

РЕФЕРАТ

Дана кваліфікаційна робота магістра містить у собі: 81 сторінку, 19 рисунків, 14 таблиць, 37 використаних першоджерел, __ листів креслень формату А1 (слайдів).

Об'єкт дослідження – автономні енергосистеми на базі відновлюваних джерел енергії.

Предмет дослідження – процеси підвищення ефективності системи акумулювання електричної енергії від ВДЕ.

Мета роботи – розробка енергосистем на основі ВДЕ з максимальною ефективності акумулювання електричної енергії.

Наукова новизна роботи:

1. Створено математичну модель та запропоновано методику розрахунку енергосистем на базі ВДЕ для роботи в режимі віддачі максимальної потужності.

2. Розроблено методику для визначення ємності акумуляторної батареї в енергосистемі на основі ВЕУ.

У роботі вирішено наступні основні задачі:

1. Розроблено пристрій оптимального узгодження фотобатареї і акумулятора.

2. Розроблено пристрій автоматичного управління зарядом акумулятора.

Ключові слова: енергія вітру, енергія сонця, акумулювання, автономна енергетична система, відновлювані джерела енергії.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні	9
1.2 Типи автономних енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії	17
1.3 Акумуляторні батареї в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії.....	23
1.4 Типи і характеристики акумуляторних батарей	25
Висновки до розділу 1	28
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	29
2.1 Вітроелектроустановки в енергосистемах на основі ВДЕ.....	29
2.2 Фотоперетворювачі в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії.....	35
2.3 Математична модель роботи фотоперетворювача в системі сонячний фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор.....	36
2.4 Дослідження якості математичної моделі системи фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор	40
2.5 Експериментальна перевірка якості математичної моделі системи фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор	41
Висновки до розділу 2	43

	4
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	44
3.1 Визначення базової схеми системи підтримання фотобатареї в режимі віддачі максимальної потужності	44
3.2 Методика розрахунку пристрою для забезпечення заряду акумуляторної батареї від фотобатареї в режимі максимальної потужності	46
3.3 Експериментальне дослідження ефективності пристрою ПОУФБ-А.....	50
3.4 Підтримування системи фотобатарея – акумуляторна батарея в точці максимальної потужності у випадку частково затінених секцій фотобатареї	51
3.5 Пристрій для моделювання вольт-амперної характеристики фотобатареї фотоелектричних перетворювачів.....	52
3.6 Пристрої для підвищення ефективності систем акумуляування в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії.....	54
3.7 Визначення необхідної ємності системи акумуляування для автономних енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії	60
3.8 Методика оціночного розрахунку автономної енергосистеми з використанням вітроелектроустановок та систем акумуляування на основі електрохімічних акумуляторів.....	65
3.9 Оціночний розрахунок комплексної енергосистеми.....	66
Висновки до розділу 3	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
4.1 Безпека робіт при монтажі та експлуатації вітроустановок.....	69
4.2 Надзвичайні ситуації природного характеру	71

	5
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75
ДОДАТОК А. Програма для побудови гістограми закону розподілу ймовірності періодів відсутності вітру	79
ДОДАТОК Б. Приклад оціночного розрахунку енергосистеми на основі вітрогенераторів	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АБ	–	акумуляторна батарея
АЧХ	–	амплітудно-частотна характеристика
ВАХ	–	вольт-амперна характеристика
ВДЕ	–	відновлювані джерела енергії
ВЕУ	–	вітроелектроустановка
ВТ	–	вітротурбіна
ЗНО	–	засоби навігаційного обладнання
ККД	–	коефіцієнт корисної дії
ПАУЗА	–	прилад автоматичного управління зарядом акумулятора
ПВПЕ	–	періоди відсутності поступання енергії
ППН – 1	–	перетворювач постійної напруги першого роду
ППН – 2	–	перетворювач постійної напруги другого роду
ППН – 3	–	перетворювач постійної напруги третього роду
РС	–	розрахункова схема
ТО	–	технічний об'єкт
ТМП	–	точка максимальної потужності
ФБ	–	фотобатарея
ФЕС	–	фотоелектрична станція
ФЧХ	–	фазочастотна характеристика
ШІМ	–	широтно-імпульсна модуляція

ВСТУП

Актуальність теми. На кінець 20 століття людство почало усвідомлювати, що такі енергетичні ресурси, як природний газ, вугілля, нафта, ядерне паливо не є необмеженими і можуть в недалекому майбутньому бути вичерпані. Окрім цього, при використанні зазначених енергоносіїв виникають екологічні проблеми. Якщо такі тенденції будуть продовжуватися, то наслідки для людства можуть бути фатальними. Через це у в даний час приділяється увага відновлюваним джерелам енергії, особливо енергії вітру та сонячного випромінювання.

У зв'язку з тим, що в енергосистемах на основі ВДЕ малої та середньої потужності, призначених для забезпечення споживачів електроенергією, використовуються в основному електрохімічні акумулятори, ця робота присвячена визначенню принципів ефективного управління процесами акумуляування електричної енергії ВДЕ та вирішення проблеми забезпечення максимальної ефективності роботи таких автономних енергетичних систем.

Мета роботи – розробка енергосистем на основі ВДЕ з максимальною ефективністю акумуляування електричної енергії.

Поставлена мета вимагає розв'язання наступних задач:

- дослідження особливостей роботи фотопанелей з акумуляторними батареями;
- розробка рекомендацій щодо побудови оптимальної енергосистеми на основі відновлюваних джерел енергії.

Об'єкт дослідження – автономні енергосистеми на базі відновлюваних джерел енергії.

Предмет дослідження – процеси підвищення ефективності системи акумуляування електричної енергії від ВДЕ.

Методи дослідження: диференційне та операційне числення, теорія автоматичного регулювання, теорія ймовірностей, математична статистики.

Наукова новизна:

1. Створено математичну модель та запропоновано методику розрахунку енергосистем на базі ВДЕ для роботи в режимі віддачі максимальної потужності.
2. Розроблено методику для визначення ємності акумуляторної батареї в енергосистемі на основі ВЕУ.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено пристрій оптимального узгодження фотобатареї і акумулятора.
2. Розроблено пристрій автоматичного управління зарядом акумулятора.

Публікації. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи магістра доповідалися на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів ТНТУ імені Івана Пулюя «Актуальні задачі сучасних технологій» (25-26 листопада 2020 року, м. Тернопіль).

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні

Вперше серйозна увага була приділена ВДЕ після відомої енергетичної кризи 1973 року, коли ціна нафти збільшилась в чотири рази. В той час урядами багатьох країн були профінансовані роботи по дослідженню ВДЕ та розробці енергосистем на їх основі. В колишньому Радянському Союзі велика науково-дослідна та проектно-конструкторська робота велась в Київському політехнічному інституті, на базі якого для натурних досліджень енергосистем на основі ВДЕ був створений науково – дослідний полігон “Десна”. В роботі [3] проаналізовано досвід, набутий при експлуатації полігону і доведена доцільність комплексного використання ВДЕ в енергосистемах.

В Україні розвиток ВДЕ має державну підтримку [4-8]. Одним з головних документів, які сприяють розвиткові енергетики на основі ВДЕ є Програма державної підтримки розвитку ВДЕ та малої гідро- і теплоенергетики, розроблена при виконанні Указу Президента України від 2 квітня 1997 року № 285. Програма була затверджена постановою Кабінету Міністрів України №1505 від 31 грудня 1997 року.

Враховуючи досвід впровадження ВДЕ в Україні, світовий досвід та дані про потенціал нетрадиційних джерел енергії в Україні (табл. 1.1), в Програмі визначено такі основні напрями їх освоєння:

- вітроенергетика;
- сонячна енергетика;
- геотермальна енергетика;
- мала гідроенергетика;
- нетрадиційне паливо;
- енергія доквілля та скидний енерготехнологічний потенціал;
- мала теплоенергетика;

– комбіновані енергетичні системи на основі ВДЕ та системи акумулювання.

На кінець 2010 року в результаті реалізації заходів Програми заплановано загальну щорічну економію традиційних паливно-енергетичних ресурсів в розмірі 40 млн. тон умовного палива (до 10 % від їх загального споживання в Україні), що у вартісному еквіваленті дорівнює 26,3 млрд. гривень. До 2010 року загальна економія склала 190,55 млн. т у. п. (табл. 1.2).

Таблиця 1.1 – Потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні

Напрямок програми	Потенціал, млрд. кВтгод/рік					
	Загальний		Технічний		Доцільно-економічний	
	млрд кВтгод	млн т у.п.	млрд кВтгод	млн т у.п.	млрд кВтгод	млн т у.п.
Вітроенергетика	270,0	97,2	30,0	10,8	3,8	1,2
Сонячна енергетика	720 000,0	88 400,0	3 460,0	720,0	5,4	0,9
Геотермальна енергетика	438,0	50,0	262,8	30,0	180,0	21,0
Мала гідроенергетика	12,5	4,5	8,3	3,0	3,7	1,3
Нетрадиційне паливо	165,2	20,3	165,2	20,3	165,2	20,3
Енергія довкілля та скидний енерго – технол. потенціал	2806,7	421,2	1135,0	170,4	95,3	14,5
Мала теплоенергетика	300,0	40,3	215,0	29,0	300,0	40,5
Всього	723992,4	89033,7	5276,3	983,5	754,4	99,7

Поетапна реалізація Програми до 2010 року дала можливість не тільки забезпечити економію традиційних паливно-енергетичних ресурсів, але одночасно сприяла поліпшенню екологічної ситуації та вирішенню соціальних питань.

Таблиця 1.2 – Загальна економія паливно-енергетичних ресурсів

Напрямок нетрадиційної енергетики	Економія палива, млн. т у.п.		
	1998-2000	2001-2001	2006-2010
Вітроенергетика	0,02	0,78	3,41
Сонячна енергетика	0,05	0,39	1,03
Геотермальна енергетика	0,26	6,5	22,75
Мала гідроенергетика	0,08	4,73	12,08
Нетрадиційне паливо	4,72	25,44	55,34
Енергія довкілля та скидний енерготехнологічний потенціал	0,24	2,74	5,46
Мала теплоенергетика	–	11,85	31,6
Комбіновані енергосистеми на основі НВДЕ та системи акумулювання	0,01	0,11	0,96
Всього	5,38	52,54	132,63

Україна має великий потенціал відновлюваних джерел енергії. Ресурси вітрової енергії, що надходять на територію України, щонайменше в декілька разів більше тієї кількості енергії, що генерується всіма електростанціями країни. Енергія вітру розподілена по території України нерівномірно. На півночі України на одній і тій же висоті енергетичний потенціал в 2,5 – 3 рази менший ніж на півдні. Ріст енергетичного потенціалу вітру спостерігається до висот 60 – 100 м,

а потім інтенсивність його росту сповільнюється. До найбільш сприятливих регіонів для промислового використання енергії вітру у великих обсягах відносяться Одеська, Миколаївська, Херсонська, Луганська, Кіровоградська області, південний схід Полтавської області, а також Крим та Карпати. Очікувані річні обсяги виробництва електроенергії з 1 м² площі вітроколеса в перспективних районах складають 800 – 1000 кВт/м²рік. В табл. 1.3 приведено прогноз розвитку вітроенергетики в Україні до 2030 року, а в табл. 1.4 – показники діючих в Україні ВЕС.

Таблиця 1.3 – Прогноз розвитку вітроенергетики в Україні

Рік	Встановлена потужність, МВт	Частка загального енергоспоживання, %
2005	2 000	2–3
2010	7 000	5
2020	51 000	8
2030	100 000	10

За кліматичними умовами Україна належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації. В табл. 1.5 приведено дані по потенціалу сонячної енергії для різних областей. З приведених даних видно, що зміни енергопотенціалу зі зміною географічної широти досить невеликі, і це дає можливість стверджувати, що розвиток фотоенергетики є перспективним для всієї території України [9-10].

В табл. 1.6 приведено дані по середньорічному споживанню електроенергії для кожної області України і підраховано, яку частку необхідної електроенергії можна отримати, використовуючи наявний доцільно-економічний потенціал сонячної енергії.

Таблиця 1.4 – Показники діючих в Україні ВЕС

Назва ВЕС	Розташування	Фактична потужність, МВт	Рік побудови першої черги
Асканійська ВЕС	–	0,8	–
Берегова ВЕС	Лазурне	12	2014
Ботієвська ВЕС	Приморський Посад	200	2012
Керченська ВЕС	–	25	2012
Каланчацька ВЕС	Каланчацький район	0	будується
Дмитрівська ВЕС	Дмитрівка	35	2011
Донузлавська ВЕС	Новоозерне	17,2	1992
Дніпро-Бузька ВЕС	Білозерський район	110	–
Краснодонська ВЕС	Краснодонський р-н	25	2013
Сакська ВЕС	Криловка	20,8	2004
Лутугинська ВЕС	Лутугіне	25	2013
Новоазовська ВЕС	Безіменне	79,3	1998
Останинська ВЕС	Зелений Яр	25	2011
Очаківська ВЕС	Дмитрівка	37,5	2012
Орлівська ВЕС	–	100	будується
Овер'янівська ВЕС	Овер'янівка	14,4	2019
Приморська ВЕС	–	200	будується
Прісноводненська ВЕС	Новомиколаївка	7,39	–
Сиваська ВЕС	Першокостянтинівка	2,3	2011
Судацька ВЕС	мис Меганом	6,3	2002
Східницька ВЕС	Східниця	0,8	1997
Східнокримська ВЕС	Арабатська стрілка	2,8	–
ВЕС Старий Самбір-1	Старий Самбір	13,2	2015
ВЕС Старий Самбір-2	Старий Самбір	20,7	2017
Тарханкутська ВЕС	Новосільське	20,7	2001
Тузлівська ВЕС	Тузли	12,5	2012
Чаплинська ВЕС	Чаплинського район	–	будується

З приведених в таблиці даних можна зробити висновок, що в багатьох областях України, за винятком тих, де зосереджена енергомістка важка промисловість, використання наявного доцільно-економічного потенціалу дозволить задовольнити суттєву частину енергетичних потреб. В цілому, доцільно-економічного потенціалу сонячної енергії вистачить для повного забезпечення електроенергією сільського господарства України (частка сільського господарства в енергоспоживанні становила на 2010 рік 3,2 %, тоді як доцільно економічний потенціал сонячної енергії складає 3,21 % річного енергоспоживання).

Статистичні дані свідчать, що середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м² поверхні, становить: від 1070 кВтгод/м² у північній частині України, до 1400 кВтгод/м² в Криму. Враховуючи, що ККД сучасних серійних фотобатарей становить $\approx 16\%$, то середня кількість електроенергії, яку можна зняти з 1 м² за рік становить: від 150 кВтгод/м² для півночі України до 195 кВтгод/м² для Криму. Якщо прийняти, що потреби в електроенергії середньостатистичної родини в Україні становлять 1000–1200 кВтгод/рік, то фотобатарей площею 6–8 м² для півночі України та 5–6 м² для півдня України вистачить для забезпечення середньостатистичної родини електроенергією.

Стримує розвиток сонячної фотоенергетики декілька факторів. Найсуттєвіший з них – висока на сьогоднішній день вартість 1 Вт встановленої потужності, що в умовах України призводить до великого терміну окупності капіталовкладень. В багатьох країнах світу в даний час ведуться роботи по зниженню собівартості фотобатарей та покращенню їх енергетичних характеристик. З цією метою ведуться дослідження по використанню нових матеріалів, наприклад аморфного кремнію, селенідів і фосфідів, хоча низькі енергетичні параметри та нестабільність характеристик не дозволяють їм поки що конкурувати з фотобатарейми з полі- та монокристалічного кремнію.

Таблиця 1.5 – Потенціал сонячної енергії на території України

Область	Потенціал, млрд. кВтгод		
	Загальний	Технічний	Доцільно-економічний
Закарпатська	15500	75	0,12
Львівська	25400	122	0,19
Івано-Франківська	16400	79	0,12
Чернівецька	9600	46	0,07
Волинська	21800	105	0,16
Рівненська	21800	105	0,16
Хмельницька	24300	116	0,18
Житомирська	32300	155	0,24
Вінницька	30800	148	0,23
Одеська	45400	218	0,34
Миколаївська	32500	156	0,24
Кіровоградська	28800	138	0,23
Черкаська	24200	116	0,18
Київська	31500	155	0,24
Чернігівська	34200	164	0,26
Полтавська	31900	153	0,24
Дніпропетровська	37600	180	0,28
Запорізька	34800	167	0,26
Донецька	33000	158	0,25
Харківська	35400	170	0,27
Сумська	26000	125	0,2
Луганська	34000	163	0,26
Тернопільська	16300	78	0,12
АРК	36500	175	0,27
ВСЬОГО	718400	3451	5,38

Таблиця 1.6 – Частка доцільно-економічного потенціалу по відношенню до середньорічного споживання енергії в Україні

Область	Середньорічне споживання електроенергії Q_s , млрд. кВтгод	Доцільно-економічний потенціал сонячної енергії Q_c , млрд. кВтгод	Q_c/Q_s , %
Закарпатська	1,55	0,12	7,7
Львівська	3,92	0,19	4,8
Івано-Франківська	1,7	0,12	7,0
Чернівецька	1,45	0,07	4,8
Волинська	1,4	0,16	11,4
Рівненська	2,25	0,16	7,1
Хмельницька	1,82	0,18	9,8
Житомирська	2,28	0,24	10,5
Вінницька	3,45	0,23	6,6
Одеська	6,9	0,34	4,9
Миколаївська	3,24	0,24	7,4
Кіровоградська	2,47	0,23	9,3
Черкаська	3,19	0,18	5,6
Київська	4,08	0,24	5,8
Полтавська	3,1	0,24	7,7
Дніпропетровська	37,5	0,28	0,74
Запорізька	12,1	0,26	2,1
Донецька	33,3	0,25	0,07
Харківська	7,28	0,27	3,7
Сумська	1,47	0,2	13,5
Луганська	22,2	0,26	1,1
Херсонська	3,08	0,29	9,4
Тернопільська	1,3	0,12	9,2
АРК	5,46	0,27	4,9
ВСЬОГО	168,21	5,38	3,21

Другий стримуючий фактор – низький ККД фотоперетворювачів, які виробляються серійно. Інтенсивна науково – дослідна робота ведеться і в цьому напрямку [11-14].

Тривають дослідження в галузі пошуку нових матеріалів, використання яких дозволило б підвищити ККД фотобатарей. В роботі [15] відмічається перспективність використання арсеніду галія (GaAs), який має дещо кращі енергетичні параметри, ніж кремній, високу термостабільність і радіаційну стійкість.

Кардинальне збільшення ККД фотобатарей можливо при застосуванні багатоперехідних і каскадних фотоперетворювачів, а також при застосуванні концентраторів сонячного випромінювання. В табл. 1.7 приведено характеристики різних типів фотоперетворювачів, в табл. 1.8 – параметри фотобатарей, що виробляються серійно.

Використання наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії в повному обсязі дозволить значно покращити екологічну ситуацію, сприятиме створенню нових робочих місць, зайнятості висококваліфікованого персоналу, економічній незалежності України.

