

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Підвищення енергоефективності малої гідроенергетики на базі
пропелерних гідротурбін і підвідних трубопроводів сифонного
типу**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕМм-61

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

| | | |
|---------------|----------|------------------------|
| | <hr/> | Галінський А.М. |
| | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Керівник | <hr/> | Зінь М.М. |
| | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Нормоконтроль | <hr/> | Коваль В.П. |
| | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Рецензент | <hr/> | Габрусєв Г.В. |
| | (підпис) | (прізвище та ініціали) |

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Електричної інженерії

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.

« _____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Галінському Андрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності малої гідроенергетики на базі
пропелерних гідротурбін і підвідних трубопроводів сифонного
типу

Керівник роботи Зінь Мирослав Михайлович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затвержені наказом по університету від 23 серпня 2019 року № 4/7-731

2. Термін подання студентом роботи 19 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Спеціальна частина</i> | <i>к.т.н., доц. Зінь М.М.</i> | | |
| <i>Обґрунтування економічної ефективності</i> | <i>д.е.н., проф. Малиута Л.Я.</i> | | |
| <i>Охорона праці</i> | <i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i> | | |
| <i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i> | <i>ст. викл. Клепчик В.М.</i> | | |
| <i>Екологія</i> | <i>к.т.н., доц. Зварич Н.М.</i> | | |
| <i>Нормоконтроль</i> | <i>к.т.н., доц. Коваль В.П.</i> | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання

01 вересня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Літературний огляд за напрямком дипломної роботи | 01.09.19 – 01.10.19 | |
| | | | |
| 2 | Підготовка основної частини пояснювальної записки дипломної роботи | 01.10.19 – 25.10.19 | |
| | | | |
| 3 | Підготовка розділу «Спеціальна частина» | 25.10.19 – 22.11.19 | |
| | | | |
| 4 | Підготовка розділу «Обґрунтування економічної ефективності» | 22.11.19 – 29.11.19 | |
| | | | |
| 5 | Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях» | 30.11.19 – 05.12.19 | |
| | | | |
| 6 | Підготовка розділу «Екологія» | 05.12.19 – 10.12.19 | |
| | | | |
| 7 | Складання переліку використаних літературних джерел | 11.12.19 – 12.12.19 | |
| | | | |
| 8 | Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату | 12.12.19 – 14.12.19 | |
| | | | |
| 10 | Отримання відгуку та рецензії на дипломну роботу, підготовка доповіді на захист | 15.12.19 – 17.12.19 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

(підпис)

Галінський А.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Зінь М.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дана кваліфікаційна робота магістра містить: 105 сторінок, 13 рисунків, 20 таблиці, 51 формулу.

У роботі розглядається питання використання енергії малих річок України, а саме їх гідроенергетичний потенціал для вироблення електроенергії.

Дана робота пов'язана з визначенням факторів, які можуть підвищити ефективність використання гідротурбіни на річці, а саме: вибір правильних кутів установки робочих і напрямних лопаток для номінального режиму роботи турбіни, а також правильність режимів, установки кутів які відрізняються від номінального.

Метою магістерської роботи є підвищення енергоефективності малої гідроенергетики.

Об'єктом дослідження є: робоче колесо пропелерної гідротурбіни.

Предметом дослідження є: отримання електроенергії на малих річках за допомогою гідроагрегатів.

Методами дослідження є: відомі методи визначення гідроенергетичного потенціалу та моделювання потоку у турбіні, які дозволяють отримувати результати, що максимально наближені до реальних ; економічний аналіз.

Ключові слова: ГІДРОЕНЕРГЕТИКА, ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ, ГІДРОТУРБІНА МІНІ ГЕС, РУХ РІДИНИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ КУТА НАХИЛУ ЛОПАТОК, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|----------------------|--|--|------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | РЕФЕРАТ | | | | | |
| Розроб. | Галінський А.М. | | | | | | | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | Зінь М.М. | | | | | | | | | |
| Консульт. | Зінь М.М. | | | | | | | | | |
| Н. контр. | Коваль В.П. | | | | | | | | | |
| Зав. каф. | Тарасенко М.Г. | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | | | | |

ЗМІСТ

| | с. |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 8 |
| ВСТУП | 9 |
| РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД | 12 |
| 1.1. Мала гідроенергетика, перспективи та напрями розвитку..... | 12 |
| 1.2. Досягнення малої гідроенергетики в світі..... | 15 |
| 1.3. Переваги та недоліки малої гідроенергетики..... | 19 |
| 1.4. Типи малих ГЕС та класифікація гідротурбін..... | 21 |
| 1.5. Характеристики діючих малих ГЕС..... | 27 |
| 1.6. Висновки до розділу 1..... | 29 |
| РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА | 30 |
| 2.1. Розрахунок характеристик лопатей робочого колеса чотирилопатевого гідротурбін Т – 90..... | 30 |
| 2.1.1. Розподіл осьової складової швидкості за радіусом $v_z=f(r)$ | 30 |
| 2.1.2. Побудова вхідних і вихідних трикутників швидкостей на розрахункових поверхнях потоку..... | 31 |
| 2.1.3. Визначення коефіцієнтів A_0 і A_1 | 35 |
| 2.1.4. Метод підйомних сил..... | 35 |
| 2.1.5. Визначення коефіцієнтів a і b | 38 |
| 2.1.6. Знаходження координат і побудова скелету профіля..... | 41 |
| 2.1.7. Побудова профілів кінцевої товщини..... | 48 |
| 2.2. Розрахунок характеристик трилопатевої гідротурбіни для швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв..... | 51 |
| 2.2.1. Визначення розподілу осьової складової швидкості за радіусом $v_z=f(r)$ | 54 |

| | | | | | |
|----------------------|------|-----------------|--------|------|------------------------|
| ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | | |
| | | | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | ЗМІСТ |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | |
| Консульт. | | Зінь М.М. | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | |
| | | | | | Літ. Лист Листів |
| | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 |

| | |
|---|----|
| 2.2.2. Побудова вхідних і вихідних трикутників швидкостей на розрахункових поверхнях потоку | 54 |
| 2.2.3. Визначення коефіцієнтів A_0 і A_1 | 55 |
| 2.2.4. Метод підйомних сил | 56 |
| 2.2.5. Визначення коефіцієнтів a і b | 57 |
| 2.2.6. Знаходження координат і побудова скелету профіля | 58 |
| 2.2.7. Побудова профілів кінцевої товщини | 58 |
| 2.3. Розрахунок характеристик дволопатевої гідротурбіни для швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв | 59 |
| 2.3.1. Визначення розподілу осьової складової швидкості за радіусом $v_z=f(r)$ | 61 |
| 2.3.2. Побудова вхідних і вихідних трикутників швидкостей на розрахункових поверхнях потоку | 62 |
| 2.3.3. Визначення коефіцієнтів A_0 і A_1 | 62 |
| 2.3.4. Метод підйомних сил | 63 |
| 2.3.5. Визначення коефіцієнтів a і b | 64 |
| 2.3.6. Знаходження координат і побудова скелету профіля | 65 |
| 2.3.7. Побудова профілів кінцевої товщини | 66 |
| 2.4. Висновки до розділу 2 | 66 |

РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 68

| | |
|---|----|
| 3.1. Аналіз існуючих комп'ютерних програм для моделювання гідродинамічних задач | 68 |
| 3.2. Моделювання руху рідини в робочому елементі поворотно-лопатевої турбіни | 69 |
| 3.3. Аналіз впливу зміни кута нахилу лопаті турбіни на швидкість та тиск рідини в робочому елементі турбіни | 71 |

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 74

| | |
|---|----|
| 4.1. Основні показники економічної ефективності інноваційних проектів | 74 |
| 4.2. Прогноз економічного ефекту від реалізації проекту | 78 |

