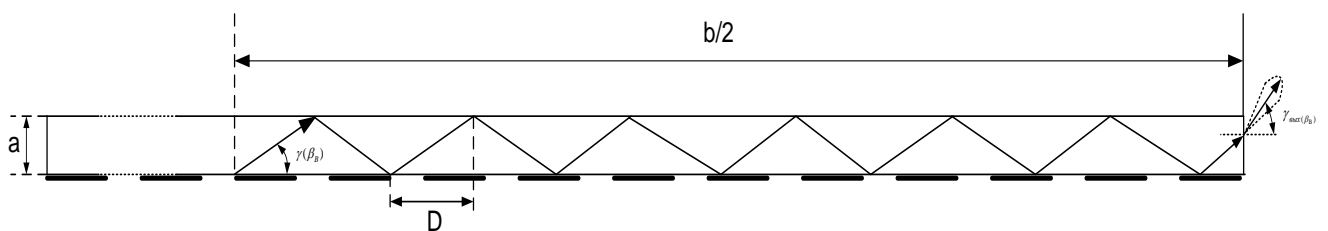


Рис. 3.2 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $1_0$  ( $a=1.2$  мм,  $b=54.1$  мм,  $\beta_B = 0.8$ )

На рис. 3.2 схематично показано як дифракційно-черенковське випромінювання буде вести себе в досліджуваній системі з зазначеними геометричними параметрами для діелектричної призми. Після ряду

перевідбиттів хвиля вийде з призми в навколишній простір під кутом  $\gamma_{\text{вих}} = 44.3^\circ$ , кут входу хвилі в діелектрик  $\gamma = 29.20^\circ$ .

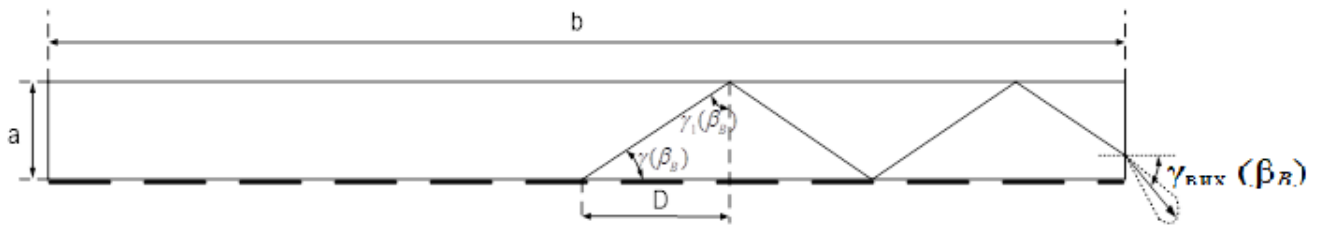


Рис. 3.3 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $1_0$  ( $a=4.0$  мм,  $b=53.9$  мм,  $\beta_B = 0.8$ )

Хоча при зміні геометричних параметрів діелектричної призми, змінюється кількість перевідбиттів, кут виходу хвилі з призми залишається таким же, як і в попередньому випадку –  $\gamma_{\text{вих}} = 44.3^\circ$ , кут входу хвилі в діелектрик також не змінюється –  $\gamma = 29.20^\circ$ .

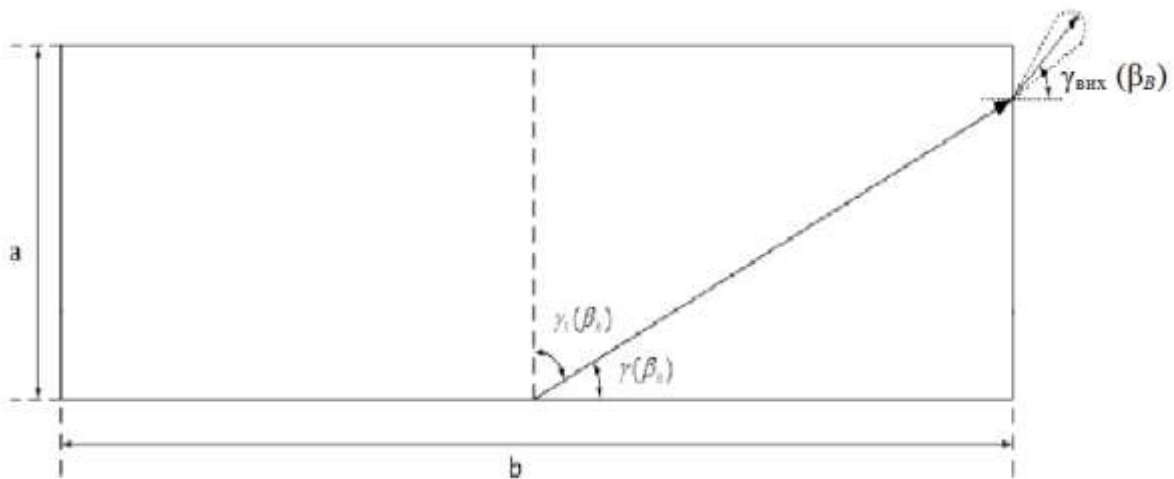


Рис. 3.4 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $1_0$  ( $a=16.1$  мм,  $b=53.9$  мм,  $\beta_B = 0.8$ )

З малюнка наведеного вище бачимо, що при значній зміні (збільшенні) параметра  $a$ , хвиля потрапляє на бічну стінку призми і виходить з неї під таким

же кутом, як і в двох випадках розглянутих вище –  $\gamma_{\text{вих}} = 44.3^\circ$ , кут входу хвилі в призму не змінюється –  $\gamma = 29.20^\circ$ .

Залежність вихідного кута випромінювання в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні має такий вигляд (рис. 3.5):

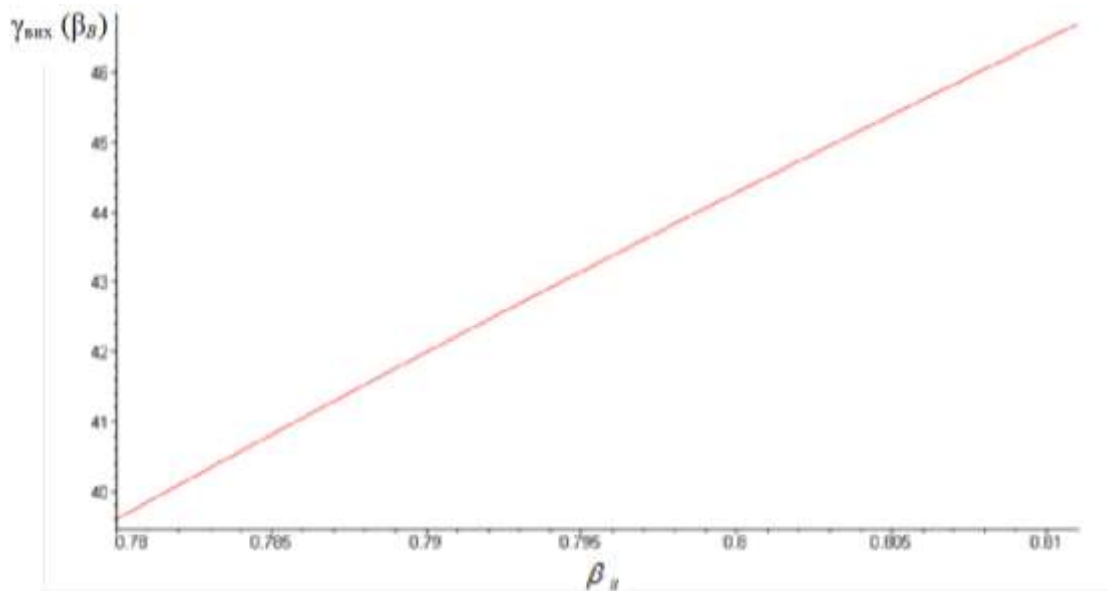


Рис. 3.5 – Залежність вихідного кута випромінювання в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $1_0$

Розглянемо зону Брілюена  $4_{0,-1}^{-1}$  для трьох товщин діелектричної призми (рис. 3.6 - 3.8):

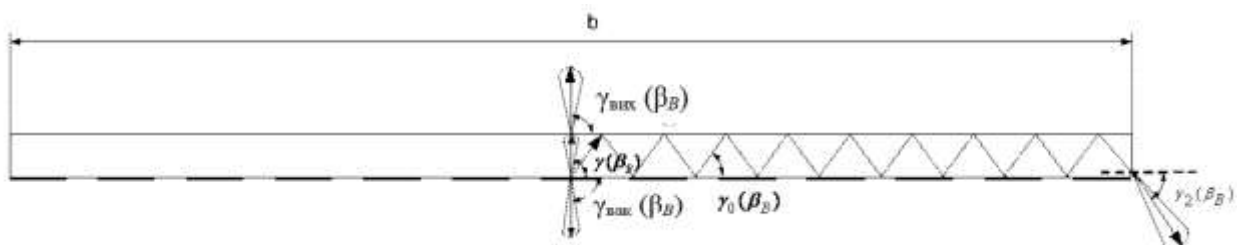


Рис. 3.6 – Теоретична модель дифракційно-черенковского випромінювання для зони  $4_{0,-1}^{-1}$  ( $a=1.2$  мм,  $b=54.1$  мм,  $\beta_B = 0.797$ )

На рис. 3.6 схематично показано як дифракційно-черенковске випромінювання буде вести себе в досліджуваній системі для зони Бріллюена  $4_{0,-1}^{-1}$  з зазначеними геометричними параметрами для діелектричної призми. Кут виходу випромінювання (для 0-вої гармоніки) в навколишнє середовище –  $\gamma_{вих} = 104.5^\circ$ , кут виходу в вакуум –  $\gamma_{вак} = 104.5^\circ$ . Для -1 гармоніки випромінювання характерно наступне поведінка: після ряду перевідбиттів випромінювання виходить в навколишнє середовище під кутом –  $\gamma_3 = 14.5^\circ$ . Кут, під яким випромінювання входить в призму –  $\gamma = 100^\circ$ .

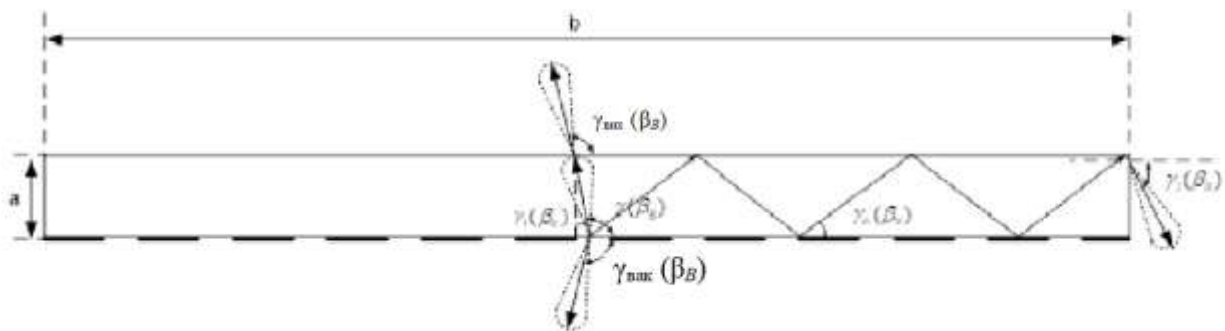


Рис. 3.7 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $4_{0,-1}^{-1}$  ( $a=4.0$  мм,  $b=53.9$  мм,  $\beta_B = 0.797$ )

В даному випадку кути виходу в вакуум і діелектрик чисельно будуть такими ж, як і в експерименту для попередньої пари значень –  $\gamma_{вак} = 104.5^\circ$  і  $\gamma_{вих} = 104.5^\circ$ , кут виходу -1 гармоніки випромінювання в діелектрик –  $\gamma_2 = 14.5^\circ$ , кут, під яким випромінювання входить в призму –  $\gamma = 100^\circ$ .

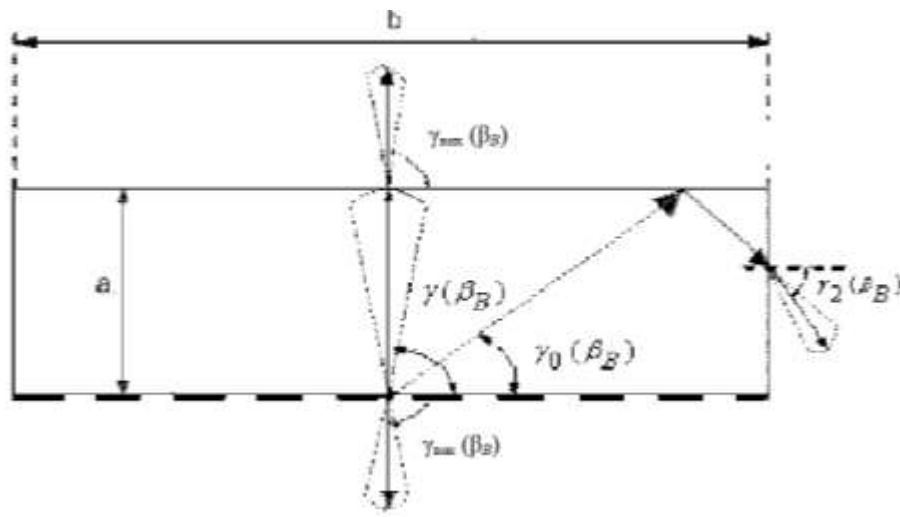


Рис. 3.8 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $4_{0,-1}^{-1}$  ( $a=16.1$  мм,  $b=53.9$  мм,  $\beta_B=0.797$ )

З малюнка наведеного вище бачимо, що при значній зміні (збільшенні) параметра  $a$ , хвиля (випромінювання -1 гармоніки) потрапляє на бічну стінку призми і виходить з неї під таким же кутом, як і в двох випадках розглянутих вище –  $\gamma_2=14.5^\circ$ . Кути виходу хвиль випромінювання в вакуум і навколишнє середовище (0-ва гармоніка випромінювання) –  $\gamma_{\text{вак}}=104.5^\circ$  і  $\gamma_{\text{вих}}=104.5^\circ$ , кут входу хвилі в призму не змінюється –  $\gamma=100^\circ$ .

Нижче наведено залежності вихідних кутів випромінювання в діелектрик і вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1}^{-1}$  (рис. 3.9 - 3.11):

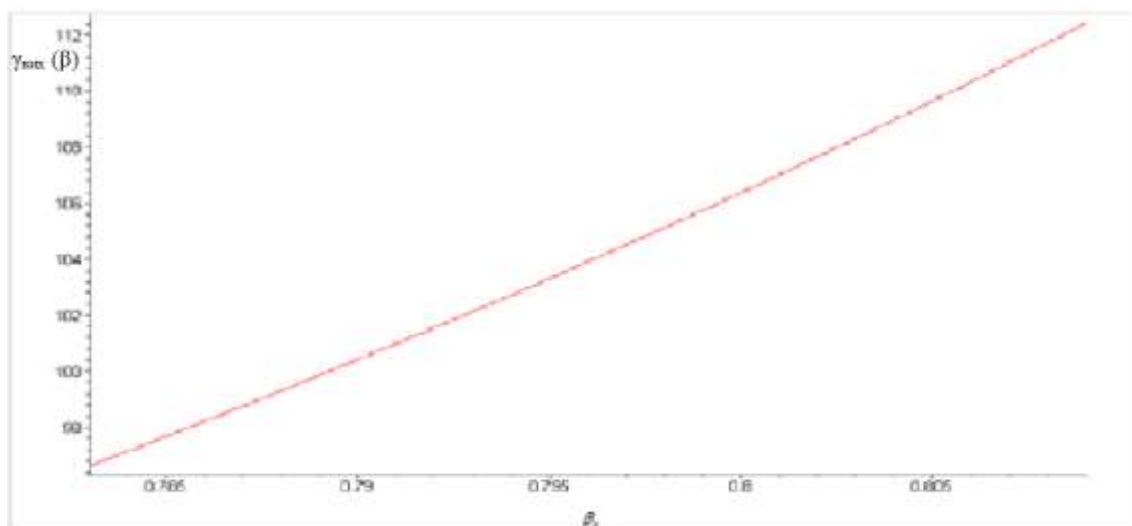




Рис. 3.9 – Залежність вихідного кута випромінювання 0-вої гармоніки в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1}^{-1}$

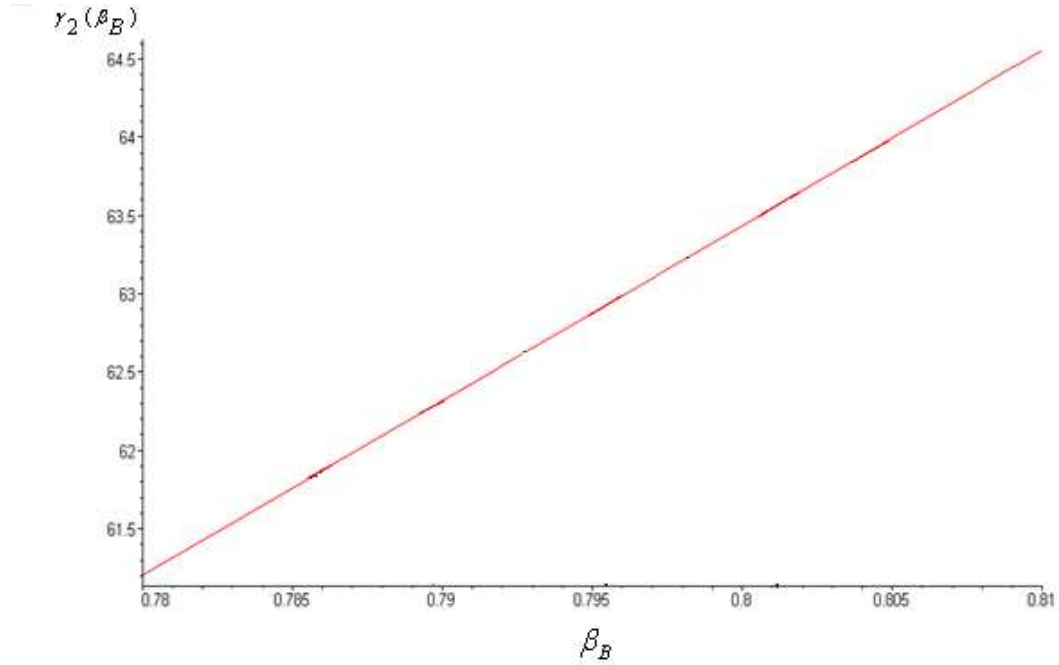


Рис. 3.10 – Залежність вихідного кута випромінювання -1 гармоніки в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1}^{-1}$

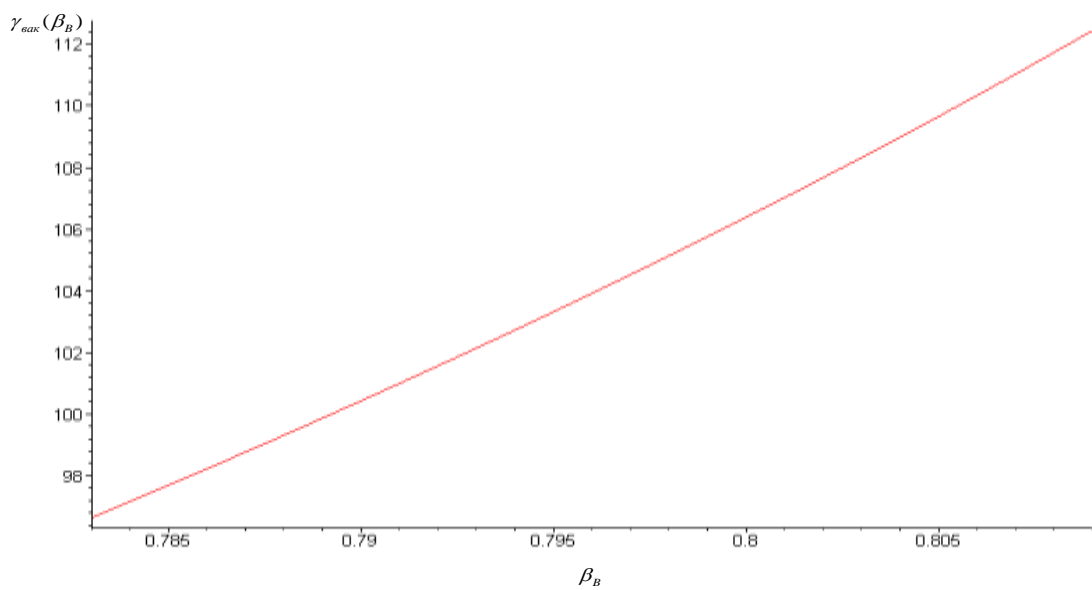


Рис. 3.11 – Залежність вихідного кута випромінювання -1 гармоніки в вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1}^{-1}$

Нижче розглянемо зону Брілюена  $3_{-1}$  для трьох товщин діелектричної призми (рис. 3.12 - 3.14):

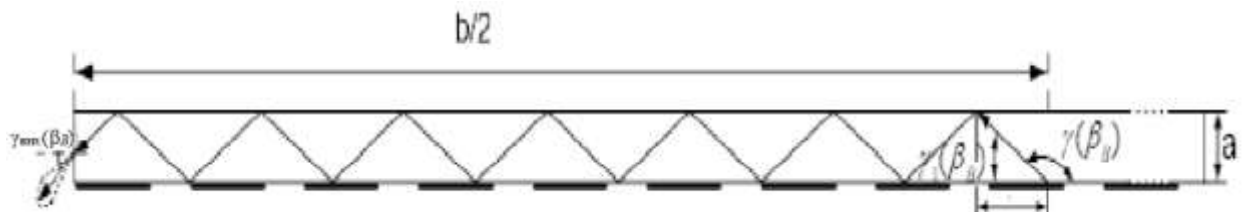


Рис. 3.12 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання в діелектричну середу для зони  $3_{-1}$  ( $a=1.2$  мм,  $b=54.1$  мм,  $\beta_B = 0.599$ )

На рис. 3.12 схематично показано поведінку дифракційно-черенковського випромінювання в досліджуваній системі з зазначеними геометричними параметрами для діелектричної призми. Після перевідбиттів хвиля вийде з призми під кутом  $\gamma_{\text{вих}} = 49.3^\circ$ , при цьому кут входу хвилі в діелектричну призму –  $\gamma = 148^\circ$ .