1.2 Типи автономних енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії

Для забезпечення електроенергією споживачів, які не мають централізованого енергопостачання, доцільно побудувати автономну енергосистему на основі ВДЕ. Енергосистеми на основі ВДЕ використовують потоки енергії, які існують в навколишньому середовищі, і при наявності системи акумулювання достатньої ємності можуть забезпечити практично безперервне енергопостачання на необмежений час (реально на час, порівняний з строком служби елементів, які входять до складу енергосистеми).

Таблиця 1.7 – Характеристики фотобатарей

Тип ФЕП	Матеріал ФЕП	Площа ФЕП, см ²	ККД,% AM0,+25°C	Примітки	
Планарні	Si - звичайний	64	14,6	Каскадні	
	Si – перспективний	4	20,8		
	GaAs	4	21,8		
	InP	4	19,9		
	GaInP/GaAs/Ge	4	26,9		
	Al/GaAs/GaAs	0,5	23,0		
	Al/GaAs/GaAs/InGaAsP	0,5	25,2		
Концен- траторні	Ga/As	0,07	24,6	K=100	Кас- кад- ні
	GaInP/GaAs	0,25	26,4	K=50	
	GaAs/GaSb	0,05	30,5	K=100	
Тонко- плівочні	Si (аморфний)	0,5	12,0	Лабораторні зразки	
	CuIn/GaAs	–	14,2		
	CdTe	–	12,9		

Враховуючи вищенаведене, можна стверджувати, що енергосистеми на основі ВДЕ повинні відповідати деяким основним вимогам. Очевидно, що:

1. Система акумулювання повинна забезпечувати споживачів енергією в періоди її відсутності, для цього необхідно визначити її ємність, виходячи з кліматичних умов місцевості, де буде працювати енергосистема.

2. В періоди поступлення енергії енергосистема повинна, окрім живлення споживачів, забезпечити накопичення енергії в системі акумулювання в об'ємі, достатньому для випадку відсутності поступлення енергії.

3. У випадку відсутності поступлення енергії енергопостачання здійснювати лише для тих об'єктів, що мають максимальний пріоритет.

4. Управління енергосистемою повинно бути автоматизовано і

здійснюватися таким чином, щоб найефективніше використовувати енергію ВДЕ.

Таблиця 1.8 – Сонячні модулі

Тип	Найменування	Ціна 1 Вт, євро	Номінальні параметри одного модуля			Ціна одного модуля, \$, євро
			Потуж- ність, Вт	Напруга холостого ходу, В	Струм короткого замикання, А	
T20	Siemens, тонкоплівочні	15,65	20,0	16,5	1,2	313
M24	Siemens, моно- кристалічні	21,80	24,0	16,2	1,5	523
M55	Siemens, моно- кристалічні	13,33	55,0	17,5	3,0	733
SA2/12	Solarex, тонкоплівочні	48,50	2,0	14,5	0,15	97
VLX- 32	Solarex, полі- кристалічні	16,35	32,0	17,0	1,88	523

Існують різні схеми побудови автономних енергосистем на основі відновлюваних джерел. Комплектація енергосистем тими чи іншими джерелами енергії повинна проводитись на основі аналізу місцевих кліматичних умов. Розглянемо деякі основні схеми побудови енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії.

1. Енергосистема на основі вітроустановок (рис. 1.1).

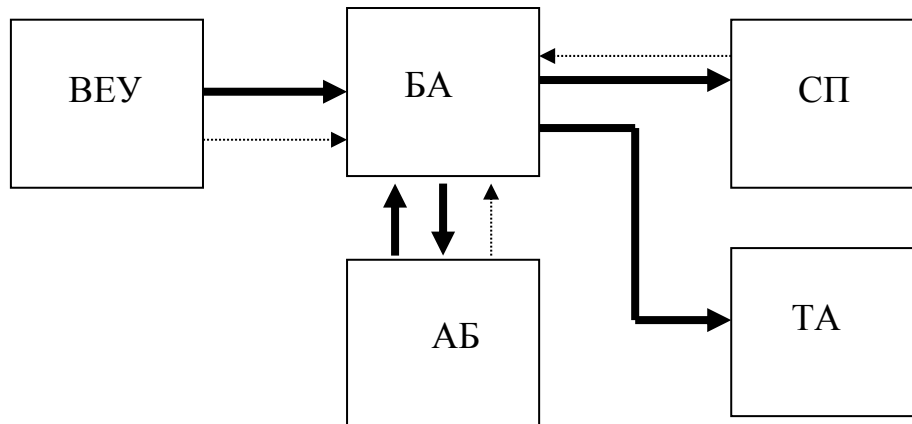


Рисунок 1.1 – Автономна енергосистема на основі ВЕУ

ВЕУ – вітроелектроустановка, БА – блок автоматики, АБ – акумуляторна батарея, СП – споживач, ТА – тепловий акумулятор

—————> - потоки енергії,
> - потоки інформації

Алгоритм функціонування системи наступний: при наявності достатнього для генерації електроенергії вітру ВЕУ генерує електроенергію, яка поступає в блок автоматики (БА). БА проводить контроль стану споживача і акумуляторної батареї, здійснює за необхідності стабілізацію напруги, яка живить споживача і забезпечує заряд акумуляторної батареї. В залежності від умов роботи енергосистеми може бути реалізовано режим заряд – розряд, або режим постійного підзаряду. БА здійснює захист АБ від перезаряду та перерозряду. БА підключає споживача, напряму чи через інвертор, до акумуляторної батареї, а також здійснює захист АБ від короткого замикання в колі споживача. Якщо споживач не потребує енергії, а АБ заряджена, електроенергія, що генерується ВЕС, перетворюється в теплову та запасується в тепловому акумуляторі (ТА).

2. Енергосистема на основі фотобатарей (рис. 1.2).

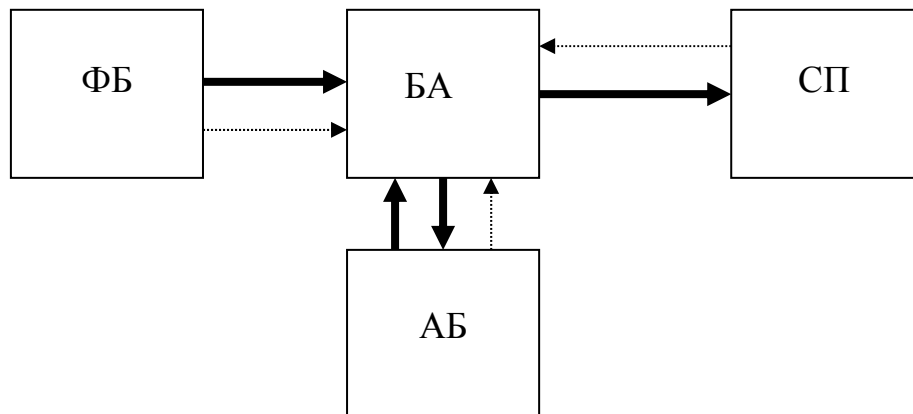


Рисунок 1.2 – Енергосистема на основі фотобатарей

ФБ – фотобатарея, БА – блок автоматики,

АБ – акумуляторна батарея, СП – споживач

—————> - потоки енергії,

.....> - потоки інформації

Енергосистеми на основі вітроустановок ефективні в районах, які мають хороші вітрові умови, де середня швидкість вітру перевищує 4,5 – 5 м/с. В Україні такі умови існують в Карпатах, в Криму, на Чорноморському узбережжі, у південно-східних областях,. На решті території вітроустановки доцільно використовувати для виробництва механічної роботи.

3. Комбінована енергосистема (рис. 1.3).

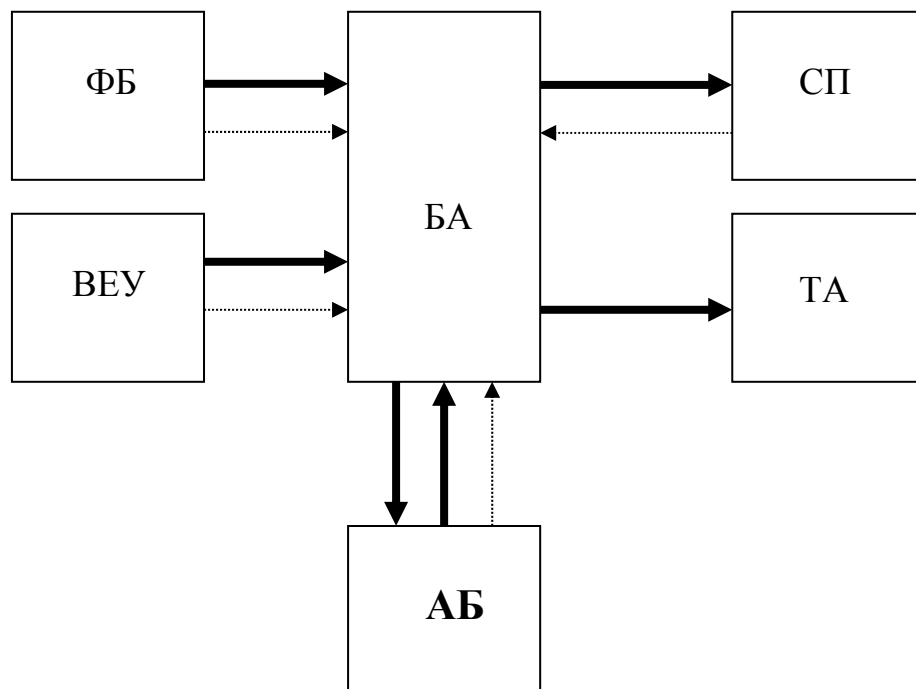


Рисунок 1.3 – Комбінована енергосистема:

ФБ – фотобатарея, АБ – акумуляторна батарея, СП – споживач,

БА – блок автоматики, ТА – тепловий акумулятор,

ВЕУ – вітроелектроустановка

—————> - потоки енергії,

.....> - потоки інформації

Система функціонує наступним чином: БА стабілізує напругу, що поступає від ФБ для живлення споживача, а також забезпечує режим віддачі максимальної потужності при заряді АБ. Як і в енергосистемі з вітроустановками, БА запобігає перезаряду і перерозряду АБ, забезпечує режими роботи АБ – постійного підзаряду, або заряд – розряд. В даному випадку наявність ТА не є обов'язковою, через те, що режим холостого ходу ФБ, на відміну від вітроустановок є допустимим.

Енергосистеми на основі фотобатарей можуть використовувати на всій території України. Основний їх недолік – висока вартість фотобатарей, що стримує розвиток енергосистем середньої та великої потужності. В комбінованій енергосистемі використано комплексний підхід у використанні енергії відновлюваних джерел, що дає змогу зменшити ємність акумуляторної батареї. Зменшення ємності акумуляторної батареї можливо завдяки тому, що надходження енергії від вітроустановки та фотобатарей найчастіше несинхронне і таким чином відбувається часткова компенсація нестабільності енергопостачання.

Енергосистема функціонує наступним чином: БА проводить аналіз стану джерел енергії і споживача, здійснює стабілізацію напруги для живлення споживача, забезпечує максимально ефективні режими роботи акумуляторної батареї. Призначення решти елементів схеми аналогічне описаному вище.

1.3 Акумуляторні батареї в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії

Відновлювані джерела енергії відносяться до нестационарних джерел. Зміна енергопотенціалу цих джерел має періодичну та випадкову складові, які залежать від часу, погодних умов та пори року, причому спостерігається певна компенсація надходження енергії відновлюваних джерел. На рис. 1.4 приведено графіки зміни надходження сонячної енергії та енергії вітру для району басейну ріки Десни. З цих графіків видно, що в періоди зменшення надходження сонячної радіації вітрова енергія максимальна. Виходячи з цього, при проектуванні автономних енергосистем для покращення енергозабезпечення споживачів доцільно орієнтуватись на комплексне використання відновлюваних енергоджерел.

Належить зважати на те, що хоча середньорічне сумарне надходження сонячної та вітрової енергії досить стабільне, це не виключає можливості відносно короткотривалих перебоїв в енергопостачанні (до декількох днів). Тому, для стабільного енергопостачання, а зокрема електропостачання

споживачів в енергосистемі на основі відновлюваних джерел, необхідним є використання системи акумулювання енергії. В системах електроживлення на основі відновлюваних джерел невеликої (до 10 кВт) потужності використовуються в основному електрохімічні акумулятори. Використання електрохімічних акумуляторів не тільки дозволяє забезпечити стабільне електропостачання, але також підвищує коефіцієнт використання відновлюваних джерел за рахунок накопичення надлишкової та низькопотенційної енергії з подальшою передачею її споживачеві. Таким чином, від ефективної роботи системи акумулювання залежить ефективність енергосистеми в цілому.

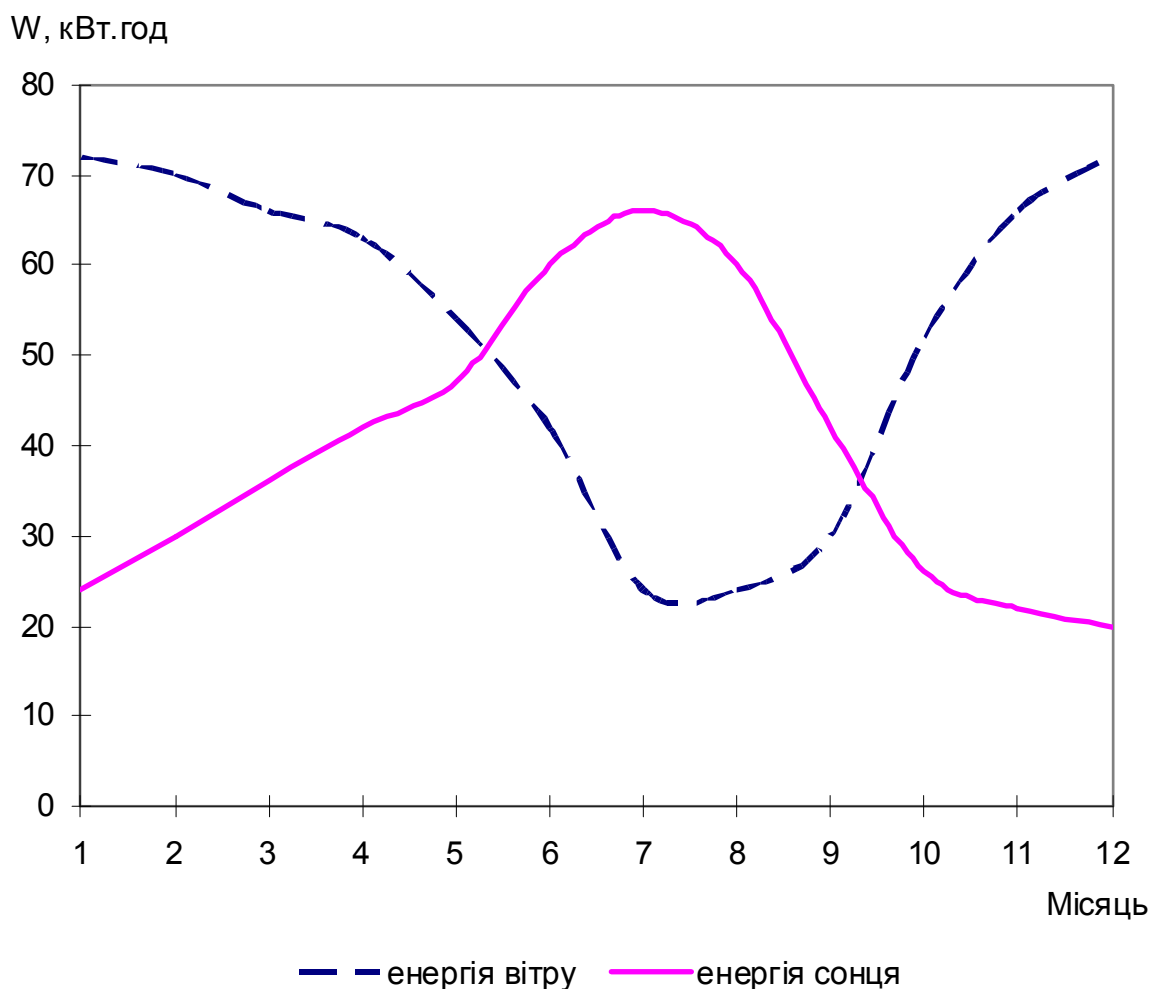


Рисунок 1.4 – Річний хід зміни енергії сонця і вітру

1.4 Типи і характеристики акумуляторних батарей

Свинцево – кислотні акумулятори

Свинцево – кислотні акумулятори історично являються традиційним електрохімічним джерелом енергії. Напруга на зажимах одного елемента свинцево – кислотного акумулятора складає 2 В. Питома енергія АБ, що серійно випускаються, складає 30 – 35 Втгод/кг (теоретичне значення – 170 Втгод/кг) Термін служби – 400 – 600 зарядно-розрядних циклів. Існує інформація про перспективні дослідні зразки, для яких досягнута питома енергія 45 – 55 Втгод/кг, кількість зарядно-розрядних циклів становить 600 – 1200. Свинцево – кислотні батареї характеризуються відносно малим саморозрядом – 0,1 – 0,5% за добу.

Через відносну дешевизну та непогані експлуатаційні властивості свинцево – кислотні акумулятори широко використовуються в енергосистемах на основі ВДЕ.

Нікель – цинкові акумулятори

Порівняно з свинцево – кислотними акумуляторами нікель – цинкові акумулятори мають малий внутрішній опір, номінальне значення напруги складає 1,6 В, питома енергія – 40-90 Втгод/кг (граничне теоретичне значення складає 370 Втгод/кг). Кількість зарядно-розрядних циклів – 300 – 350. Батарея не боїться глибоких перерозрядів, не містить високотоксичних матеріалів. До недоліків акумуляторів цієї системи можна віднести те, що вони вимагають трудомісткого обслуговування – контроль кінцевої зарядної напруги, обов'язковий дорозряд до 0 В через кожні 5 – 6 циклів, контроль кожного елемента на переполюсовку, та той факт, що батарея недопускає часткового циклування, тобто неповного розряду з наступним дозарядом.

Нікель – залізні акумулятори

Система нікель – залізо забезпечує напругу 1,2 В, має питому енергію

40 – 50 Втгод/кг. Нікель-залізні акумулятори відзначаються надзвичайно великим ресурсом – 1500 – 2000 циклів, безпечні в експлуатації, не містять токсичних компонентів, відзначаються відносною простотою обслуговування.

Однак, широкому впровадженню акумуляторів цього типу, не зважаючи на їх позитивні властивості, заважають чотири принципових недоліки:

1. Залежність ємності залізного електроду від величини розрядного струму та температури електроліту, що обумовлено підвищеною розчинністю заліза в КОН.
2. Підвищений питомий опір Fe_2O_3 відносно FeO . Цей факт обумовлює обмеження розряду системи Ni-Fe на рівні 1,1 В для запобігання появі небажаних модифікацій окислів заліза.
3. Підвищений саморозряд.
4. Низьке використання теоретичної ємності залізного електроду (не перевищує 20 % на початковому етапі експлуатації).

Нікель – кадмієві акумулятори

Система Ni-Cd забезпечує напругу 1,2 В, має питому енергію, яка вдвічі перевищує питому енергію свинцево – кислотних батарей (55 – 80 Втгод/кг), має найбільший строк служби – 1500 – 2000 і більше циклів. Система Ni-Cd характеризується невеликим саморозрядом.