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | Арк. |
| | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

| | |
|--|------------|
| 4.2.1. Загальна економічна ефективність капітальних вкладень..... | 78 |
| 4.2.2. Визначення терміну окупності проекту | 80 |
| 4.3. Висновок до розділу 4 | 81 |
| РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 82 |
| 5.1. Забезпечення безпечних умов роботи гідротехнічних споруд..... | 82 |
| 5.2. Правила безпечної експлуатації гідротурбінного устаткування | 84 |
| 5.3. Заходи для забезпечення електробезпеки..... | 85 |
| 5.4. Заходи для запобігання виникнення пожежі..... | 87 |
| 5.5. Фактори, що впливають на протипожежну стійкість об'єкту..... | 88 |
| РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ | 93 |
| 6.1. Особливості взаємодії ГЕС із навколишнім середовищем..... | 93 |
| 6.2. Оцінка негативного впливу на довкілля будівництва і експлуатації ГЕС... | 96 |
| ВИСНОВКИ | 99 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 101 |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

| | |
|------|------------------------------|
| ГЕС | Гідроелектростанція; |
| МГЕС | Мала гідроелектростанція; |
| ГП | Гідроенергетичний потенціал; |
| АЕС | Атомна електростанція; |
| ТЕС | Теплова електростанція; |
| ККД | Коефіцієнт корисної дії. |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--------------------------------------|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

ВСТУП

Актуальність роботи. Малі й мікро ГЕС - об'єкти малої гідроенергетики. Ця частина енергетичного виробництва займається використанням енергії водних ресурсів і гідравлічних систем за допомогою гідроенергетичних установок малої потужності (від 1 до 3000 кВт). Мала енергетика одержала розвиток у світі в останні десятиліття, в основному через прагнення уникнути екологічного збитку, який наноситься водоймищами великих ГЕС, через можливість забезпечити енергопостачання у важкодоступних і ізольованих районах, а також, через невеликі капітальні витрати при будівництві станцій і швидкого повернення вкладених коштів (у межах 5 років).

Однією з основних переваг об'єктів малої гідроенергетики є екологічна безпека. У процесі їх спорудження й наступної експлуатації шкідливих впливів на властивості і якість води немає. Водоймища можна використовувати й для рибогосподарської діяльності, і як джерела водопостачання населення. Однак, і крім цього в мікро й малих ГЕС чимало переваг. Сучасні станції прості в конструкції й повністю автоматизовані, тобто не вимагають присутності людини при експлуатації. Вироблюваний ними електричний струм відповідає вимогам ДСТУ по частоті й напрузі, причому станції можуть працювати як в автономному режимі, тобто поза електромережою енергосистеми краю або області, так і в складі цієї електромережі. А повний ресурс роботи станції не менш 40 років (не менш 5 років до капітального ремонту). Ну а головне - об'єкти малої енергетики не вимагають організації великих водоймищ із відповідним затопленням території й колосальним матеріальним збитком.

За часів СРСР в Україні експлуатувалося майже 1000 малих гідроелектро-станцій і тривало будівництво нових, але зі створенням потужних об'єктів і атомної енергетики різко знизилася роль малої гідроенергетики.

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|----------------------|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| | | | | | | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | ВСТУП | Літ. | Лист | Листів |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | | | | |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

Централізація енергопостачання, низькі ціни на паливо і електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких перебували малі ГЕС стали основними причинами, які призвели до їх економічної недоцільності. В результаті на сьогоднішній день залишилось функціонуючих лише 102 малі гідроелектростанції.

За останні роки Україна пізнала дуже велику енергетичну кризу, що в свою чергу збільшило інтерес до відновлювальних джерел енергії. Мала гідроенергетика дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих рік і притоків, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в країнах які зіткнулися з енергетичною кризою та значним падінням економіки. Малі гідроелектростанції мають не великі капіталовкладення та досить швидкий термін окупності.

Крім цього, розвиток відновлювальної енергетики в усьому світі також став актуальним, адже зі збільшенням населення та розвитком новітніх технологій необхідно використовувати значно більше паливно-енергетичних ресурсів, що в свою чергу призводить до постійного зростання цін на природне паливо.

Розвитку малої гідроенергетики приділяється значна увага в багатьох країнах, особливо в тих де існує велика кількість річок з незначною величиною водотоку, які можуть бути використані для будівництва міні- та мікро-ГЕС. На сьогоднішній день найбільшу кількість малих ГЕС встановлюють в Китаї та у країнах, що розвиваються.

Отже, мала гідроенергетика може займати значне місце у виробництві електроенергії у країнах що розвиваються, а також які зіткнулись з енергетичною кризою, для покращення економіки країни в цілому.

Метою роботи є підвищення енергоефективності малої гідроенергетики.

Об'єктом дослідження є робоче колесо пропелерної гідротурбіни.

Предметом дослідження є отримання електроенергії на малих річках за

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

допомогою гідроагрегатів.

Методами дослідження є: відомі методи визначення гідроенергетичного потенціалу та моделювання потоку у турбіні, які дозволяють отримувати результати, що максимально наближені до реальних ; економічний аналіз.

Практичне значення одержаних результатів. Робота має практичне значення при створенні систем електропостачання невеликих селищ, промислових об'єктів, що розташовані поблизу невеликих річок та водотоків. Результати, які отримані у даній роботі, допоможуть визначити техніко-економічну доцільність впровадження малих гідро-електростанцій, а також можуть бути використані для підвищення енергетичної ефективності створюваних та при реконструкції існуючих міні ГЕС.

Особистий внесок автора - особистий внесок автора включає постановку мети і задач дослідження, обґрунтування принципів і методів їхнього проведення, якісний і кількісний аналіз результатів, їхня інтерпретація.

Апробація роботи. Галінський А.М. Підвищення енергоефективності малої гідроенергетики на базі пропелерних гідротурбін і підвідних трубопроводів сифонного типу. // М.М. Зінь, А.М. Галінський // Збірник тез доповідей. Матеріали VIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 27 - 28 листопада 2019р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2019. – Т.3. С. 27.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Мала гідроенергетика, перспективи та напрями розвитку

Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлювальних джерел електроенергії, дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих річок і притоків, систем водопостачання, іригації з видаванням електроенергії в енергосистему, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в недостатньо розвинених країнах і в країнах, що розвиваються, з обмеженою системою централізованого електропостачання.

До переваг малих ГЕС відносяться порівняно невеликий об'єм інвестицій і короткий термін будівництва, що дозволяє прискорити отримання прибутку, забезпечити мінімальну дію на довкілля, надійність і близькість до споживача.

Сумарні світові інвестиції в малу гідроенергетику в 2016 році склали близько \$7 млрд. Середня вартість будівництва малих гідроелектростанцій склала від \$1,5 до \$2,5 тис. за 1 кВт встановленої потужності [1].

Розвиток гідроенергетики має довгострокові економічні переваги, перш за все з позиції можливості її диверсифікації, більш ефективного і багатоцільового використання гідроенергетичного потенціалу не тільки великих річок, а й малих. В даний час, незважаючи на те, що економічні характеристики малих ГЕС поступаються великим гідроелектростанціям, інтерес до них відновився і постійно зростає. Пояснюється це тим, що спорудження малої ГЕС не передбачає великих капіталовкладень і може бути побудована за раху-

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--------------------------------|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

нок коштів приватного сектору економіки, фермерських господарств і невеликих підприємств. Мала ГЕС, як правило, краща з екологічної точки зору, зокрема, не потрібно створювати великих водосховищ і, відповідно, великих площ затоплення [1].