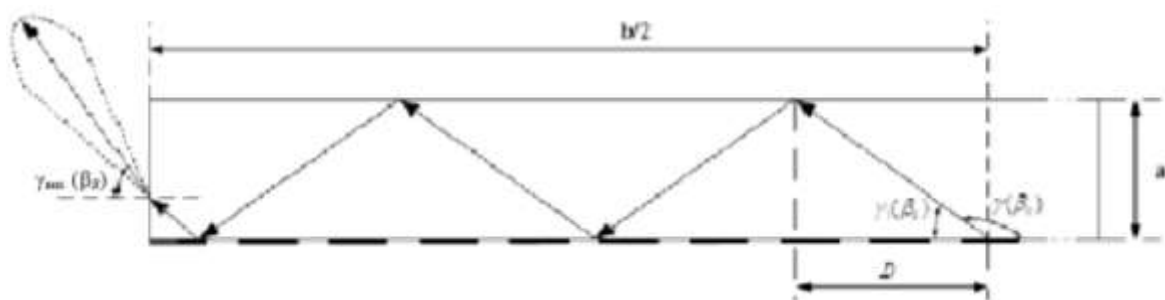


Рис. 3.13 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання в діелектричну середу для зони  $3_{-1}$  ( $a=4.0$  мм,  $b=53.9$  мм,  $\beta_B = 0.599$ )

Хоча при зміні геометричних параметрів діелектричної призми, змінюється кількість перевідбиттів кут виходу хвилі з призми залишається таким же, як і в попередньому випадку -  $\gamma_{вих} = 49.3^\circ$ , кут входу також не змінюється -  $\gamma = 148^\circ$ .

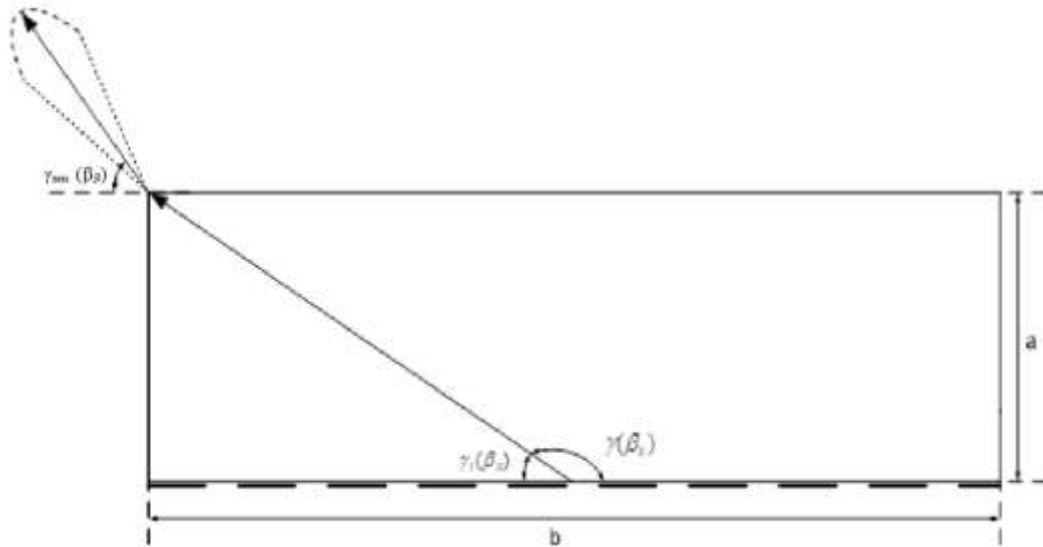


Рис. 3.14 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання в діелектричну середу для зони  $3_{-1}$  ( $a=16.1$  мм,  $v=53.9$ ,  $\beta_B = 0.599$ )

З рисунка наведеного вище бачимо, що при значній зміні (збільшенні) параметра  $a$ , хвиля потрапляє на бічну стінку призми і виходить з неї під таким же кутом як і в двох випадках розглянутих вище -  $\gamma_{вих} = 44.3^\circ$ , кут входу також не змінюється -  $\gamma = 148^\circ$ .

Залежність вихідного кута випромінювання в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $3_{-1}$  (рис. 3.15):

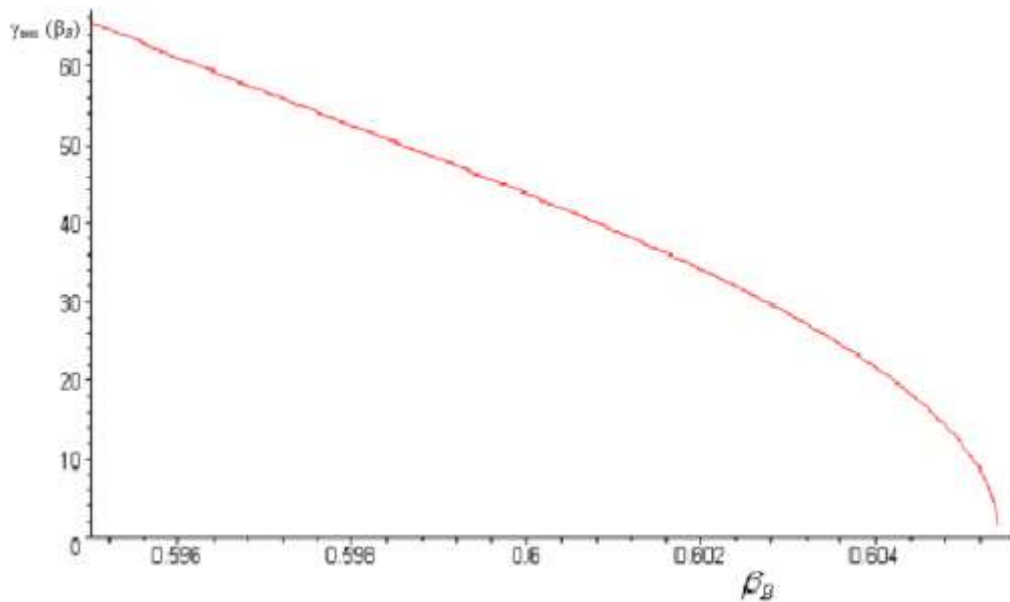


Рис. 3.15 – Залежність вихідного кута випромінювання в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $3_{-1}$

Розглянемо зону Брілюена  $5_{-1}^{-1}$  для трьох товщин діелектричної призми (рис. 3.16):

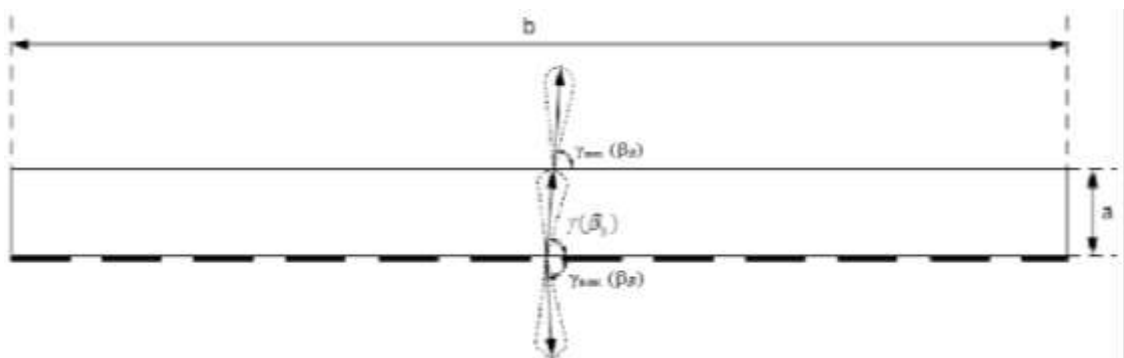


Рис. 3.16 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання в діелектрик і у вільний простір для зони  $5_{-1}^{-1}$ ,  $\beta_B = 0.595$

У такому випадку для трьох варіантів значень, використовуваних нами, для даної моделі, були отримані однакові результати. Кути виходу в вакуум і

діелектрик також однакові –  $\gamma_{\text{вак}} = 87.6^\circ$  і  $\gamma_{\text{вих}} = 87.6^\circ$ , кут входу випромінювання в призму –  $\gamma = 91.32^\circ$ .

Залежність вихідного кута випромінювання -1-х гармонік в вакуум і діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $5_{-1}^{-1}$  (рис. 3.17 – 3.18):

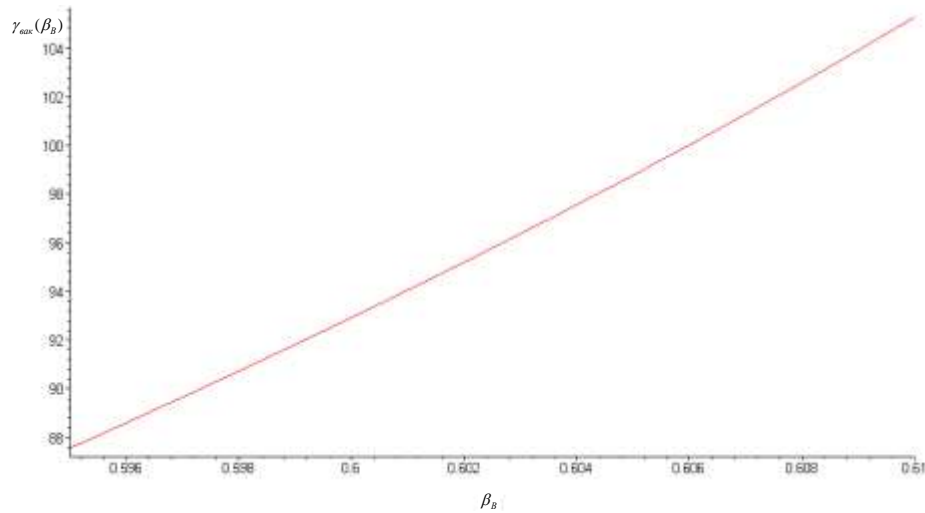


Рис. 3.17 – Залежність вихідного кута випромінювання -1 гармоніки в вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $5_{-1}^{-1}$

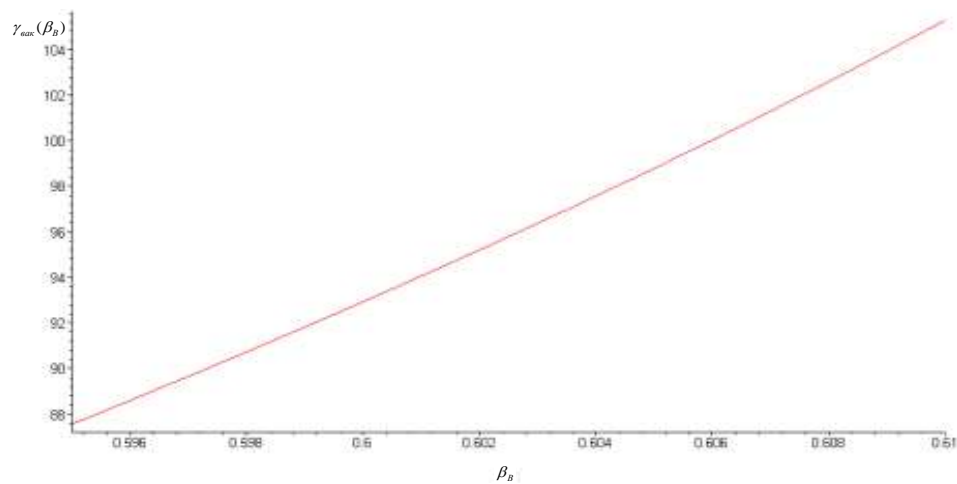


Рис. 3.18 – Залежність вихідного кута випромінювання -1 гармоніки в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $5_{-1}^{-1}$

Розглянемо зону Брілюена  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  для трьох товщин діелектричної призми (рис. 3.19 - 3.21):

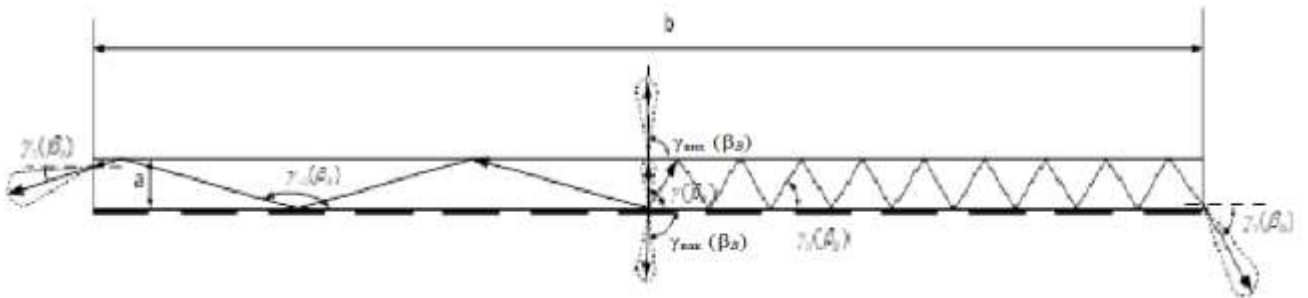


Рис. 3.19 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  ( $a=1.2$  мм,  $b=54.1$  мм,  $\beta_B=0.797$ )

На рис. 3.19 схематично показано як дифракційно-черенковське випромінювання буде вести себе в досліджуваній системі з зазначеними геометричними параметрами для діелектричної призми. Після ряду перевідбиттів випромінювання 0-вої гармоніки вийде з призми під кутом, чисельно кут виходу хвилі в вакуум буде таким же –  $\gamma_{\text{вак}}=90.79^\circ$ , кут виходу хвилі в діелектрик для -1 гармоніки –  $\gamma_3=63.3^\circ$ , для -2 гармоніки –  $\gamma_2=11.5^\circ$ . При цьому кут входу хвилі в призму –  $\gamma=90.55^\circ$ .

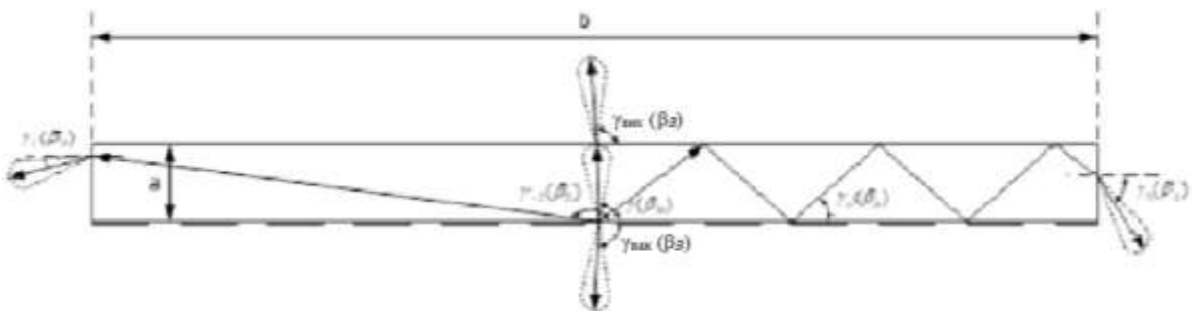


Рис. 3.20 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  ( $a=4.0$  мм,  $b=53.9$  мм,  $\beta_B=0.797$ )

Хоча при зміні геометричних параметрів діелектричної призми, змінюється кількість перевідбиттів, кут виходу 0-вої гармоніки

випромінювання з призми залишається таким же як і в попередньому випадку –  $\gamma_{\text{вих}} = 90.79^\circ$ . Кут виходу хвилі в вакуум також не змінюється –  $\gamma_{\text{вак}} = 90.79^\circ$ . Кут виходу хвилі в діелектрик для -1 гармоніки –  $\gamma_3 = 63.3^\circ$ , для -2 гармоніки –  $\gamma_2 = 11.5^\circ$ . Як і в попередньому випадку кут входу хвилі в призму –  $\gamma = 90.55^\circ$ .

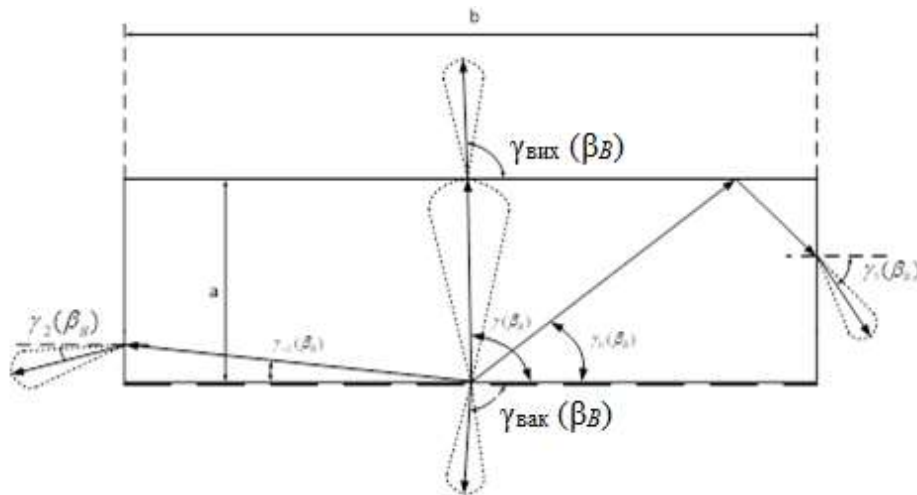


Рис. 3.21 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  ( $a=16.1$  мм,  $b=53.9$  мм,  $\beta_B = 0.797$ )

З рис. 3.21 наведеного вище бачимо, що при значній зміні (збільшенні) параметра  $a$ , хвиля (0-ва гармоніка випромінювання) виходить з призми під таким же кутом, як і в двох випадках розглянутих вище –  $\gamma_{\text{вак}} = 90.79^\circ$ . Кут виходу хвилі випромінювання у вакуумі –  $\gamma_{\text{вих}} = 90.79^\circ$ . Для -1 і -2 гармонік випромінювання характерна наступна поведінка: хвиля потрапляє на бічну стінку призми і виходить з неї під кутом чисельно рівним значенню, отриманому для двох описаних вище експериментів: кут виходу хвилі в діелектрик для -1 гармоніки –  $\gamma_3 = 63.3^\circ$ , для -2 гармоніки –  $\gamma_2 = 11.5^\circ$ , кут входу хвилі в призму –  $\gamma = 90.55^\circ$ .