До недоліків цих акумуляторів можна віднести той факт, що вони утворюють проблему утилізації токсичного кадмію, а також велику вартість.

В табл. 1.9 приведена інформація про основні характеристики описаних вище та деяких інших типів акумуляторів.

В даний час, не зважаючи на велику кількість типів акумуляторів, в енергосистемах на основі ВДЕ використовуються здебільшого свинцево – кислотні та лужні нікель – кадмієві та нікель – залізні акумулятори. В зв'язку з цим в подальшому будуть розглядатися лише ці типи акумуляторів.

Таблиця 1.9 – Характеристики акумуляторів

Тип джерела струму	Питома енергія, Вт год/кг	Питома потужність, Вт/кг	Робоча температура, °С	Кількість заряд-розрядних циклів	Вартість по відношенню до свинцевих
Свинцево-кислотні	35	100	Оточуюче середовище (ОС)	600	1
Герметичні свинцево-кислотні	40	160	ОС	500	2,5
Свинцево-водневі	60	120	ОС	1500	3
Нікель-кадмієві	80	300	ОС	1700	4
Нікель-залізні	50	100	ОС	2000	2
Нікель-цинкові	70	200	ОС	150	10
Нікель-гідрид металічні	80	170	ОС	1500	–
Цинк-хлорні	60	120	ОС	350	–
Натрій-нікель-хлоридні	100	150	300	1000	–
Літій-залізо-сульфідні	100	180	450	1000	4
Літій-алюмінієві	175	–	450	1000	–

Висновки до розділу 1

Незважаючи на досить велику кількість робіт, присвячених проблемі підвищення ефективності енергосистем на основі ВДЕ, ця проблема не втрачає своєї актуальності, особливо для автономних енергосистем, де від забезпечення оптимальної роботи джерел енергії залежить якість енергозабезпечення споживачів. В енергосистемах на основі ВЕУ способи управління частотою обертів вітроустановок не забезпечують максимальну ефективність використання енергії вітру. При управлінні частотою обертів шляхом зміни кута установки лопаті не повністю використовується енергія вітрового потоку – при управлінні зміною навантаження (комутація споживачів або підключення резистивного баласту) в першому випадку існують перебої в електропостачанні деяких споживачів, а в другому – має місце нераціональне використання електричної енергії (перетворення її в теплову).

В енергосистемах з використанням ФБ, пристрої, які забезпечують відбір від ФБ максимальної потужності, якщо вони використовуються, мають суттєві недоліки. Так, алгоритм знаходження ТМП фотобатарей має наступні недоліки: складність реалізації (апаратної та програмної), невизначеність оптимальної частоти контролю параметрів фотобатарей, яка повинна залежати від змін освітленості. Зміни освітленості, окрім періодичної добової складової, мають складову стохастичну, пов'язану зі зміною атмосферних умов. Не існує також методик розрахунку необхідної ємності акумулюючих систем для автономних енергосистем на основі ВДЕ.

Невизначеність мінімально необхідної ємності акумулюючої системи може призвести до неякісного енергопостачання споживачів у випадку заниження ємності (перебої в енергопостачанні), або до значного підвищення вартості енергосистеми, у випадку завищення необхідної ємності.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вітроелектроустановки в енергосистемах на основі ВДЕ

Вітроелектроустановки в автономних енергосистемах на базі відновлюваних джерел енергії набули широкого використання. Відносна частина встановленої потужності, що припадає на ВЕУ, у кілька разів перевищує відносну частину встановленої потужності, що припадає на фотобатарею. Вартість 1 Вт встановленої потужності для ВЕУ складає 1 – 1,5 \$/Вт, для фотобатарей – 4,5 – 5 \$/Вт.

У тропічному поясі при максимальній енергії, яка надходить на 1 м² земної поверхні у вигляді сонячного випромінювання (1000 Вт/м²) та ККД фотоелементів 15 – 18 %, максимальна потужність, яку можна зняти з 1 м² сонячної батареї складає 130 – 140 Вт.

Потужність, яку можна отримати з 1 м² вітроколеса

$$P = C_p \cdot \frac{\rho \cdot v^3}{2}, \quad (2.1)$$

де C_p – коефіцієнт потужності (ефективність використання вітроколесом вітрового потоку);

ρ – густина повітря;

v – швидкість вітру.

На рис. 2.1 зображено автономну систему енергоживлення, яка складається з вітроустановки змінного струму, від якої живляться споживачі за наявності вітру, та акумуляторної батареї й інвертора, від яких споживачі живляться під час відсутності вітру. Для підтримки постійної частоти обертання вітроколеса використовують додаткове резистивне навантаження, під'єднане паралельно споживачеві.

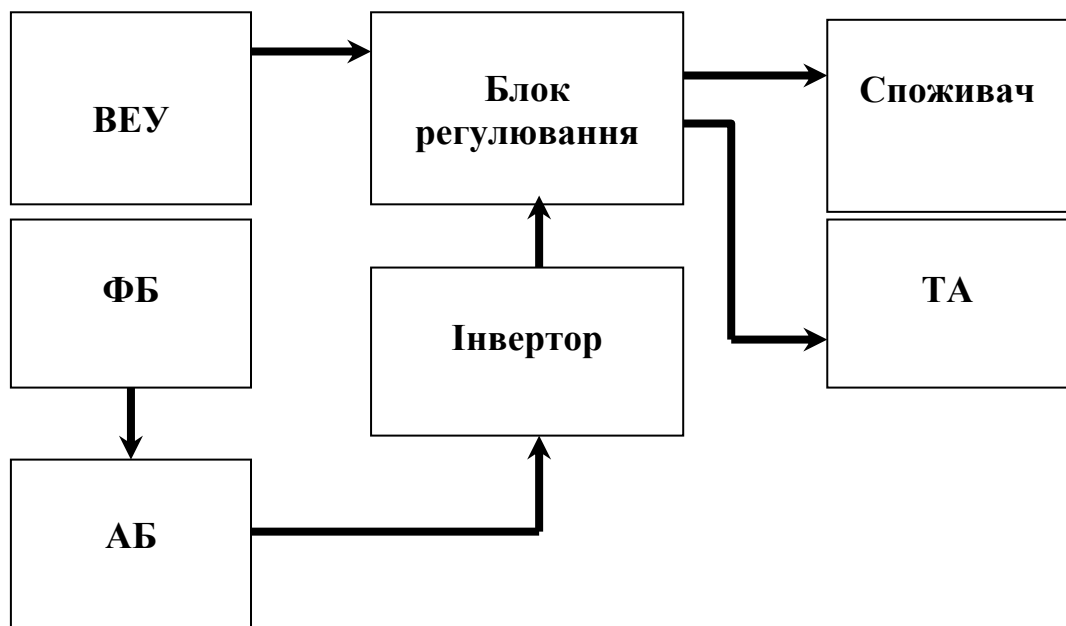


Рисунок 2.1 – Система на основі вітрової електроустановки змінного струму
 ФБ – фотобатарея, ТА – тепловий акумулятор, АБ – акумуляторна батарея

Для збільшення коефіцієнту використання вітрової енергії, додаткове резистивне навантаження можна замінити акумуляторною батареєю, струм заряду якої регулюватиметься таким чином, щоб $P_a + P_l = P_\omega$, де P_a – потужність, яка надходить до акумулятора; P_l – потужність, яка надходить до споживача; P_ω – потужність на валу вітрогенератора, при якій забезпечується номінальна частота обертів вітрогенератора. На рис. 2.2 приведена механічна характеристика експериментального вітроустановки з 6 лопатями профілю NASA – 230 і діаметром вітроколеса 15,3 м.

З цього графіку видно, що при постійній швидкості вітру та куті атаки лопаті між моментом на валу вітроколеса та частотою обертів існує однозначний зв'язок, тобто, регулюючи момент навантаження при постійній потужності, що споживається, можна регулювати частоту обертів.

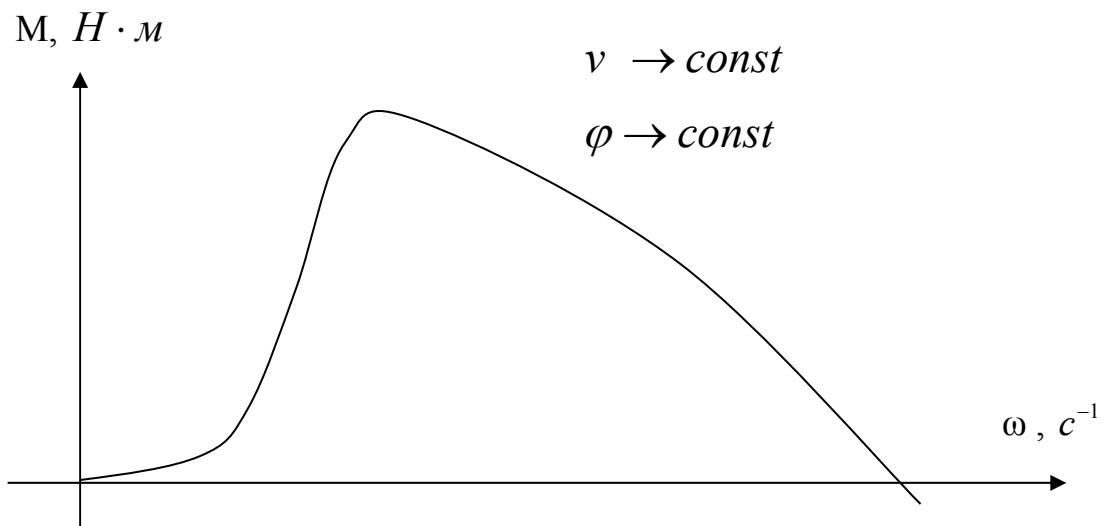


Рисунок 2.2 – Механічна характеристика експериментальної вітротурбіни
 v – швидкість вітру, φ – кут установки лопаті

Структурна схема системи регулювання частоти обертів вітрогенератора, що пропонується, представлена на рис. 2.3, зокрема:

U_{em} – напруга для номінальної частоти обертів ВТ;

K_y – коефіцієнт неузгодження з підсиленням;

K_{cy} – коефіцієнт передачі системи управління пристроєм зарядного струму;

K_{psc} – коефіцієнт зарядного струму;

$\Omega = f(R, V)$ – об'єкт регулювання (ВТ) з вищезначеною передаточною характеристикою;

$1/pT_1+1$ – аперіодична ланка, за допомогою якої враховано інерційність вітроколеса;

T_1 – постійна часу вітроколеса;

K_d/pT_2+1 – перетворювач частота – напруга з даною передаточною характеристикою.

Принцип дії системи наступний: при зміні швидкості вітру V або величини навантаження R відбувається зміна частоти обертів вітроколеса, що спричиняє зміну напруги на виході перетворювача частота – напруга. Через зміну напруги на виході перетворювача частота – напруга з'являється напруга

на вході підсилювача сигналу неузгодження, полярність якої залежить від знаку приросту частоти обертання. Підсилена напруга з виходу підсилювача подається на систему управління РЗС, яка формує такий сигнал управління РЗС, щоб приріст потужності, яка йде до акумуляторної батареї, здійснював стабілізуючий вплив на частоту обертів вітроколеса.

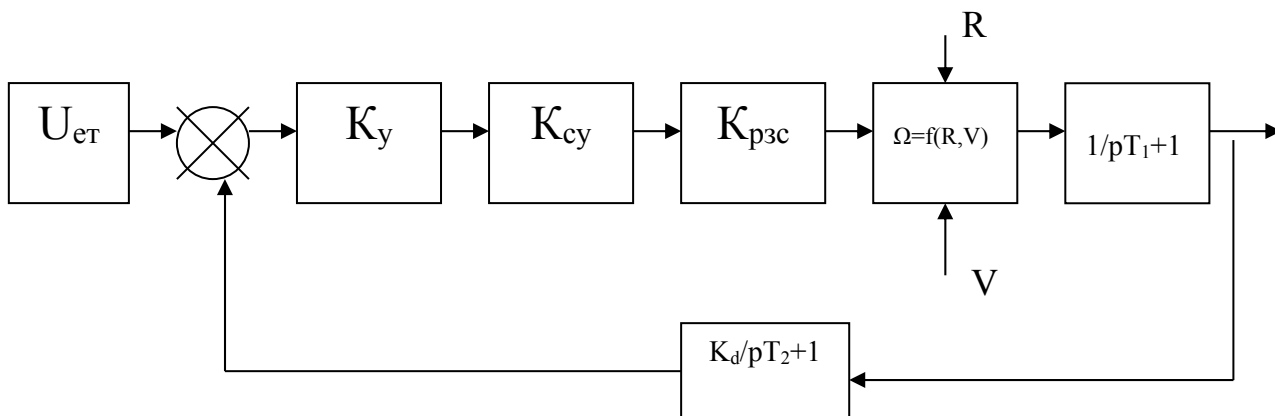


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи регулювання частоти обертів ВТ

Передаточна функція системи регулювання:

$$K = \frac{\omega}{U_{em}} = \frac{K_{\Sigma} \cdot (p \cdot T_2 + 1)}{(p \cdot T_2 + 1) \cdot (p \cdot T_1 + 1) + K_d \cdot K_{\Sigma}},$$

де K_{Σ} – коефіцієнт передачі, $K_{\Sigma} = K_y \cdot K_{cy} \cdot K_{pzc} \cdot K_{(r)}$;

$K_{(r)}$ – коефіцієнт при розкладі функції $\omega = f(R, V)$ в ряд Тейлора (малі збурення);

T_1, T_2 – константи часу вітроколеса та перетворювача частота – напруга відповідно.

Характеристичне рівняння системи:

$$a_0 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_2 = 0,$$

де $a_0 = T_1 \cdot T_2$, $a_1 = T_1 + T_2$, $a_2 = K_d \cdot K_{\Sigma}$.

Характеристичне рівняння є рівнянням другого порядку, тобто для виконання умови стійкості системи необхідно і достатньо того, щоб коефіцієнти характеристичного рівняння були більше 0. В даному випадку ця умова виконується.

Запропонована вище система автоматичного регулювання частоти обертів вітроколеса відзначається порівняльною простотою, але має декілька суттєвих недоліків. Один з найважливіших – значний час перехідних процесів, що може спричинити небезпечні для споживачів коливання напруги, яка є одною з головних експлуатаційних характеристик ВЕУ. Великий час перехідних процесів обумовлений значною інерційністю вітроколеса, внаслідок чого його постійна часу досить велика (від одиниць у відносно малопотужних до десятків секунд у потужних ВТ). Також пропонується в регуляторах частоти обертання вітроколеса реалізувати принцип комбінованого управління, тобто ввести в систему регулювання сигнал по збурюючому фактору, щоб регулятор реагував на збурюючий фактор до початку регулювання по відхиленню частоти обертів вітроколеса від номінальних. В схему регулювання частоти обертів ВТ доцільно ввести сигнали по швидкості вітру та опору навантаження. Для вводу сигналу по швидкості вітру можна використати плоску пластину (рис. 2.4).

Пластина 1 діятиме через важельну передачу 2 на тензодатчик 3, сигнал з якого, пропорційний тиску на пластину, а отже квадрату швидкості, подається на вхід схеми 4 взяття квадратного кореня. З виходу схеми 4 знімається сигнал, пропорційний швидкості вітру. В якості датчиків зміни величини навантаження можна використати датчики на основі ефекту Хола або струмовий трансформатор.

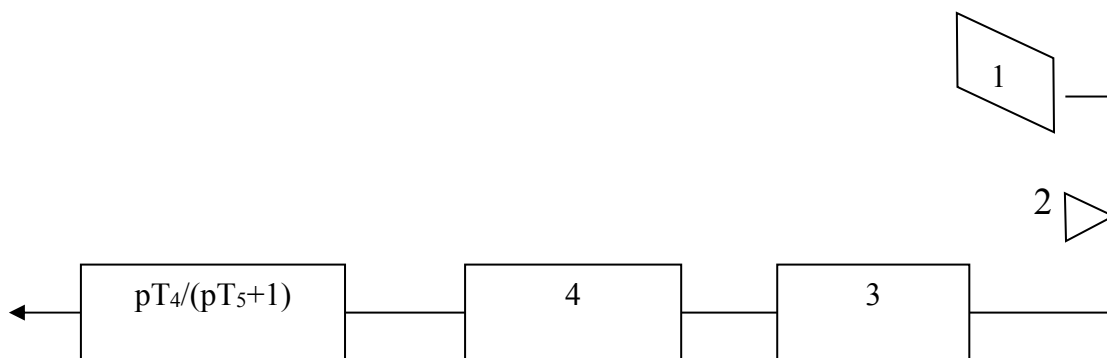


Рисунок 2.4 – Структурна схема пристрою для введення сигналу по швидкості вітру

Модифікована система автоматичної стабілізації частоти обертів представлена на рис. 2.5. Ланки, призначені для введення сигналів по швидкості вітру та опору навантаження, повинні мати властивості диференціаторів (як зображено на рис. 2.3 та 2.4), бо в іншому випадку частота обертів вітроустановки в режимі, що встановився, залежатиме від швидкості вітру, тобто не буде стабілізованою.

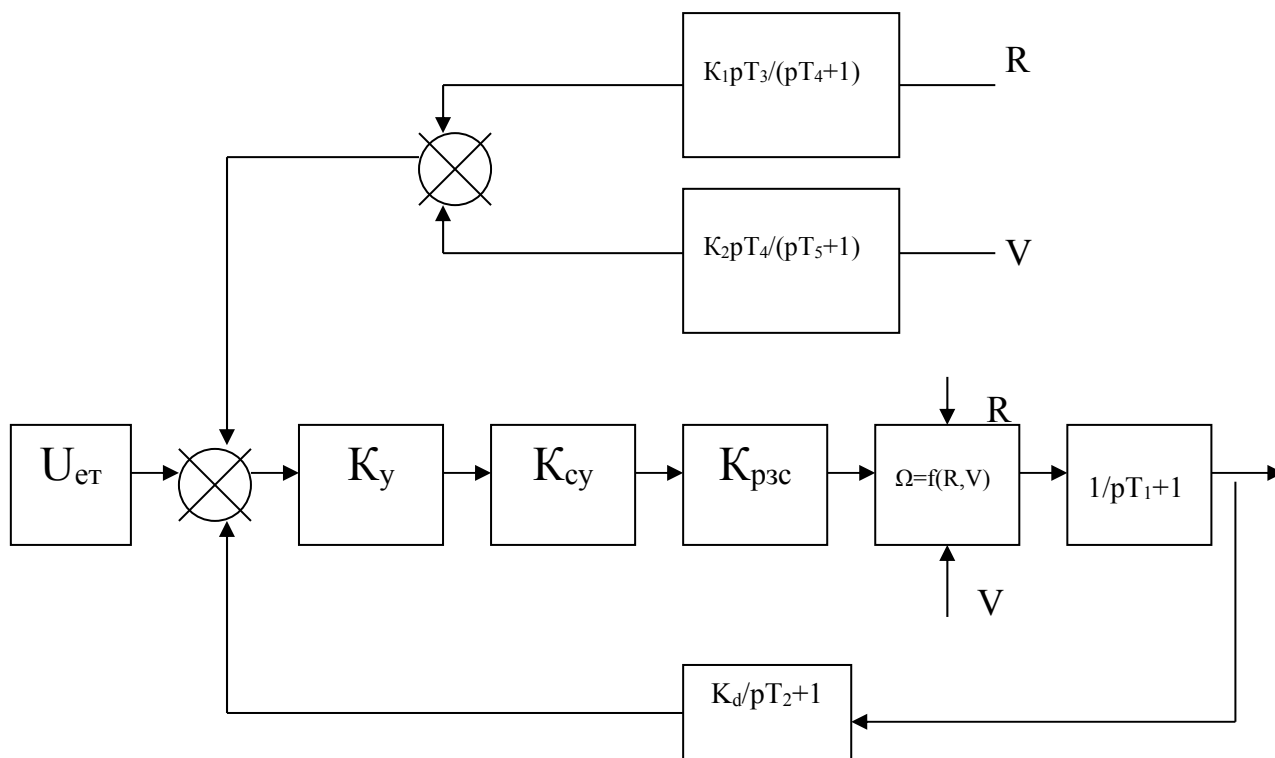


Рисунок 2.5 – Схема регулювання частоти обертів ВТ з корегуванням сигналів по опору навантаження та швидкості вітру

Рівняння стану системи автоматичного регулювання можна представити у вигляді:

$$[Y] = [A] \cdot [X],$$

де X, Y, A – вектор вхідних параметрів, вектор вихідних параметрів та матриця коефіцієнтів передачі відповідно.