Сьогодні немає загальноприйнятого для всіх країн поняття малої гідроелектростанції, однак у багатьох країнах в якості основної характеристики такої ГЕС прийнята її встановлена потужність [2].

Ринок великих ГЕС визначають кілька виробників основного обладнання та велике число постачальників допоміжних компонентів і систем. На відміну від цього ринок малих гідроспоруд представлений значною кількістю виробників обладнання, яке більш технологічно для застосування величезного розмаїття конструкцій і нових матеріалів [1].

Малі гідроелектростанції можуть експлуатуватися до 50 років без істотних витрат на заміну обладнання. Інвестиційні витрати на будівництво малих ГЕС мають значні відмінності між промислово розвиненими і країнами, що розвиваються. В країнах, що розвиваються, наприклад, у зв'язку з низькою вартістю робочої сили витрати на загально будівельні роботи істотно менше, ніж у промислово розвинених країнах. При умовно рівній вартості обладнання і монтажних робіт будівництво гідроенергетичного комплексу в країнах, що розвиваються може бути економічно більш виправданим, ніж в розвинених країнах [2].

З урахуванням обмеженості гідроресурсів в світі можна припустити, що в період до 2030 року темпи розвитку малої гідроенергетики помітно знизяться, але при цьому буде підтримуватися диверсифікація малої гідроенергетики. При темпі зростання в 4,5-4,7% виробництво електроенергії на малих ГЕС досягне до 2030 року 770-780 ТВт · год, що становитиме понад 2% всього виробництва електроенергії в світі. Таким чином, можна сказати, що мала гідроенергетика в доступній для огляду перспективі залишиться одним з найважливіших і конкурентоспроможних поновлюваних джерел енергії [1].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Україна має значний потенціал використання ресурсів малих річок (головним чином у західних регіонах), що складає майже 28% загального гідропотенціалу всіх річок України [3].

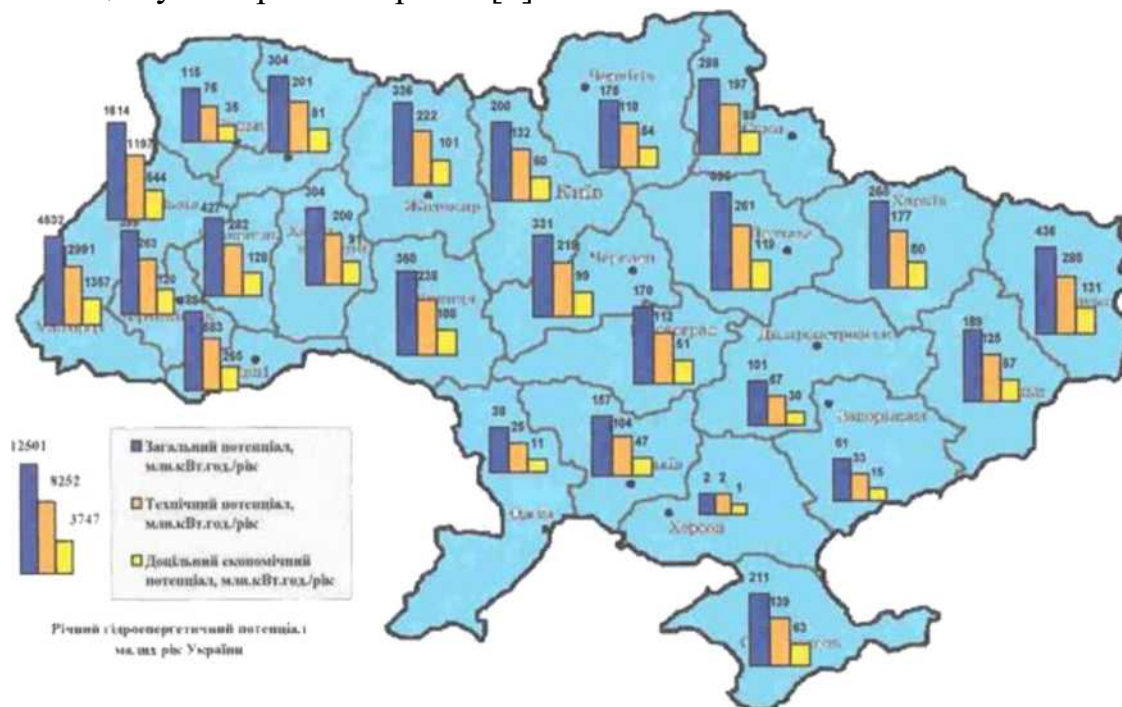


Рис. 1.1. Гідроенергетичний потенціал малих річок України

При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим вирішить ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості.

Мікро та малі ГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей - джерелом повного енергозабезпечення.

Для вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування і розробки конструкцій гідротурбінного обладнання. Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал для оснащення малих ГЕС вітчизняним обладнанням [3].

1.2. Досягнення малої гідроенергетики в світі

Згідно базовим прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), середньорічні темпи зростання виробництва електроенергії на великих ГЕС в 2007-2030 роках складуть 2%, до 2030-го виробництво енергії на них перевищить 4380 ТВт · год. Частка великих гідроелектростанцій в загальному світовому виробництві електроенергії знизиться до 12,4% (WEO, 2015) [1].

У Швейцарії частка виробництва електроенергії на МГЕС досягла 8,3%, в Іспанії - 2,8%, в Швеції - майже 3%, а в Австрії - 10%. Лідерство за сумарними генеруючими потужностями малих ГЕС займає Китай (47 ЕВт), на другому місці - Японія (4 ЕВт), на третьому - США (3,4 ЕВт), потім Італія і Бразилія [1].

Таблиця 1.1.

Частка гідроенергетики, в тому числі малої, у виробництві електроенергії у світі

| Джерело енергії | Виробництво електроенергії (ТВт · год) | | Частка (%) | | Темпи зростання (%) |
|-----------------|--|----------|------------|----------|---------------------|
| | 2006 рік | 2030 рік | 2006 рік | 2030 рік | 2007-2030 рр. |
| Великі ГЕС | 2725 | 4383 | 14,4 | 12,4 | 2 |
| Малі ГЕС | 252 | 778 | 1,4 | 2,2 | 4,7 |

Інвестиційні витрати МГЕС (1-10 МВт) і дуже малих ГЕС (<1 МВт) можуть варіюватися від \$2000 до \$7500 за 1 кВт і від \$2500 до \$10000 за 1 кВт, відповідно, і складати для зазначених видів ГЕС в середньому \$4500-5000 за 1 кВт встановленої потужності [1].

Експлуатаційні витрати і технічне обслуговування гідроенергетики складають від 1,5 до 2,5% інвестиційної вартості на рік. В результаті загальна вартість генерації для великих ГЕС може становити \$40-110 за 1 МВт (в середньому \$75 за 1 МВт); для МГЕС - \$45 і \$120 за 1 МВт (в середньому \$83) і для мікроГЕС - від \$55 до \$185 за 1

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | | |

МВт (в середньому \$90) [1].

У Китаї до малих належать ГЕС потужністю від 1 до 50 МВт, вони грають важливу роль в забезпеченні електроенергією сільських районів: 45 тис. малих гідроспоруд виробляють 70 млрд кВт·год для 300 млн сільських жителів. Китай планує розширити використання малої гідроенергетики: в найближчі роки в її розвиток буде інвестовано \$16,5 млрд. З 300 до 782 зросте кількість повітів, в яких будуть побудовані такі об'єкти. Значна їх частина працює в комплексі з іригаційними спорудами. У сфері використання відновлюваних джерел енергії країна поступово завойовує лідируючі позиції в світі. До 2020 року в Китаї сумарна потужність ГЕС всіх типів повинна скласти до 190 ГВт, а до 2025 року майже 300 ГВт. Центр виробництва обладнання для малих гідроелектростанцій поступово зміщується в Китай, який забезпечує значну частку його світового випуску [2].