Залежності кутів виходу в діелектрик і вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  (рис. 3.22 – 3.25):

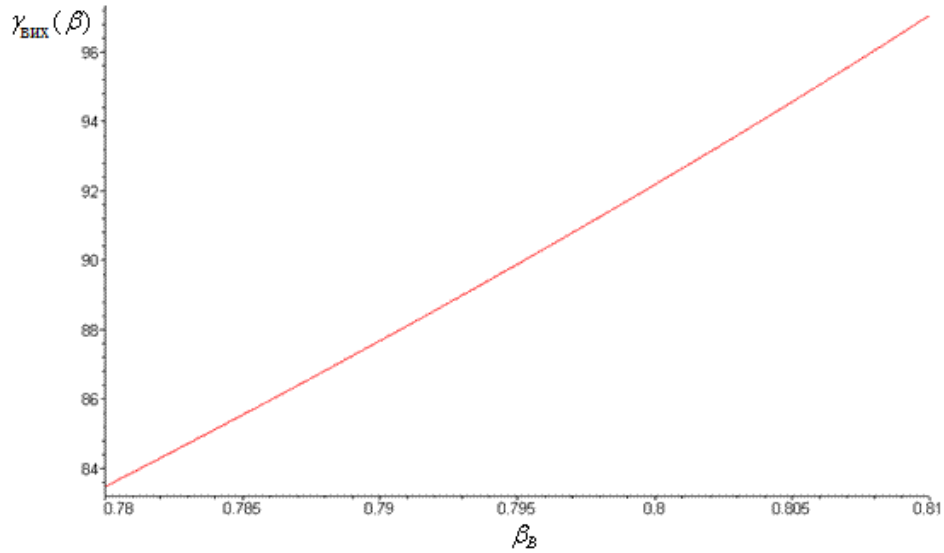


Рис. 3.22 – Залежність вихідного кута в діелектрик (0-ва гармоніка випромінювання) від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1,-2}^{-1}$

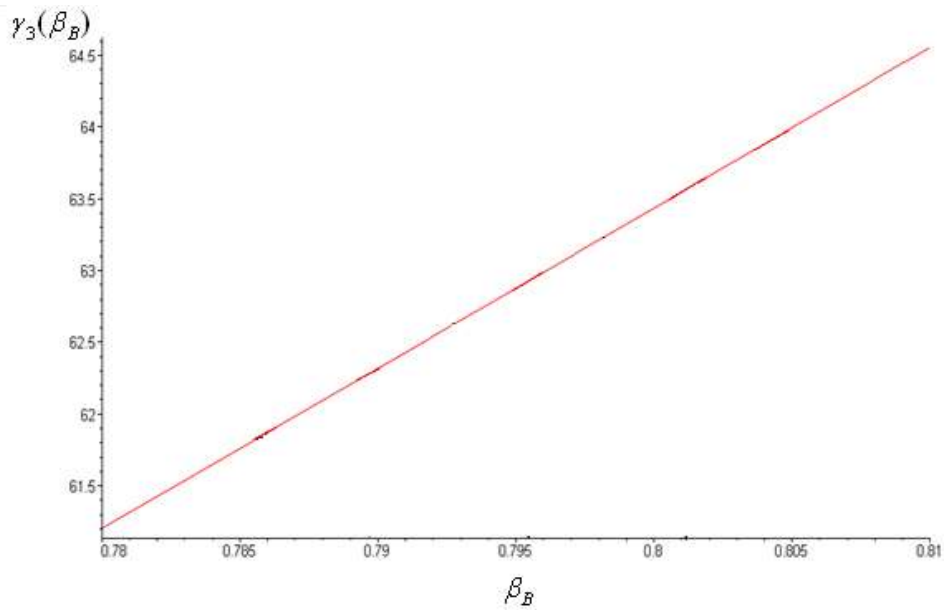


Рис. 3.23 – Залежність вихідного кута -1 гармоніки випромінювання в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1,-2}^{-1}$



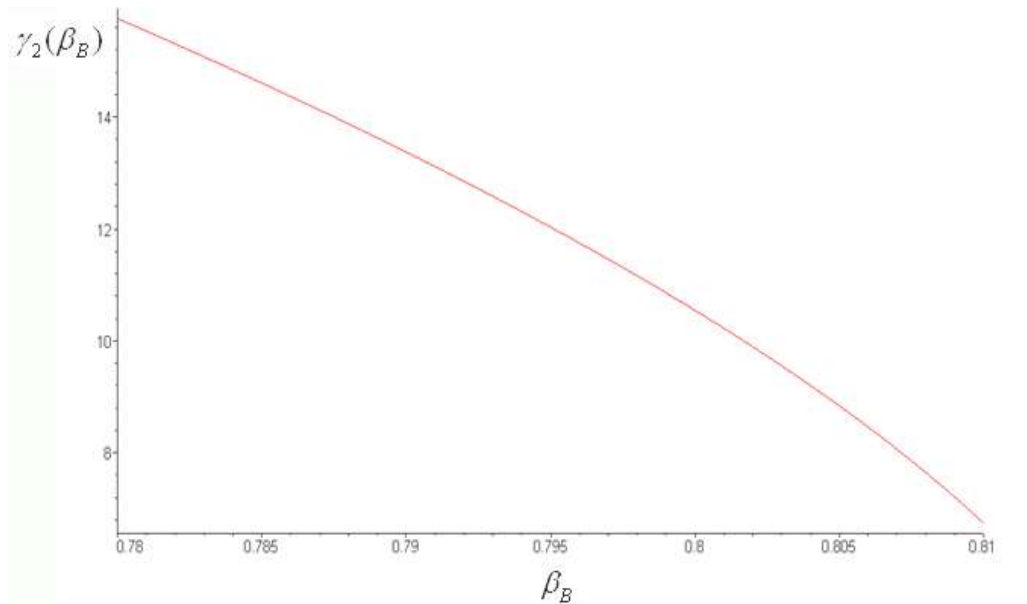


Рис. 3.24 – Залежність вихідного кута -2 гармоніки випромінювання в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1,-2}^{-1}$

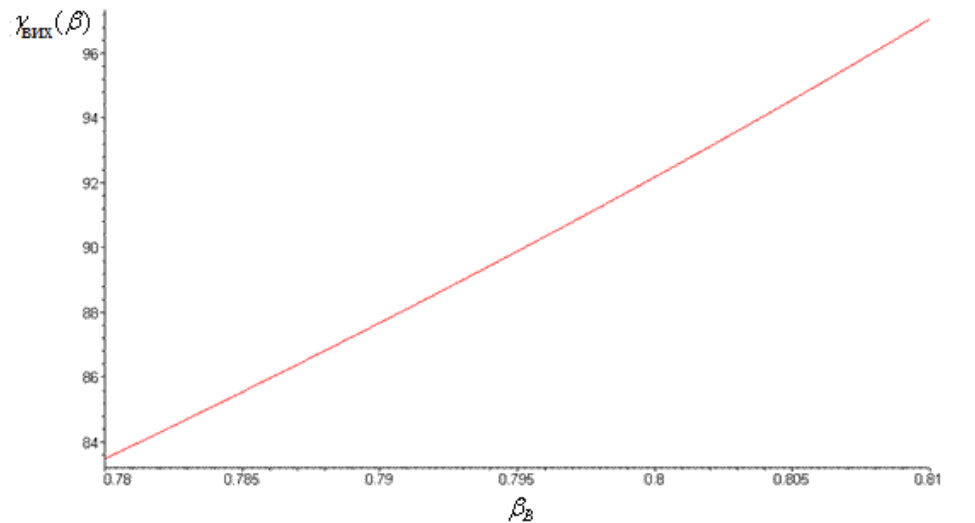


Рис. 3.25 – Залежність вихідного кута випромінювання -1 гармоніки в вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1,-2}^{-1}$

При використанні полікору ( $\varepsilon = 10$ ):

Розглянемо зону Брілюена  $1_0$  (рис. 3.26):

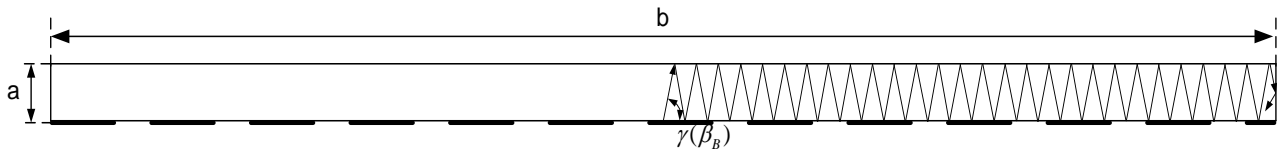


Рис. 3.26 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $1_0$  ( $a=1$ ,  $v=48$ ,  $\beta_B = 0.797$ )

При зміні матеріалу діелектричної призми (фторопласт замінили полікор), в зв'язку зі зміною діелектричної проникності та інших параметрів, змінюється як кількість перевідбиттів, так і поведінка хвилі випромінювання. Після ряду перевідбиттів, хвиля, відбиваючись від бічної стінки, не виходить в навколишнє середовище, а продовжує рух в призмі. При цьому кут входу хвилі в призму –  $\gamma = 66.62^\circ$ .

Розглянемо зону Брілюена  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  (рис. 3.27):

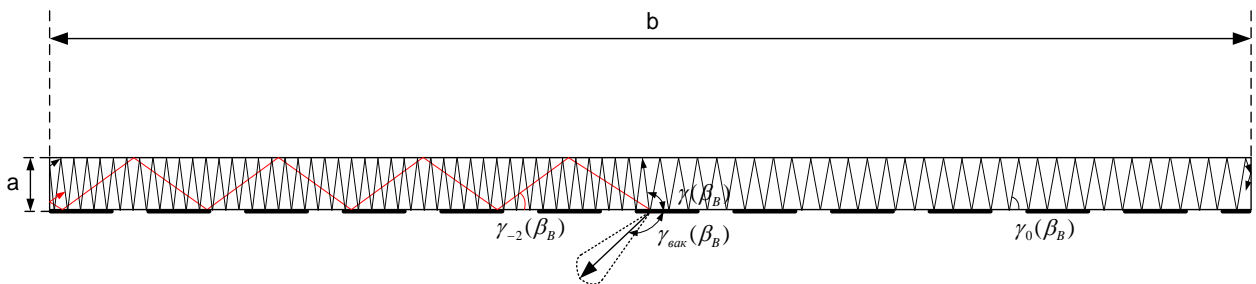


Рис. 3.27 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони для  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  ( $a=1$ ,  $v=48$ ,  $\beta_B = 0.797$ )

На рис. 3.27 схематично показано поведінку дифракційно-черенковського випромінювання в досліджуваній зоні. Хвиля входить в призму під кутом  $\gamma = 104.78^\circ$ , кут виходу хвилі в вакуум –  $\gamma_{вак} = 143.77^\circ$ , для хвиль 0, -1 і -2 гармонік, характерна наступна поведінка: після ряду перевідбиттів, вони

відбиваються від бічної стінки призми і продовжують рух в призмі, а не виходять в навколишнє середовище. При цьому  $\gamma_0 = 69.25^\circ$ ,  $\gamma_{-2} = 161.3^\circ$ .

Залежність кута виходу -1 гармоніки випромінювання в вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1,-2}^{-1}$  (рис. 3.28):

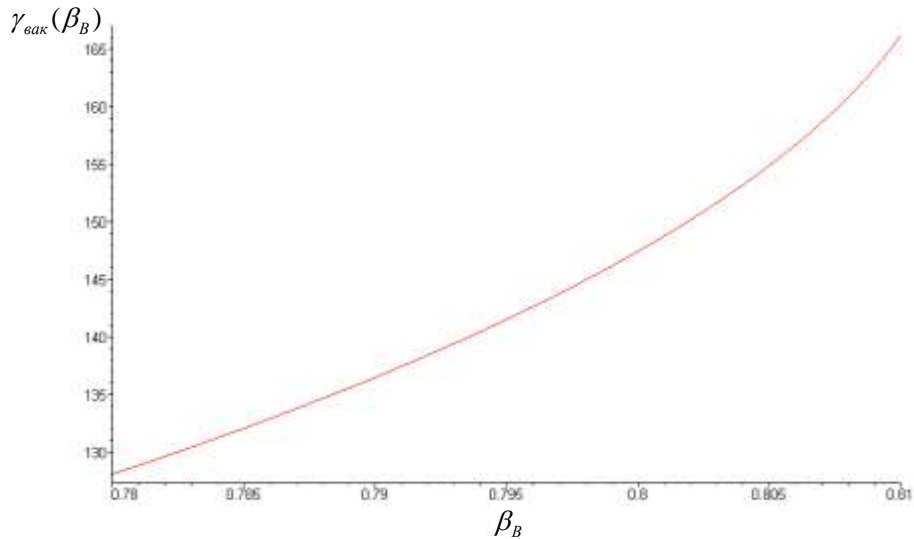


Рис. 3.28 – Залежність кута виходу -1 гармоніки випромінювання в вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{0,-1,-2}^{-1}$

Розглянемо зону Брілюена  $4_{1,0,-1,-2}^{-1}$  (рис.3.29):

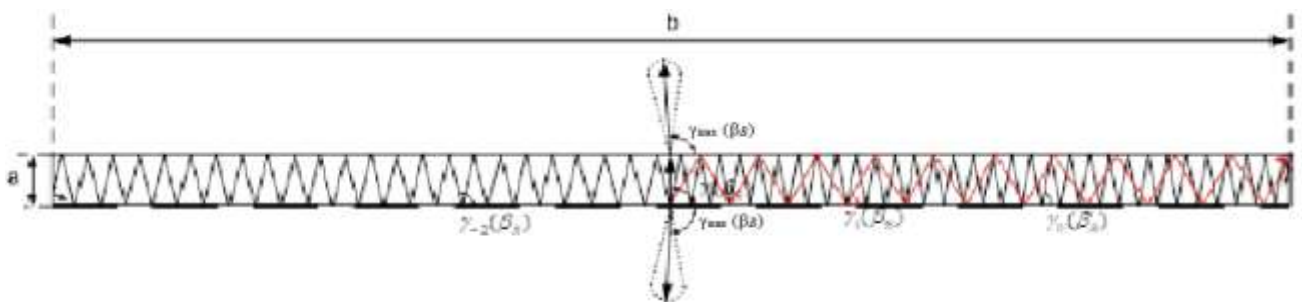


Рис. 3.29 – Теоретична модель дифракційно-черенковського випромінювання для зони  $4_{1,0,-1,-2}^{-1}$  ( $a=1$ ,  $v=48$ ,  $\beta_B = 0.797$ )

На рис. 3.29 схематично показано як дифракційно-черенковське випромінювання буде вести себе в досліджуваній системі з зазначеними

геометричними параметрами для діелектричної призми. Хвиля входить в призму під кутом  $\gamma = 90.25^\circ$ , кути виходу хвилі в вакуум і діелектрик (0-гармоніка випромінювання) рівні –  $\gamma_{\text{вак}} = 90.79^\circ$  і  $\gamma_{\text{вих}} = 90.79^\circ$ , хвилі -1, -2 і 1 гармонік, будуть рухатися по наведеній вище схемі, тобто після ряду перевідбиттів, відбившись від бічних поверхонь призми, продовжать свій рух всередині призми. При цьому кути, позначені на малюнку, чисельно рівні:  $\gamma_0 = 69.25^\circ$ ,  $\gamma_{-2} = 116.64^\circ$ ,  $\gamma_1 = 40.93^\circ$ .

Залежність кута виходу 0 гармоніки випромінювання в діелектрик та -1 гармоніки в вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{1,0,-1,-2}^{-1}$  (рис. 3.30 - 3.31):

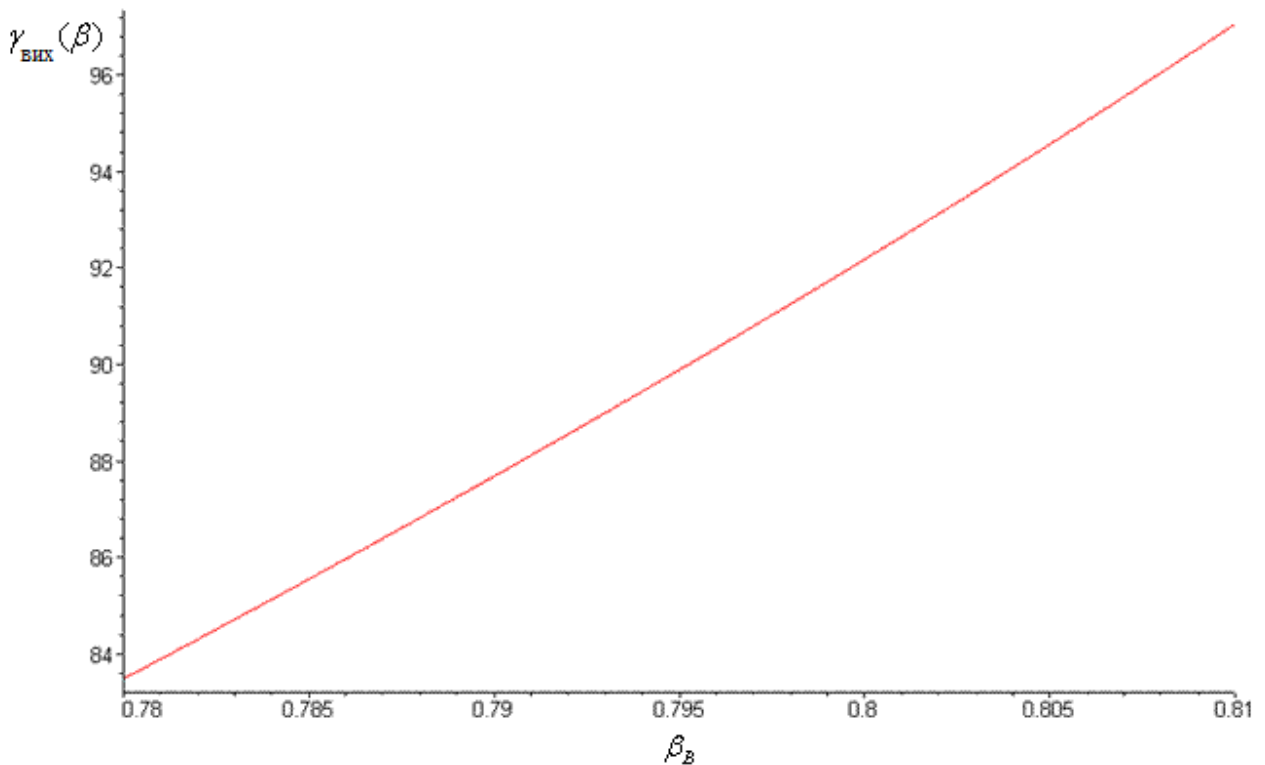


Рис. 3.30 – Залежність кута виходу 0 гармоніки випромінювання в діелектрик від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{1,0,-1,-2}^{-1}$

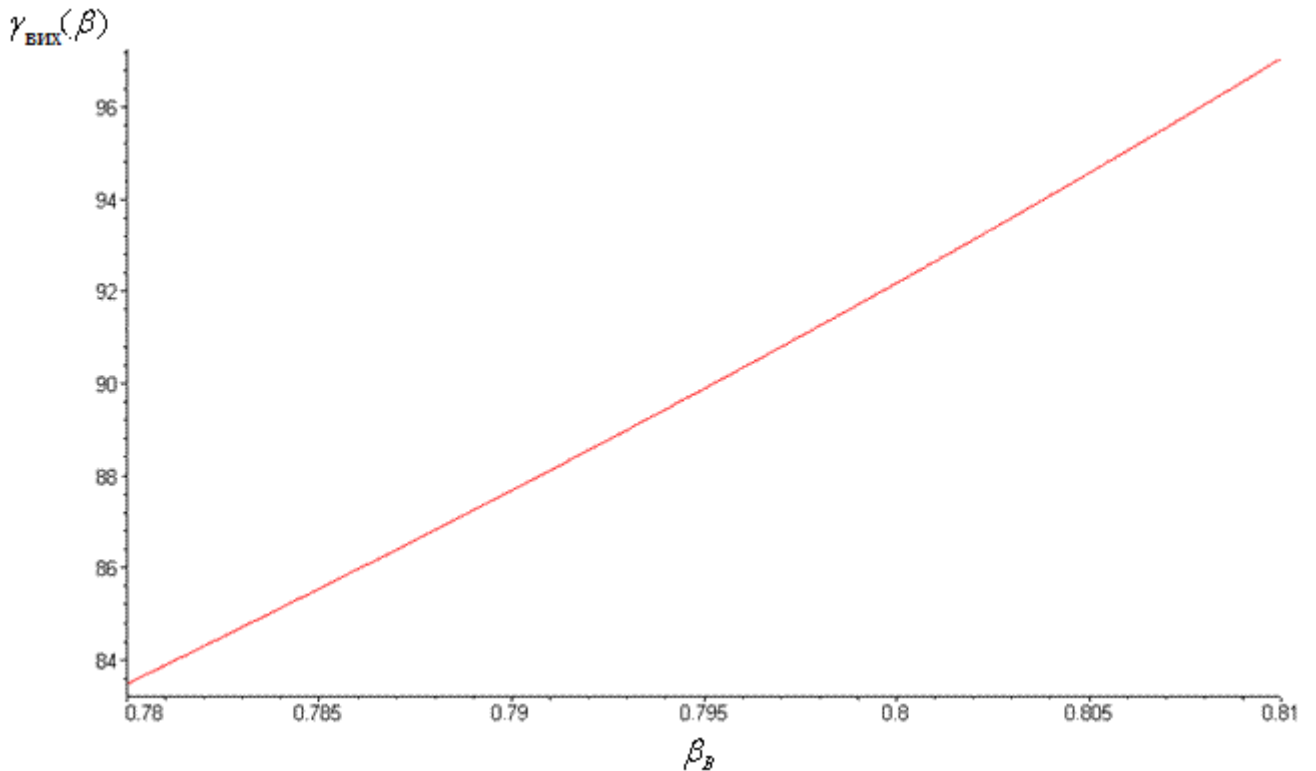


Рис. 3.31 – Залежність кута виходу -1 гармоніки випромінювання вакуум від відносної швидкості хвилі в зоні  $4_{1,0,-1,-2}^{-1}$

Проаналізувавши результати, проведеного моделювання, можемо зробити висновок – на поведінку дифракційно-черенковского випромінювання в значній мірі впливають – геометричні параметри діелектричного середовища, в якому поширюється випромінювання і характеристики самого середовища, тобто матеріал, з якого виготовлена призма. Також була встановлена залежність характеристик випромінювання від товщини і діелектричної проникності металодіелектричних структур.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Шкідливі чинники під час роботи в офісних приміщеннях

#### 4.1.1 Персональний комп'ютер

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що впливають на людину при роботі з персональним комп'ютером, такі:

- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищений рівень іонізуючих випромінювань;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищена напруженість електростатичного поля;
- підвищена або знижена іонізація повітря;
- підвищена яскравість світла;
- прямий і відображений блиск;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- статичні перевантаження кістково-м'язового апарату і динамічні локальні перевантаження м'язів кисті рук;
- перенапруження зорового аналізатора;
- розумове перенапруження;
- емоційні перевантаження;
- монотонність праці.

До шкідливих випромінювань комп'ютера відносяться низькочастотні електромагнітні поля і іонізуюче (рентгенівське) випромінювання моніторів на електронно-променевих трубках (ЕПТ). Що стосується електромагнітних полів, то їх вплив на людський організм вивчено слабо, а рівень такого випромінювання від персонального комп'ютера дуже низький, навіть у порівнянні з багатьма побутовими електроприладами [47].

Згідно Санітарним правилам і нормам (СПіН), площа одного робочого місця, обладнаного ПЕОМ, повинна становити не менше 6 кв.м., обсяг - не менше 20 куб.м. Для виключення впливу підвищених рівнів електромагнітних

випромінювань відстань між екраном монітора і працівником повинна становити не менше 0,5 м (оптимальне 0,6-0,7 м). Для забезпечення безпеки працівників на сусідніх робочих місцях відстань між робочими столами з моніторами (у напрямі тилу поверхні одного монітора й екрана іншого монітора) має бути не менше 2 м, а відстань між бічними поверхнями моніторів - не менше 1,2 м [48].