Комбіноване управління (з введенням сигналів по збуренню швидкості вітру та опору навантаження), де для регулювання частоти обертів вітроколеса замість додаткового резистивного навантаження використовується акумуляторна батарея, дозволить значно покращити експлуатаційні характеристики ВЕУ, а також зменшити час перехідних процесів, тим самим покращити якість електроенергії, що виробляється вітроустановкою.

2.2 Фотоперетворювачі в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії

Сонячні фотоперетворювачі широко використовуються в енергосистемах на основі ВДЕ, як в автономних, так і в системах, що працюють в комплексі з промисловою електромережею. В автономних енергосистемах малої та середньої потужності (до 10 кВт) сонячні фотоперетворювачі здебільшого працюють в комплексі з електрохімічними акумуляторами, використання яких пов'язане з необхідністю покращення стабільності енергопостачання та підвищення коефіцієнту використання фотоперетворювачів.

Для аналітичного описання процесів в системі фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор, а також в колах живлення пристроїв, джерелами живлення яких є фотоперетворювачі, необхідно апроксимувати ВАХ фотоперетворювача аналітичною функцією (функціями). При роботі фотоперетворювача на лінійні та нелінійні електричні, електромеханічні та теплові навантаження використовують дрібно-лінійну апроксимацію ВАХ фотоперетворювача.

Застосуємо дрібно-лінійну апроксимацію для аналітичного описання ВАХ фотоперетворювача з параметрами $U_{o.c.} = 15,7 \text{ В}$, $I_{s.c.} = 2,4 \text{ А}$, $S = 0,28 \text{ м}^2$, де I_{sc} – струм короткого замикання фотоперетворювача; U_{oc} – напруга холостого ходу фотоперетворювача; S - площа фотоперетворювача. Для цієї фотобатарей отримані наступні експериментальні дані (табл. 2.1, 2.2).

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані для побудови ВАХ фотобатареї (освітленість $S_1=1000$ лк)

U, В	15,67	15,28	15,19	15,13	14,58	13,17	7,43	0
I, А	0	0,33	0,43	0,65	1,25	2,15	2,33	2,40

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані для побудови ВАХ фотобатареї (освітленість $S_2=700$ лк)

U, В	14,32	13,55	12,94	12,62	10,68	8,3	6,26	0
I, А	0	0,17	0,28	0,36	0,46	0,53	0,65	0,70

2.3 Математична модель роботи фотоперетворювача в системі сонячний фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор

Розглянемо процес заряду електрохімічного акумулятора від батареї сонячних фотоперетворювачів. Електрична потужність, яку генерує сонячний фотоперетворювач є нестабільна, надходження її періодичне. Це обумовлено періодичністю надходження сонячного випромінювання, а також випадковим характером змін його інтенсивності. В зв'язку з цим, необхідним є підвищення ефективності системи, що може бути досягнуто за рахунок збільшення коефіцієнту використання електричної енергії, яку генерує фотоперетворювач, тобто доцільно підтримувати систему фотоперетворювач - електрохімічний акумулятор у режимі віддачі фотоперетворювачем максимальної потужності.

Математична модель технічного об'єкта (ТО) – це описання розрахункової схеми (РС) ТО у вигляді математичних співвідношень, які встановлюють зв'язок між параметрами, що характеризують РС ТО.

Для аналітичного описання ВАХ фотоперетворювача скористаємося визначеною вище кусково-лінійною апроксимацією:

$$U(I) = a_1 \cdot I + b_1, (0 < I < I_m),$$

$$U(I) = a_2 \cdot I + b_2, (I_m < I < I_{sc}),$$

де

$$a_1 = \frac{U_m - U_{oc}}{I_m}, b_1 = U_{oc},$$

$$a_2 = \frac{U_m}{I_m - I_{sc}}, b_2 = \frac{U_m \cdot I_{sc}}{I_m - I_{sc}}.$$

Рівняння, яке описує процес заряду акумулятора, має вигляд:

$$U(I) = a_3 \cdot \int_0^t I dt + a_4 \cdot I + b_3. \quad (2.2)$$

Таким чином, співвідношення, які характеризують РС даної системи, можна представити у вигляді наступної системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U(I) &= a_1 \cdot I + b_1, (0 < I < i_m) \\ U(I) &= a_2 \cdot I + b_2, (i_m < I < i_{к.з.}) \\ U(I) &= a_3 \cdot \int_0^t I dt + a_4 \cdot I + b_3 \end{aligned} \right\}. \quad (2.3)$$

Припустимо, що початкове положення робочої точки на ВАХ фотоперетворювача співпадає з точкою перетину апроксимуючих прямих (точка найбільш ефективного використання фотоперетворювача). Тоді рівняння, яке характеризує РС системи фотоперетворювач – електрохімічний

акумулятор буде мати вигляд

$$a_1 \cdot I + b_1 = a_3 \cdot \int_0^t Idt + a_4 \cdot I + b_3,$$

$$a_1 \cdot I + b_1 = a_3 \cdot \int Idt - a_3 Q(0) + a_4 \cdot I + b_3,$$

де $Q(0)$ – значення $\int Idt$ при $t = 0$.

Продиференціювавши ліву і праву частину цього рівняння, отримаємо диференціальне рівняння струму в колі фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор:

$$a_1 \cdot \frac{dI}{dt} = a_3 \cdot I + a_4 \cdot \frac{dI}{dt}. \quad (2.4)$$

Розв'язком цього рівняння є функція

$$I = I(0) \cdot e^{\frac{a_3}{a_1 - a_4} \cdot t}, \quad (2.5)$$

де $I(0)$ – початкове значення струму в колі фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор

$$I(0) = \frac{a_1}{a_1 - a_4} \cdot \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} \approx \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2}.$$

Проінтегрувавши вираз (2.5) отримаємо формулу, яка пов'язує заряд, наданий акумуляторові, з часом заряду:

$$Q = I(0) \cdot \frac{a_1 - a_4}{a_3} \cdot \left(e^{\frac{a_3}{a_1 - a_4} \cdot t} - 1 \right). \quad (2.6)$$

Графік цієї функції для фотобатарей, що розглядається, при освітленості $S_1 = 1000$ лк (коефіцієнт $a_1 = -1,384$ Ом) і акумулятора НК-14 (коефіцієнти $a_3 = 0.21$ Ом/год, $a_4 = 0.02$ Ом) поданий на рис. 2.6.

Для порівняння на рисунку поданий графік функції $Q_1(t)$ – заряд акумулятора постійним струмом.

З рис. 2.6 видно, що процес заряду акумулятора від фотоперетворювача характеризується неможливістю надання акумуляторові потенціалу, який би перевищував певне порогове значення. В даному випадку це

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q(t) \rightarrow 15,53 \text{ А/год.}$$

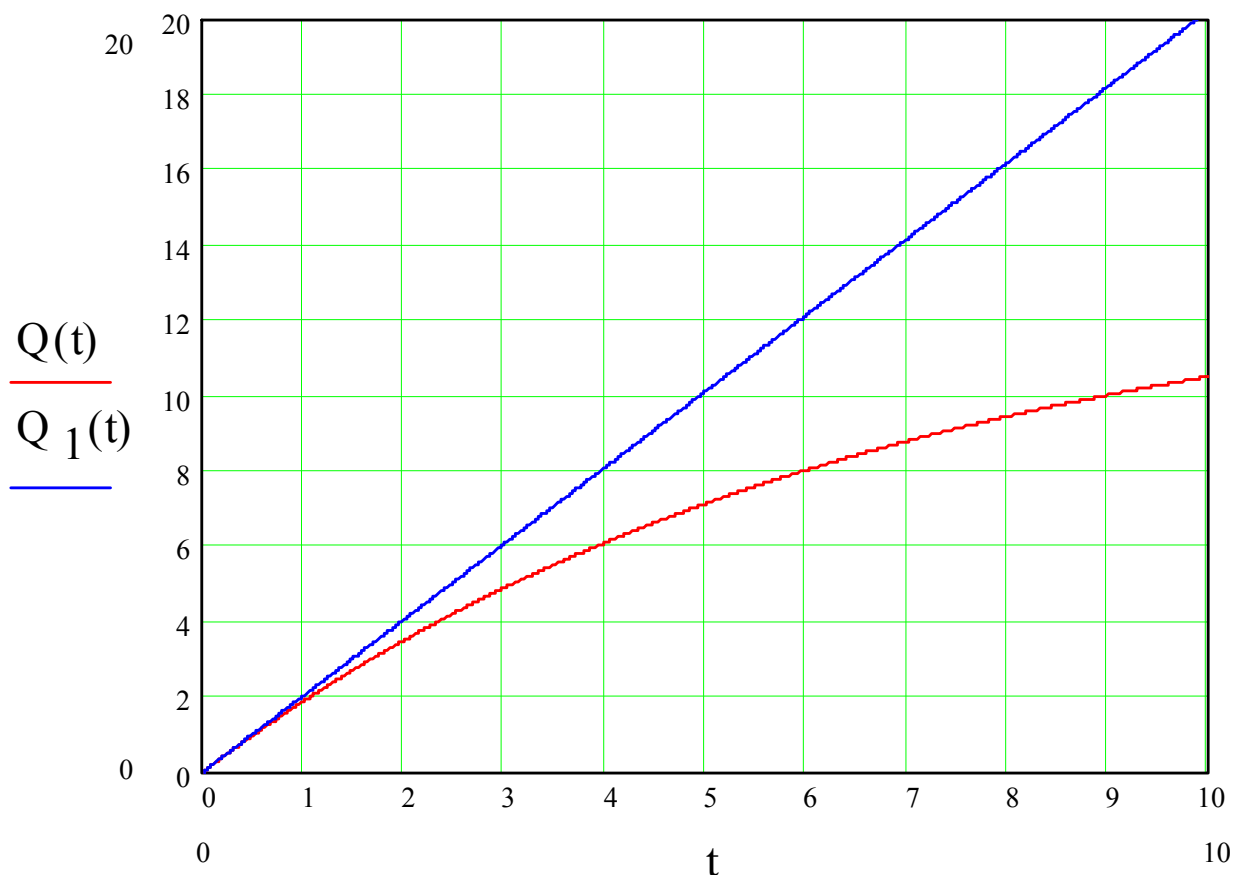


Рисунок 2.6 – Процес заряджання акумулятора постійним струмом (пряма), від фотобатарей (крива)

2.4 Дослідження якості математичної моделі системи фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор

Математична модель РС ТО повинна задовольняти певним вимогам, серед яких основними є: адекватність – правильне якісне та достатньо точне кількісне описання саме тих характеристик ТО, які є важливими в даному конкретному випадку, точність – можливість забезпечити прийнятне співпадання реальних та знайдених за допомогою математичної моделі значень вихідних параметрів ТО, робастність – стійкість математичної моделі по відношенню до похибок вихідних даних. Відповідність математичної моделі першим двом вимогам можна визначити тільки експериментально (результати експерименту приведені в наступному пункті), робастність математичної моделі може бути досліджена аналітично. Для цього скористаємось методом коефіцієнтів чутливості. Метод полягає у розкладі функції $f(t, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n)$, що досліджується, в ряд Тейлора по її параметрам $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$, причому враховується тільки перший член розкладу, для знаходження приблизного значення $\Delta f(t, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n)$ (збурення першого порядку):

$$\Delta f(t, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n) \approx \frac{\partial f(t, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n)}{\partial \alpha_1} \cdot \Delta \alpha_1 + \dots + \frac{\partial f(t, \alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n)}{\partial \alpha_n} \cdot \Delta \alpha_n.$$

Як видно з приведеного співвідношення, коефіцієнти впливу в загальному випадку залежать від часу t . Враховуючи той факт, що найголовнішим вихідним параметром запропонованої математичної моделі є залежність значення максимального заряду, який можна надати акумуляторові від характеристик акумулятора, конкретного фотоперетворювача та від початкової робочої точки, тобто $Q_{\max} = \lim_{t \rightarrow \infty} Q(t)$, розглянемо вплив похибок $\Delta \alpha_n$ на Q_{\max} . Величина максимального заряду не залежить від часу, а визначається лише характеристиками фотобатареї, акумулятора та початкового

положення робочої точки

$$Q_{\max} = -\frac{a_1 \cdot (b_2 - b_1)}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)},$$

$$\Delta Q_{\max} \approx \frac{(b_2 - b_1) \cdot a_2}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)^2} \cdot \Delta a_1 - \frac{a_1 \cdot (b_2 - b_1)}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)^2} \cdot \Delta a_2 +$$

$$+ \frac{a_1 \cdot (b_2 - b_1)}{a_3^2 \cdot (a_1 - a_2)} \cdot \Delta a_3 + \frac{a_1}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)} \cdot \Delta b_1 - \frac{a_1}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)} \cdot \Delta b_2.$$

Позначимо коефіцієнти впливу як

$$\lambda_1 = \frac{(b_2 - b_1) \cdot a_2}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)^2}, \quad \lambda_2 = \frac{a_1 \cdot (b_2 - b_1)}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)^2}, \quad \lambda_3 = \frac{a_1 \cdot (b_2 - b_1)}{a_3^2 \cdot (a_1 - a_2)},$$

$$\beta_1 = \frac{a_1}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)}, \quad \beta_2 = \frac{-a_1}{a_3 \cdot (a_1 - a_2)}.$$

Для згаданих вище фотобатарей і акумулятора $\lambda_1 = -10,25$, $\lambda_2 = 0,47$, $\lambda_3 = -64,43$, $\beta_1 = 0,229$, $\beta_2 = -0,229$.

З приведених результатів видно, що найбільший вплив на точність визначення максимального заряду мають коефіцієнти a_1 та a_3 , тобто ці коефіцієнти необхідно визначати з найвищою точністю.

2.5 Експериментальна перевірка якості математичної моделі системи фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор

Для експериментальної перевірки математичної моделі системи фотоперетворювач – електрохімічний акумулятор використовувався свинцево – кислотний акумулятор фірми Varta ємністю 20 А·год, а також прилад для моделювання вольт-амперної характеристики фотобатарей (ПМВФ-1).

Параметри апроксимації зарядної характеристики для цього типу акумуляторів мають наступні значення: $a_3 = 0,17$ Ом/год., $a_4 = 0,018$ Ом, $b_3 = 11,6$ В.

Параметри ВАХ, яку відтворює ПМВФ–1, наступні: $a_1 = -1,77$ Ом, $b_1 = 14,5$ В, $a_2 = -30,147$ Ом, $b_2 = 59,139$ В.

На рис. 2.7 приведено графіки залежності струму акумулятора від часу заряду: експериментальний та обчислений за формулами.

З графіків на рис. 2.7 видно, що математична модель дає дещо занижене значення зарядного струму, а отже і наданої акумуляторові ємності. Це пояснюється існуванням похибки апроксимації.

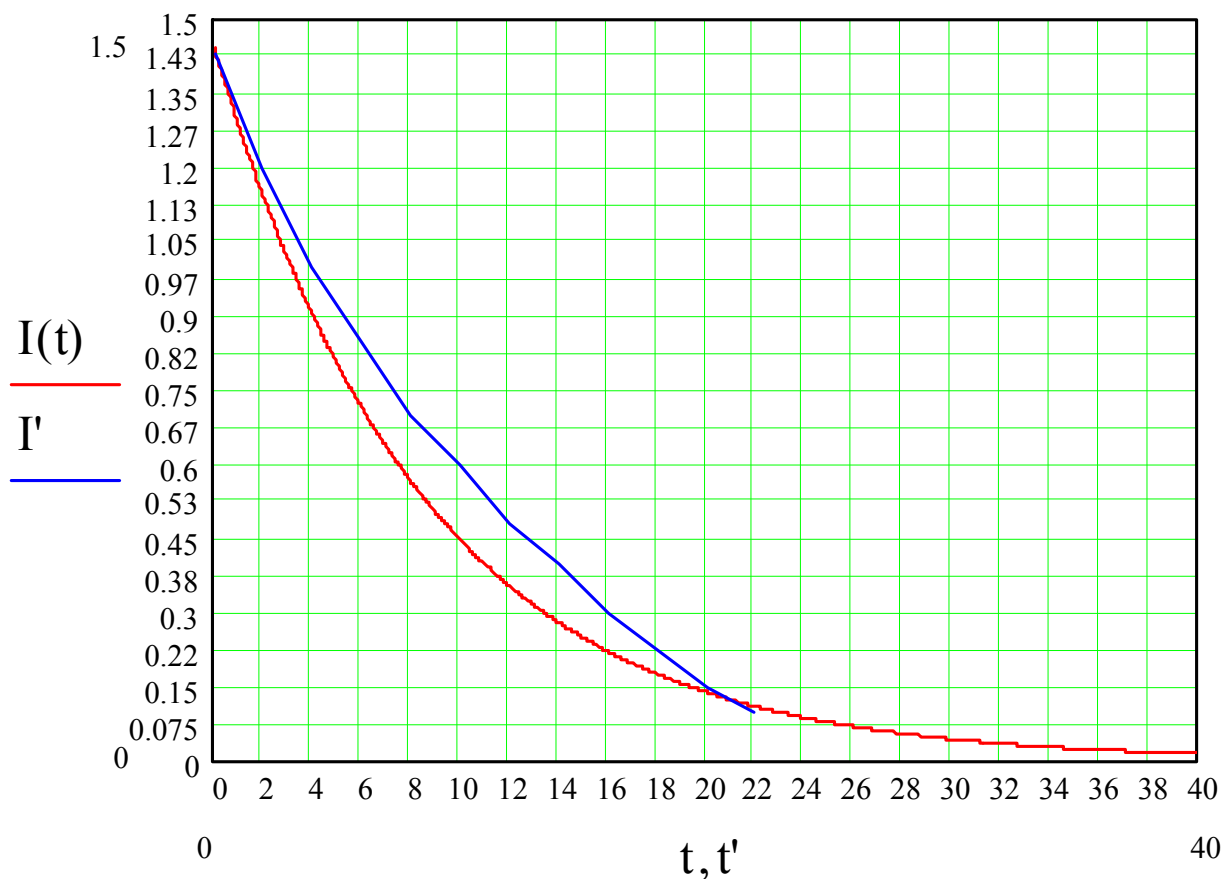


Рисунок 2.7 – Графіки залежності струмів заряду акумулятора від часу
теоретична крива (нижня), експериментальна (верхня)

Висновки до розділу 2

1. Показано, що вітроустановки з постійною частотою обертів вітроколеса неефективно використовують енергію вітру. Запропонований принцип стабілізації частоти обертів вітроколеса з регулюванням струму акумулятора та введенням сигналів по збуренням дозволить максимально ефективно використовувати енергію вітру, запасати її надлишкову частину в акумуляторній батареї, з послідуочим живленням споживачів.