Розвитку малої гідроенергетики приділяється значна увага і в інших країнах. Європейський союз планував до 2010 року довести встановлені потужності малих ГЕС до 14 ГВт. Середня вартість 1 кВт·год електроенергії, виробленої на такій станції, в Європі в 2005 році становила близько \$ 0,03 [2].

У таблиці 1.2 представлені світові тенденції з розвитку малої гідроенергетики, а саме техніко-економічні та прогностичні показники малої гідроенергетики.

Таблиця 1.2.

Техніко-економічні та прогностичні показники малої гідроенергетики

| Технічні показники | Міжнародні визначення типів ГЕС | | |
|--|---------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Мікро ГЕС (до 1 МВт) | Малі ГЕС (1-10 МВт) | Інші ГЕС (> 10 МВт) |
| ККД гідротурбін (%) | до 92 | до 92 | до 92 |
| Терміни будівництва (місяць) | 6-10 | 10-18 | 18-96 |
| Можливий термін експлуатації ГЕС (років) | до 100 | | |
| Коефіцієнт використання встановленої потужності (%) | 50-60 (50) | 34-56 (45) | 34-56 (45) |
| Коефіцієнт навантаження ГЕС (%) | 98 | 98 | 98 |
| Вплив на навколишнє середовище | | | |
| Викиди CO ₂ та інших парникових газів (кг/МВт·год) | несуттєвий | | |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| Витрати на будівництво ГЕС (в цінах 2008 року, \$) | | | |
|---|----------------------|---------------------|---------------------|
| Інвестиційна вартість, включаючи витрати на будівельні роботи (\$/кВт) | 2500-10000 (5000) | 2000-7500 (4500) | 1750-6250 (4000) |
| витрати на експлуатацію та обслуговування (фіксовані і змінні) (\$/кВт) | 50-90 (75) | 45-85 (65) | 35-85 (60) |
| Економічний термін служби (років) | 30 | | |
| Загальна вартість виробленої електричної енергії (\$/МВт · год) | 55-185(90) | 45-120(82,5) | 40-110(75) |
| Період прогнозу | 2010 рік | 2020 рік | 2030 рік |
| Інвестиційна вартість, включаючи витрати на будівельні роботи (\$/кВт) | 5000 | 4000 | 3500 |
| Загальна вартість виробленої електричної енергії (\$/МВт .год) | 82,5 | 75 | 67,5 |
| Частка електроенергії ГЕС в загальному електроенергетичному ринку (%) | 16-17 | 18-20 | 20-21 |

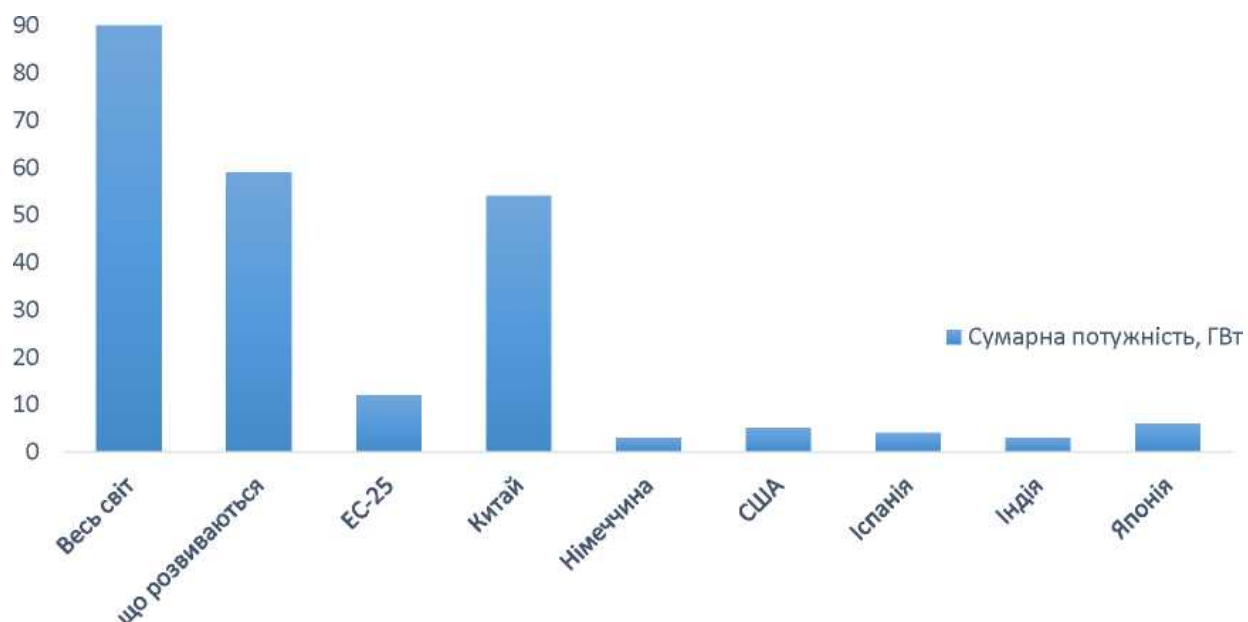


Рисунок 1.2 - Сумарні потужності малих ГЕС

В Україні налічується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) дуже маленькі (довжиною менше 10 км), їх сумарна довжина - 112 тис. км (середня довжина такого водотоку - 1,9 км). Більшість (87%) малих річок довжиною менше 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км². Найбільшою водоносністю відрізняються річки Західної України [1].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

До 1950 року на Україні експлуатувалося 956 малих гідроелектростанцій і тривало будівництво нових [1]. Зі створенням потужних об'єктів теплової і атомної енергетики різко знизилася роль малої гідроенергетики. Централізація енергопостачання, низькі ціни на паливо і електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких перебували малі ГЕС стали основними причинами, які призвели до їх економічної недоцільності. В результаті практично всі малі гідровузли були виведені з експлуатації і демонтовані. З усього фонду об'єктів малої гідроенергетики України залишилося 150 малих станцій, з яких функціонують тільки 102 [2].

Підвищення і безперервне зростання цін на енергоносії, нові форми власності і господарювання, розвиток приватного підприємництва зумовили економічну доцільність МГЕС. Період 2000-2010 роки характеризується підйомом малої енергетики, відновленням МГЕС, причому майже без використання бюджетних коштів. Реконструйовано і введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківська (1650 кВт), Снятинська (800 кВт), Сандрацька (640 кВт), Юрпольська (550 кВт), Еордашевська (400 кВт), Коржевська (400 кВт), Кунцевська (400 кВт), Остапівська (375 кВт), Сухобаровська (330 кВт), Еальжбіївська (250 кВт), Петрашівська (250 кВт), Сідневська (230 кВт), Лисянська (200 кВт) малі ГЕС. Почалося спорудження нових, в основному мікроГЕС [1].

Триває робота по уточненню економічно доцільного гідроенергопотенціалу України, в тому числі на раніше споруджених водоймищах і на об'єктах утилізації енергетичних скидів технічних систем водозабезпечення та водовідведення. Згідно «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» в області малої гідроенергетики передбачається здійснити [1]:

- реконструкцію та відновлення малих ГЕС загальною потужністю 135 МВт;
- будівництво нових МГЕС на річці Тиса та її притоках загальною

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|----------------------|------|
| | | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

потужністю 400 МВт;

– будівництво нових МГЕС на річці Дністер і її притоках загальною потужністю 560 МВт;

– будівництво нових децентралізованих МГЕС на малих водотоках (загальна потужність - 45 МВт).