Радіаційне випромінювання ЕПТ-моніторів присутнє в будь-якому приладі на електронно-променевих трубках. Однак на відстані 50 см від екрану монітора рівень цього випромінювання не перевищує рівня природного фону. До того ж, монітори на ЕПТ вже практично повністю витіснені рідкокристалічними моніторами (РКІ), в яких геть відсутня радіаційне випромінювання. У приладів на ЕПТ є ще один шкідливий фактор: технологія отримання зображення в них пов'язана з використанням високих напруг в декілька десятків кіловольт, які використовуються для формування електронних променів. Побічним ефектом цієї технології є збільшення концентрації позитивно заряджених іонів в повітрі і зниження кількості негативних іонів (а також збільшення концентрації озону), що негативно позначається на самопочутті і здоров'я людини [49].

Гіподинамія – при роботі за комп'ютером час йде швидше і непомітніше, ніж при звичайній роботі з документами. Менше доводиться рухатися, щоб взяти будь-які документи, вони ж все на робочому столі комп'ютера. Профілактика: більше двигайтесь, частіше влаштовувати перерви. Кожні 1-1,5 години переривайтесь на 5-10-хвилин. Під час перерви, в залежності від розташування робочого місця, можна вийти на вулицю, піднятися по сходах на другий поверх і т. д.

Стіл та стілець. Зберігати правильну поставу при роботі за комп'ютером, що є профілактикою захворювань хребта і остеохондрозу, допомагає правильно підібраний робочий стілець і крісло. Правильна постава повинна бути наступною: руки лежать на клавіатурі зігнуті в ліктях під кутом приблизно 90 °, плечі при цьому розслаблені. При цьому підлокітники крісла не підпирають

лікть і не змушують піднімати плечі. Розташування рук щодо столу має бути таким, що більше половини довжини передпліч упиралися на стіл. Відстань до монітора повинна збережуватися не менше 50 см. Висота стола повинна бути приблизно 75 см (з коливаннями по зростанню, конкретного користувача), тоді нога всією ступнею стоїть на підлозі, а стегно розташоване паралельно. Спина повинна бути прямою і відхилена трохи назад. Таку посадку, як правило, забезпечує звичайний стандартний стіл з комп'ютерним кріслом.

Стіл повинен бути якомога більшим. Великий стіл зручний і дозволяє розташовувати без напруги документи, периферичне обладнання, компакт-диски. Як не дивно в більшості своїй спеціальні комп'ютерні столи непридатні для тривалої роботи з комп'ютером. Стандартні комп'ютерні столи мають вузьку висвну полицю для клавіатури. На ній немає місця для миші, і в більшості випадків руки знаходяться у висячому положенні. Часто монітор розташовується високо над поверхнею столу. Таких столів треба уникати. Кращим рішенням є виготовлення столу на замовлення під ваші уподобання і приміщення.

Один тільки стіл, не забезпечить правильної посадки за комп'ютером. Вона забезпечується ще за допомогою крісла (стільця). Краще рішення - це спеціальні крісла. Крісло має дозволяти регулювати висоту і нахил спинки, мати анатомічну спинку, широкі підлокітники і коліщатка для легкого переміщення в просторі. Крісло не повинно бути абсолютно жорстким і надзвичайно м'яким. Оптимально напівжорстке крісло в якому зручно сидіти тривалий час.

На крайній випадок можна використовувати звичайний стілець (до покупки нормального крісла), але ніяк не табурет. У вас повинна бути можливість спертися на спинку. У разі використання таких меблів треба частіше міняти положення тіла, частіше робити перерви і намагатися менше тримати руки на вазі [50].

Розташування монітора. Відстань до монітора повинна бути достатньо великою. Мінімальна відстань для 15-й дюймового монітора 50 см, для 17



двоумового - від 80 см. Якщо зір не дозволяє витримувати цю відстань, тоді зменшіть роздільну здатність зображення і збільшуйте шрифти.

По висоті монітор треба розташовувати так, щоб центр екрану був трохи нижче рівня очей. Площину екрану треба повернути так, щоб від верхнього і нижнього краю до очей було приблизно однакова відстань. Ще зовсім недавно були популярні корпуси типу Desktop на який монітор ставився зверху і часто був розташований вище рівня очей. Це не зовсім правильне рішення, і навіть шкідливе, так як для шиї найбільш природне положення пряме, а ніяк не закидання назад.

Монітор повинен знаходитися прямо попереду посередині столу. Абсолютно неприйнятно розташування монітора на розі столу, коли користувач сидить до нього впівоберта. Не варто використовувати таке рішення якщо ви використовуєте комп'ютер більше ніж 15-20 хвилин в день.

Екран монітора повинен бути абсолютно чистим. Періодично і при необхідності протирайте його спеціальними рідинами (зроблені вони на основі ізопропілового спирту) не використовуйте етиловий спирт.

Матеріал крісла і одягу, як не дивно, теж має значення при роботі за комп'ютером: намагайтеся уникати синтетичних тканин, які накопичують статичну електрику, яке шкідливо для техніки [51].

Робоче місце. Якщо вибір місця розташування робочого місця в приміщенні можливий, тоді слід керуватися наступними рекомендаціями. Неприпустимо попадання прямого сонячного світла на екран монітора - він викликає відблиски і зменшує контрастність зображення. Також неприпустима повна темрява. Найкращий вихід, це розсіяна напівтемрява створена за допомогою штор або жалюзі і додаткове точкове освітлення робочого місця. Оптимально сидіти обличчям до дверей, щоб за спиною було затемнене вікно. Також світло може падати з боку.

Неприпустимо коли за монітором знаходиться незатемнене вікно. Дуже непогано, якщо між столом і стіною є відстань. Це забезпечує кращу циркуляцію повітря і охолодження системного блоку, а також більш легкий

доступ до підключених кабелів. Однією з шкідливостей роботи з комп'ютером є, довге перебування в замкнутому приміщенні. Шкідливості надають в основному вплив на органи дихання і носять, як правило, алергічний характер. Це пов'язано з тим, що під час роботи комп'ютера корпус ЕПТ-монітора і плат в системному блоці нагрівається і виділяє в повітря трифеніл фосфат, особливо якщо комп'ютер новий. Це з'єднання входить до складу вогнестійкого матеріалу, що використовується для виробництва корпусу моніторів. Самий останній стандарт ТСО99 характеризується зниженим вмістом трифеніл фосфату в складі корпусів моніторів.

Крім виділення шкідливих речовин, комп'ютер створює навколо себе електростатичне поле яке притягує пил. І в той же час працює комп'ютер деонізує навколишнє середовище, і зменшує вологість повітря.

Протидія: Як можна частіше робити вологе прибирання і провітрювання приміщення, де знаходиться комп'ютер. Для збільшення вологості можна використовувати акваріум з рибками або звичайний розпилювач, освіжаючи періодично повітря водою. Після покупки комп'ютера, бажано включити і залишити його на кілька годин в провітрюваному приміщенні, так як нові плати і новий пластик з якого зроблений корпус монітора при нагріванні виділяють велику кількість шкідливих речовин [52].

Робота на персональних комп'ютерах відноситься до візуально напружених робіт. Саме цей шкідливий чинник присутній в більшості документів, що регламентують працю працівників з використанням ПЕОМ. Важливо розуміти, що шкідливий вплив на очі проявляється не в наявності будь-яких випромінювань, а лише в необхідності постійної напруги очей при зчитуванні інформації з екрану. Тому для профілактики негативних впливів потрібно дотримуватися певного режиму роботи і відпочинку [53].

Згідно СанПіН, існує три групи робіт з відеодисплейними терміналами і ПЕОМ, а також три категорії складності і напруженості роботи. До першої групи робіт (група А) відносяться роботи з зчитування інформації з дисплея, до другої (група Б) - роботи з введення інформації, до третьої (група В) -

інтерактивна робота з комп'ютером. Очевидно, що праця офісного працівника в більшості випадків відноситься до групи В, так як вимагає інтерактивної роботи з різним програмним забезпеченням. Для цієї групи встановлюються такі регламентовані перерви:

- при роботі з комп'ютером не більше 2 годин за зміну (1-ю категорія складності) - 2 перерви по 15 хвилин через 2 години після початку зміни і через 2 години після обідньої перерви;

- при роботі з комп'ютером від 2 до 4 годин за зміну (2-ю категорія складності) - 2 перерви по 15 хвилин через 2 години після початку зміни і через 1,5-2 години після обідньої перерви, або перерви по 10 хвилин після кожного робочої години;

- при роботі з комп'ютером від 4 до 6 годин за зміну (3-ю категорію складності) - 2 перерви по 20 хвилин через 1,5-2 години після початку зміни і через 1,5-2 години після обідньої перерви, або перерви по 15 хвилин після кожного робочого години.

На зорову втому дуже сильно впливає також рівень освітленості робочого місця. Особливо це помітно при необхідності одночасної роботи з електронними та паперовими документами. Згідно СанПіН, рівень освітленості робочого місця при роботі за комп'ютером повинен становити 300-500 лк. При цьому монітор і джерела світла повинні бути розташовані таким чином, щоб не створювати відблисків на поверхні екрану [54].

Оскільки екран монітора - це теж джерело світла, при постійному читанні інформації з нього відбувається швидке стомлення очей, особливо якщо яскравість світіння монітора встановлена занадто високою. Також подразнення очей викликає мерехтіння зображення на моніторі, викликане низькою частотою кадрової розгортки. З метою зниження мерехтіння екрану рекомендується встановлювати частоту кадрів не менше 75 Гц для ЕПТ-моніторів. В силу технологічних особливостей для РКІ-моніторів достатньою є мінімальна частота кадрів в 60 Гц [52].

Наступною небезпекою, є статична напружена поза, при тривалій роботі на комп'ютері може призвести до запалення м'язів, зв'язок і сухожиль спини і ніг, захворювань хребта і суглобів (остеохондроз, тендиніт і ін.), А постійна напруга рук - до ушкоджень зап'ястя і сухожиль (так званий синдром лучезапястного суглоба або тунельний синдром).

Ці захворювання викликаються так званими травмами повторюваних навантажень і являють собою поступово накопичуються нездужання, обумовлені тривалими повторюваними впливами і перетікають в хвороби нервів, м'язів і сухожиль. Вплив цього шкідливого фактора знижується при правильній організації робочого місця - оптимально підібраних меблів, правильне розміщення елементів комп'ютера.

Проблеми раціональної організації робочого місця офісного працівника передбачені СанПіН 2.2.2.542-96, в них регламентується велику кількість параметрів при роботі з відеодисплейними терміналами та персональними комп'ютерами [52-54].

#### 4.1.2 Принтер

Якщо робота з персональним комп'ютером багато в чому регламентована законодавчо, то цього не можна сказати про решту обладнанні, що використовується в офісі. Що стосується принтера, то це зрозуміло: його використання не вимагає постійної присутності працівника, напруги уваги і т.п. Вся робота з принтером зводиться до його включення і виключення, додаванню паперу і вилученню відбитків. Однак будь-який принтер є складним електроприладом, тому при роботі з ним необхідно виконувати стандартні вимоги пожежної та електробезпеки. Також в будь-якому принтері є рухомі частини, а деякі елементи можуть нагріватися в процесі роботи до високої температури (в матричних і струменевих принтерах це друковані головки, в лазерних принтерах - спеціальні нагрівальні вали). Виходячи з цього, необхідно додатково дотримуватися наступні прості правила:

а) Необхідно виключити можливість потрапляння сторонніх предметів в приймальний лоток принтера. Найчастіше такими предметами є металеві скріпки і скоби, інші дрібні канцелярські приналежності. Проходячи через тракт подачі паперу, ці предмети майже напевно послужать причиною виходу з ладу принтера або картриджа.

б) Піднімайте захисні кришки над каретками матричних і струменевих принтерів для заміни картриджів тільки тоді, коли принтер не виконує і не готується до виконання друку. Конструкція матричних і деяких струменевих принтерів не блокує подачу паперу і рух каретки при піднятою кришці, в результаті чого можливе отримання травми від рухомих або нагрітих елементів принтера, а також поломки принтера при попаданні всередину стороннього предмета. У лазерних принтерах є вбудована блокування, яка відключає принтер при піднятті кришки, проте деякі елементи довгий час залишаються гарячими.

в) У лазерних принтерах для отримання зображення на папері використовується тонер - дрібнодисперсний порошок чорного кольору. Тонер

може подразнювати слизові оболонки і шкіру, містити канцерогенні речовини. При вдиханні цей порошок може призвести до нещасних випадків або стати причиною захворювання. Тому обережно поведіться з відпрацьованими картриджами, не розбирайте їх самостійно.

г) Звичайно ж, не можна самостійно розбирати принтер і тим більше включати його в розібраному стані. У лазерному принтері для формування зображення на світлочутливому барабані використовується лазерний промінь, невидимий людським оком. Однак, навіть будучи невидимим, прямий або відбитий лазерний промінь при попаданні в очі може безповоротно пошкодити зір.

д) Робота лазерних принтерів істотно впливає на параметри повітря в приміщенні. При формуванні зображення на фоточутливому барабані, нагріванні паперу і запіканні тонера на ній в повітря виділяються різні шкідливі речовини. Під час роботи лазерних принтерів в повітрі приміщення підвищується вміст озону, оксиду азоту, оксиду вуглецю, а також можливе виділення таких шкідливих речовин, як трихлоретан, ізооктан, толуол, бензол, ксилол, газоподібних сполук кадмію і селену. Внаслідок цього варто подбати про наявність вентиляції в приміщеннях з встановленими лазерними принтерами або про регулярне провітрювання і вологе прибирання таких приміщень.

е) Уникайте використання лазерні принтери до джерел безперебійного живлення, так як споживана потужність принтера в момент друку значно перевищує потужність стандартного персонального комп'ютера, на який розрахований джерело.

Ще одним шкідливим фактором при роботі з принтерами є шум. Найвищим рівнем шуму під час роботи мають матричні принтери, проте в паспортах цих приладів рівень шуму, як правило, не вказано, а фактичний рівень може бути вимірний хіба що при проведенні атестації робочого місця. Це єдиний тип принтерів, рівень шуму яких може бути порівнянний з

максимально допустимим на робочих місцях, обладнаних ПЕОМ (для нашого випадку це 50 дБА). Всі інші принтери працюють свідомо тихіше [54].

#### 4.1.3 Копіювальний апарат

Копіювальний апарат багато в чому аналогічний лазерного принтера. Багато сучасні багатофункціональні пристрої, що володіють функцією копіювання, являють собою струменевий або лазерний принтер, поєднаний зі скануючим модулем. Однак класичний копіювальний апарат дещо відрізняється від копіра на основі лазерного принтера. Основна відмінність полягає в способі формування зображення на світлочутливому барабані: замість лазера в копіювальних апаратах використовується високовольтне коронування. Цей спосіб обумовлює значно вищу концентрацію озону і оксиду азоту в повітрі.

Всі інші шкідливі фактори, що впливають на працюючого з копіювальним апаратом людини, аналогічні таким у лазерних принтерів. Відповідно, правила безпеки застосовуються аналогічні. Однак копіювальні апарати мають, як правило, набагато більшою продуктивністю, ніж офісні принтери. У зв'язку з цим кількість шкідливих речовин, що виділяються при роботі копіювального апарату, значно перевищує кількість шкідливих виділень від використання принтерів.

Розміщення копіювально-розмножувальних ділянок в підвальних приміщеннях будь-яких типів будівель не допускається. При застосуванні апаратів копіювально-розмножувальної техніки настільного типу, а також одиничних стаціонарних щорозмножувальних апаратів, які використовуються періодично, для потреб самого підприємства, допускається їх установка в приміщеннях, де виробляються інші види робіт. Площа приміщень на одного працюючого повинна становити не менше 6 м<sup>2</sup> при кубатурі не менше 15 м<sup>3</sup>. Відстань від стіни або колони до країв машини або апарату повинна становити

не менше 0,6 м, а з боку зони обслуговування - не менше 1,0 м. Мінімальні розміри проходів, повинні бути не менше 0,6 м.

Приміщення повинні бути оснащені аптечкою для надання першої медичної допомоги. Приміщення копіювально-розмножувального виробництва повинні бути обладнані системами опалення та кондиціонування відповідно до вимог СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование». Місця виділення шкідливих речовин, вологи, тепла повинні бути обладнані пристроями місцевої витяжної вентиляції. Копіювальні апарати, що мають вбудовані озонові фільтри, можуть експлуатуватися без додаткового пристрою місцевої витяжної вентиляції за місцем їх установки, за умови організації контролю повітря робочої зони і заміни озонових фільтрів, в залежності від терміну служби і обсягів робіт, вироблених на копіювальних апаратах [55 ].

#### 4.1.4 Телефон

Напруга в телефонній лінії може досягати досить великих величин. Наприклад, при вхідному дзвінку, згідно зі стандартами, чинним на території країн СНД, напруга в телефонній лінії становить до 120 В змінного струму. Кондиціонери й же апарати взагалі підключаються до мережі змінного струму 220 В і вимагають дотримання відповідних заходів безпеки.

На відміну від стаціонарних апаратів, мобільні телефони не є такими ж безпечними. Будь-який мобільний телефон є джерелом високочастотного електромагнітного випромінювання. Його вплив на тканини людського тіла аналогічно впливу випромінювання, яке застосовується в мікрохвильових печах. Звичайно, потужність випромінювання телефону набагато менше, проте воно теж здатне приводити до локального нагрівання тканин, розривів молекул ДНК і інших пошкоджень клітин.

Проведені в різних країнах світу дослідження довели чотириразове збільшення ризику розвитку пухлини вуха, а також підтверджують збільшення



ризик розвитку пухлини мозку у користувачів мобільних телефонів з 10-річним стажем.

Доведено також, що двохвилинний використання мобільного телефону змінює біоелектричну активність мозку дитини протягом наступних двох годин після закінчення розмови. Можна зробити висновок, шкідливі і небезпечні виробничі фактори існують практично на будь-якому робочому місці, причому багато хто з них ніяк не відображені документально. Тому тільки повна поінформованість працівника про можливі небезпеки, що підстерігають його на робочому місці, і суворе дотримання наведених в нормативних документах дозволить повністю нейтралізувати або значно знизити негативний вплив зазначених факторів [55].

#### 4.2 Характеристика приміщення

Відповідно до теми даної дипломної роботи як об'єкт дослідження в розділі "Охорона праці" будемо розглядати обчислювальний центр, розташований на території СумДУ, в зв'язку з отриманням в ньому необхідної вихідної інформації для написання роботи, а також - виконанням самої роботи.

Приміщення знаходиться на першому поверсі адміністративної будівлі (електротехнічний корпус СумДУ). Загальна площа приміщення становить 24 м<sup>2</sup>, висота - 2.75 м, в приміщення одне вікно. Кількість працюючих в приміщенні - 5 осіб. Отже, на одного працюючого в приміщенні припадає:  $24/5 = 4.8$  (м<sup>2</sup>/чол.) робочої площі. Згідно СНіП 2.09.04 - 87 на кожного працюючого в управлінських приміщеннях повинні припадати не менше 4 (м<sup>2</sup>/чол.) робочої площі. Висота приміщення - не менше 2,5 м. Отже, нормативи розмірів та забезпечення працюючих робочою площею в обчислювальному центрі дотримані.

У приміщенні розташовано 5 комп'ютерів (1). Напруга джерела живлення комп'ютерів у приміщенні - 220 В. У приміщенні розміщено 5 письмових столів (2), одна шафа для зберігання документів (3), одна шафа для верхнього одягу

(4).

За небезпеки ураження електричним струмом обчислювальний центр належить до приміщень без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом.

Планування приміщення наведено на рис. 4.1.