2. У випадку використання вітроустановки з системою регулювання, що пропонується, в комбінованій енергосистемі, наприклад такій, схема якої приведена на рис. 1.6, можна або зовсім відмовитись від використання фотобатареї, або значно зменшити її встановлену потужність, що зменшить вартість енергосистеми.

3. Для вирішення задачі підвищення ефективності фотоперетворювачів найкращим рішенням є система автоматичного регулювання, яка підтримує оптимальний режим заряду електрохімічного акумулятора від сонячного фотоперетворювача і має один комутатор. Ця система повинна підтримувати робочу точку в точці найбільш ефективного використання фотоперетворювача – в точці перетину апроксимуючих прямих, і не змінювати свого положення в процесі заряду акумулятора.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Визначення базової схеми системи підтримання фотоперетворювача в режимі віддачі максимальної потужності

В розділі 1 була доведена необхідність використання пристрою підтримання фотоперетворювача в режимі отримання максимальної потужності при роботі на електрохімічний акумулятор. Цей пристрій має складатися з мінімальної кількості потужних комутаторів для мінімізації втрат потужності і підтримувати такі значення струму та напруги фотобатарей (робочу точку), щоб їх добуток співпадав з точкою максимальної потужності незалежно від умов освітленості. Фактично, цей пристрій має бути перетворювачем постійного струму, управління яким повинно забезпечувати знаходження робочої точки в точці максимальної потужності.

Попередньо введемо поняття зарядного опору акумулятора – $R_s = \frac{U_{аб.}}{I_{зар.}}$; де: $U_{аб.}$ – напруга на акумуляторі; $I_{зар.}$ – зарядний струм. Для забезпечення роботи фотоперетворювача в режимі віддачі максимальної потужності необхідно трансформувати зарядний опір акумулятора в ТМП, в даному випадку в точку перетину апроксимуючих прямих. Проаналізуємо декілька варіантів схемних рішень, які можуть бути використані для вирішення цієї задачі.

1. ППН–1. Схема перетворювача подана на рис. 3.1 а. Це базова схема ППН понижуючого типу. Для вирішення поставленої задачі цей тип перетворювачів може бути використаний в якості об'єкта регулювання тільки в тому випадку, коли напруга фотоперетворювача, яка відповідає ТМП ($U_{тмп}$), є вищою за напругу акумуляторної батареї. Ця умова виконується не завжди, крім того, можливим є зменшення напруги ТМП при зменшенні інтенсивності освітлення, а також при зміні температури фотобатарей.

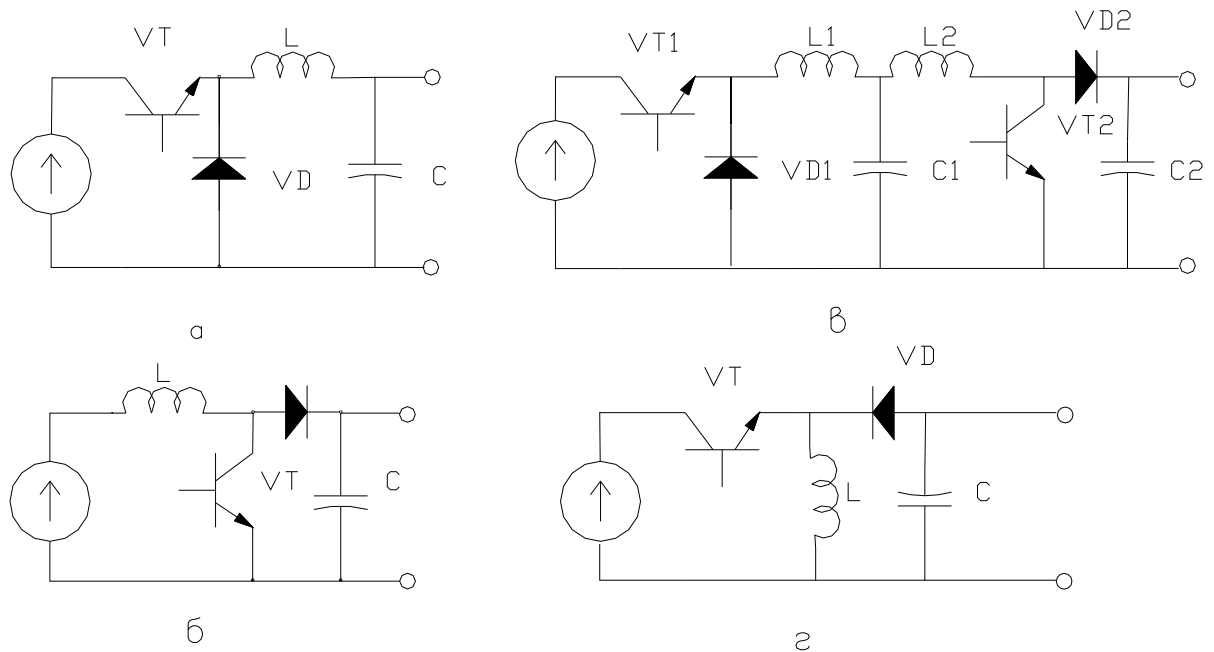


Рисунок 3.1 – Перетворювачі постійної напруги

а – першого роду; б – другого роду; в – каскадне з'єднання перетворювачів першого та другого роду; г – перетворювач постійної напруги третього роду (полярно-реверсуючий перетворювач)

2. ППН–2. Схема подана на рис. 3.1 б. Це базова схема ППН підвищуючого типу. Для використання ППН–2 необхідним є виконання умови $U_{тмп} \leq U_{аб}$. В принципі, ця схема може бути об'єктом регулювання, оскільки ця умова завжди може бути виконана. Але в цьому випадку ми зменшуємо кількість батарей сонячних фотоперетворювачів, які можуть бути використані з конкретною акумуляторною батареєю (обмеження по напрузі холостого ходу).

3. Каскадне з'єднання ППН–1 і ППН–2. З'єднавши каскадно ППН–1 і ППН–2, отримаємо схему, яка може мати властивості як ППН–1, так і ППН–2, тобто може бути використана для роботи з фотоперетворювачами, які мають $U_{тмп}$ як більшу за $U_{аб}$, так і меншу (рис. 3.1 в). Однак, використання цієї схеми в якості об'єкта регулювання потребує ускладнення системи управління, наявність двох комутаторів знизить ККД.

4. ППН–3 – полярно-реверсуючий перетворювач. Ця схема (рис. 3.1 г) може мати властивості як ППН–1 так і ППН–2, в залежності від коефіцієнту

заповнення імпульсів управління d .

Характерною особливістю цієї схеми є вихідна напруга протилежної полярності відносно вхідної напруги, що в даному випадку не має великого значення. Схема має один ключовий елемент, і як наслідок, може бути керована відносно простою схемою управління. З огляду на це, оберемо в якості об'єкта управління для роботи з фотоперетворювачем ППН–3. Величина, що регулюється – вихідна потужність фотоперетворювача, вхідна величина – тривалість імпульсу регулювання, тобто статична регульовальна характеристика являє собою залежність $P \sim f(d)$.

3.2 Методика розрахунку пристрою для забезпечення заряду акумулятора від фотобатареї в режимі максимальної потужності

Вихідні дані

1. Максимальна потужність фотобатареї $P_{f.\max}$.
2. Мінімальна потужність фотобатареї $P_{f.\min}$.
3. Параметри фотобатарей, що використовуються – діапазон значень напруги холостого ходу – $U_{oc\min} \dots U_{oc\max}$, та струмів короткого замикання – $I_{sc\min} \dots I_{sc\max}$.
4. Параметри акумуляторної батареї, що використовується:
 U_a – номінальна напруга, яка визначається типом батарей, що використовуються (кислотні, лужні, літєві та ін).

5. Максимальний струм заряду акумулятора $I_{l.\max} = \frac{P_{f.\max}}{U_a}$.

6. Мінімальний струм заряду акумулятора $I_{l.\min} = \frac{P_{f.\min}}{U_a}$.

7. Максимальне значення зарядного опору $R_{ch.\max} = \frac{U_a}{I_{l.\min}}$.

8. Мінімальне значення зарядного опору $R_{ch.min} = \frac{U_a}{I_{l.max}}$.

Розрахунок елементів полярно-реверсуючого перетворювача

1. Визначення мінімальної індуктивності дроселя

Найбільш сприятливим режимом роботи ППН схем є режим безперервного потоку дроселя. Для визначення мінімальної індуктивності дроселя, при якому схема буде знаходитись в режимі безперервного потоку, розглянемо наступні співвідношення: якщо заряд дроселя відбувається від джерела напруги (ця умова виконується, якщо ємність конденсатора вхідного фільтру достатньо велика, щоб можна було знехтувати зменшенням напруги на конденсаторі під час заряду дроселя), то на етапі заряду дроселя струм через нього описується рівнянням: $i = \frac{U_c \cdot t}{L}$, де: U_c, L, t – відповідно напруга на конденсаторі фільтра, індуктивність дроселя та час. Максимальне значення струму дроселя як функції коефіцієнту заповнення D та частоти комутації f :

$i_m = \frac{U_c \cdot D}{L \cdot f}$. На етапі розряду дроселя струм через нього характеризується

наступним рівнянням: $i = \frac{U_c \cdot D}{L \cdot f} \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t}$, де R – опір навантаження.

Якщо прийняти, що протікання струму через дросель припиняється при $i = 0,02 \cdot i_m$, то попередній вираз можна представити наступним чином (нас цікавить момент досягнення струму дроселя значення $i = 0.02 \cdot i_m$):

$$i = \frac{U_c \cdot D}{L \cdot f} \cdot \left[1 - \frac{R}{4 \cdot L} \cdot t \right] = \frac{U_c \cdot D}{L \cdot f} \cdot \left[1 - \frac{R}{4 \cdot L \cdot f} \cdot (1 - D) \right].$$

З останнього виразу, прирівнявши до нуля струм дроселя на етапі його розряду, можна знайти граничне значення індуктивності дроселя в залежності від частоти комутації, коефіцієнту заповнення імпульсів управління та опору навантаження:

$$L_{\min} \geq \frac{R}{4 \cdot f} \cdot (1 - D).$$

Для знаходження діапазону змін коефіцієнту заповнення імпульсів управління в залежності від параметрів фотобатарей, що використовуються, необхідно побудувати передаточні характеристики $I_l(D)$ для двох граничних випадків:

а) фотобатарей з найменшою напругою холостого ходу та найбільшим струмом короткого замикання;

б) фотобатарей з найбільшою напругою холостого ходу та найменшим струмом короткого замикання.

Передаточна характеристика визначається як

$$I_l(D) = \frac{-B(D) - \sqrt{B(D)^2 - 4 \cdot K(D)}}{2},$$

де

$$K(D) = \frac{U_a \cdot b \cdot (1 - D) - U_a \cdot c \cdot I_{sc} \cdot (1 - D) + I_{sc} \cdot D}{c \cdot \left[R_{fj} \cdot \left(\frac{D}{1 - D} \right)^2 + \frac{R_l}{(1 - D)^2} \right] \cdot D},$$

$$B(D) = \frac{U_a \cdot c \cdot D + \left[R_{fj} \cdot \left(\frac{D}{1 - D} \right)^2 + \frac{R_l}{(1 - D)^2} \right] \cdot b \cdot (1 - D)}{c \cdot \left[R_{fj} \cdot \left(\frac{D}{1 - D} \right)^2 + \frac{R_l}{(1 - D)^2} \right] \cdot D} -$$

$$\frac{\left[R_{fj} \cdot \left(\frac{D}{1 - D} \right)^2 + \frac{R_l}{(1 - D)^2} \right] \cdot I_{sc} \cdot c \cdot (1 - D) - \frac{D^2}{1 - D}}{c \cdot \left[R_{fj} \cdot \left(\frac{D}{1 - D} \right)^2 + \frac{R_l}{(1 - D)^2} \right] \cdot D},$$

R_{lf}, R_l – активні опори дроселя фільтру та дроселя перетворювача,
 b, c – параметри дрібно – лінійної апроксимації ВАХ фотобатарей;

$$b = \frac{1}{F_{к.з.}}, \quad c = \frac{1}{U_{х.х.}} + \frac{1}{F_{к.з.} \cdot I_{к.з.}}, \quad F_{к.з.} = \frac{dU}{dI} (I = I_{к.з.}).$$

2. Визначення мінімальної ємності конденсатора фільтру

Ємність конденсатора вхідного фільтру визначимо, виходячи з умови, що напруга на конденсаторі під час заряду дроселя зменшиться не більше як на 0,5 %. Напруга на конденсаторі:

$$U_f = \frac{q}{C}, \quad q = \int_0^t i dt, \quad \frac{1}{C_f} \cdot \int_0^t i dt = 0,005 \cdot U_c,$$

$$\frac{D^2}{2 \cdot L \cdot C_f \cdot f^2} = 0,01, \quad C_f = \frac{D^2}{0,02 \cdot L \cdot f^2}.$$

3. Визначення індуктивності дроселя фільтру

Індуктивність дроселя фільтру має бути такою, щоб забезпечити практично сталий струм через фотобатарей. Виходячи з цього, приймемо

$$L_f = 10L.$$

Резонансна частота фільтру

$$f_{rf} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_f \cdot C_f}}.$$

3.3 Експериментальне дослідження ефективності пристрою ПОУФБ–А

Для експериментального дослідження ефективності пристрою ПОУФБ – А для заряду акумуляторних батарей використовувався кислотний акумулятор фірми Varta ємністю 20 А·год. і прилад ПМВФ–1. Результати дослідження пристрою ПОУФБ–А приведені в табл. 3.1 та 3.2. Аналізуючи приведені в таблицях дані, можна зробити висновок, що використання ПОУФБ-А в більшості випадків підвищує ефективність заряду акумулятора від сонячної батареї. Особливо відчутний ефект від використання цього пристрою спостерігається тоді, коли напруга точки максимальної потужності значно відрізняється від напруги акумулятора та при наявності періодичних змін освітленості, що найчастіше спостерігається при експлуатації фотобатарей.

Таблиця 3.1 – Результати дослідження пристрою (освітленість $S = const$)

Відстань між ТМП та початковою напругою акумулятора, В $U_m - U_a$	Надана ємність, А·год.		Частка від номінальної ємності Q_n , %	Час заряду T_1 , год		Прискорення заряду, $(T_1 - T)/T_1$, %
	Без МРРТ	З МРРТ		Без МРРТ	З МРРТ	
0	17	20	85	–	–	–
-2	10	20	50	–	–	–
2,5	20	20	100	5,2	5	3
4	20	20	100	5,2	2,8	46
5	20	20	100	5,3	2	63

Таблиця 3.2 – Результати дослідження пристрою (освітленість змінюється з періодом $t = 5$ с)

Відстань між ТМП та початковою напругою акумулятора, В $U_m - U_a$	Надана ємність, А год.		Частка від номінальної ємності Q_n , %	Час заряду T_1 , год		Прискорення заряду, $(T_1 - T)/T_1$, %
	Без MPPT	з MPPT		Без MPPT	з MPPT	
0	17	20	85	–	–	–
-2	10	20	50	–	–	–
2,5	20	20	100	7	5,4	22
4	20	20	100	7	3,2	54
5	20	20	100	7	2,4	66

3.4 Підтримання системи фотобатарея – електрохімічний акумулятор в точці максимальної потужності у випадку частково затінених секцій фотобатареї

В багатьох енергосистемах на основі ВДЕ фотобатареї складаються з декількох секцій, наприклад, батареї, розташовані на дахах будинків, фасадах та ін. В цьому випадку може статися, що секції фотобатареї будуть освітлюватися з різною інтенсивністю. Навіть при затіненні відносно невеликої частини площі фотобатареї ВАХ її значно змінюється. Втрати потужності затіненої фотобатареї по відношенню до незатіненої

$$\Delta P = \frac{P_0 - P_s}{P_0} \cdot 100\%.$$

Щоб забезпечити знаходження системи в оптимальній точці, необхідно або модифікувати алгоритм пошуку екстремуму, наприклад, комбінуючи метод накладення вимушених коливань та метод запам'ятання екстремуму, або кожную секцію батареї обладнати окремим пристроєм. Обидва варіанти мають свої переваги та недоліки.

При наявності фотобатареї, яка складається з багатьох секцій, обладнання кожної з них окремим пристроєм може виявитись не вигідним з причини великої вартості системи. З іншого боку, максимальна потужність, яку віддає в навантаження затінена батарея як ціле, менша суми максимальних потужностей окремих секцій. В роботі [13] досліджується фотобатарея з частково затіненими секціями, яка має два екстремуми на характеристиці потужності. Максимальна потужність фотобатареї складає 282 Вт, в той час як сума максимальних потужностей затінених та незатінених секцій складає 350 Вт. Втрати потужності становлять 76 Вт, що відповідає 20 % максимально можливої потужності. В зв'язку з цим, проблему вибору варіанту комплектації енергосистеми слід вирішувати комплексно, виходячи з економічних питань та питань енергоефективності.

3.5 Пристрій для моделювання вольт-амперної характеристики батареї фотоелектричних перетворювачів

Безпосереднє використання фотоперетворювачів для випробування та настройки потужних пристроїв, джерелами живлення яких вони являються, недоцільно через необхідність забезпечення високого постійного рівня освітленості, що спричиняє великі витрати енергії (низький ККД фотоперетворювача $\sim 10\%$ та низький ККД джерела світла $\sim 10\text{--}30\%$). Вирішити цю проблему можна за допомогою пристроїв, які моделюють характеристики фотобатарей. Відомий пристрій, який моделює вольт-амперну характеристику (ВАХ) методом кусково-лінійної апроксимації. Алгоритм роботи пристрою складається з формування апроксимуючих прямих з заданим

нахилом, стеженні за положенням робочої точки на апроксимуючій прямій та переключенні з однієї апроксимуючої прямої на іншу при досягненні робочою точкою характерного значення напруги (розрив апроксимуючої ВАХ першого роду).

Недоліками цього рішення є низька швидкодія (для переключення з однієї апроксимуючої прямої на іншу використовується механічне реле), низька точність відтворення ВАХ, особливо в області найефективнішої роботи фотоперетворювача, яка є суттєво нелінійною (похибка кусково-лінійної апроксимації), та неможливість моделювання перехідних процесів, які обумовлені зміною освітленості.