До 2030 року передбачається довести генеруючу потужність всіх МГЕС України до 1140 МВт з річним обсягом виробництва електрики 3,75 млрд кВтгод. Розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, що зніме ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних сільських регіонів. Вирішується цілий комплекс економічних, екологічних і соціальних проблем сільської місцевості. [3].

Науково-дослідні і проектні організації, підприємства країни мають у своєму розпорядженні необхідний виробничий потенціал для випуску обладнання малої гідроенергетики. Комплектні поставки гідромеханічного устаткування можуть виконувати по кооперації «Турбоатом», АТ «Київенергомаш» (гідротурбіни, гідроелектроагрегати), Полтавський турбомеханічний завод (підйомно-механічне обладнання гідроспоруд), Ніжинський ремонтно-механічний завод (шлюзове обладнання), Сумське НВО ім. Фрунзе (гідротурбіни, гідроелектроагрегати), «Електроважмаш» (потужні гідрогенератори), «Южелектромаш» (генератори), «Електронмаш» і «Хартрон» (системи управління). Зазначені підприємства можуть забезпечити серійне виробництво нового сучасного гідроенергетичного обладнання для малих ГЕС України [1].

1.3. Переваги та недоліки малої гідроенергетики

Як і будь-який інший спосіб виробництва енергії, застосування малих і міні- ГЕС має як переваги, так і недоліки.

Серед економічних, екологічних та соціальних переваг об'єктів малої

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

гідроенергетики можна назвати наступні. Їх створення підвищує енергетичну безпеку регіону, забезпечує незалежність від постачальників палива, що знаходяться в інших регіонах, економить дефіцитне органічне паливо. Спорудження такого енергетичного об'єкта не вимагає великих капіталовкладень, великої кількості енергоємних будівельних матеріалів і значних трудовитрат, відносно швидко окупується. Крім того, є можливості для зниження собівартості зведення за рахунок уніфікації та сертифікації обладнання [4].

У процесі вироблення електроенергії ГЕС не викидає парникових газів і не забруднює навколишнє середовище продуктами горіння і токсичними відходами. Подібні об'єкти не є причиною наведеної сейсмічності і порівняно безпечні при природному виникненні землетрусів. Вони не роблять негативного впливу на спосіб життя населення, на тваринний світ і місцеві мікрокліматичні умови.

Як будь-яке локалізоване джерело енергії, в разі ізолюваного застосування, об'єкт малої гідроенергетики вразливий з точки зору виходу з ладу, в результаті чого споживачі залишаються без енергопостачання (вирішенням проблеми є створення спільних або резервних генеруючих потужностей: вітроагрегату, когенеруючих міні-котелень на біопаливі, фотоелектричної установки тощо [4].

Найбільш поширений вид аварій на об'єктах малої гідроенергетики - руйнування греблі і гідроагрегатів в результаті переливу через гребінь дамби при несподіваному підйомі рівня води і неспрацьовуванні запірних пристроїв. У деяких випадках МГЕС сприяють замулювання водосховищ і впливають на руслоформуєчі процеси.

Існує певна сезонність у виробленні електроенергії (помітні спади в зимовий і літній період), яка призводить до того, що в деяких регіонах мала гідроенергетика розглядається як резервна (дублююча) генеруюча потужність.

Серед факторів, що гальмують розвиток малої гідроенергетики в

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Україні, більшість експертів називають неповну поінформованість потенційних користувачів про переваги застосування невеликих гідроенергетичних об'єктів; недостатню вивченість гідрологічного режиму та обсягів стоку малих водотоків; низька якість діючих методик, рекомендацій, що є причиною серйозних помилок в розрахунках; нерозробленість методик оцінки та прогнозування можливого впливу на навколишнє середовище і господарську діяльність; слабку виробничу і ремонтну базу підприємств, які виробляють гідроенергетичне встаткування для МГЕС, а масове будівництво об'єктів малої гідроенергетики можливо лише в разі серійного виробництва обладнання, відмови від індивідуального проектування і якісно нового підходу до надійності і вартості обладнання - в порівнянні зі старими об'єктами, виведеними з експлуатації [4].

1.4. Типи малих ГЕС та класифікація гідротурбін

Малими ГЕС може бути використаний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих і середніх річок, окремих ділянок великих річок, а також потенціал гідротехнічних об'єктів неенергетичного призначення: водосховищ, перепадів рівнів ділянок іригаційних каналів, водопровідних споруд, судноплавних каналів, перепадів на відвідних трактах систем технічного водопостачання АЕС, ТЕС, очисних споруд.

Розподіл річок на великі, середні та малі можна проводити виходячи з їх географічних показників: довжини річки, площі басейну водозбору, об'єму стоку - або ж ділити річки за можливими масштабами їх використання в тій чи іншій галузі господарства, наприклад гідроенергетиці, річковому транспорті або зрошенні. За природними ознаками до категорій малих і середніх річок відносять такі річки, водозбірна площа яких на всьому протязі має сталість кліматичних і геологічних умов, рослинного покриву і рельєфу місцевості. До категорії великих відносяться всі річки, що не володіють зазначеними

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

властивостями, тобто такі умови водозбору, які постійно змінюються. У таблиці 1.3 наведена можлива класифікація річок за вищенаведеними ознаками [5].

Таблиця 1.3.

Класифікація річок за географічними ознаками та можливим господарським використанням

| Категорія річок | Географічні ознаки | | | | Можливе господарське використання | | |
|----------------------|---|---------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|--------------------------|
| | Водо збірна площа басейну, тис. км ² | Середня довжина річки, км | Середня глибина русла, м | Середня річна витрата води | ГЕС, МВт | Зрошення, тис.га | Глибина водного шляху, м |
| Малі річки | | | | | | | |
| 1-ша | < 8 | 250 | < 0,5-1,0 | < 8 | <0,1 | < 1 | < 0,4-0,5 |
| 2-га група | 8-23 | 150-400 | 0,5-1,5 | 10-50 | 0,1-1 | 1-5 | 0,5-0,7 |
| Середні річки | | | | | | | |
| 1-ша | 15-60 | До 400 | 0,7-2,5 | 10-80 | 1-5 | 5-25 | 0,7-1 |
| 2-га група | До 80 | До 700 | 1-3 | 50-200 | 5-25 | 25-100 | 1-1,5 |
| Великі річки | | | | | | | |
| | > 80 | - | - | - | 25-250 | 100-250 | 1,5-2 |

Басейни малих річок можуть поширюватися на територію від 1 до 10 адміністративних районів, середніх річок від 10 до 45 районів. Отже, за своїми розмірами малі річки можуть задовольняти господарським потребам районного та міжрайонного масштабів, середні - обласного.

За своїм призначенням, режимом роботи і розташуванню в загальній схемі електропостачання споживачів, малі ГЕС поділяються на системні та автономні.

Однією з основних ознак класифікації гідроелектростанцій є встановлена потужність ГЕС. Відповідно до цієї класифікації ГЕС ділять на

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

п'ять категорій: великі, середні, малі, міні, мікро [5].

Верхня межа потужності малої ГЕС в різних країнах оцінюється по різному. Вона залежить від рівня розвитку енергетичного господарства країни, особливостей обґрунтування проектів малих ГЕС і ліцензійних процедур, обсягів оборотного капіталу і прийняття програм структурування малої гідроенергетики. У різних країнах верхня межа потужності малих ГЕС коливається від 1,5 до 30 МВт. Умовними є границі між малими ГЕС і міні-ГЕС, між міні ГЕС і мікро-ГЕС.

Технічні конструктивні і технологічні відмінності між цими категоріями ГЕС до кінця нормативно не визначені і встановлюються відповідно до конкретних умов (таблиця 1.4) [5].

Таблиця 1.4.