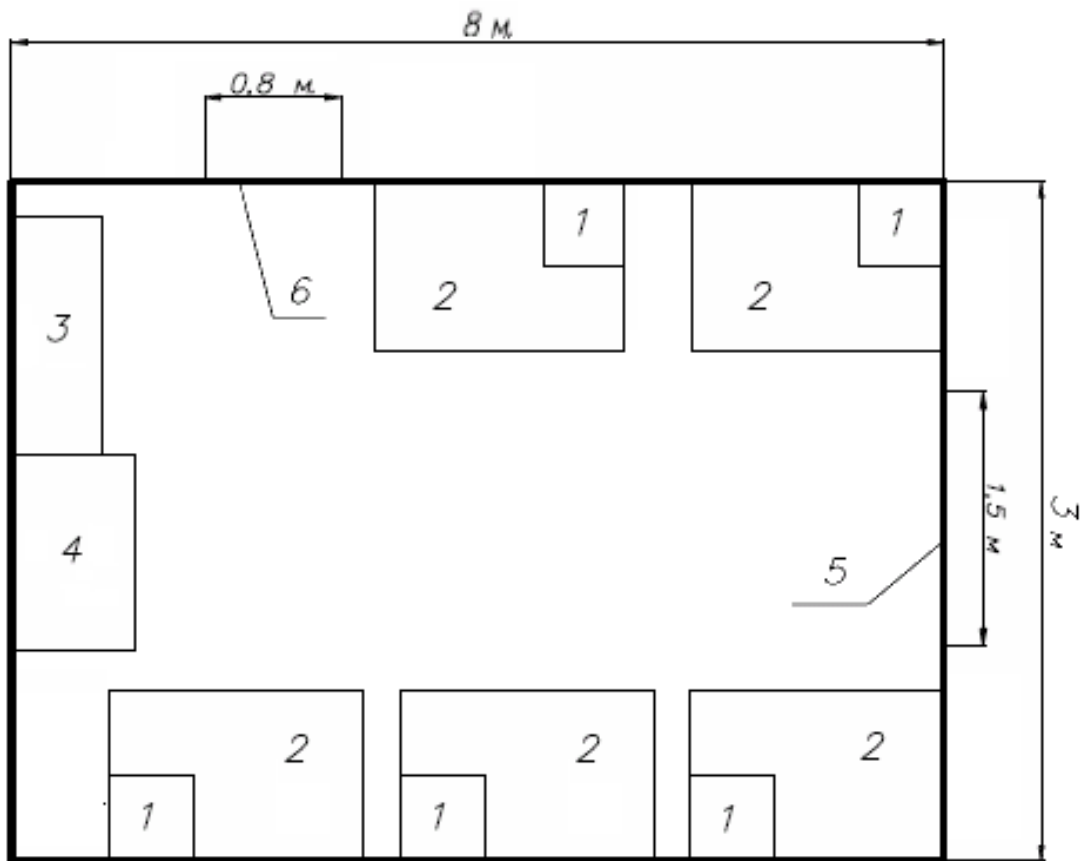


Рис. 4.1 – Планування приміщення

#### 4.2.1 Аналіз природного освітлення

Проаналізуємо, чи достатньо природного освітлення для даного приміщення, для цього наведемо схему приміщення, вказавши на ній точку робочої поверхні максимально віддалену від вікна (рис. 4.2 - 4.3):

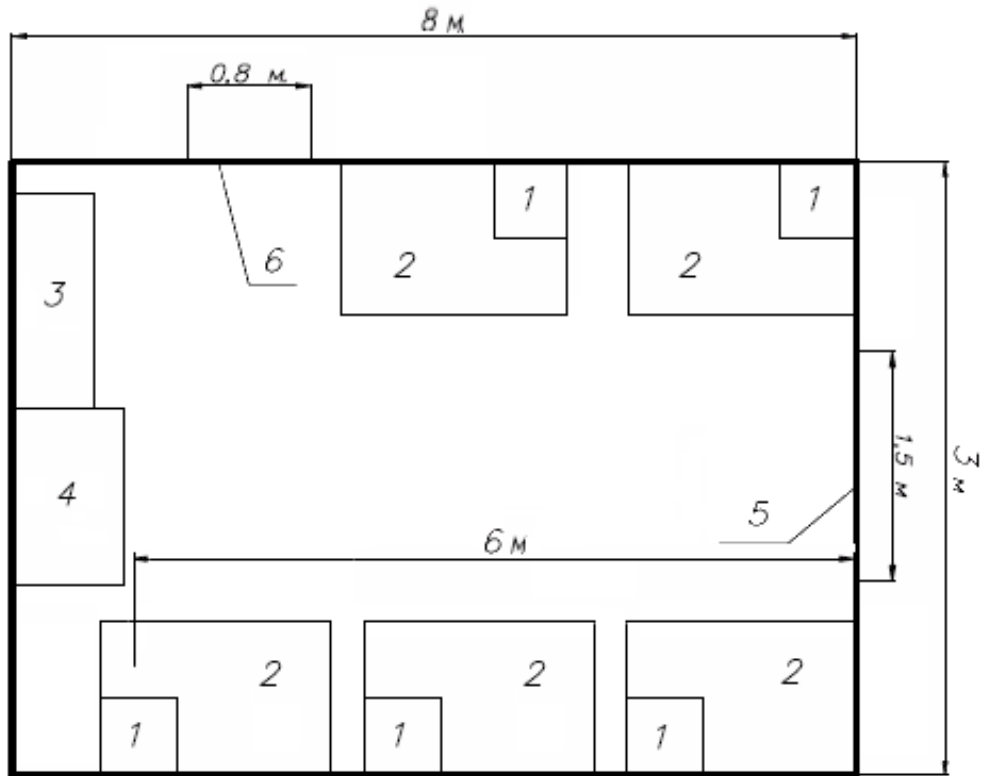
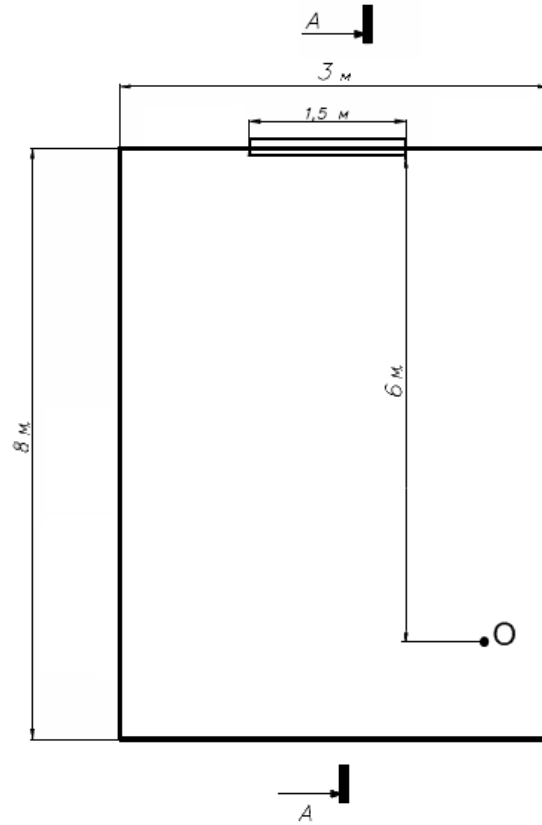
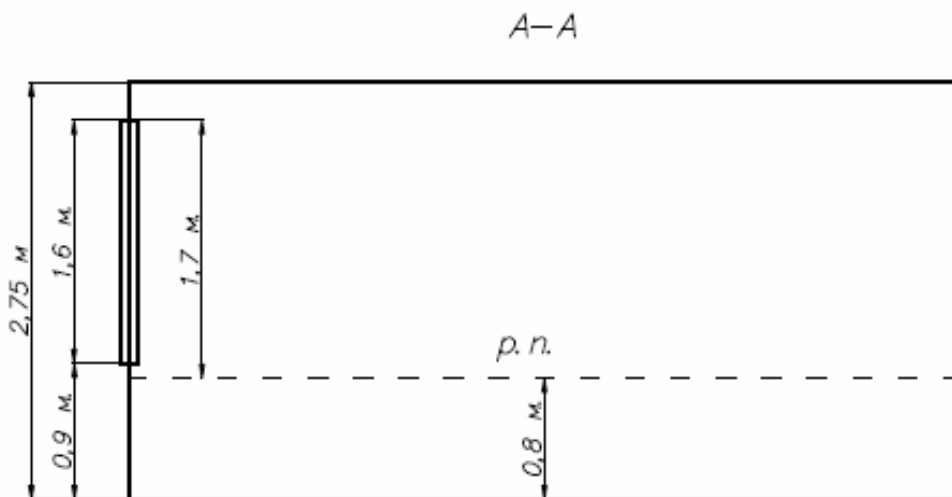


Рис. 4.2 – Схема приміщення



(1) – вид зверху



(2) – вид збоку

Рис. 4.3 – Схема розрахунку природного освітлення

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) для

четвертого світлового поясу, в якому розташована Україна ( $e_1^{IV}$ ), визначається у відсотках за формулою:

$$e_1^{IV} = e_1^{III} \cdot m \cdot c, \quad (4.1)$$

де  $e_1^{III}$  - нормоване значення КПО для III світлового поясу ( $e_1^{III} = 1,5\%$  згідно СНіП II – 4 – 79 );

$m$  – коефіцієнт світлового клімату (для України  $m = 0,9$ );

$c$  – коефіцієнт сонячності (оскільки вікна розташовані на захід, то  $c=0,85$ ).

Тоді:

$$e_1^{IV} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,15\% \quad (4.2)$$

Для визначення достатності природного освітлення потрібно розрахувати фактичне значення КПО, виходячи з формули:

$$e_{\phi} = \frac{100 \cdot S_B \cdot \tau_3 \cdot r_1}{S_h \cdot \eta_6 \cdot K_3 \cdot K_{\text{dim}}}, \quad (4.3)$$

де  $S_B$  – площа всіх вікон у приміщенні,  $m^2$ ;

$S_h$  – площа підлоги приміщення,  $m^2$ ;

$\tau_3$  – загальний коефіцієнт світлопроникності віконного прорізу, беремо

$\tau_3 = 0,4$ ;

$r_1$  – коефіцієнт який враховує відбиття світла від внутрішніх поверхонь приміщення;

$\eta_6$  – світлова характеристика вікна;

$K_{\text{dim}}$  – коефіцієнт, який враховує затемнення вікон іншими будинками (будинків немає - отже,  $K_{\text{dim}} = 1$ );

$K_3$  – коефіцієнт запасу ( $\hat{E}_c = 1.4$ ).

$$S_B = 1.5 \cdot 1.6 = 2.4 \text{ (i}^2\text{)} \quad (4.4)$$

$$S_h = 3 \cdot 8 = 24 \text{ (i}^2\text{)} \quad (4.5)$$

Для розрахунку коефіцієнта  $r_1$  необхідно розрахувати такі параметри:

а) відношення глибини приміщення до висоти від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна:  $8/h_1 = 8/1.7 = 4.71$ ;

б) відношення відстані до розрахункової точки від зовнішньої стіни до глибини приміщення:  $l/8 = 6/8 = 0.75$ ;

в) середньозважений коефіцієнт відбиття від стелі, стін, підлоги:  $skv = 0.4$ ;

г) відношення довжини приміщення до його глибини:  $8/8 = 1$ .

Виходячи з розрахованих показників визначаємо значення коефіцієнта  $r_1$  при боковому односторонньому освітленні:

$$r_1 = 2.6 \quad (4.6)$$

Для визначення коефіцієнта  $\eta_e$  потрібно скористатися таблицею значень світлової характеристики прорізів при бічному освітленні (табл. А.2)

$$\eta_0 = 8/h_1 = 8/1.7 = 4.71 \quad (4.7)$$

Виходячи з розрахованого показника  $\eta_0$ , за допомогою таблиці значень коефіцієнта  $\eta_e$  при боковому односторонньому освітленні (табл. А.1), визначимо його значення за допомогою формули екстраполяції:

$$y(x) = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \cdot (x_{i+1} - x), \quad (4.8)$$

де  $y_i$  – значення функції при  $i$ -му аргументі;

$y_{i+1}$  – значення функції при  $(i+1)$ -му аргументі;

$y(x)$  – значення функції при заданому аргументі, що знаходиться між значеннями аргументів  $x_i$  і  $x_{i+1}$ ;

$x_i$  -  $i$ -е значення аргументу;

$x_{i+1}$  -  $(i+1)$ -е значення аргументу.

$$\eta_6(4,71) = 21 + \frac{23-21}{5-4} \cdot (5-4.71) = 21.58. \quad (4.9)$$

$K_{dim} = 1$  (будинків напроти вікон немає),  $K_3 = 1,4$ .

Отже:

$$e_\phi = \frac{100 \cdot 2.4 \cdot 0.4 \cdot 2.6}{24 \cdot 21.58 \cdot 1.4 \cdot 1} = 0.34\% \quad (4.10)$$

Оскільки фактичне значення природного освітлення менше нормованого ( $0.24 < 1.15$ ), то природного освітлення в приміщенні недостатньо і необхідні заходи щодо його поліпшення.

#### 4.2.2 Аналіз достатності штучного освітлення в приміщенні

Для освітлення приміщення застосовуються люмінесцентні лампи потужністю 30 Вт. Система освітлення - загальна. Отже, нормоване значення освітленості повинно складати не менше 300 люкс.

Схема розміщення світильників в приміщенні наведено на рис. 4.4:

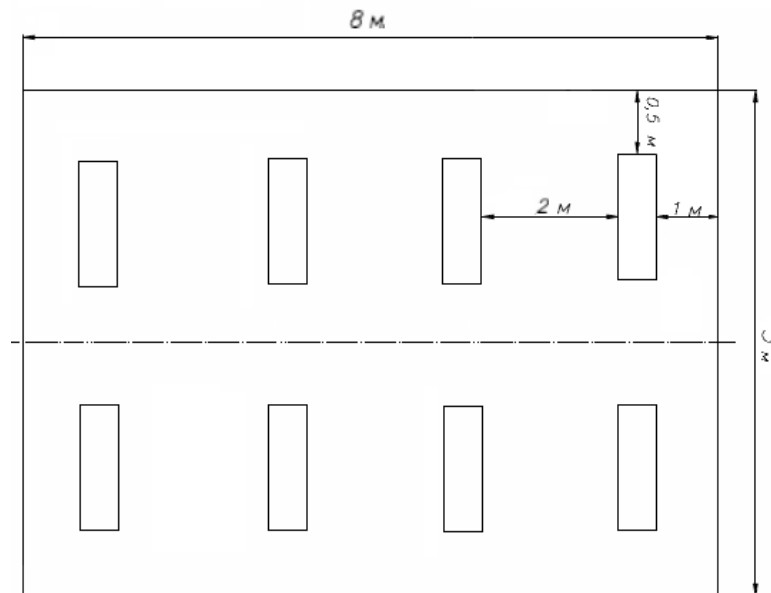


Рис. 4.4 – Схема розміщення світильників

Розрахуємо фактичне значення освітлення ( $E_{\phi}$ ), враховуючи, що потужність ламп, - 30 Вт, кількість ламп в світильнику - 2 шт.

Значення фактичного освітлення (лк) в приміщенні можна знайти за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку з формули:

$$F_l = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta_6 \cdot N \cdot n} \quad (4.11)$$

Звідки

$$E_{\phi} = \frac{F_l \cdot \eta_6 \cdot N \cdot n}{S \cdot k \cdot z}, \quad (4.12)$$

де  $F_l$  – світловий потік лампи, лм (для люмінесцентних ламп потужністю 30 Вт-1740 лм);

$\eta_B$  – коефіцієнт використання світлового потоку ( $\eta_B = 0.4 \div 0.6$ );

$N$  – кількість світильників, 8 шт.;

$n$  – кількість ламп в світильнику, 2 шт.;



$S$  – площа приміщення,  $24 \text{ м}^2$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу ( $k=1.5 \div 2$ );

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення ( $z=1.1$ ).

$$E_{\phi} = \frac{1740 \cdot 0,55 \cdot 8 \cdot 2}{24 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 387 \text{ (лк)}. \quad (4.13)$$

Отже, фактичне значення штучного освітлення перевищує нормоване на 5%, що є допустимим відхиленням. Таким чином, штучне освітлення - ефективно.

#### 4.2.3 Розрахунок ефективності природної вентиляції

Схема розрахунку природної вентиляції наведена на малюнку 4.5:

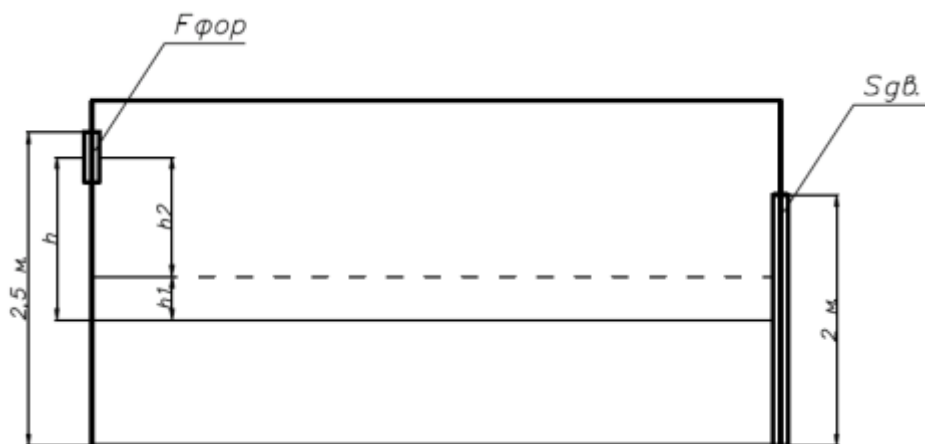


Рис. 4.5 - Схема розрахунку природної вентиляції

Розрахуємо обсяг приміщення:

Розрахуємо обсяг адміністративного приміщення, яке припадає на одного працюючого:

$$V_1 = 66 / 5 = 13.2 \text{ (м}^3 \text{ / ос.)}.$$

Відповідно до СНіП 2.09.04-87, якщо обсяг робочого приміщення припадає на кожного працюючого, менше  $20 \text{ м}^3$ , то необхідний повітрообмін повинен становити не менше  $L' = 30 \text{ м}^3/\text{час}$  на кожного працюючого.

Розрахуємо необхідний повітрообмін  $L_H$ ,  $\text{м}^3/\text{час}$  за формулою:

$$L_i = L_1 \cdot n, \quad (4.14)$$

де  $n$  – найбільше можливу кількість працюючих в приміщенні.

$$L_H = 30 \cdot 5 = 150 (\text{м}^3 / \text{год}).$$

Фактичний повітрообмін в приміщенні здійснюється за допомогою природної вентиляції, як неорганізовано - за рахунок негерметичності віконних і дверних прорізів, так і організовано - через кватирку у віконному отворі.

Фактичний повітрообмін  $L_\phi$  обчислюється за формулою:

$$L_\phi = F_{\phi} \cdot V_n \cdot \mu \cdot 3600, \quad (4.15)$$

де  $F_{\phi}$  - площа кватирки, через яку буде виходити повітря,

$$F_{\phi} = 0.5 \cdot 0.6 = 0.3 (\text{м}^2);$$

$\mu$  - коефіцієнт витрат повітря, береться в межах  $\mu = 0.4 \div 0.6$ ;

$V_n$  - швидкість виходу повітря через кватирку, м/с.

$E_s$  можна розрахувати за формулою:

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta H_2}{\gamma_{\text{вн}}}}, \quad (4.16)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння –  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$H_2$  - тепловий тиск, під дією якого буде виходити повітря з квартирки,  $\text{кг} / \text{м}^2$ .

$$\Delta H_2 = h_2 \cdot (\gamma_{\text{зовн}} - \gamma_{\text{вн}}), \quad (4.17)$$

де  $h_2$  - висота від площини рівних тисків до центру квартирки (рис. 4.5);

$\gamma_{\text{зовн}}$  і  $\gamma_{\text{вн}}$  - відповідно об'ємна вага повітря ззовні приміщення та всередині нього,  $\text{кг} / \text{м}^3$ .

$E_{\text{с}}$  можна визначити з співвідношення: відстань від площини рівних тисків до центру нижньої і верхньої прорізи відповідно  $h_1$  і  $h_2$ , обернено пропорційні квадратах площ цих прорізів  $S_{\text{дс}}$  і  $F_{\text{фор}}$ , тобто:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{F_{\text{фор}}^2}{S_{\text{дс}}^2}. \quad (4.18)$$

З геометричних розмірів приміщення:

$$h_1 + h_2 = h,$$

де  $h$  – відома висота між центрами нижніх і верхніх прорізів.

Знайдемо  $h_2$  з співвідношень:

$$\begin{cases} h_1 + h_2 = h, \\ \frac{h_1}{h_2} = \frac{F_{\text{фор}}^2}{S_{\text{дс}}^2}; \end{cases} \quad (4.19)$$

$$h = (1,6 + 0,9 - 0,3) - 1 = 1,2 \text{ (м)};$$

$$F_{\text{фор}}^2 = (0,5 \cdot 0,6)^2 = 0,09 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{\text{об}}^2 = (2 \cdot 0,8)^2 = 2,56 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Вирішимо систему:

$$\begin{aligned} \begin{cases} 1,2 = h_1 + h_2, \\ \frac{h_1}{h_2} = \frac{0,09}{2,56}; \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} h_1 = 1,2 - h_2, \\ \frac{1,2 - h_2}{h_2} = 0,035; \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} h_1 = 1,2 - h_2, \\ 1,2 - h_2 = 0,035 \cdot h_2; \end{cases} &\Rightarrow \\ &\Rightarrow \begin{cases} h_1 = 1,2 - h_2, \\ 1,2 = 1,035 \cdot h_2; \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} h_1 = 1,2 - 1,159 = 0,041, \\ h_2 = \frac{1,2}{1,035} = 1,159. \end{cases} \end{aligned}$$

Об'ємна вага повітря розраховується за формулою:

$$\gamma = 0,465 \cdot \frac{P_{\bar{o}}}{T}, \quad (4.20)$$

де  $P_{\bar{o}}$  – барометричний тиск мм рт. ст. ( $P_{\bar{o}} = 750$  мм рт. ст.);

$T$  – температура повітря,  $K$  (для теплого періоду року в приміщенні  $t = 28^\circ C$  або  $T = 310K$ , для холодного періоду року –  $t = 17^\circ C$  або  $T = 290K$ , ззовні приміщення для літа –  $t = 24^\circ C$  або  $T = 297K$ , для зими –  $t = -11^\circ C$  або  $T = 262K$ ).

$$\gamma_{\text{вн(л)}} = 0,465 \cdot \frac{750}{310} = 1,125,$$

$$\gamma_{\text{зовн(л)}} = 0,465 \cdot \frac{750}{297} = 1,174,$$

$$\gamma_{\text{вн(з)}} = 0,465 \cdot \frac{750}{290} = 1,203,$$

$$\gamma_{\text{зовн}(з)} = 0.465 \cdot \frac{750}{262} = 1.331.$$

Звідси:

$$\Delta H_{2(\text{в})} = 1.159 \cdot (1.174 - 1.125) = 0.0568,$$

$$\Delta H_{2(\text{з})} = 1.159 \cdot (1.331 - 1.203) = 0.148,$$

$$V_L = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.8 \cdot 0.0568}{1.125}} = 0.989 \text{ (м/с)},$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.8 \cdot 0.148}{1.203}} = 2.417 \text{ (м/с)},$$

$$L_{\phi(l)} = 0.3 \cdot 0.98 \cdot 0.5 \cdot 3600 = 529 \text{ (м}^3 \text{ / год)},$$

$$L_{\phi(з)} = 0.3 \cdot 2.417 \cdot 0.5 \cdot 3600 = 1305 \text{ (м}^3 \text{ / год)}.$$

Для літа  $L_{\phi(l)} > L_n$ , отже, природна вентиляція ефективна. Взимку ж, фактичне значення повітрообміну значно перевищує нормативне значення, значить, (аерація) - неефективна. Для підвищення ефективності вентиляції взимку, в приміщенні необхідні додаткові заходи.