З метою ліквідації цих недоліків був створений пристрій, де як аналог ВАХ фотобатарей використано ВАХ фотодіода оптрону, яка співпадає з ВАХ фотоелемента, причому реалізована лінійна залежність струму фотодіода оптрону від струму навантаження. Напругою навантаження є підсилена напруга фотодіода оптрону. Електрична принципова схема приладу приведена на рис. 3.2.

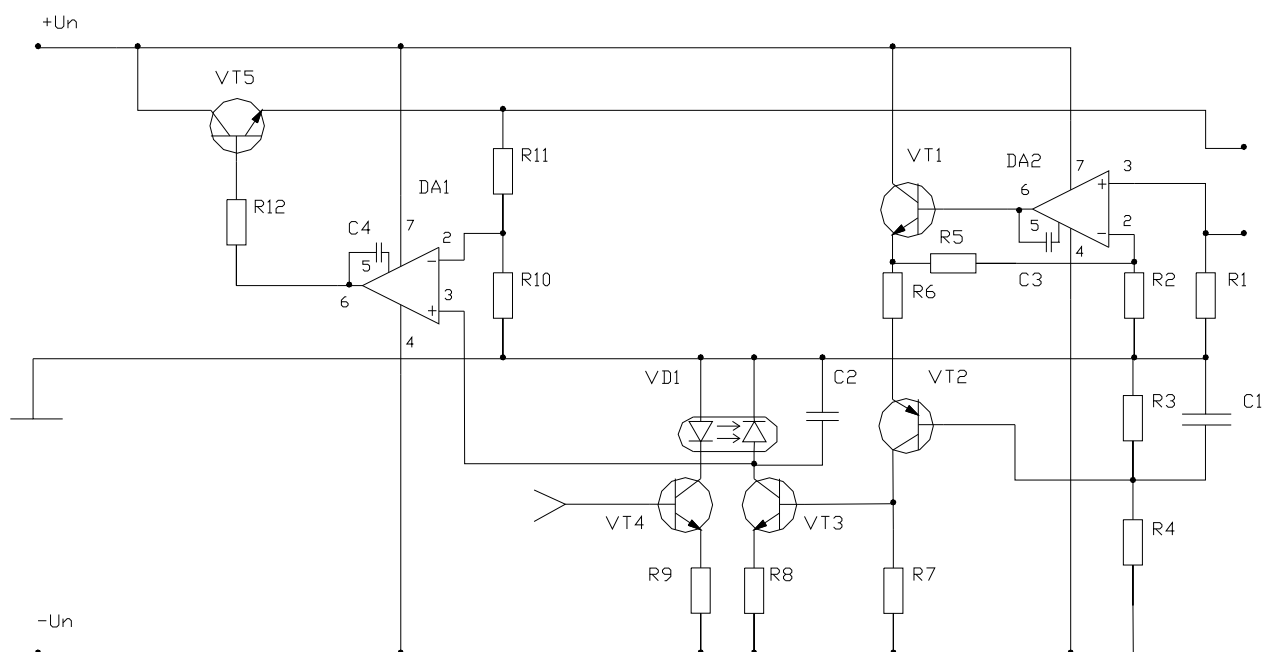


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова приладу для моделювання вольт-амперної характеристики батареї фотоелектричних перетворювачів

В приладі використані транзистори КТ502, КТ503 та КТ819, операційні підсилювачі К574УД1А, постійні резистори С2-23 та С5-16МВ. При застосуванні електрорадіоелементів з наступними номіналами: $R1 = 0,175 \text{ Ом}$, $R2 = 1 \text{ кОм}$, $R3 = 1,5 \text{ кОм}$ СП4-1, $R4 = 3,6 \text{ кОм}$, $R5 = 2 \text{ кОм}$, $R6 = 3,3 \text{ кОм}$, $R7 = 1,1 \text{ кОм}$, $R8 = 3,6 \text{ кОм}$, $R9 = 2,4 \text{ кОм}$, $R10 = 1 \text{ кОм}$, $R11 = 20 \text{ кОм}$, $R12 = 2 \text{ кОм}$, $C1 = 10 \text{ мкФ}$ та діодного оптрону АОД 101 В прилад відтворює вольт-амперну характеристику зі струмом короткого замикання $I_{к.з.} = 2,9 \text{ А}$, напругою холостого ходу $U_{х.х} = 13 \text{ В}$ (напруга живлення $\pm 15 \text{ В}$).

На базу транзистора VT4 подається сигнал для імітації зміни зовнішніх умов (освітленості). Таким чином, пристрій забезпечує дослідження не тільки режимів роботи, що встановилися, але й перехідних процесів, що дозволяє досліджувати прилади, які працюють з фотоперетворювачами в умовах, максимально наближених до натурних.

3.6 Пристрої для підвищення ефективності систем акумулювання в енергосистемах на основі ВДЕ

Як було відмічено в розділі 1, обслуговування АБ потребує значних трудовитрат, займає багато часу. Неоптимальна експлуатація акумуляторних батарей призводить до скорочення терміну їх експлуатації, що підвищує вартість експлуатації системи в цілому, через відносно велику вартість АБ.

Забезпечити оптимальний режим роботи АБ з метою її надійного та тривалого функціонування неможливо без автоматизації та контролю процесів заряду та розряду.

Існує декілька критеріїв повноти заряду акумуляторів. Найбільш широковідомі з них це – контроль по густині електроліту, по газовиділенню та по напрузі на акумуляторі. Контроль по напрузі на акумуляторі є найбільш зручним для практичного використання через те, що цей критерій не потребує додаткових пристроїв (електродів порівняння, датчиків густини електроліту та інших), і дає задовільні результати. Значення напруги розрядженого

акумулятора залежить від його режиму роботи. При використанні акумуляторної батареї в режимі постійного підзаряду різниця між напругами зарядженої та розрядженої батареї (10 послідовно з'єднаних секцій) повинна бути невеликою – 0,3...0,5 В. При роботі батареї в режимі заряд – розряд напруга розрядженого акумулятора може досягати мінімально допустимого значення. Для автоматичного управління заряд–розрядом АБ розроблено прилад автоматичного управління зарядом акумулятора “ПАУЗА-М”. Прототипом розробленого приладу був прилад “ПАУЗА”. На відміну від прототипу в приладі використано більш стабільне джерело опорної напруги, в якості силового комутатора замість електромеханічного реле використано симістор, реалізована можливість роботи як з кислотними, так і з лужними акумуляторами, що реалізується шляхом переключення опорних напруг.

Структурна схема приладу управління зарядом акумулятора “ПАУЗА” приведена на рис. 3.3. Компаратори К1 і К2 забезпечують комутацію зарядного струму в залежності від напруги акумуляторної батареї (компаратори мають невеликий гістерезис для запобігання багаторазовим спрацюванням силового комутатора).

Якщо напруга акумуляторної батареї перевищує напругу верхнього порогу спрацювання приладу, ключ S1 відключає джерело зарядного струму. Якщо напруга на акумуляторній батареї опускається нижче нижнього порогу спрацювання, то ключ S1 підключає на заряд джерело зарядного струму. Змінюючи величину порогів спрацювання, можна реалізувати різні режими роботи акумуляторної батареї: режим заряд – розряд, режим постійного підзаряду. При необхідності більш точного контролю за станом акумулятора доцільно, разом з приладом “ПАУЗА”, використати лічильник ампер-годин. Необхідність використання лічильника ампер-годин обумовлена тим фактом, що напруга на акумуляторі залежить не тільки від його заряду, а також від величини зарядного струму. Використання разом з приладом “ПАУЗА” лічильника ампер годин дасть можливість прогнозувати термін електрозабезпечення споживачів в періоди відсутності поступання енергії ВДЕ.

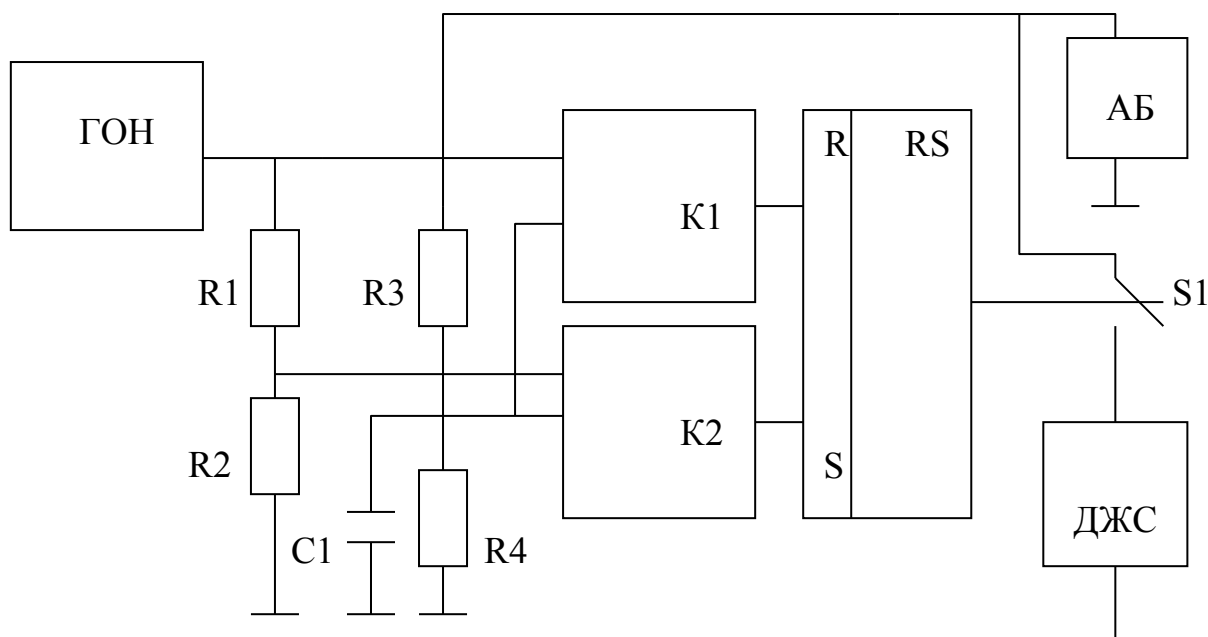


Рисунок 3.3 – Функціональна схема приладу “ПАУЗА”

ГОН – генератор опорної напруги; R1, R2 – подільник опорної напруги, формує напруги порогу спрацювання; R3, R4, C1 – подільник та фільтр напруги акумуляторної батареї; K1, K2 – компаратори; RS – RS тригер; АБ – акумуляторна батарея; ДЖС – джерело зарядного струму; S1 – силовий комутатор

Для розв’язання проблеми автоматизації енергосистем на основі НВДЕ на базі приладу “ПАУЗА” було створено прилад “ПАУЗА – У” (універсальний), який призначено для контролю і управління процесом заряду акумулятора від відновлюваних джерел енергії, таких як ВЕУ і батарея фотоелектричних перетворювачів, а також від мережі змінного струму (~220 В, 50 Гц). Прилад розроблений за модульним принципом і складається з 9-ти окремо закінчених модулів (рис. 3.4).

Модуль А1 проводить контроль стану акумуляторної батареї (АБ). В залежності від стану АБ на виході модуля формуються сигнали логічного “0” або “1”.

Модуль А2 контролює стан ВЕУ. Якщо на ВЕУ є достатня для заряду акумулятора та живлення споживачів потужність, на виході модуля з’являється сигнал логічної “1”. Якщо потужність на виході ВЕУ недостатня, на виході модуля з’являється логічний “0”.

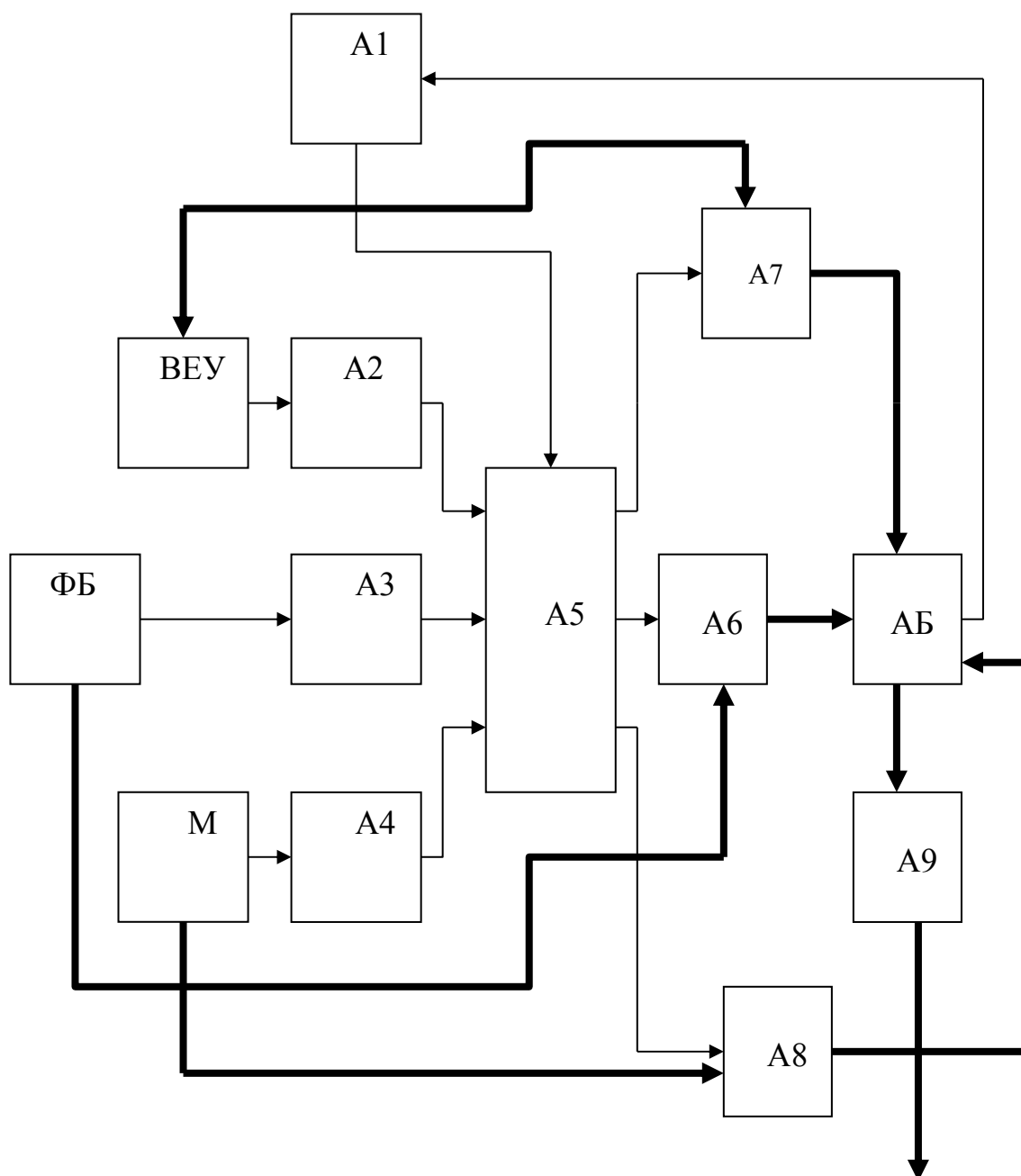


Рисунок 3.4 – Структурна схема приладу “ПАУЗА – У”

BEU – вітроелектроустановка; ФБ – фотобатарея; АБ – акумуляторна батарея;
 М – електромережа; А1 – А9 – модулі А1 – А9 відповідно

Модуль А3 контролює стан фотобатареї. Якщо фотобатареєю генерується достатня потужність, на виході модуля з’являється логічна “1”, в іншому випадку – “0”.

Модуль А4 проводить контроль стану мережі змінного струму – 220В, 50 Гц. При наявності в мережі напруги на виході модуля з’являється логічна “1”,

якщо напруги немає – логічний “0”.

Модуль А5 проводить аналіз стану виходів модулів А1 – А4. Якщо на виході модуля А1 присутня логічна “1”, АБ потребує заряду. Модуль аналізує сигнали, які поступають з виходів модулів А1..А4. Якщо на виходах цих модулів присутні “1”, то “1” з’являється на виходах 1 і 2 модуля А5, тим самим до АБ підключаються ВЕУ і ФБ. Через модулі А6 і А7, якщо на виході модуля А2 “1”, а на А3 – “0”, до АБ під’єднується тільки ВЕУ. Якщо навпаки, то тільки ФБ. Зарядний пристрій, який є частиною модуля А8, під’єднується до АБ тільки тоді, коли на виходах модулів А2 і А3 присутні логічні “0”, тобто у випадку, коли швидкість вітру і освітленість не дозволяють проводити заряд АБ від цих відновлюваних джерел енергії.

Модуль А9 захищає АБ від перерозряду, від короткого замикання в колі споживача, а також обмежує струм розряду АБ на встановленому рівні.

Робота модуля А1 полягає в порівнянні напруги на АБ з еталонною високостабільною напругою. Якщо напруга на АБ нижча за граничну, модуль генерує на виході логічну “1”, тобто АБ потребує заряду. Якщо напруга на АБ дорівнює, або перевищує порогове значення, на виході модуля з’являється логічний “0”.

Робота модуля А2 полягає в порівнянні напруги, яка є функцією частоти обертів ротора генератора постійного струму з еталонною напругою. Якщо напруга, яка залежить від частоти обертів ротора генератора дорівнює або більша за еталонну напругу, на виході модуля з’являється логічна “1”.

Робота модуля А3 полягає в порівнянні напруги на ФБ з еталонною. Якщо напруга на ФБ більша за еталонну, то на виході модуля формується логічна “1”.

Модуль А4 являє собою детектор змінної напруги. При наявності в мережі напруги на виході модуля з’являється логічна “1”.

Модуль А5 обробляє сигнали, що поступають на його входи з виходів модулів А1..А4 і проводить комутацію модулів А6..А8. Модуль виконано на подвійному чотирирозрядному мультиплексорі.

Модуль А6 являє собою транзисторний ключ, виконаний на потужних польових транзисторах.

Модуль А7, за умови надходження до його входу логічної “1”, забезпечує подання струму в обмотку збудження генератора постійного струму ВЕУ (при використанні генераторів з зовнішнім збудженням), а також під’єднання АБ на заряд до генератора. Цей модуль виконано на потужних польових транзисторах. В модулі А8 використовується імпульсний зарядний пристрій, який забезпечує номінальний струм заряду АБ. Модуль А9 виконано також на потужних польових транзисторах.

Кожен модуль є конструктивно незалежним один від одного і комплектація системи може бути здійснена в залежності від наявності того чи іншого джерела енергії. Наприклад, якщо в наявності є тільки ФБ і мережа (~220 В, 50 Гц), то система може комплектуватися тільки модулями А1, А3, А4, А6, А5, А8, А9, при цьому в модулі А5 на вхід 2 встановлюється логічний “0” за допомогою перемички.

Якщо в наявності є тільки ВЕУ і мережа, то система комплектується модулями А1, А2, А4, А5, А7, А8, А9, причому на всі входи модуля А5 встановлюється логічний “0”.

Прилад “ПАУЗА-У” може працювати як з кислотними, так і з лужними акумуляторами, що забезпечується модулем А1, в якому еталонні напруги виставляються за допомогою перемикача в залежності від типу акумуляторів, що використовуються.

До виходу модуля А9 є можливість підключити інвертор 12 В постійного струму – 220В, 50 Гц.