Технічні конструктивні і технологічні відмінності між малими ГЕС, міні-ГЕС та мікро-ГЕС у різних країнах та організаціях

| Категорія ГЕС | Країни та організації | | | | | |
|---------------|----------------------------------|-------|---------|---------------|--|--------|
| | Італійський національний комітет | ОЛАДЕ | Україна | Нова Зеландія | Австрія. Іспанія. Індія. Канада, Франція | Японія |
| Малі ГЕС | 5 | 10 | 30 | 30-50 | 5 | 20 |
| Міні-ГЕС | 0,5 | 1 | 1 | 10 | 2 | - |
| Мікро-ГЕС | 0.1 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0,1 |

Крім перерахованих ГЕС необхідно виділити ще одну категорію - мобільні ГЕС. Проектування і будівництво малих і міні-ГЕС здійснюється за тими самими правилами, що і великих ГЕС. Мікро-ГЕС потужністю кілька десятків кіловат відрізняються схемами, складом і компонованням гідротехнічних споруд. Ця категорія ГЕС включає в себе безгреблеві, рукавні, вільно-потоккові, переносні і інші типи ГЕС компактного і блочного виконання [5].

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

ДРМ 306.18.00.000 ПЗ

Відома і більш детальна класифікація ГЕС малої гідроенергетики в залежності від встановленої потужності [6]:

- малі ГЕС - від 1 МВт до 30 МВт;
- міні ГЕС - від 100 кВт до 1 МВт;
- мікро ГЕС - від 5 кВт до 100 кВт;
- піко ГЕС - до 5 кВт.

По конструктивному виконанню ГЕС малої потужності прийнято поділяти на [7]:

- греблеві, використовують для створення напору греблі або будівлі ГЕС. В залежності від розташування ГЕС розрізняють пригребельні і руслові гідроелектростанції;

- дериваційні, які використовують потенційну енергію тиску води в трубопроводі або каналі;

- вільнопоточні, в яких встановлюється безпосередньо гідротурбіна в річковий потік без будь-яких гідротехнічних споруд і працює за рахунок його кінетичної енергії.

Малі ГЕС за напором діляться на низько-, середньо-і високонапірні. Граничні значення напору для кожної категорії ГЕС в різних літературних джерелах різні.

Ряд зарубіжних і вітчизняних машинобудівних фірм і проектних організацій пропонують граничні значення напорів, ґрунтуючись на своїх розробках турбінного устаткування.

Узагальнюючи ці дані, можна наступним чином класифікувати МГЕС за напором [5]:

- низьконапірні $H < 20$ м;
- середньонапірні $H = 20 - 100$ м;
- високонапірні $H > 100$ м.

При розрахунку потенціалу водяного потоку з метою дослідження можливості розміщення МГЕС, слід мати на увазі, що прийнятне значення

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|----------------------|------|
| | | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

енергетичного потенціалу не є достатнім для будівництва МГЕС:

- в силу можливої наявності жорстких вимог екологічного характеру;
- через недостатню глибину русла річки.

Для вільнопоточних ГЕС, потужність та енергія яких визначається швидкістю водяного потоку, з урахуванням відомих співвідношень, що визначають баланс кінетичної і потенціальної енергії замкнутої системи, а також залежність витрати рідини Q від швидкості V , та її закінчення через перетин заданої площі S , вираз можна записати у вигляді [7]:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot \eta,$$

У загальному випадку в цих двох виразах параметри H , Q , V залежать від географічного розташування ГЕС, пори року, кліматичних умов та багатьох інших факторів. На практиці в якості їх значень використовують середні значення, отримані в результаті обробки даних багаторічних спостережень [8].

Гідравлічною турбіною називається двигун, що перетворює енергію рухомої води в механічну енергію обертання робочого колеса.

У практиці прийнято гідротурбіни поділяти на класи, системи, типи і серії. Існує два класи гідротурбін: активні й реактивні.

До класу активних турбін входять системи ковшових, похило-струменевих турбін і турбін подвійної дії. Останні дві системи не мають такого широкого поширення, як ковшові.

Кожна система турбін містить кілька типів, що мають геометрично подібні частини і однакову швидкохідність, але розрізняються за розмірами. Геометрично подібні турбіни різних розмірів утворюють серію.

Крім того, всі турбіни умовно поділяються на низько-, середньо- і високонапірні. Низьконапірними прийнято вважати турбіни, що працюють при $H < 25$ м, середньонапірними при $25 < H < 80$ м і високонапірними при $H > 80$ м [9]. Турбіни поділяються на малі, середні і великі.

До малих турбін належать ті, у яких діаметр робочого колеса $D < 1,2$ м при низьких напорах і $D < 0,5$ м при високих, а потужність становить не

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

більше 1000 кВт. До середніх — ті турбіни, у яких $1,2 < D < 2,5$ м при низьких напорах і $0,5 < D < 1,6$ м при високих, а потужність $1000 < N < 15000$ кВт. До великих турбін відносяться ті, які мають D і N більше, ніж у середніх [9].

Сучасне гідротурбобудування розвивається з урахуванням наступних основних тенденцій [9]:

- підвищення економічності і надійності в експлуатації;
- подальше збільшення швидкохідності гідротурбін з метою забезпечення необхідної розрахункової потужності при менших габаритах і вазі гідроагрегатів, що забезпечує зниження вартості енергетичного обладнання і будівлі ГЕС;
- поліпшення енергетичних характеристик гідротурбін і підвищення середньо експлуатаційного ККД агрегатів;
- поліпшення кавітаційних характеристик з метою зменшення руйнувань проточної частини і зниження позначки установки турбіни по відношенню до нижнього б'єфу, що призводить до суттєвого зменшення вартості будівельних робіт по будівлі ГЕС;
- зменшення пульсацій тиску в проточній частині (особливо за робочим колесом радіально-осьової гідротурбіни) і супутніх їм вібрацій агрегату;
- подальше зростання одиничних потужностей гідроагрегатів; застосування на ГЕС потужних гідроагрегатів дозволяє зменшити їх кількість, підвищити ККД і знизити вартість енергетичного обладнання та будівлі.

Якщо на заданий діапазон напорів і умови роботи ГЕС можливе застосування декількох різних типів гідротурбін або робочих коліс, то необхідно провести техніко-економічний аналіз різного енергетичного устаткування і вибрати оптимальний варіант. Загальна класифікація гідротурбін різних типів за напорами представлена в таблиці 1.5 [9].

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 1.5.

Застосування гідротурбін у відповідності з напорами

| Типи гідротурбін | Діапазон напорів H , м | Одинична максимальна потужність N , МВт | Діаметр турбіни максимальний d_i , м |
|---|--------------------------|---|--|
| Реактивні гідротурбіни | | | |
| Осьові капсульні, трубчасті та інші гідроагрегати | 2-20 | До 50 | 8 |
| Вертикальні поворотні-лопатеві турбіни | 5-80 | 250 | 10,5 |
| Пропелерні | 6-80 | 150 | 9 |
| Двухперові | 30-100 | 250 | 8 |
| Діагональні | 30-200 | 300 | 8 |
| Радіально-осьові | 30-700 | 800 | 10 |
| Оборотні | | | |
| Осьові | 2-15 | 30 | 8 |
| Діагональні | 20-100 | 300 | 7,5 |
| Радіально-осьові одноступінчасті | 30-600 | 450 | 9,5 |
| Активні гідротурбіни | | | |
| Ковшові | 300-2000 | 350 | 7,5 |
| Похило-струменеві | 50-400 | 50 | 4 |
| Дворазові | 3-200 | - | - |
| «Сфиндекс» | 200-1500 | - | - |

1.5. Характеристики діючих малих ГЕС

В Україні на сьогодні залишилося функціонуючих малих ГЕС тільки 102. Загалом найбільші з них мають потужність менше 10 МВт та подібні характеристики. Для прикладу можна навести декілька типових функціонуючих на сьогодні малих ГЕС [10]:

1. Ладизинська ГЕС - мала ГЕС на р. Південний Буг у місті Ладизин (Вінницької області). Входить до складу ПАТ «Західенерго». Дана мала ГЕС, працює на напорі Ладизинського водосховища, що використовується як ставок-охолоджувач Ладизинської ТЕС. За радянських часів (до пуску в експ-

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

ДРМ 306.18.00.000 ПЗ



Рис. 1.3. Ладжинська ГЕС



Рисунок 1.4. Касперівська ГЕС

луатацію Олександрівської ГЕС) - найпотужніша на Південному Бузі. Річне виробництво електроенергії - 36,2 млн кВт·год. Різновид електростанції - пригребельна. Електрична потужність - 7,5 МВт.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. Касперівська ГЕС - найпотужніша гідроелектростанція в Тернопільській області. Розташована на річці Серет біля села Касперівці Заліщицького району.