#### 4.2.4 Оцінка метеорологічних умов

При оцінці метеорологічних умов в досліджуваному приміщенні необхідно порівняти фактичні значення параметрів мікроклімату: температури повітря, відносної вологості, швидкості переміщення повітря, інтенсивності теплового випромінювання з нормованими значеннями, встановленими ДСН

## 3.3.6.042-99.

Фактичні значення отримаємо за допомогою безпосередніх вимірювань.

Беручи до уваги, що в адміністративно-управлінських приміщеннях виконуються легкі роботи, відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 для холодного періоду року нормованими будуть:

- температура оптимальна 21-24<sup>o</sup>C, допустима 20-25<sup>o</sup>C;
- відносна вологість оптимальна 40-60%, допустима не більш 75%;
- швидкість переміщення повітря оптимальна 0,1м/с, допустима не більш 0.2м /с.

Для теплого періоду року:

- температура оптимальна 22-25<sup>o</sup>C, допустима 21-28<sup>o</sup>C;
- відносна вологість оптимальна 40-60%, допустима не більш 60%;
- швидкість переміщення повітря оптимальна не більш 0,2 м/с, допустима 0.1- 0.3 м/с.

Значення параметрів, які характеризують санітарно-гігієнічні умови праці в аналізованому приміщенні, наведемо в підсумковій таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Підсумкова таблиця

Параметр	Значення параметра		Нормативний докумен
	фактичне	нормоване	
1 Штучне освітлення (лк)	387	300	СНіП II-4-79
2 Значення коефіцієнта природного освітлення (%)	0.34	1.35	СНіП II-4-79
3 Температура повітря (°C)			
зимою	22	21 - 25	ДСН 3.3.6.042-99
літом	26	22 - 28	ДСН 3.3.6.042-99
4 Відносна вологість повітря (%):			

## Продовження таблиці 4.1

зимою	60	< 75	ДСН 3.3.6.042-99
літом	55	< 60	ДСН 3.3.6.042-99
5 Повітрообмін ( $m^3 / год$ )			
зимою	1305	120	СНіП 2.09.04-87
літом	529	120	СНіП 2.09.04-87
6 Швидкість переміщення повітря м/сек	0.1	< 0.2	ДСН 3.3.6.042-99

## 4.2.5 Аналіз пожежної безпеки

Аналізоване приміщення за небезпекою виникнення пожежі відповідно до НАПБ Б.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпеки» належить до категорії В пожежонебезпеки, так як в ньому знаходяться легкозаймісті речовини - папір, дерево.

Можливими причинами пожежі можуть бути:

- коротке замикання в електричній мережі, яка може спричинити загоряння наявних легкозаймістих речовин;
- займання паперу, дерева через необережне поводження з вогнем;
- поширення вогню з сусідніх приміщень.

Попередити пожежу можна шляхом розробки правил безпечної поведінки з вогнем, усуненням можливості виникнення короткого замикання.

Ці заходи в разі виникнення пожежі своєчасно та з мінімальними наслідками дають можливість загасити його. Є пожежна сигналізація і вогнегасники.

План евакуації працівників і матеріальних цінностей на випадок пожежі наведений на рис 4.6.

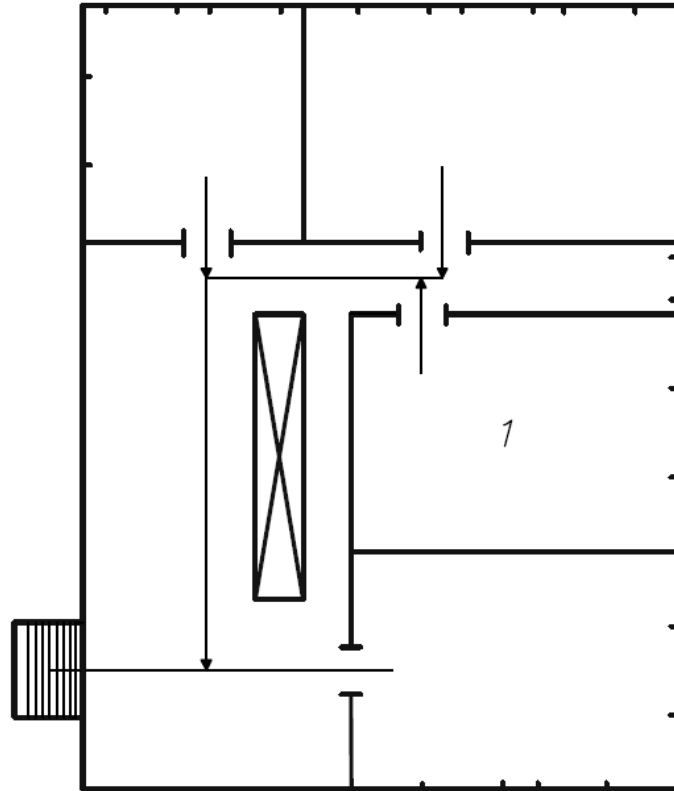


Рис. 4.6 – План евакуації з приміщення (1 досліджуване приміщення)

#### 4.3 Заходи щодо поліпшення умов праці

Для зменшення надлишкового повітрообміну в холодний період року ( $1305 \text{ м}^3 / \text{год}$  замість необхідних  $120 \text{ м}^3 / \text{год}$ ) пропонуємо скоротити час провітрювання приміщення до:

$1305 - 60 \text{ хв.}$ ,

$120 - X \text{ хв.}$ ,

$$X = 120 \cdot 60 / 1305 = 5,5 \text{ хв. на год}$$



## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Конкуренція на оптовому ринку електроенергії

Оптовий ринок електроенергії - сфера обігу особливих товарів - електричної енергії і потужності в рамках енергетичної системи в межах певного економічного простору за участю великих виробників і великих покупців електричної енергії та потужності, а також інших осіб, які отримали статус суб'єкта оптового ринку і діють на основі правил оптового ринку.

Електроенергія має особливостями, зумовленими її фізичними властивостями, які необхідно враховувати при організації ринку:

- збіг учасі процесів виробництва і споживання електроенергії і рівність обсягу виробленої і спожитої електроенергії в кожен момент часу;
- неможливість запасання електроенергії в достатніх в масштабі енергосистеми кількостях;
- неможливість заздалегідь точно обумовити обсяги генерації і споживання електроенергії;
- неможливість з фізичної точки зору визначити, хто зробив електроенергію, використану тим чи іншим споживачем [55].

На інших ринках товарної продукції короточасний дисбаланс між виробництвом і споживанням не приводить до втрати стійкості ринку, оскільки може бути усунутий за рахунок складських запасів або товарів-замінників. Ринок електроенергії може нормально функціонувати тільки за умови, що в кожен момент часу забезпечується баланс виробництва і споживання. Неможливість створення запасів готової продукції призводить до необхідності створення резервів генеруючих потужностей, пропускної здатності електричних мереж і запасів палива на електростанціях. Величина резервів нормується, а витрати на підтримку резервів включаються до вартості електроенергії. На практиці виробники і споживачі електроенергії допускають відхилення від своїх зобов'язань по генерації та споживання електроенергії.

Необхідність оперативного балансування енергосистеми в умовах змінного навантаження вимагає наявності певного числа маневрених електростанцій, здатних швидко і в широких межах змінювати величину вироблення електроенергії.

Наявність не тільки короткострокових (в межах години, доби і т.п.) але і сезонних (протягом року) коливань навантаження в поєднанні з тією обставиною, що наявна потужність електростанцій повинна перевищувати з необхідним резервом величину річного максимуму навантаження, призводить до того, що протягом року певний обсяг генеруючої потужності недовантажений. Диспетчер, керуючий роботою енергосистеми, не в змозі регулювати в режимі реального часу відпуск електроенергії споживачам відповідно до договорів на поставку, і споживач може відбирати електроенергію з істотними відхиленнями від договірних зобов'язань [56].

#### 5.1.1 Основні принципи організації оптового ринку

Розглянемо, наприклад, модель оптового ринку електроенергії і потужності перехідного періоду, що отримала назву НОРЕП - новий оптовий ринок електроенергії та потужності. Ця модель передбачає існування трьох секторів торгівлі електроенергією:

- довгострокових двосторонніх договорів;
- ринок на добу вперед (РДВ);
- балансуєчий ринок (БР).

На ринку довгострокових двосторонніх договорів торгівля електричною енергією здійснюється за регульованими договорами (РД) і вільним двосторонніми угодами.

У секторі регульованих договорів державна служба по тарифах встановлює граничні тарифи на електроенергію, що поставляється на оптовий ринок і купується з ринку. Обсяги електроенергії, не покриті регульованими договорами, продаються за вільними цінами в рамках вільних двосторонніх

договорів і ринку «на добу вперед». В рамках вільних двосторонніх договорів учасники ринку самі визначають контрагентів, ціни і обсяги поставки.

Основою ринку «на добу вперед» є проводиться конкурентний відбір цінових заявок постачальників і покупців за добу до реального постачання електроенергії з визначенням цін і обсягів поставки на кожну годину доби. При виникненні відхилень від запланованих на добу вперед обсягів поставки, учасники купують або продають їх на балансує ринку [57].

### 5.1.2 Ринок двосторонніх договорів

На ринку двосторонніх договорів торгівля електричною енергією здійснюється за регульованими і вільним двосторонніми договорами. У секторі регульованих договорів встановлюються граничні тарифи на електроенергію, що поставляється на оптовий ринок і купується з ринку. Постачальників і покупців - контрагентів за регульованими договорами визначає Адміністратор торгової системи.

При укладанні вільних двосторонніх договорів учасники ринку самі визначають контрагентів, ціни і обсяги поставки. Постачальники електроенергії зобов'язані поставити обсяг електроенергії, передбачений договором, або зробивши його на власних генеруючих об'єктах, або придбавши його за вільними двосторонніми угодами [56-57].

### 5.1.3 Ринок на добу вперед і балансує ринок

На РДВ продаються (купуються) зайві (відсутні) обсяги електроенергії щодо обсягів двосторонніх договорів.

На РДВ торгівля електроенергією відбувається за ціною, що встановлюється під впливом попиту та пропозиції. Рівноважна ціна електричної енергії визначається на підставі цінових заявок постачальників і цінових заявок покупців електричної енергії відповідної цінової зони з

урахуванням необхідності забезпечення перетоків електричної енергії. Проведення конкурентного відбору заявок і визначення планового виробництва і споживання електроенергії учасниками ринку включає три основних етапи. На першому етапі АТС отримує від Системного оператора актуалізовану розрахункову модель енергосистеми, що включає в себе схему, обраний склад працюючого устаткування, обмеження та інші параметри. На другому етапі постачальники подають цінові заявки для кожної години операційних діб, в яких вказана ціна, по якій він може продавати обсяг електроенергії не вище зазначеного для кожної групи точок поставки постачальника. Допускається подача ціно-отримуючих заявок, в яких постачальники не вказують ціну електроенергії, погоджуючись продавати електроенергію за сформованою в результаті конкурентного відбору заявок ціною. Покупці також для кожної години операційних діб подають заявки, що відображають їх готовність купити в групі точок поставки електроенергію за ціною і в обсязі, що не перевищує зазначені в заявці. Покупці також можуть подавати ценопрінімаючі заявки. Подаючи ценопрінімаючі заявки, постачальники і покупці можуть збільшити ймовірність того, що їх заявки будуть прийняті. Адміністратор торгової системи на підставі даних, отриманих від Системного оператора, і заявок учасників ринку визначає для кожної цінової зони погодинні рівноважні ціни і обсяги виробленої та спожитої електроенергії, формуючи торговий графік. При проведенні конкурентного відбору АТС включає в торговий графік обсяги електроенергії постачальників, на які в заявках вказана найнижча ціна, і обсяги електроенергії покупців, на які зазначена найбільш висока ціна. Рівноважну ціну визначає максимальна цінова пропозиція електростанції, заявлені обсяги електроенергії якої ще затребувані ринком. На третьому етапі АТС передає сформований торговий графік Системному оператору для ведення режиму енергосистеми. Виробники електроенергії, цінові заявки яких виявилися вище рівноважної ціни, і споживачі, цінові заявки яких виявилися нижче рівноважної ціни, в торговий графік не включаються. У разі якщо в результаті конкурентного відбору частину або весь обсяг планованого виробництва

(споживання) не включені в торговий графік, учасник може або обмежити своє виробництво (споживання) на рівні торгового графіка, або виробити (спожити) відсутній обсяг на балансує ринку [58].

Балансуючий ринок являє собою ринок відхилень фактичного погодинного виробництва і споживання електроенергії від планового торгового графіка і призначений для забезпечення балансу виробництва та споживання в реальному часі. Генератори, що змінили виробництво електроенергії з ініціативи Системного оператора, отримують премію. Генератори, що знизили виробництво за власною ініціативою, і споживачі, які збільшили навантаження, навантажуються додатковою платою. На балансує ринку постачальники подають заявки Системному оператору на довантаження (відхилення "вгору") і розвантаження (відхилення "вниз") своїх потужностей в порівнянні з плановими обсягами, які сформувалися на РДВ. У заявках вказуються ціни і можливі обсяги збільшення виробництва електроенергії, а також ціни за відхилення "вниз" з ініціативи Системного оператора. Заявки споживачів на можливе зниження навантаження розглядаються нарівні з заявками генеруючих компаній на збільшення виробництва. При виникненні небалансу в енергосистемі Системний оператор збільшує виробництво електроенергії або обмежує навантаження споживачів-регуляторів, починаючи з вказали мінімальні ціни в заявках [59].

До складу суб'єктів оптового ринку входять учасники звернення електричної енергії та (або) потужності - поставщики електричної енергії (генеруючі компанії) і покупці електричної енергії (енергозбутові організації, великі споживачі електричної енергії, що гарантують постачальники), які отримали статус суб'єктів оптового ринку, рада ринку, комерційний оператор і інші організації, що забезпечують відповідно до правил оптового ринку і договором про приєднання до торгової системи оптового ринку функціонування комерційної інфраструктури оптового ринку, організації, що забезпечують функціонування технологічної інфраструктури оптового ринку

(організація з управління єдиної національної електричної мережею, системний оператор) [57-59].

#### 5.1.4 Форми конкуренції та структура відбиття

Будь-яка енергосистема, незалежно від того, працює вона в умовах монопольного або лібералізованого ринку, має технологічну структуру, показану на рис.5.1.

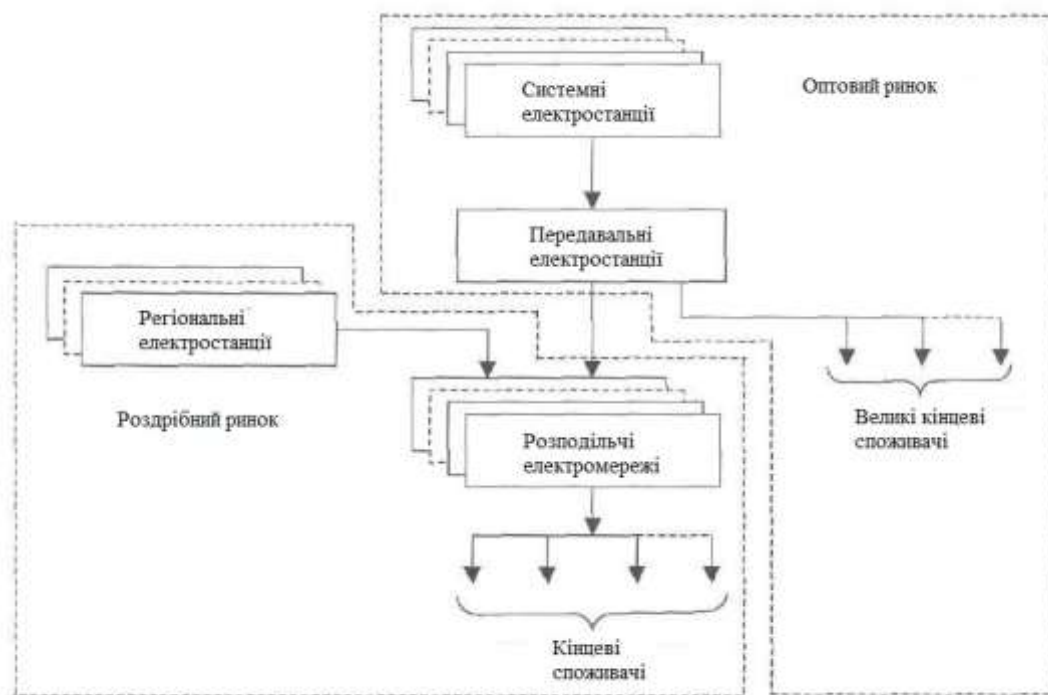


Рис. 5.1 - Технологічна структура енергосистеми та границі оптового та розничного ринків

На рис.5.1 також показані технологічні кордону оптового і роздрібного ринків електроенергії, які відповідають наступним їх по-розумінню:

- на оптовому ринку великі електростанції і імпортери продають електроенергію оптовим покупцям - енергопостачальним організаціям (роздрібним постачальникам) і великим кінцевим споживачам, а поставка

їм електроенергії здійснюється переважно по електричних мережах високого напруги (передавальним мереж);

- на роздрібному ринку енергопостачальні організації та регіональні електростанції продають електроенергію роздрібним покупцям (середнім і дрібним кінцевим споживачам), а поставка їм електроенергії здійснюється по мережах середньої та низької напруги (розподільних мереж) [60].

Перехід від монопольного ринку, коли одна вертикально - інтегрована компанія (ВІК) монопольно здійснює виробництво, передачу, розподілення і поставку електроенергії, до конкурентного ринку, може бути здійснено різними шляхами і в різних варіантах. При цьому необхідно пам'ятати, що конкуренцію на ринку електроенергії можна організувати в сферах виробництва і постачання електроенергії, а сфери її передачі і розподілу в будь-якому випадку повинні залишатися монопольними і регулюватися державою.

З огляду на це, конкуренція на ринку електроенергії в межах електричних мереж будь-якої ВІК може бути організована в наступних основних формах, наведених в порядку зростання рівня конкуренції:

а) конкуренція між незалежними виробниками електроенергії (НВЕ) за право її продажу існуючої монопольної вертикально інтегрованої компанії (ВІК);

б) конкуренція між НВЕ (або будь-якими третіми особами) і ВІК за право постачання електроенергії енергопостачальним компаніям і великим споживачам. НВЕ (будь-які треті особи) мають вільний (або відкритий) доступ до передавальних мереж ВІК;

в) все електростанції ВІК стають незалежними виробниками електроенергії і конкурують з іншими НВЕ за право продажу електроенергії єдиному покупцеві - спеціальному закупівельному агентству (СЗА). Доступ до передавальних мереж вільний;

г) конкурентний оптовий ринок;

д) конкурентні оптовий і роздрібний ринки.

У випадках а) і б) реструктуризація галузі не потрібно - вона продовжує залишатися вертикально - інтегрованою. У разі в) необхідна реструктуризація галузі шляхом виведення виробників електроенергії зі складу ВІК. У всіх цих трьох випадках ринок працює в умовах неповної (або обмеженої) конкуренції.

У двох інших випадках, які передбачають повну конкуренцію, необхідна повна реструктуризація галузі шляхом дезінтеграції монополіста на окремі компанії з виробництва, передачі та розподілу електроенергії [58-60].

### 5.1.5 Основні проблеми переходу до конкуренції

При переході від регулювання до конкуренції виникає ряд проблем, розглянутих нижче.

По-перше, в вертикально-інтегрованої енергосистеми, монопольно здійснює виробництво, передачу, розподіл і постачання електроенергії, режими навантажень електростанцій в обсязі, необхідному для задовільнити попиту, розраховуються і задаються централізованої диспетчерської службою з урахуванням допустимої пропускної спроможності ліній електропередач і забезпечення необхідних резервів потужності. Такий централізований підхід дозволяє відносно просто забезпечувати необхідні стійкість енергосистеми і якість електроенергії, а також оптимізувати режими електростанцій шляхом, наприклад, найвигіднішого розподілу навантаження.

Дерегулювання ринку електроенергії передбачає, що режими по-ставки і споживання визначаються ринком, а не диспетчером, і що будь-який постачальник повинен мати вільний і недискримінаційний доступ до мереж. При цьому, очевидно, можуть виникати ситуації, коли виконання цих режимів постачання та споживання призвело б до перевантаження окремих ліній електропередачі і, відповідно, до зниження надійності та якості електропостачання та / або навіть до втрати стійкості енергосистеми.

При вертикально-інтегрованої структури галузі одна компанія монопольно здійснює виробництво, передачу, розподіл і постачання



електроенергії, забезпечує надійність енергосистеми, управління перенавантаженнями, а також необхідну якість електроенергії. Але, незважаючи на різноманітний характер діяльності ВІК, кінцевим продуктом її діяльності, що підлягають продажу, є тільки електроенергія, доставлена споживачу, а всі інші продукти її діяльності споживаються всередині компанії.

При переході до дерегулювати ринках, що передбачає конкуренцію в сферах виробництва і постачання електроенергії, виникає нова картина. Дезінтеграція перш єдиної компанії означає появу досить великого числа незалежних ринкових гравців, які торгують електроенергією на оптовому і роздрібному ринках, а також означає необхідність організації ряду субринків і рішення проблем переходу від монопольного ринка до конкурентного [60].