Прилад “ПАУЗА-У” може бути використаний в автономних енергосистемах на основі ВДЕ в якості блоку автоматики (БА) (рис.1.4 – 1.6).

3.7 Визначення необхідної ємності системи акумулювання для автономних енергосистем на основі ВДЕ

Для визначення необхідної ємності системи акумулювання необхідно мати дані про інтенсивність потоків енергії в даному районі (інтенсивність вітру та сонячної радіації), а також дані про частоту і тривалість періодів відсутності цих енергопотоків (відсутність енергопотoku – зниження його інтенсивності нижче певного мінімального рівня).

В зв'язку з тим, що, як було відмічено в главі 1, вітроустановки мають забезпечувати генерацію майже всієї електроенергії, яка необхідна споживачеві, можна зробити висновок, що розрахунки необхідної ємності системи акумулювання необхідно проводити на основі статистичного аналізу режиму роботи вітроустановки.

Для автономних енергосистем на основі ВДЕ, на відміну від енергосистем, які працюють паралельно з промисловою електромережею, головним є не генерація максимальної кількості електроенергії, а забезпечення стабільного електропостачання. В зв'язку з цим, для автономних енергосистем важливими є не тільки дані щодо швидкості вітру, але і дані про тривалість періодів відсутності вітру вище певної швидкості (в подальшому, періоди відсутності вітру). Інформацію про тривалість періодів відсутності вітру можна отримати, належним чином обробивши дані метеостанцій по спостереженням за швидкістю вітру. Програма обробки інформації написана в програмному середовищі MathCAD і представлена в додатку А. Дані метеоспостережень подано у вигляді ASCII – файлів.

Першим етапом алгоритму є усереднення метеоданих за добу

$$\overline{v_{\text{доб}}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n v_{i.o.},$$

де $\overline{v_{\text{доб}}}$ – середня швидкість вітру за добу,

– $v_{i.o}$ – середня швидкість за вихідний інтервал осереднення,

n – кількість інтервалів осереднення в одній добі.

Збільшити інтервал осереднення до однієї доби можливо завдяки тому, що вітроустановки, призначені для заряду акумуляторних батарей, на відміну від вітроустановок, працюючих на промислову електромережу, мають майже лінійну залежність вихідної потужності від швидкості вітру (до швидкостей порядку 30 – 35 м/с). Вітроустановки, які працюють на промислову електромережу, на характеристиці вихідної потужності мають область стабілізації, тому осереднення вітру за великий період часу спричиняє помилки в оцінці виробництва електроенергії. Для автономних ВЕУ, які працюють на заряд акумулятора, таке осереднення є допустимим.

Другий етап алгоритму – осереднені за добу швидкості вітру порівнюються з пороговою швидкістю вітру v_{tr} . Порогова швидкість вітру – це швидкість вітру, нижче якої не задовільняються енергетичні потреби споживача. Таким чином визначається тривалість і кількість періодів відсутності вітру.

Третій етап алгоритму – обчислюється імовірність появи періоду відсутності вітру певної тривалості:

$$p = \frac{n}{N},$$

де n – кількість періодів відсутності вітру певної тривалості,

N – загальна кількість періодів відсутності вітру.

Четвертий етап алгоритму – формування таблиці для побудови діаграми розподілу періодів відсутності вітру.

Гістограми щільності розподілу періодів відсутності вітру за 2018 та 2019 роки для $v_{tr}=8,5$ м/с приведені на рис. 3.5.

Експоненціальний закон розподілення найбільш відповідає цим

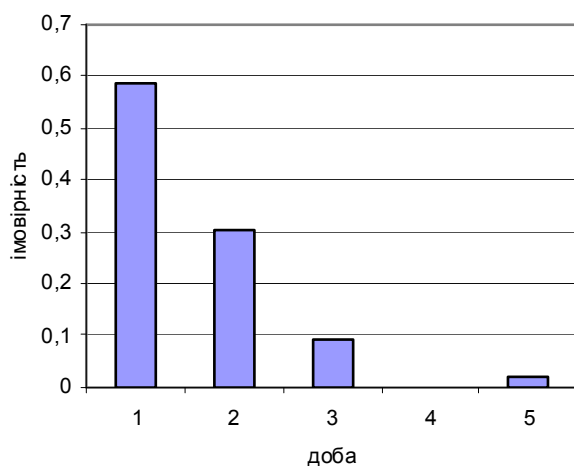
гістограмам. Цей закон розподілення визначається формулою:

$$F(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

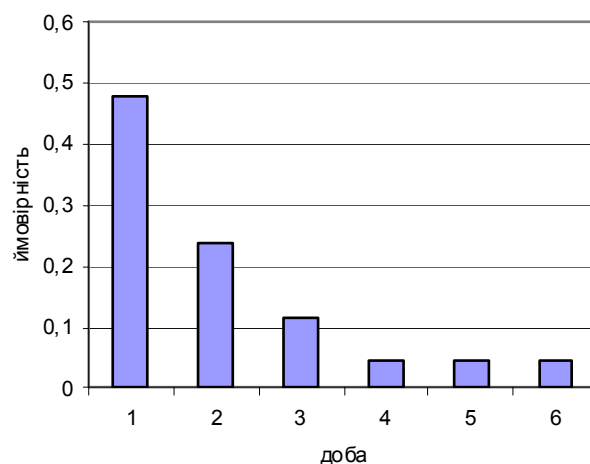
де t – тривалість періоду відсутності вітру,
 λ – параметр розподілу, визначається як

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{i=0}^n t_i},$$

де n – кількість періодів відсутності вітру,
 t_i – тривалість i -го періоду відсутності вітру.



2018 рік



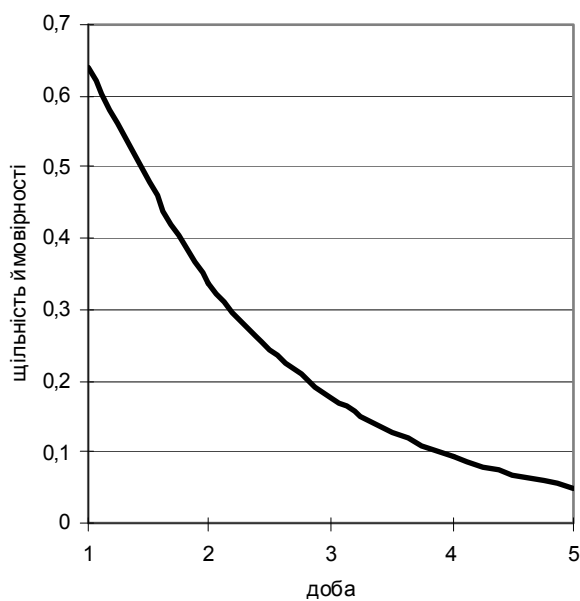
2019 рік

Рисунок 3.5 – Гістограми щільності розподілу періодів відсутності вітру

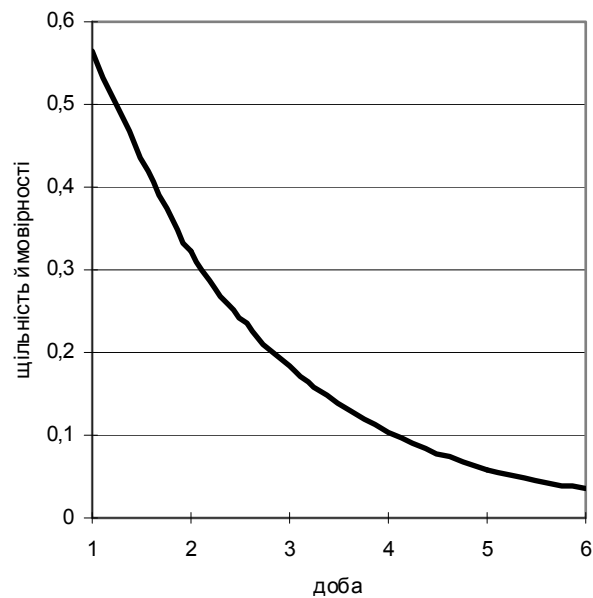
Імовірність появи періоду відсутності вітру більшого за заданий можна визначити як

$$P(t) = 1 - \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda t}.$$

Графіки даної функції для двох років спостереження приведені на рис. 3.7.

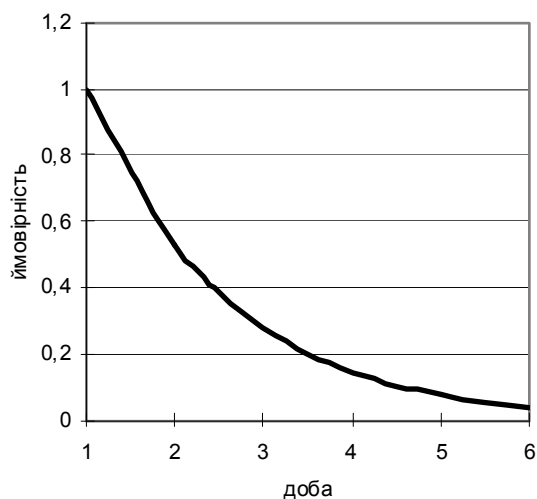


2018 рік

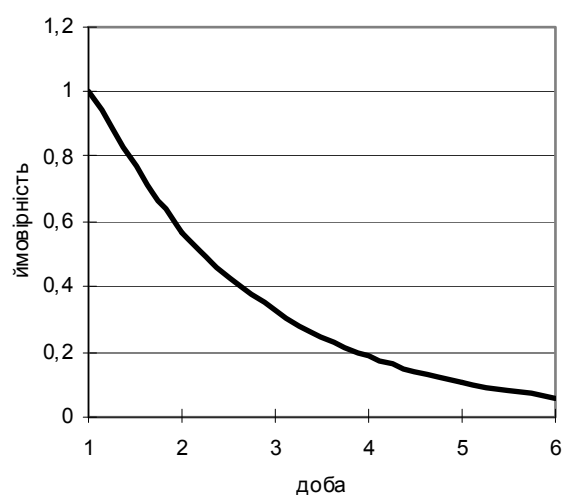


2019 рік

Рисунок 3.6 – Функція щільності розподілу періодів відсутності вітру



2018 рік



2019 рік

Рисунок 3.7 – Графіки функції ймовірності появи періоду відсутності вітру, більшого за заданий

В якості критерію узгодженості емпіричної функції розподілу щільності імовірності $f^*(t)$, яка отримана у вигляді гістограм в результаті обробки експериментальних даних з гіпотетичною функцією $f(t)$ (експоненційною), використовувався критерій Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^k \frac{(f(t_i) - f^*(t_i))^2}{f(t_i)},$$

де k – кількість розрядів гістограм, при кількості степенів свободи $r = k - 2$.

Для даних, представлених на рис. 3.6 значення критерію Пірсона дорівнює відповідно $\chi^2 = 0,145$, та $\chi^2 = 0,079$, що дає можливість стверджувати, що гіпотеза про відповідність експоненційного закону розподілу експериментальним даним є вірною з імовірністю помилки $p < 0,02$.

Шляхом аналізу статистичних даних за 2014 – 2019 роки встановлено, що параметр експоненційного розподілу λ має нормальний розподіл з маточікуванням $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

та дисперсією:

$$\sigma_{\lambda} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2.$$

По цих даних можна визначити надійний інтервал для λ . Знаючи надійний інтервал для λ , використовуючи функцію імовірності появи періодів відсутності вітру та знаючи енергетичні потреби споживача, можна визначити необхідну ємність акумулюючої системи, таку, щоб імовірність стабільного електропостачання за певний період була не менше наперед заданої.

3.8 Методика оціночного розрахунку автономної енергосистеми з використанням вітроелектроустановок та системи акумулювання на основі електрохімічних акумуляторів

1. Вихідні дані:

- а) ймовірність безперебійного електропостачання;
 - б) кількість споживачів n ;
 - в) середня (за добу) енергія, що споживається кожним споживачем;
 - г) ймовірність безперебійного електропостачання.
2. Визначаються енергетичні потреби споживачів:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_i,$$

де P_i – середня енергія, що споживається i -м споживачем.

3. Вибирається необхідний тип вітроустановки. Потужність, яка генерується вітроустановкою, можна визначити використовуючи інформацію, яка надається фірмами-виробниками.

4. Визначається необхідна кількість вітроустановок:

$$N = \frac{P_{\Sigma}}{P \cdot 24},$$

де P – потужність вітроустановки, яка надана фірмою-виробником.

5. Використовуючи метеорологічні дані замірів швидкості вітру, та програму, приведену в додатку А, для порогової швидкості $v_{tr} = v_{сер}$, визначається параметр λ розподілу періодів відсутності вітру. Якщо наявності є дані декількох років спостереження, визначається маточікування та дисперсія λ .

6. Будується графік ймовірності періоду відсутності вітру з тривалістю, більшу за задану.

7. По заданій ймовірності безперебійного електропостачання p визначається тривалість періоду безвітря, T_w , ймовірність якого дорівнює $1 - p$.

8. Ємність системи акумулювання Q визначається як $Q = P_{\Sigma} \cdot T_w$.

3.9 Оціночний розрахунок комплексної енергосистеми

Розглянемо комплексну автономну енергосистему на основі ВДЕ, де перетворювачами енергії є ФБ та ВЕУ. Оскільки надходження енергії від цих джерел має стохастичний характер, для створення методики оціночного розрахунку скористаємось, як і в випадку енергосистеми на основі вітрогенераторів, методами теорії ймовірності та математичної статистики. Для побудови методики важливо знати не розподіл щільності ймовірності ПВПЕ для кожного джерела окремо, а спільний розподіл щільності ймовірності ПВПЕ, тобто

$$\varphi(t, \tau) = P\{t \leq T \leq t + \Delta t, \tau \leq T \leq \tau + \Delta \tau\},$$

де Δt – тривалість періоду відсутності вітру,

$\Delta \tau$ – тривалість період відсутності Сонця.

При цьому ймовірність того, що Δt прийме значення в інтервалі від a до b , а $\Delta \tau$ при цьому прийме значення від c до d , знаходиться по формулі

$$P\{a \leq \Delta t \leq b, c \leq \Delta \tau \leq d\} = \int_c^d \int_a^b \varphi(t, \tau) dt d\tau.$$

Ймовірність появи ПВПЕ, більшого за заданий, обчислюється за формулою

$$P\{t, \tau\} = 1 - \int_0^t \int_0^{\tau} \varphi(t, \tau) d\tau dt.$$

Після визначення ПВПЕ, що відповідає наперед заданій імовірності, розрахунки системи акумулювання, встановленої потужності джерел енергії проводиться по методиці, приведеній в попередньому пункті.

Отже, для розрахунку комплексної енергосистеми необхідно визначити функцію $\varphi(t, \tau)$. При аналізі експериментальних даних може виявитись, що періоди відсутності вітру і періоди відсутності сонячного випромінювання корелюють. У випадку сильної кореляційної залежності для визначення функції $\varphi(t, \tau)$ достатньо інформації лише про функцію розподілу періодів відсутності вітру або сонячного випромінювання. У випадку відсутності кореляції, або слабкої кореляції необхідно по експериментальним даним визначати функцію $\varphi(t, \tau)$. У будь якому випадку необхідні подальші дослідження.

Висновки до розділу 3

1. Проведено аналіз системи автоматичного управління зарядом АБ від ФБ на основі ППН–3. Встановлено, що ППН–3 в системі АБ – ФБ є немінимально–фазовим колом, причому розташування нулів та полюсів передаточної характеристики залежить від параметрів фотобатарей.

2. Створено методику розрахунку системи автоматичного управління зарядом АБ від ФБ з колами корекції. На основі цієї методики створено пристрій для підтримання системи АБ – ФБ в точці віддачі максимальної потужності. Лабораторні випробування підтвердили ефективність застосування такого пристрою в системах АБ – ФБ, особливо при наявності змін рівня освітленості, що є найбільш характерним випадком для натурних умов.

3. Описано методику оціночного розрахунку автономної енергосистеми з вітрогенераторами на основі статистичного аналізу параметрів вітру. Використання цієї методики дозволить обґрунтовано визначити ємність системи акумулювання в залежності від конкретних кліматичних умов.

4. Обробка метеорологічних даних за рік спостереження показала, що різні за кліматичними умовами регіони мають однаковий характер закону розподілу періодів відсутності вітру. Різниця полягає тільки в різних значеннях параметру розподілу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Безпека робіт при монтажі та експлуатації вітроустановок

Монтаж вітроустановки «під ключ» займає один-два дні в залежності від потужності установки та умов монтажу. Якщо необхідно попередню закладку фундаменту, то вона виробляється, як мінімум, за три тижні до початку монтажу системи. Для закладки фундаменту необхідні анкери, що комплектуються разом із щоглою вітроустановки – до них буде кріпитися основа вітряка.

Вітрові генератори не є шкідливими. Під час роботи вітрогенератори створюють електромагнітне поле, як і будь-який інший побутовий електроприлад. Тому випромінювання від середнього по потужності вітрогенератора не більше, ніж від електродріля. У промислових вітрогенераторів (потужністю понад 100 кВт) електромагнітне поле дійсно сильне, але такий тип вітряків ніколи не встановлюють біля житлових будинків.

Шум вітряка при середній швидкості вітру практично нерозрізнений від фонових сторонніх шумів. Вітроустановка генерує наступні шуми:

– аеродинамічні шуми, які виникають через потоки повітря крізь лопаті. Шуми збільшуються зі швидкістю обертання ротора. Іноді через повітряні турбулентності деякі види лопатей можуть видавати свистячий звук;

– механічні шуми, які виникають в інших допоміжних компонентах вітряка (генератор, редуктор та ін.).

Невеликі вітряки виробляють не більше шуму, ніж кондиціонери. Для типової промислової вітроелектростанції рівень звукового тиску в 250 м становить приблизно 45 дБ.

Вітроустановку бажано встановлювати на відкритому місці. Усі перешкоди, такі, як дерева, пагорби або будинки будуть сприяти утворенню

нерівних повітряних потоків, що значно зменшує продуктивність вітряка. Якщо на місцевості все-таки є великі об'єкти, тоді його варто встановлювати на висоті 3-4 м над будь-якою перешкодою. Якщо висота вітряка перевищує висоту будинку і будинок не буде закривати установку від вітру, то її можна встановлювати впритул до будівлі.

Не рекомендується монтувати установки понад 2 кВт на будинку чи кріпити до будинку. Вітрогенератори, як і будь-який інший роторний пристрій, створюють мікроколивання і мікровібрації, що згодом можуть привести до утворення тріщин у стінах або даху будинку. Чим більший вітрогенератор, тим більші мікровібрації.

Площу, яку повинен займати вітрогенератор, подають в технічній документації кожного окремого вітрогенератора. Додаткове устаткування вітроустановки повинно розташовуватися в сухому провітрюваному приміщенні з постійною температурою 10 – 40 °С і вологістю повітря не вище 85 %.

Установки до 3 кВт можна встановити самостійно без сторонньої допомоги. Усі комплектуючі, необхідні для монтажу і підключення, поставляються в комплекті. Список необхідних дій по обслуговуванню вітрогенератора та техніці безпеки приведений у технічній документації вітрогенератора.

Інвертор дозволяється використовувати лише такої ж потужності, як і вітрогенератор, або більшої потужності. Використання інвертора меншої потужності приведе до несправності всієї системи.