Річне виробництво електроенергії > 13 млн кВт·год. Різновид електростанції: гребле-руслова. Електрична потужність - 7,5 МВт. Кількість і марка генераторів: Уралелектротяжмаш – 3 шт. Потужність генераторів - 7,5 МВт.

1.6. Висновки до розділу 1

1. Енергетична криза, пов'язана зі скороченням запасів органічного палива, і проблемами екології визначають все більший інтерес в усьому світі до використання відновлюваних джерел енергії, з яких найбільш розвиненою є мала гідроенергетика.

2. Інвестиційні витрати МГЕС (1-10 МВт) і дуже малих ГЕС (<1 МВт) можуть варіюватися від \$2000 до \$7500 за 1 кВт встановленої потужності і від \$2500 до \$10000 за 1 кВт, відповідно, що говорить про незначні інвестиції у їх будівництво.

3. До 1950 року на Україні експлуатувалося 956 малих гідроелектростанцій і тривало будівництво нових, але зі створенням потужних об'єктів теплової і атомної енергетики з усього фонду об'єктів малої гідроенергетики України залишилося функціонуючих тільки 102 станції.

4. Головним недоліком можна виділити сезонність у виробленні електроенергії, тому доводиться застосовувати резервні джерела живлення, але для різних країн, які мають гідроенергетичний потенціал, є необхідним розвиток малої гідроенергетики для покращення економічних, екологічних та соціальних потреб.

5. На сьогоднішній день існують величезна кількість різних видів гідротурбін, які в свою чергу поділяються на активні і реактивні. Багато з них можуть мати максимально високий ККД навіть при низькій швидкості руху потоку річки, чи за несприятливих кліматичних умов.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок характеристик лопатей робочого колеса чотирилопатевого гідротурбін Т – 90

Вихідні дані чотирилопатевого гідротурбіни Т-90

D_2 – діаметр робочого колеса 0.9 м;

H_2 – напір 3.7 м;

Q_2 – витрата води крізь гідротурбіну $3.24 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

P_2 – потужність 108 кВт;

n_2 – швидкість обертання робочого колеса $350 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$;

η_2 – коефіцієнт корисної дії 91.8 %.

2.1.1. Розподіл осьової складової швидкості за радіусом $v_z = f(r)$

Перед тим як почати розрахунок лопаті, необхідно задатися розподілом осьової v_z і колової v_u складових абсолютної швидкості потоку на вході і на виході з робочого колеса. Для цього зазвичай використовують експериментальні дані випробування потоку на вході і виході з робочих коліс подібної швидкохідності [2].

Як показують експериментальні випробування, потік на вході в робоче колесо залежить від положення направляючого апарату і його параметрів, форми проточної частини і форми лопатей робочого колеса.

Отже рух по циліндричній поверхні потоку можливий при виконанні

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|-----------------------------|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

наступних умов:

$$(v_u r)_1 = f_1(r) = \text{const}_1; v_{z1} = f_2(r) = \text{const}_2. \quad (2.1)$$

Відповідно до експериментальних даних в оптимальному режимі радіальна складова v_r абсолютної швидкості невелика, тому можна вважати, що потік рухається вздовж поверхонь потоку, близьких до циліндричних. В цьому припущенні кільцеві площини потоку не змінюються, і відповідно до рівняння нерозривності значення осьових швидкостей і їх розподілу вздовж радіуса на виході такі ж, як і на вході в робоче колесо. Осьова швидкість на середньому циліндричному перерізі визначається за формулою:

$$v_{z1} = \frac{Q_{\text{опт}}}{\frac{\pi}{4}(D_1^2 - d_{\text{вт}}^2)}, \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{опт}}$ – розрахункова витрата рідини;

D – діаметр переферії робочого колеса;

d – діаметр втулки робочого колеса.

Значення осьової складової швидкості на переферії і на втулці відповідно:

$$v_{z\text{пер}} = 1.1 \cdot v_{z\text{сер}}; \quad (2.3)$$

$$v_{z\text{вт}} = 0.9 \cdot v_{z\text{сер}}. \quad (2.4)$$

Для наступних перерізів приймають лінійний закон $v_z = f(r)$.

2.1.2. Побудова вхідних і вихідних трикутників швидкостей на розрахункових поверхнях потоку

Для розрахунку форми профіля решітки на розрахунковій поверхні потоку необхідно визначити вхідні і вихідні кути, а також деякі параметри вільного потоку. Для цього будують трикутники швидкостей потоку на вході і виході з робочого колеса. Побудова вхідних і вихідних трикутників швидкостей виконуємо в такій послідовності [2]. Креслимо контури колеса (у нашому випадку $D_1 = 900$ мм) у масштабі 1:1. Кількість перерізів приймаю 3 (перерізи

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | |

$$u_{\text{периф.}} = 450 \cdot \frac{3.14 \cdot 350}{30} = 16.5 \text{ м/с};$$

Користуючись прийнятим законом розподілу моменту швидкості вздовж радіуса на виході з робочого колеса, визначаю v_{u_2} розрахункових перерізів:

$$v_{u_2} = \frac{K_2 \cdot \eta_r \cdot g \cdot H}{u}, \quad (2.7)$$

де K_2 – вихідне (початкове) значення коефіцієнту впливу ґратки; коефіцієнт впливу ґратки показує, у скільки разів підймальна сила лопаті в ґратці є меншою від підймальної сили такої ж самої лопаті, яка розташована не у ґратці, а відокремлено і під тим самим *кутом атаки* α ;

$$v_{u_2} = \frac{0.2 \cdot 0.918 \cdot 9.81 \cdot 3.7}{16.5}$$

$$= 0.404 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ – для периферійного перерізу перерізу;}$$

$$v_{u1} = v_{u2} + \frac{\eta_r \cdot g \cdot H}{\omega}; \quad (2.8)$$

$$v_{u1} = 0.404 + \frac{0.918 \cdot 9.81 \cdot 3.7}{36.6} = 1.314 \text{ м/с};$$

Визначаємо величину і напрям середньовекторної швидкості відносного потоку w_m для розрахункових перерізів:

$$w_m = \sqrt{w_{mu}^2 + w_{mz}^2} = \sqrt{\left[u - \frac{1}{2}(v_{u1} + v_{u2}) \right]^2 + v_z^2}; \quad (2.9)$$

$$\tan \beta_m = \frac{w_{mz}}{w_{mu}} = \frac{v_z}{\left| u - \frac{1}{2} \cdot (v_{u1} + v_{u2}) \right|}; \quad (2.10)$$

$$w_{mI} = \sqrt{\left[16.49 - \frac{1}{2}(1.314 + 0.404) \right]^2 + 6.3^2} = 15.63 \text{ м/с};$$

$$\tan \beta_{mI} = \frac{6.3}{\left| 16.49 - \frac{1}{2} \cdot (1.314 + 0.404) \right|} = 0.403;$$

Відповідно кут $\beta_{m\text{периф.}}$ буде рівним:

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

$$\beta_{m_{\text{периф.}}} = 21.96^\circ;$$

Аналогічно проводжую розрахунок для другого та третього перерізів. Результати розрахунків вношу в табл. 2.1 за даними, якої судять про те наскільки добре підібрані вихідні параметри ґраток і розподіл швидкостей v_z і v_u на вході та виході з робочого колеса.