З аналізу цих проблем випливає, що на конкурентному ринку електроенергії предметом купівлі-продажу є:

- електроенергія;
- права на передачу електроенергії по ЛЕП (або маршрутами передачі), схильним до перевантажень;
- централізовані послуги Системного оператора всім учасникам ринка по балансуванню енергосистеми і забезпечення безпеки і надійності її функціонування (системні послуги);
- послуги окремих учасників ринку Системному оператору, необхідних йому для виконання своїх функцій (допоміжні послуги);
- інформаційні та інші послуги.

Ринок власне електроенергії складається з двох рівнів - оптового ринку і роздрібного ринків. Найбільш важливим з них є оптовий ринок, тому що на ньому в основному формується конкурентна ціна на електроенергію, і тільки на ньому централізовано здійснюються балансування енергосистеми, управління перевантаженнями і надання системних і допоміжних послуг [58-59].

Оптовий ринок є більш складним і з точки зору його організації, тому що можливі методи і форми оптової торгівлі електроенергією та управління ринком є більш різноманітними, що, в свою чергу, зумовлює і більш складну його структуру.

Таким чином, перехід від монополії до конкурентного ринку електроенергії означає більш складну структуру ринку і більш складні відносини між його учасниками. Такий перехід вимагає організації замість єдиного монопольного ринку цілого ряду нових ринків з торгівлі електроенергією, а також нових підходів в питаннях взаєморозрахунків, тарифів на передачу, управління перевантаженнями, балансування енергосистеми і забезпечення якості електроенергії та надійності енергосистеми [60].

## 5.2 Державна політика енергозбереження в Україні

В даний час енергетичний чинник справляє визначальний вплив на формування економічної ситуації на Україні. Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів, що становить приблизно 60% потреби народного господарства і населення, що покриваються за рахунок імпорту з Росії, Туркменістану та інших країн, моральний і фізичний знос активної частини основних виробничих фондів, велика енергоємність технологій, кризовий стан фінансово-кредитної системи і економіки країни в цілому ставить завдання, безпосередньо пов'язані з виживанням держави і його безпекою. У зв'язку з цим надзвичайно важливим напрямом економічного розвитку України стає енергозбереження в усіх сферах діяльності суспільства.

### 5.2.1 Правова база енергозбереження в Україні

Для правового забезпечення вирішення цих проблем 1 липня 1994 прийнятий Закон України "Про енергозбереження" та Постанова Верховної

Ради України про порядок введення його в дію, що визначають правові, економічні та соціальні засади раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів підприємствами, об'єднаннями та організаціями всіх форм власності, що діють на Україні, незалежно від їх підпорядкованості.

В основу Закону покладено такі принципи управління енергозбереженням: державне управління енергозбереженням як результат застосування економічного та адміністративного впливу; позавідомчий контроль за використанням паливно-енергетичних ресурсів; обов'язковість державної експертизи енергозбереження; стандартизація, сертифікація і нормування в галузі енергозбереження; економічне заохочення економії паливно-енергетичних ресурсів, економічні санкції за їх нераціональне і марнотратне витрачання; концентрація позабюджетних фінансових коштів, необхідних для реалізації державної політики енергозбереження; юридичне рівноправність постачальників і споживачів паливно-енергетичних ресурсів; міжнародне співробітництво при вирішенні проблем енергозбереження.

#### 5.2.2 Завдання і діяльність органу управління енергозбереженням

Основні завдання енергозбереження спрямовані на:

- стимулювання виробників і споживачів енергії на виконання енергозберігаючих заходів;
- створення загальнодержавного позабюджетного фонду енергозбереження, який відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України "Про загальнообов'язкове державне позабюджетний фонд енергозбереження" формується з платежів за нераціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, за рахунок відрахувань коштів з фонду розвитку паливно-енергетичного комплексу, добровільних внесків українських та зарубіжних юридичних осіб, громадян та осіб без громадянства зарубіжних країн, інших надходжень, не заборонених законодавством України;
- фінансування та матеріально-технічну підтримку заходів, що забезпечують раціональне використання і економію паливно-енергетичних

ресурсів, для чого Постановою Кабінету Міністрів України передбачено створення на регіональному рівні місцевих фондів енергозбереження, джерела формування яких будуть визначатися з урахуванням умов і структури споживання паливно-енергетичних ресурсів, стану економіки регіону;

- стимулювання споживачів до енергозбереження через систему ціноутворення, пільг, дотацій, штрафних санкцій.

Законодавство про енергозбереження реалізується через систему державного управління, мета якого полягає у створенні правових і економічних умов діяльності споживачів енергії і органів управління енергозбереженням, тобто в законодавчому регулюванні взаємовідносин постачальників і споживачів енергії, здійсненні їх прав та взаємної відповідальності.

Постановою Кабінету Міністрів України від 09.01.96 р № 20 "Про управління сферою енергозбереження" передбачено створення в міністерствах і відомствах, при обласних держадміністраціях і Уряді Автономної Республіки Крим, підприємствах і організаціях, що займаються утриманням, зберіганням, переробкою, перетворенням, транспортуванням, обміном і використанням паливно-енергетичних ресурсів, підрозділів з енергозбереження. Крім того, організовується Державна інспекція з енергозбереження. Держкомітет з енергозбереження, спільно з іншими міністерствами і відомствами, розробляє і вводить в дію нормативні акти і стандарти в сфері енергоспоживання, вносить пропозиції щодо цінової та податкової політики в інтересах енергозбереження, сприяє створенню нових виробництв енергозберігаючого обладнання загального призначення, спільно з Міністерством статистики вводить звітність в області енергоспоживання і енергозбереження. Діяльність загальнодержавного органу управління енергозбереженням повинна бути спрямована на:

- розробку механізмів управління енергозбереженням і їх вдосконалення, нормативно-правової документації;

- організацію заходів з наповнення загальнодержавного фонду енергозбереження, розподіл і контроль за витрачанням коштів з цього фонду,

координацію робіт і використання коштів регіональних фондів енергозбереження;

- організацію міжнародного співробітництва в галузі енергозбереження;
- пропаганду енергозбереження в засобах масової інформації.

Регіональні структури управління енергозбереженням зобов'язані:

- здійснювати роботу з енергозбереження з конкретними підприємствами;
- давати рекомендації і фінансувати підтримку з місцевих фондів енергозбереження виробництво енергозберігаючого обладнання для місцевого використання;

- розробляти і вносити пропозиції місцевим органам державного управління у сфері податків, тарифів, що відносяться до їх компетенції [60].

### 5.2.3 Реалізація політики енергозбереження

Непідготовленість промисловості до випуску енергозберігаючого обладнання, контрольно-вимірювальних приладів, інших технічних засобів, необхідних для забезпечення раціонального і економного витрачання паливно-енергетичних ресурсів, є серйозною причиною, яка стримує підвищення енергетичної ефективності економіки України. В умовах формуються ринкових відносин основними механізмами реалізації політики енергозбереження стають:

- нормативно-правова регламентація діяльності в галузі раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів на всіх об'єктах виробничої сфери, сільського господарства, побутового споживання та ін .;

- державна підтримка розробок нових енергозберігаючих технологій і обладнання;

- проведення цінової, кредитної та податкової політики, стимулюючої енергозбереження;

- сертифікація і стандартизація енергонасиченого обладнання і технологій, організація засобів обліку і контролю за витрачанням енергоносіїв;

- стимулювання проведення перевірок енергоємних виробництв (енергоаудитів), аналіз найбільш перспективних напрямків енергозбереження;
- формування загальнодержавного і регіональних (по областям, районам) фондів енергозбереження для сприяння споживачам, які використовують нову техніку, організації виробництва нового енергоефективного обладнання;
- інформаційна робота зі споживачами енергоресурсів, створення банків даних про нові енергозберігаючі технології та обладнанні, формування та подальше підвищення енергозберігаючої культури населення;
- залучення іноземних інвестицій та комерційного капіталу для реалізації енергозберігаючих проектів.

Найважливіше місце в реалізації державної політики енергозбереження належить економічному механізму, який повинен передбачати:

- виключення з практики перекладу значної частини вартості енергоресурсів, які витрачаються побутовими споживачами і аграрним сектором, на промислові підприємства, що перешкоджає економічного витрачання енергії, знижує конкурентоспроможність продукції, що виробляється, сприяє зростанню цін на товари промислового виробництва;
- відповідність тарифів на енергію фактичними витратами на її виробництво, передачу і розподіл;
- встановлення абонентного тарифу для оплати теплової енергії в комунально побутовому секторі, при якому споживач буде оплачувати послуги із забезпечення стандартного теплового режиму приміщень, гарячого і холодного водопостачання;
- введення штрафних санкцій за недоотпуск енергії, розмір яких відповідав би економічним збитком, яких зазнало підприємство;
- захист фінансових інтересів виробників енергії від несплати за відпущену електроенергію з правом відключення споживача у разі несплати у строк за витрачену енергію;
- створення фондів енергозбереження для фінансової підтримки енергозберігаючих проектів на загальнодержавному і регіональному рівнях;

- стимулювання виробництва енергозберігаючого обладнання шляхом надання кредитів, дотацій, пільгового оподаткування на початковий період виробництва для забезпечення більш швидкого нарощування темпів його виробництва;

- проведення аудитів енергоємного виробництва, введення стандартизації та системи нормування при використанні енергоресурсів у всіх сферах діяльності;

- залучення зарубіжних інвестицій в енергозбереження [61].

#### 5.2.4 Податкові пільги та дотації в галузі енергозбереження

Загальнодержавний фонд енергозбереження може виконувати функції страхування коштів зарубіжних інвесторів, що усуне головна перешкода для їх залучення в економіку України.

Економічне стимулювання енергозбереження передбачає надання податкових пільг, кредитів і дотацій. Податкові пільги в галузі енергозбереження включають в себе:

- пільги на додану вартість для виробників і споживачів у вигляді зниження податку на додану вартість по відношенню до встановлених ставок на продукцію з характеристиками енергетичної ефективності, що перевищують рівні, регламентовані в стандартах;

- виключення оподаткування на додану вартість для енергозберігаючої продукції, виробленої на замовлення і за рахунок коштів загальнодержавного і регіонального фондів енергозбереження;

- пільги енергозберігаючим організаціям: звільняються від податку на прибуток, що отримується постачальниками енергоресурсів на інвестування енергозберігаючих проектів у власних споживачів; при визначенні тарифів на електричну та теплову енергію в їх структуру включаються витрати на енергозбереження енергопостачальних організацій та споживачів електро- і теплоенергії (виробники електроенергії і тепла, що не входять в територіальні

організації, мають право на відпустку енергії в мережі цих підприємств за договірною ціною);

- пільги щодо мит: від мита звільняються імпортовані енергоефективне обладнання, прилади, технічні засоби, що використовуються для реалізації загальнодержавної та регіональних енергозберігаючих програм.

Кредит є основною формою надання фінансової допомоги при проведенні енергозберігаючих заходів. При цьому компенсується частина витрат, достатня, щоб споживачі енергії покрили інші витрати зі своїх коштів, що дасть можливість залучити значні інвестиції в енергозбереження, у багато разів перевищують фінансування з фонду енергозбереження.

Термін надання кредиту визначається нормативним інвестиційним періодом, а плата за кредит залежить від його терміновості і очікуваного ефекту.

Дотації включають:

- часткове фінансування науково-дослідних, дослідно-конструкторських і проектних робіт галузевого призначення;
- дотації підприємствам і організаціям на освоєння виробництва нових видів енергозберігаючої техніки;
- дотації на виробництво дослідних партій енергетично ефективного обладнання, що використовує місцеві види палива, побутові відходи, вторинні енергоресурси, нетрадиційні поновлювані джерела енергії;
- дотації замовнику на підвищення енергетичної ефективності будівель, споруд, інженерних систем до нормативного рівня і вище;
- оснащення виробництва необхідними системами обліку і контролю витрат енергоресурсів;
- проведення енергетичних експертиз.

#### 5.5.5 Контроль за реалізацією політики енергозбереження



Економічні санкції повинні застосовуватися до підприємств-споживачів енергоресурсів за нераціональне енергоспоживання у вигляді штрафів у розмірі, що перевищує тарифи і ціни за перевитрачені паливо і енергію; до підприємств-виготовлювачів обладнання і матеріалів - за випуск машинобудівної продукції, конструкцій і матеріалів з великим енергоспоживанням, ніж передбачено нормативами і стандартами. Податок на прибуток необхідно збільшити понад діючої ставки на весь обсяг продукції, що випускається з відступом від встановлених стандартів.

До підприємств, організацій, які не мають приладового обліку споживаних енергоресурсів, слід застосовувати більш жорсткі санкції. Кошти, отримані в результаті застосування економічних санкцій, повинні перераховуватися до відповідних фондів енергозбереження.

Задля досягнення цілей енергозбереження виняткове значення має організація масового виробництва і оснащення всіх категорій енергоспоживачів дешевими, якісними і надійними технічними засобами обліку та контролю обліку, регулювання енергоспоживання. Організація належного обліку та регулювання енергоспоживання - неодмінна умова досягнення економії паливно-енергетичних ресурсів в найкоротші терміни і в значних обсягах. Можливі заходи стимулювання виробників енергозберігаючого обладнання, крім розглянутих вище, складаються у видачі державних замовлень в разі обґрунтованих побоювань з приводу труднощів збуту продукції з прийнятною для підприємства прибутком. Форма стимулювання визначається типом обладнання, очікуваною ефективністю, станом виробництва і попиту на конкретний тип обладнання, прогнозованою ціною на нього та ін.

Механізм застосування пільг за розробку, виробництво, введення в експлуатацію енергозберігаючого обладнання, накладення санкцій за нераціональне використання паливно-енергетичних ресурсів базується на показниках і нормативах, встановлених в стандартах та інших нормативно-технічних і директивних документах.

Стандарти і нормативні документи енергетичної ефективності передбачають комплекс норм, правил, положень, вимог, систему сертифікації (визначення відповідності енергетичних показників приладів, обладнання та об'єктів регламентує вимогам, встановленим в стандартах і нормативних документах), обов'язкових при проектуванні, виготовленні, будівництві, реконструкції, розширенні, технічне переозброєння технологічних процесів і обладнання. Система сертифікації встановлює правила випробувань, необхідних для проведення оцінки відповідності нормативам показників енергоспоживаючих приладів, обладнання та технологічних процесів, результатом яких є видача енергетичного сертифіката, його реєстрація та подальше його супровід.

Повинен бути передбачений строгий державний нагляд за дотриманням стандартів. Важливим стимулом для впровадження споживачами паливно-енергетичних ресурсів енергозберігаючих обладнання і технологій є зростаюча жорсткість вимог до нормативів енергоспоживання, їх своєчасний перегляд. Такий підхід - основа політики енергозбереження в економічно розвинених країнах світу.

#### 5.5.6 Проблеми енергозбереження

Проблеми енергозбереження знаходяться в центрі уваги світової громадськості. Провідні урядові та громадські міжнародні організації ставлять на перше місце проблеми підвищення енергетичної ефективності економіки, зниження непродуктивних втрат палива та енергії, охорони навколишнього середовища від забруднень при використанні і виробництві палива та енергії.

У числі їх Європейська Економічна Комісія ООН, Організація Об'єднаних Націй з промислового розвитку, Світовий Енергетичний Рада, Міжнародне Енергетичне Агентство і ін.

Важливим видом діяльності органів державного управління, що дозволяє поліпшити організацію роботи з освоєння енергозберігаючих технологій в галузях народного господарства, є цілеспрямована робота по інформаційно-рекламному забезпеченню і пропаганді в засобах масової інформації комплексу проблем енергозбереження.

Видання тематичних оглядів по економії палива, тепла, електроенергії, створення довідково інформаційної системи з енергозбереження на основі автоматичних банків даних, випуск інформаційних матеріалів з роз'ясненнями та рекомендаціями з питань економії енергії в побуті, організація виставок, практичних семінарів, симпозіумів, наочна пропаганда досягнень з залученням засобів масової інформації (газет, радіо і телебачення) повинні бути реалізовані на загальнодержавному та регіональному рівнях.

Важливим фактором, що сприяє реалізації державної енергозберігаючої політики, є урядова підтримка науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сфері енергозбереження

Проблеми енергозбереження в Україні вирішуються в умовах важкої кризи економіки, становлення ринкових відносин, коли Україна стала найбільшим імпортером паливно-енергетичних ресурсів в зв'язку з обмеженими власними можливостями. Їх успіх вимагає вироблення законодавчими та виконавчими органами державного управління економічної, енергетичної стратегії і тактики розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу з урахуванням особливостей загальної економічної ситуації. Необхідне рішення задач енергетичної безпеки держави, як найважливішої складової національної безпеки. Необхідні глибоке вивчення і оцінка кризових явищ у паливно-енергетичному комплексі, прогнозування політичних, економічних, соціальних і технічних наслідків всіх можливих варіантів їх результату. Україна володіє інтелектуальними, технічними та іншими ресурсами для успішного вирішення цих проблем. Залишається нереалізованим значний потенціал енергозбереження в житлово-комунальній сфері та особливу

увагу необхідно приділити питанням впровадження лічильників обліку споживання енергоносіїв, які суттєво впливають на стан енергозбереження та розрахунків за спожиті енергоносії. Для стимулювання ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів урядом запроваджено механізм економічної відповідальності підприємств за неефективне використання енергоресурсів (постанова Кабінету Міністрів України №1071 від 07.07.00 "Про заходи щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів").

Введено в дію Положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників підприємств і установ по економії паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві. Впроваджені нормування споживання енергоносіїв у бюджетній сфері. Створено мережу спеціалізованих організацій для проведення енергетичних обстежень.

На жаль, програми встановлення лічильників обліку споживання природного газу, теплової енергії і води виконуються не в повній мірі. Так, обладнання лічильниками споживачів газу становить 32%, теплової енергії (домашній облік) - 2,3%, холодної води (домашній облік) - 17,5%, гарячої води (домашній облік) - 2,2%. Це свідчить про те, що керівники місцевих органів виконавчої влади практично не вишуковують організаційні та фінансові можливості щодо виконання важливих програм і завдань уряду. Розвиток сфери альтернативних джерел енергії передбачає також переорієнтацію значної кількості українських науково-дослідних і проектно-конструкторських установ, промислових підприємств на розробку та виготовлення конкурентоспроможного енергетичного обладнання для альтернативної енергетики, яке буде використовуватися для створення енергогенеруючих об'єктів альтернативної енергетики в Україні, а також, в значній ступеня, може бути направлено на експорт. Планується також спрямувати зусилля зазначених установ на розробку енергоефективних технологій видобутку енергоресурсів з нетрадиційних джерел енергії та використання альтернативного палива. Все це,

крім основного ефекту, додатково буде сприяти створенню нових робочих місць і підтримки вітчизняного виробництва.

Основною перешкодою на шляху використання нетрадиційних джерел енергії є те, що на сьогодні, як і протягом попередніх років дії програми, підприємства, задіяні в його реалізації, майже всі роботи проводять за власні кошти або за рахунок залучених ними інвестицій.

Через нестачу цільового фінансування заходів програми з держбюджету проведення багатьох перспективних проектів по виконанню її завдань було взагалі зупинено. Іншим суттєвим обставиною є відсутність на поточний момент окремої державної статистичної звітності щодо використання нетрадиційної енергетики та альтернативного палива [62].

### 5.3 Розрахунок повної собівартості ціни розроблюваного програмного продукту

Розрахунок повної собівартості розроблювальної програмного продукту "Наближення світловий оптики при порушенні металодіелектричних структур планарним діелектричним хвилеводом".

Собівартість програмного продукту - це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво утворюють виробничу (заводську) собівартість, а витрати на виробництво і збут - повну собівартість.

Розрахунок собівартості програмного продукту за статтями витрат називається калькуляцією. Калькуляція собівартості програмного продукту здійснюється відповідно до "Типового положення з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості" [61].

Витрати, пов'язані з розробкою і збутом (реалізацією) програмного продукту "Наближення світловий оптики при порушенні металодіелектричних

структур планарним діелектричним хвилеводом" групуються за такими статтями:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування від заробітної плати;
- матеріали і комплектуючі;
- оренда машинного часу;
- накладні витрати (загальногосподарські витрати);
- позавиробничі (комерційні витрати).

1. Витрати на основну заробітну плату ( $Z_o$ ):

$$Z_o = T \cdot Ч = (17 + 12 + 4 + 4) \cdot 192 = 7104(\text{грн.}), \quad (5.1)$$

де  $T$  – сумарна трудомісткість розробки програмного продукту (визначається експертним шляхом виходячи з фактично витраченого часу, включаючи налагодження програмного продукту), час;  $Ч$  – годинна тарифна ставка програм-міста.

2. Додаткова заробітна плата ( $Z_d$ ):

$$Z_d = Z_o \cdot \frac{K_d}{100} = 7104 \cdot \frac{30}{100} = 2131.2(\text{грн.}), \quad (5.2)$$

де  $K_d$  - відсоток додаткової заробітної плати ( $10 \div 50$ ).