З метою безпеки при швидкості вітру 12-13 м/с вітроустановка повинна починати поступове гальмування, щоб уникнути перевантаження та руйнування. Вітроустановки потужністю до 3 кВт розвертають свої лопаті, пропускаючи частину вітру, механічним шляхом. У вітроустановках потужністю 3 кВт і вище за це відповідає автоматика контролера.

4.2 Надзвичайні ситуації природного характеру

Серед більшості причин надзвичайних ситуацій природного характеру виділяються землетруси, повені, зсуви, урагани.

Землетруси виникають при раптовому розриві гірських порід Землі та при вивільненні енергії, яка розповсюджується у вигляді сейсмічних хвиль і спричиняє серію коливальних рухів земної поверхні. Місце, де виникає підземний поштовх, називається осередком землетрусу; точка у глибині Землі, де починається розрив – гіпоцентром, її проекція на поверхню Землі – епіцентром.

Існують шкали бальності, за допомогою, котрих оцінюють руйнівну силу землетрусу.

Розглянемо кілька рекомендацій, як поводитися під час землетрусу:

- якщо діяти спокійно і свідомо, то є більше шансів залишитись неушкодженим. Якщо відчувається здригання ґрунту чи будинку, слід реагувати негайно, пам'ятаючи, що найбільш небезпечні предмети, що падають;

- перебуваючи у приміщенні, слід негайно зайняти безпечне місце, заховатись під стіл чи ліжко. Можна стати у заглибини внутрішніх дверей чи у кут кімнати. Слід пам'ятати, що частіше завалюються зовнішні стіни будинків. Необхідно триматися подалі від вікон, печей чи важких предметів, наприклад, холодильників, які можуть перекинутися чи зрушити з місця;

- не слід вибігати з будинку, оскільки уламки, які падають уздовж стін є серйозною небезпекою. Безпечніше перечекати поштовх там, де він вас застав, і, лише дочекавшись його закінчення, вийти;

- буде безпечніше залишити неукріплений одно чи двоповерховий цегляний будинок, ніж залишатися в ньому. Виходьте з будинку якнайшвидше, але остерігайтесь предметів, які падають;

- не слід одразу стрибати з вікна. Це може призвести до травми навіть за відсутності загрози руйнування будинку;

- знаходячись на тротуарі поблизу високого будинку, слід зайти до під'їзду чи відійти у безпечне місце;

– автомобіль слід повільно зупинити подалі від високих будинків, мостів чи естакад. Необхідно залишатися в машині до припинення поштовхів;

– у багатоповерховому будинку не поспішайте до ліфтів чи сходів. Сходові прольоти та ліфти під час землетрусу часто обвалюються;

– особливо важливо зберігати спокій, після припинення поштовхів негайно розпочати надавання допомоги потерпілим та пораненим, приступити до гасіння пожеж;

– опинившись у завалі, слід спокійно оцінити становище, надати собі першу допомогу, якщо це можливо - зупинити кровотечу, накласти пов'язку, допомогти тим, хто поряд, заспокоїти їх. Важливо подбати про встановлення зв'язку з тими, хто перебуває зовні завалу (голосом, стуком). Заощаджуйте сили. Людина може зберігати життєздатність (без води і їжі) понад два тижні.

Під час землетрусу чи при безпосередній загрозі його виникнення підприємства та установи усі роботи завершують, проводиться безаварійна зупинка виробництва.

Повені – це тимчасові значні затоплення місцевості внаслідок підняття рівня води у річці, озері, водосховищі через весняне сніготанення, випадання сильних дощових опадів, злив, затори льоду на річках, прорив греблі та огорож дамб. Повені завдають великої матеріальної шкоди та призводять до людських жертв. Вони відрізняються від інших стихійних лих тим, що деякою мірою прогнозовані. Своєчасно вжиті заходи дозволяють виключити чи значно зменшити катастрофічні наслідки повені.

Основний напрям у створенні безпеки за можливості повені вчасно перерозподілити стік (насадження лісозахисних смуг тощо). Певний ефект дає також обладнання ставків та інших ємкостей у балках і ярах для перехоплення талих та дощових вод. Для середніх та великих рік єдиний радикальний засіб – це регулювання повеневого стоку за допомогою водосховища. Крім того, для захисту від повеней широко використовується давно відомий спосіб влаштування дамб.

У ймовірних осередках ураження при затопленні на підставі прогнозу

повинні визначатися та доводитися до відома населення:

- межі можливої зони затоплення;
- рівень підйому води;
- час приходу проривної води на об'єкт;
- тривалість затоплення.

Одночасно визначається місце та зона евакуації населення при загрозі затоплення.

Зсуви – це ковзке зміщення великих мас ґрунту униз по схилу, що виникає під час порушення рівноваги, викликані різними причинами. Зсуви можуть бути на всіх схилах під кутом 20° і більше й у будь-яку пору року. Вони відрізняються за швидкістю зміщення порід (повільні, середні, швидкі) та за своїми масштабами. Швидкість повільних зміщень порід становить декілька десятків сантиметрів за рік, середніх – декілька метрів за годину чи добу і швидких – десятки кілометрів за годину і більше. Зсуви, гірські обвали та обсипання – події, часті в багатьох країнах світу. Вони здатні викликати великі завали чи обвали автомобільних та залізничних шляхів, руйнування населених пунктів, знищення сільськогосподарських угідь, лісів, спричиняти затоплення і загибель людей.

Захист від зсувів здійснюється відведенням підземних вод у колектори, зменшенням стрімкості берегів, де можливі зсуви, укріпленням берегів лісонасадженнями та інженерними засобами.

Урагани – це вітри, швидкість яких перевищує 30 м/сек. Вони виникають внаслідок нерівномірного нагрівання атмосферного повітря на різних широтах та висотах і різниці тиску в різних шарах атмосфери. Пролітаючи над землею з величезною швидкістю, яка сягає 150 і більше кілометрів за годину, ураган ламає дерева, руйнує будівлі та інші споруди.

На морі ураган створює хвилі, котрі перешкоджають судноплавству, а іноді призводять до загибелі суден.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Удосконалено математичну модель процесу заряду електрохімічних акумуляторів від фотобатареї для забезпечення отримання максимальної потужності.

2. Запропоновано методику розрахунку системи автоматичного підтримання фотобатареї для забезпечення її максимальної потужності.

3. Досліджено режими відбору максимальної потужності від частково затінених фотобатарей.

4. Запропоновано пристрій автоматичного управління зарядом акумулятора від фотобатареї, який дозволяє підвищити коефіцієнт використання фотобатареї до 25 %.

5. Встановлено експоненційний закон розподілу періодів відсутності вітру. Запропоновано метод розрахунку автономної енергосистеми, який дозволить визначати кількість ВЕУ та ємність системи акумулявання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
2. Денисенко Г. И. Возобновляемые источники энергии. – К.: КПИ, 1979. – 128 с.
3. Петергеря Ю. С. Забезпечення умов відбирання максимальної потужності від автономних джерел живлення // Техн. електродинаміка. – 2000. – № 3. – С. 28 – 32.
4. Энергетика 21 століття // Устойчивый Крым. Зб. наук. пр. – Симферополь: Экология и мир, 2001. – С. 267.
5. Кудря С. А., Васько В. П., Кирпатенко И. Н., Яценко Л. В. Состояние развития ветроэнергетики и малой гидроэнергетики Украины // Техн. електродинаміка. Темат. вип. Моделювання електронних, енергетичних та технологічних систем, част. 1. – 1999. – С.32 – 33.
6. Энергетика України. – К.: Міністерство палива та енергетики України. – 2002. – 31 с.
7. Кудря С. А. Ветроэнергетика в Украине и Крыму // Устойчивый Крым: Зб. наук. пр. – Симферополь: Экология и мир. – 2001. – С. 294 – 301.
8. Кудря С. А., Мхитарян Н. М., Яценко Л. В. Потенциал солнечной энергии и перспективы её использования в Украине // Устойчивый Крым. Зб. наук. пр. – Симферополь: Экология и мир. – 2001. – С. 366 – 375.
9. Стаценко Н. И., Белов Д. Г. Солнечные батареи (прямое преобразование солнечной энергии в электрическую): мировые тенденции развития и состояние в Украине и Крыму // Устойчивый Крым. Зб. наук. пр. – Симферополь: Экология и мир. – 2001. – С. 375 – 381.
10. Кудря С. О., Яценко Л. В., Кирпатенко И. М., Васько В. П. Методи підвищення ефективності застосування обладнання на основі відновлюваних джерел енергії в комбінованих енергетичних системах // Винахідник і

раціоналізатор. – 1999. – №1-2. – С. 43.

11. Шидловський А. К, Павлов В.Б., Скиданов В. М., Юрченко О. Н. Источники питания электромобилей и автономных транспортных средств. Препр. №786 / АН України. Інститут електродинаміки; - К.: 2000. – 37 с.

12. Брыль А. А. Аппроксимация характеристик ветродвигателя методом сплайн-функций // Проблемы создания и использования возобновляемых источников энергии. Сборник научных работ. – Киев: Академия наук Украины, Інститут електродинаміки – 1991. – С. 43 – 47.

13. Брыль А. А., Васько В. П., Васько П. Ф., Кирпатенко И. Н., Пекур П. П. Основные показатели качества изготовления и эксплуатации ВЭУ // Авиационно-космическая техника и технология. Сборник научных трудов. – Харьков. – 1999. – С. 19 – 23.

14. Шихайлов Н. А. Структурная схема системы автоматического регулирования угловой скорости ветроустановки // Проблемы создания и использования возобновляемых источников энергии. Сборник научных работ. Киев: Академия наук Украины, Інститут електродинаміки. – 1991. – С. 17 – 23.

15. Пейтон А. Дж., Волш В. Аналоговая электроника на операционных усилителях: Пер. с англ. – М.: Бином, 1994. – 350 с.

16. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью: Пер. с англ. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 615 с.

17. Васильев Д. В., Чуич В. Г.. Системы автоматического управления.- М.: Высшая школа, 1967. – 418 с.

18. Курочкин Г. Ф., Миронова О. П., Резцов В. Ф., Суржик Т. В., Шевчук В. И. Математическое моделирование электрических и энергетических процессов в системах «фотобатарея – нелинейная электрическая, тепловая или механическая нагрузка»: Препр. № 748 /АН України, Інститут електродинаміки. – К.: 1993. – 29 с.

19. Кирпатенко І. М. Кусково – лінійна апроксимація вольт – амперної характеристики фотобатареї // Технічна електродинаміка. – 2002. – №4. – С. 11 – 13.

20. Романов В. С., Хашев С. А. Химические источники тока. – М.:

Енергоатомиздат, 1972. – 180 с.

21. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике. Математика в техническом университете. Выпуск 21. – М.: Издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана – 2001. – 495 с.

22. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Пер. с англ. – М.: Наука, 1978. – 831 с.

23. Артёменко М. Е. Оптимизация отбора мощности, генерируемой солнечной батареей // Технічна електродинаміка. Темат. вип. Проблеми сучасної електротехніки, част. 6. - 2000. – С. 78 – 80.

24. Севернс Р., Блум Г.. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 292 с.

25. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 238 с.

26. Сергеев Б. С., Чечулина А. Н. Источники электропитания электронной аппаратуры железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1998. – 254 с.

27. Гольдфарб Л. С. Конспект лекций по курсу «Теория автоматического регулирования». – М.: Издательство МЭИ, 1965. – 253 с.

28. Кирпатенко І. М. Автоматизація процесів акумуляування електричної енергії відновлюваних джерел // Винахідник і раціоналізатор. – 1999. – № 1-2. – С. 34 – 35.

29. Кудря С. О. Системы акумуляування і перетворення енергії відновлюваних джерел. Дис... докт. техн. наук: 05.14.08. – К., 1996. – 512 с.

30. Кудря С. А., Шевченко Е. В., Ерёмченко И. А. Прибор для автоматического управления зарядом аккумулятора «ПАУЗА – 4» // Научно – практ. Конференция «Опыт использования нетрадиционных источников в народном хозяйстве». – Душанбе. – 1988. – С. 28 – 32.

31. Кудря С. А., Шевченко Е. В., Еременко И. А. Система автоматического управления зарядом аккумуляторной батареи // Преобразование, стабилизация параметров электроэнергии. Сборник научных

трудов. – К.: Наукова думка. – 1990. – С.114 – 117.

32. Кирпатенко І. М. Система резервного електроживлення жилих та промислових об'єктів // Технічна електродинаміка. Темат. вип. Проблеми сучасної електротехніки, част. 3. - 2000. – С. 74 – 75.

33. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М.: Сов. Радио, 1962. - 551 с.

34. Маликов В. Т, Кветный Р. Н. Вычислительные методы и применение ЭВМ.- К.: Вища школа, 1989. – 212 с.

35. Смирнов П. В., Дунин – Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – 511 с.

36. Кирпатенко І. М. Прилад автоматичного управління зарядом – розрядом акумуляторів (зарядно – розрядний контролер) // Матеріали 2 Міжнародної конференції «Нетрадиційна енергетика в ХХІ столітті». – Ялта. – 2001. – С.98 – 100.

37. Кирпатенко І. М. Система резервного електроживлення з використанням возобновляемых источников энергии // Матеріали міжнародної конференції “Clean Energy for Crimea”. – Гурзуф. – 2001. – С. 58 – 50.

Додаток А

Програма для побудови гістограми закону розподілу ймовірності періодів відсутності вітру (програмне середовище MathCad)

```

W(X1 ,n, f, s) :=
  d ← 0
  for j ∈ 0
    Yj ← 0
  for k ∈ 0.. s
    Zk ← k
  for i ∈ 0.. n
    B ← X1i - f
    if B > 0
      i ← i + 1
      j ← j + 1
    otherwise
      Yj ← Yj + 1
      q ← j
  for j ∈ 0.. q
    d ← d + 1 if Yj > 0
    j ← j + 1 otherwise
  r ← 0
  u ← 0
  for k ∈ 1.. s
    for j ∈ 0.. q
      if Zk = Yj
        u ← u + 1
        Mr ← u
        j ← j + 1
      j ← j + 1 otherwise
    u ← 0
    k ← k + 1
    r ← r + 1
  M ←  $\frac{M}{d}$ 
  M

```

Додаток Б

Приклад оціночного розрахунку енергосистеми на основі вітрогенераторів

Енергоспоживач – фермерське господарство. Електроспоживання наступне: освітлення – 1 кВтгод/добу, побутові електроприлади – 0,5 кВтгод/добу, електрополив – 2 кВтгод/доб. Вітрові умови аналогічні умовам на площадці Донузлавської ВЕС. Система акумулювання повинна забезпечити ймовірність безперебійного електропостачання $p = 0,9$.

1. Загальні енергетичні потреби господарства $P_{\Sigma} = 3,5$ кВтгод /добу.
2. Для вітрогенератора Rutland 913 при середній швидкості вітру $v_{сер} = 8,5$ м/сек визначаємо $P = 60$ Вт.
3. Необхідна кількість вітроустановок $N = 3$.
4. Використовуючи дані спостережень за швидкістю вітру за 8 років та програму, приведену в додатку А, для значення $v_{ir} = v_{сер}$, обчислюємо параметр λ . Значення параметру λ приведено в таблиці Б.1.

Таблиця Б.1 – Величина параметру λ в залежності від року спостереження

Рік спостереження	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
λ	0,492	0,639	0,564	0,607	0,508	0,612	0,602	0,495

5. Математичне очікування та дисперсія для λ : $\bar{\lambda} = 0,565$, $\sigma_{\lambda} = 0,0037$.
6. Визначаємо надійний інтервал для λ . Наприклад, для надійної ймовірності 0,9986 надійний інтервал складатиме $\lambda \pm 3\sigma_{\lambda}$.
7. Орієнтуючись на нижню границю надійного інтервалу (найгірший випадок), визначаємо λ_n . В даному випадку $\lambda_n = \bar{\lambda} - 3\sigma_{\lambda} = 0,5539$.
8. Для λ_n будуємо графік функції ймовірності появи періоду відсутності

вітру, більшого за заданий (рис. Б.1).

9. По графіку рис. Б.1 для заданої імовірності надійної роботи p знаходимо, що ємність акумулюючої системи повинна бути такою, щоб забезпечити потреби споживачів на ~ 4 доби.
10. Необхідна ємність системи акумулювання $Q=14$ кВтгод (згідно п. 4.3).

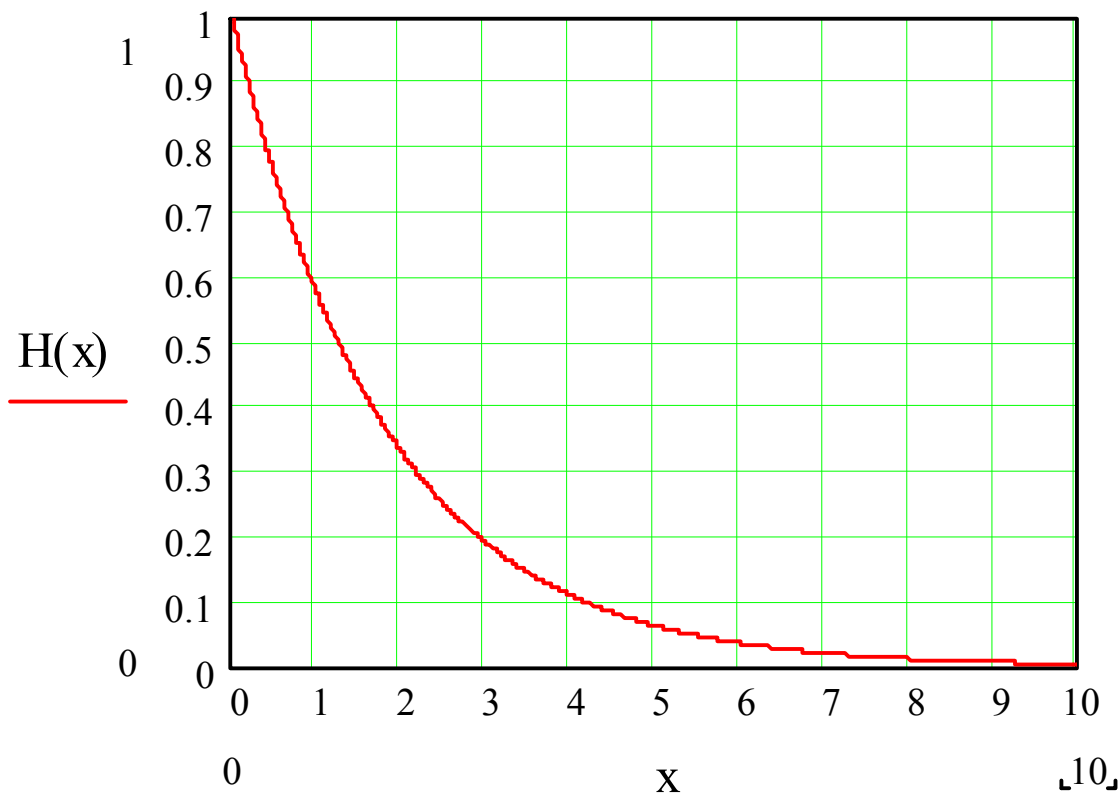


Рисунок Б.1 – Графік імовірності появи періоду відсутності вітру, більшого за заданий ($H(x)$ – імовірність, x – час, доба)