3. Вирахування від заробітної плати:

- в пенсійний фонд - 32%;
- соціальне страхування -3.38%;
- фонд зайнятості – 2.1 %.

$$B_{сз} = (Z_o - Z_d) \frac{36.9}{100} = (7104 + 2131.2) \cdot \frac{36.9}{100} = 3407.79(\text{грн.}). \quad (5.3)$$

4 . Устаткування знаходиться на балансі підприємства:

$$BVEY = Z_o \cdot BVEY(\%) = 7104 \cdot 130\% = 9235.2(\text{грн.}). \quad (5.4)$$

5 . Накладні (загальногосподарські) витрати ( $P_n$ ):

$$OXP = 130\% \cdot Z_o = 130\% \cdot 7104 = 9590.4(\text{грн.}). \quad (5.5)$$

Сума витрат розрахованих відповідно до п.п. 1 – 5 становить виробничу собівартість ( $P_c$ ). Це витрати, пов'язані з обслуговуванням і управлінням виробництвом. Значить:

$$P_c = 7104 + 2131.2 + 3407.79 + 9235.2 + 9590.4 = 31468.59(\text{грн.}). \quad (5.6)$$

6. Адміністративні витрати ( $A_p$ ):

$$A_p = 150\% \cdot Z_o = 150\% \cdot 7104 = 10656(\text{грн.}). \quad (5.7)$$

6 Витрати на збита ( $Z_6$ ):

$$Z_6 = 6\% \cdot P_c = 6\% \cdot 31468.59 = 1888.12(\text{грн.}). \quad (5.8)$$

Сума витрат розрахованих відповідно до п. 1 – 7 становить повну собівартість ( $PC$ ). Значить:

$$PC = P_c + A_p + Z_6 = 31468.59 + 10656 + 1888.12 = 44012.71(\text{грн.}). \quad (5.9)$$

Калькуляція собівартості методики зводиться в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Калькуляція собівартості методики

Найменування статей калькуляції	Величина
1. Витрати на основну заробітну плату	7104 грн.
2. Додаткова заробітна плата	2131,2 грн.
3. Відрахування від заробітної плати	3407,79 грн.
4. Утримання та експлуатація обладнання	9235,2 грн.
5. Накладні (загальногосподарські) витрати	9590,4 грн.
6. Адміністративні витрати	10656 грн.
7. Витрати на збут	1888,12 грн.

Розрахунок вартості програмного продукту "Наближення світловий оптики при порушенні металодіелектричних структур планарним діелектричним хвилеводом".

У ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: собівартість плюс прибуток, забезпечення фіксованого обсягу прибутку, в залежності від рівня попиту [9].

Розрахунок оптової ціни програмного продукту будемо виробляти за схемою "собівартість плюс прибуток".

$$C_{opt} = C + P, \quad (5.10)$$

де  $C$  - собівартість програмного продукту,  $P$  - величина прибутку.

Прибуток визначається виходячи з показника рентабельності виробництва продукції встановлюється підприємством:

$$R = \frac{P}{C} \cdot 100\%, \quad (5.11)$$

де  $R$  – рентабельність продукції (методики), приймається в розмірі до 30%.

Тоді оптова ціна програмного продукту визначається так:



$$C_{opt} = C + \frac{R \cdot C}{100} = 44012.71 + \frac{4 \cdot 44012.71}{100} = 45773.22 (\text{грн.}). \quad (5.12)$$

Роздрібна ціна товару визначається з наступного співвідношення:

$$C_{розн} = C_{opt} \cdot 1.2 = 45773.22 \cdot 1.2 = 54927.86 (\text{грн.}). \quad (5.13)$$

#### 5.4 Розрахунок економічної ефективності використання програмного продукту

Для оцінки економічного ефекту і економічної ефективності продукції енергетичного призначення використовують чистий приведений дохід (NPV) і індекс рентабельності (PI).

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{P_i - B_i}{(1+p)^i} > 0, \quad (5.14)$$

$$NPV = \frac{15000 - 12500}{1 + 0.8} = 1389 (\text{грн.}). \quad (5.15)$$

де  $P_i$  – результати, отримані в  $i$ -му періоді;

$B_i$  – витрати в  $i$ -му періоді;

$p$  – норма дисконту;

$n$  – кількість років життєвого циклу продукту.

Нульовий період (при  $n = 0$ ) дозволяє врахувати витрати до початку запуску продукту в експлуатацію (розробка продукту, закупівля і монтаж обладнання, тестування, налагодження і т.д.).

Результати від впровадження:

$$P_i = O_i \cdot C_i + Bp_i = 9 \cdot 10000 + 23000 = 113000 (\text{грн.}), \quad (5.16)$$

де  $O_i$  – обсяг збуту;

$C_i$  – ціна одиниці продукту;

$Vp_i$  – виручка від ліквідації майна в  $i$ -му періоді.

Витрати на продукт в загальному випадку можуть включати наступні основні елементи:

Капітальні (одноразові) витрати:

- витрати на будівництво будівель і споруд (якщо це необхідно для впровадження виробництва);
- витрати на покупку і доставку комп'ютерної техніки і офісного устаткування;
- витрати на закупівлю обладнання;
- витрати на налагодження обладнання;
- проходження ТО;
- інші витрати.

Поточні витрати:

- витрати на утримання будівель і споруд (якщо необхідно);
- заробітна плата з нарахуваннями обслуговуючого персоналу;
- витрати на навчання і перепідготовку персоналу;
- витрати на ремонт, технічне обслуговування та модернізацію обладнання, включаючи амортизаційні відрахування;
- витрати на електроенергію;
- витрати на поточну інформацію (Internet);
- матеріальні витрати;
- витрати на поточне обслуговування і т.д.

Витрати в  $i$ -му періоді можуть бути розраховані за формулою:

$$B_i = K_i + C_i = 55000 + 28000 = 83000 \text{ (грн.)}, \quad (5.17)$$

де  $K_i$  і  $C_i$  – відповідні капітальні та поточні витрати в  $i$ -му періоді.

Індекс рентабельності, який розраховується як відношення наведених результатів до приведеними витратами, повинен бути більшим чи рівним 1.

результатом може бути економічний ефект від експлуатації продукції (економія):

$$PI = \frac{\sum_{i=0}^n P_i \cdot (1+p)^{-i}}{\sum_{i=0}^n B_i \cdot (1+p)^{-i}} \geq 1, \quad (5.18)$$

$$PI = \frac{113000(1+0.8)}{83000(1+0.8)} = 1,36 \geq 1. \quad (5.19)$$

Оскільки отриманий економічний ефект від застосування комп'ютерного моделювання в наближенні світловий оптики при збудження металодіелектричних структур планарним діелектричним хвилеводом, становить 1,23, то інноваційний проект вважається економічно ефективним.

Крім того, чистий приведений дохід становить 14705 грн. Що додатково свідчить про економічну ефективність впровадження продукту.

## ВИСНОВКИ

В ході даної роботи були розвинені уявлення про фізичні процеси взаємодії просторових гармонік черенковського і дифракційного випромінювань в періодичних металодіелектричних структурах, встановлені загальні закономірності залежності дифракційно-черенковського випромінювання від діелектричної проникності і геометричних параметрів (товщини) середовища, в даному випадку - діелектричної призми, а також від параметрів хвилеводу.

Була отримана якісна і кількісна відповідність результатів теорії та експерименту, що вказує на адекватність теоретичної моделі заданого струму і експериментальної моделі заданого поля діелектричного хвилеводу. З метою встановлення впливу діелектричної проникності, проведені експерименти для гармонік випромінювання в діелектриках з малими і великими значеннями  $\varepsilon$ , результати яких вказують на спільність фізичних процесів в обох випадках.

В цілому, наведені в роботі результати дозволили отримати узагальнену картину механізмів взаємодії просторових гармонік черенковського і дифракційного випромінювань в металодіелектричних структурах; а також дали можливість встановити залежність характеристик випромінювання від товщини і діелектричної проникності металодіелектричних структур і визначити рамки застосовності моделі заданого струму для опису фізичних процесів в цих системах.

Результати подібних досліджень для відкритих електродинамічних систем є базовими при створенні приладів дифракційної електроніки типу черенковська лампа зворотньої хвилі, дифракційно-черенковського генератора і підсилювача на відкритому хвилеводі, що вказує на доцільність подальшого розвитку таких пристроїв, побудови їх теорій і експериментальних макетів з електронним потоком.

У роботі також були розглянуті питання охорони праці, проаналізовано шкідливі фактори, що впливають на людину при виконанні робіт такого типу, а

також запропоновано шляхи мінімізації їх шкідливого впливу на організм працюючого. Дотримуючись, правил, описаних в роботі, можна не тільки обмежити шкідливий вплив на здоров'я людини, але і підвищити продуктивність роботи, за рахунок зниження втоми.

Виконання економічної частини роботи, дозволило не тільки ознайомитися з теоретичними питаннями, а й прорахувати собівартість розроблювального програмного продукту, визначити його рентабельність, а також оптову та роздрібну ціни. Також був проведений розрахунок економічної ефективності використання програмного продукту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Усиков А.Я. Современные достижения радиофизики и электроники. –Киев: Наук. думка, 1981.– 64 с.
2. Электроника и радиофизика миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн / А.Я. Усиков, Э.А. Канер, И.Д. Трутень и др. –Киев: Наук. думка, 1986.– 368 с.
3. В.П. Шестопапов. Дифракционная электроника.– Харьков: Изд-во ХГУ, 1976.– 232с.
4. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т.1. Открытые структуры / Под. ред. Шестопапова В.П. – Киев: Наук. думка, 1985.– 216 с.
5. Кукарин С.В. Электронные СВЧ приборы. Характеристики, применение, тенденции развития. –М.: Радио и связь, 1981.– 272 с.
6. Голант М.Б., Бобровский Ю.Л. Генераторы СВЧ малой мощности. Вопросы оптимизации параметров.– М.: Сов. радио, 1977.– 336 с.
7. Лампы обратной волны миллиметрового и субмиллиметрового диапазона / Е.М. Гершензон, М.Б. Голант, А.А. Негирев и др. –М.: Радио и связь, 1985.– 199с.
8. Генераторы дифракционного излучения / Под ред. Шестопапова В.П.– Киев: Наук. думка, 1991.– 320 с.
9. Лампы бегущей волны. Ч.1. Конструкции ЛБВ, электронно-оптических и замедляющих систем, направления работ зарубежных фирм по усовершенствованию ЛБВ / Тесленко Л.Ф., Иванова А.В. и др.: Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. Вып. 20(1503). –М.: ЦНИИ "Электроника", 1989.– 350 с.
10. Лампы бегущей волны. Коллекторы, выводы энергии, поглощающие устройства, вопросы технологии, схемные вопросы, работы зарубежных фирм в области создания ЛБВ / Тесленко Л.Ф., Иванова А.В. и др.: Обзоры по

электронной технике. Сер. 1, Электроника СВЧ. Вып. 16(1586). –М.: ЦНИИ "Электроника", 1990.– 92 с.

11. Релятивистская высокочастотная электроника / Под ред. А.В. Гапонова-Грехова. – Горький, 1979.– 248с.

12. Итоги науки и техники. Сер. Электроника.– М.: ВИНТИ, 1985.– 351с.

13. Генераторы когерентного излучения на свободных электронах / Под ред. проф. Рухадзе А.А.– М.: Мир, 1983.– 352 с.

14. Русин Ф.С., Богомолов Г.Д. Оротрон – Электронный прибор с открытым резонатором и отражающей решеткой // Изв. вузов. Радиофизика, 1968.– Т.11, №5.– С. 756–770.

15. Генератор дифракционного излучения волн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов / И.М. Балаклицкий, Б.К. Скрынник и др.– Укр. физ. журн., 1969.– Т.14, № 4.– С. 539–552.

16. Мясин Е.А., Чигарев С.Г., Евдокимов В.В. и др. Исследование электронно-волнового взаимодействия в одно- и двухкаскадных резонансных усилителях с полусферическими открытыми резонаторами // Радиотехника и электроника, 1999.– №1.– С. 104–106.

17. Воробьев Г.С., Нестеренко А.В., Пушкарев К.А., Цвык А.И. Исследование возможности повышения эффективности взаимодействия электронов с СВЧ полями в резонансных приборах О–типа // Современные проблемы прикладной физики: Сб. науч. трудов / Под ред. проф. В.В. Кулиша.– Киев: УМК ВО, 1992.– С. 101–117.

18. Воробьев Г.С., Макеев О.С., Пушкарев К.А., Цвык А.И. Применение металлodieлектрических периодических структур в электронике КВЧ // Вісник Сумського державного університету, 1996.– № 1(5).– С. 17–22.

19. Николаенко Н.И., Цвык А.И. Влияние диэлектрического слоя на возбуждаемое излучение в периодической структуре с потерями // Радиотехника, 1971.– Вып.19.– С. 101-107.

20. Воробьев Г.С., Пушкарев К.А., Цвык А.И. Численный анализ экранирующих свойств дифракционной решетки при возбуждении

электронным потоком излучения на металло-диэлектрических структурах // Радиотехника и электроника, 1997.– Т.42.– С. 738–740.

21. Пушкарьов К.О. Дослідження дифракційно-черенковського випромінювання електронного потоку у відкритих метало-діелектричних структурах: Автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.04, 01.04.01.– Суми: СумДУ, 1997.– 23 с.

22. Воробьев Г.С., Макеев О.С., Пушкарев К.А., Цвык А.И. Моделирование трансформации поверхностных волн электронного потока в объемные волны на металлодиэлектрических электродинамических структурах // Вісник Сумського державного університету, 1996.– № 2(6).– С.28–32.

23. Цвык А.И., Пушкарев К.А., Мирошников А.Э. / Возбуждение дифракционно-черенковского излучения в металло-диэлектрическом канале // Вісник Сумського державного університету, 1997.– № 1(7).– С. 59-65.

24. Миллиметровые и субмиллиметровые волны / Под ред. Р.Г. Мириманова.– М.: Изд-во иностр. лит., 1959.– 607с.

25. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике.– М.: Сов. радио, 1973.– 400 с.

26. Экспериментальное исследование преобразования поверхностных волн в объемные в открытом волноводе / А.А. Вертий, Г.С. Воробьев, И.В. Иванченко и др. // Изв. вузов. Радиофизика, 1988.– 31, №6.– С.1242–1254.

27. Лопухин В.М. Возбуждение электромагнитных колебаний и волн электронными потоками.– М.: Сов. радио, 1953.– 325 с.

28. Шевчик В.Н., Трубецков Д.И. Аналитические методы расчета в электронике СВЧ.– М.: Сов. радио, 1970.– 564 с.

29. Кириченко А.Я., Цвык А.И. Трансформация волн диэлектрического волновода в объемные волны // Изв. вузов. Радиофизика, 1986.– Т.29, №1.– 210с.

30. Белоусов Е.В., Корж В.Г., Кошпаренок В.Н., Майстренко Ю.В. Связанные резонаторы в диэлектрометрии тонких пленок // Радиофизика и электроника, 1997.– Т.2, №1.– С. 39–42.



31. Третьякова С.С., Третьяков О.А., Шестопапов В.П. Дифракция волновых пучков на плоских периодических структурах // Радиотехника и электрон, 1972.– Т.17, №7.– С. 1366–1373.
32. Николаенко Н.И., Цвык А.И. Влияние диэлектрического слоя на возбуждаемое излучение в периодической структуре с потерями // Радиотехника, 1971.– Вып.19.– С. 101-107.
33. Нестеренко А.В., Цвык А.И., Шестопапов В.П. Миниатюризация генератора дифракционного излучения // Докл. АН СССР, 1984.– 277, №1.– С.84–88.
34. Джелли Дж. Черенковское излучение и его применение. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960.– 334 с.
35. Копенкин А.Д., Кошелев В.И., Попов В.А. и др. Многоволновой черенковский генератор с дифракционным модулятором электронного пучка // Радиотехника и электроника, 1990.– Т. 35, №10.– С. 2125–2128.
36. Диденко А.Н., Борисов А.Ф., Фоменко Г.П. и др. Экспериментальное исследование черенковского излучения сильноточных релятивистских электронных пучков // Письма в ЖТФ, 1983.– Т.9.– С. 60–65.
37. Гинзбург В.Л., Франк И.М. Излучение равномерно движущегося электрона, возникающее при его переходе из одной среды в другую // ЖЭТФ, 1946.– Т. 16, вып. 1.– С.15–27.
38. Брагинский В.Б. Излучение электромагнитных волн при равномерном движении электрических зарядов вблизи неоднородностей // Радиотехника и электроника, 1956.– Т. 1, вып. 2.– С. 225–232.
39. Парыгин В.Н. Излучение электронных сгустков над дифракционной решеткой // Изв. вузов. Радиофизика, 1958.– Т.1, № 5/6.– С. 139–147.
40. Болотовский Б.М., Воскресенский Г.В. Дифракционное излучение // Усп. физ. наук, 1966.– Т.88, № 3.– С. 209–238.
41. Болотовский Б.М., Воскресенский Г.В. Излучение заряженных частиц в периодических структурах // Усп. физ. наук, 1968.– Т.94, вып. 3.– С. 377–402.

42. Нерубенко В.В., Цвык А.И. Исследование генератора дифракционного излучения в миллиметровом диапазоне длин волн // Радиотехника.– Харьков: Изд. Харьк. ун-та, 1971.– Вып. 19.– С. 107–113.
43. Шматько А.А., Третьяков О.А., Шестопапов В.П. Нестационарная нелинейная теория генераторов, основанных на эффекте дифракционного излучения // ДАН УССР, 1976.– Сер. А, № 1.– С. 69–72.
44. Бакай А.С., Лукин К.А., Шестопапов В.П. Нелинейная нестационарная теория генератора дифракционного излучения // ДАН УССР, 1978.– Сер.А, № 4.– С. 335–338.
45. Пушкарев К.А., Рубан А.И., Воробьев О.К. Волновое моделирование гармоник дифракционного излучения на металло-диэлектрических структурах // Научно–техническая конференция преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов.– Сумы: СумГУ, 1998.– С. 80–82.
46. Рубан А.И., Харченко В.В. Волновая модель генератора дифракционного излучения на связанных открытых резонаторах // Научно–техническая конференция преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов.– Сумы: СумГУ, 1998.– С. 77–79.
47. Жидецкий В. Ц. Охорона праці користувачів комп'ютерів. – Л.: Афіша, 2000. - 174 с.
48. Охрана труда и промышленная экология / В.Т. Медведев, С.Г. Новиков, А.В. Каралюнец, Т.Н. Маслов. - М: Академия, 2006. - 416 с.
49. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда : учеб. пос. / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. - М. : Высш. шк., 2001. - 431 с.
50. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. - 2-е изд., перераб.и доп. - М. : Машиностроение, 1983. - 432 с.
51. Охрана труда в машиностроении : Сборник нормативно-технических документов. В 2-х т. Т. 1 / Сост. А.И. Шуминов, В.И. Мерзляков. - М. : Машиностроение.– 1990. - 384 с.

52. Охрана труда в отрасли: Конспект лекций по курсу: Для экономических специальностей заочной формы обучения / Сост. А. Ф. Денисенко. - 2004. - С. : СумГУ. - 118 с.
53. Охрана труда и основы законодательства о труде : Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / Сост. А.М. Кузнецов. - М.: Просвещение.– 1997. - 152 с.
54. Охрана труда и техника безопасности на промышленном предприятии: Тематический сборник : вып.2. - Дн-ск: Укрметаллургинформ, 2004. - 104 с.
55. Туkenов А.А. Рынок электроэнергии. От монополии к конкуренции.–М.: Энергоатомиздат.– 2007.–416 с.
56. Мотаев А.А. Настольная книга электроэнергетика. –М.: Арстэм, 2008.–283с.
57. Рябов С.С. Правила функционирования оптовых рынков электрической энергии: В вопросах и ответах: Пособие для изучения и подготовки к проверке знаний.–М.: Энас.–2006.–368с.
58. Ратников Б.Е. Энергетический бизнес.–М.: Дело.– 2006.–600с.
59. Бевз С.М. Стан та перспективи розвитку інвестиційної діяльності в сфері енергозбереження та енергоефективності // Тези доповідей конференції «Енергозбереження в Україні - 97».–К.:1997.–с. 17-19.
60. Костюковский Б.А. Экономика и энергетика страны // Энергетическая политика Украины.–2000.–№5.–с. 30-35.
61. Медведев Ю.А. Реальная стоимость энергии // Энергия: экономика, техника, екологія.–1992.–№2.–с. 46-47.
62. Нелидов И.Е. Экономика энергомашиностроения: Ученик.– 3-е изд.– М.: Высш. Школа.–1979.–336с.

## ДОДАТОК А

Допоміжні таблиці до розділу з охорони праці

Таблиця А.1 – Значення коефіцієнта  $r_1$  при боковому односторонньому освітленні

Відношення глибини приміщення до висоти від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна	Відношення відстані розрахункової точки від зовнішньої стіни до глибини приміщення	Середньозважений коефіцієнт відбиття стелі, стін, підлоги, $\rho_{cp}$					
		$\rho_{cp} = 0,5$			$\rho_{cp} = 0,4$		
		Відношення довжини приміщення до його глибини					
		0,5	1	2 і більше	0,5	1	2 і більше
1	2	3	4	5	6	7	8
Від 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1
	1	2,1					
Від 1,5 до 2,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1
	0,5	1,85	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2
	0,7	2,45	2,15	1,7	2,0	1,7	1,4
	1	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8
Від 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1	1
	0,3	1,2	1,65	1,1	1,1	1,1	1
	1	2	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3
Більше 3,5	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,3	1,25	1,2
	0,6	2	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4
	0,8	3,6	3,1	2,4	2,3	2	1,55
	0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9
	1,0	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4
	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,95

Продовження таблиці А.1

	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2
	0,4	2,4	2,1	1,6	1,6	1,4	1,3
	0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	1,5
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8
	0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4
	0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3
	1,0	10	7,3	5,7	5	4,1	3,5

Таблиця А.2 – Значення світлової характеристики  $\eta_0$  світлових прорізів при бічному освітленні

Відношення довжини приміщення до його глибини	Значення світлової характеристики $\eta_0$ при відношенні глибини приміщення до його висоти від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 і більше	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	6	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,35	15	17	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	—