Введення кутів атаки ґрунтується на тому, що розрахунок лопаті за допомогою двовимірних методів заснований на уявленні про постійність циркуляції довкола лопаті вздовж радіуса $\Gamma_l = f(r) = \text{const}$. Циркуляція довкола лопаті рівна:

$$\Gamma_l = t \cdot (v_{u1} - v_{u2}) = \frac{2\pi\eta_r H}{\omega z} = \Gamma_a - \Gamma_s, \quad (2.11)$$

де Γ_s – частина циркуляції, що створюється кривизною профілю;

Γ_a – циркуляція довкола профілю, що виникла внаслідок введення кута атаки;

z – кількість лопатей.

$$\Gamma_l = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 0.918 \cdot 3,7}{36.6 \cdot 4} = 1.428 \text{ м}^2/\text{с}.$$

$$\Gamma_a = C' \cdot \Gamma_l, \quad (2.12)$$

де C' – обирається для низьконапірних робочих колісбіля втулки 0,3 – 0,5, для високих напорів 0,33. У нашому випадку 0,3 біля втулки 0,1 на периферії.

$$\Gamma_{a1} = 0.1 \cdot 1.428 = 0.1428 \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\Gamma_s = \Gamma_l - \Gamma_a \quad (2.13)$$

$$\Gamma_{s1} = 1.428 - 0.1428 = 1.2848 \text{ м}^2/\text{с};$$

Дані з розрахунку інших перерізів наведені в таблиці 2.1.

Якщо біля кореневого перерізу не вводити кут атаки, то розрахункова циркуляція довкола профілю повинна забезпечуватися за рахунок збільшення його скручування тому, що відносна швидкість потоку біля втулки менша ніж на периферії.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.1.3. Визначення коефіцієнтів A_0 і A_1

Для визначення індукованих швидкостей в розрахункових точках необхідно знати коефіцієнти A_0 і A_1 , що визначають закон розподілу вирів вздовж профілю. У випадку еліптичного закону, коли циркуляція навколо профілю створюється за рахунок його кривизни.

При нееліптичному законі розподілу вирів обидва коефіцієнти не дорівнюють нулю і мають визначення. Для цього при заданих умовах розраховуємо сумарну циркуляцію довкола профілю.

Оскільки:

$$\Gamma_\alpha = C' \cdot \Gamma_\Gamma = \frac{\pi l A_0}{2}, \quad (2.14)$$

$$\Gamma_s = \Gamma_\Gamma = \frac{\pi l A_1}{4}, \quad (2.15)$$

то

$$A_0 = \frac{2 \cdot C' \cdot \Gamma_\Gamma}{\pi l}, \quad (2.16)$$

$$A_{01} = \frac{2 \cdot 0.1 \cdot 1,428}{3.14 \cdot 0.389} = 0.2338 \text{ м/с},$$

$$A_1 = \frac{4 \Gamma_\Gamma}{\pi l}, \quad (2.17)$$

$$A_{11} = \frac{4 \cdot 1.428}{3.14 \cdot 0.389} = 4.208 \text{ м/с}.$$

Аналогічний розрахунок проводжу для другого та третього перерізів (табл. 2.1).

2.1.4. Метод підйомних сил

Коефіцієнт впливу ґратки K визначають за номограмою Вейніґа [2, рис. 108]. Для початку потрібно визначитися з кутом встановлення лопаті тому

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

користуються системою наближень. У першому наближенні приймаємо $\beta_{вст} = \beta_M$ а $\alpha = 0$. За номограмою визначаємо коефіцієнт K і $\sin \alpha$:

$$\sin \alpha = \frac{\Gamma_\alpha}{\pi \cdot l \cdot K \cdot w_m}, \quad (2.18)$$

Отже для першого перерізу:

$$\sin \alpha = \frac{0.1428}{3.14 \cdot 0.389 \cdot 0.95 \cdot 16.848} = 0.0073.$$

Відповідно кут атаки $\alpha = 0,42^\circ$.

$$\beta_{вст} = \beta_M - \alpha = 21.96^\circ - 0.42^\circ = 21.54^\circ. \quad (2.19)$$

Аналогічно проведемо розрахунок і для інших двох перерізів.

Потрібно також визначити кут скручування лопаті:

$$\Delta\beta = \beta_{встIII} - \beta_{встI}, \quad (2.20)$$

де $\beta_{встIII}$ – кут встановлення лопаті біля втулки;

$\beta_{встI}$ – кут встановлення лопаті на периферії.

Значення кутів атаки α і кута скручування $\Delta\beta$, а також характер їх зміни уздовж радіусу приймають на основі досвіду розроблення кращих робочих коліс $\alpha = 6 \div 10^\circ$ біля втулки і $\alpha = 0 \div 2^\circ$ на периферії, $\Delta\beta = 14 \div 18^\circ$. У першому наближенні:

$$\Delta\beta = 38.13^\circ - 21.54^\circ = 16.59^\circ,$$

$$\alpha_{пер} = 0.42^\circ,$$

$$\alpha_{вт} = 7.53^\circ.$$

що відповідає заданим стандартам. Дані з розрахунку наближень внесемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Дані з розрахунку кута встановлення лопаті

| № | Розрахункові величини і формули | Розмірність | Розрахункові перерізи | | |
|----------|---------------------------------|-------------|-----------------------|----------|----------|
| | | | I | II | III |
| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> |
| 1 | r | м | 0.45 | 0.30 | 0.15 |
| | | мм | 450.00 | 300.00 | 150.00 |
| 2 | D | м | 0.90 | 0.60 | 0.30 |
| | | мм | 900.00 | 600.00 | 300.00 |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Продовження таблиці 2.1

| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | |
|----------|--|---|----------|----------|----------|--------|
| 3 | $u = u_1 = u_2 = r \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}$ | м/с | 16.49 | 11.00 | 5.50 | |
| 4 | K_2 | - | 0.2 | 0.1 | 0 | |
| 5 | $v_{u2} = \frac{K_2 \cdot \eta_r \cdot g \cdot H}{u}$ | м ² /с | 0.404 | 0.303 | 0 | |
| 6 | $v_{u1} = v_{u2} + \frac{\eta_r \cdot g \cdot H}{\omega}$ | м ² /с | 1.314 | 1.213 | 0.910 | |
| 7 | $v_{zcp} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_{BT}^2)}$ | м ² /с | 5.73 | | | |
| 8 | $\tan \beta_m = \frac{v_z}{\left u - \frac{1}{2} \cdot (v_{u1} + v_{u2}) \right }$ | - | 0.403 | 0.560 | 1.023 | |
| 9 | β_m | ° | 21.96 | 29.24 | 45.66 | |
| 10 | $w_m = \sqrt{w_{mu}^2 + w_{mz}^2} = \sqrt{\left[u - \frac{1}{2} \cdot (v_{u1} + v_{u2}) \right]^2 + v_z^2}$ | м/с | 16.848 | 11.732 | 7.215 | |
| 11 | $\frac{l}{t}$ | - | 0.55 | 0.62 | 85 | |
| 12 | $t = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{z}$ | м | 0.707 | 0.471 | 0.236 | |
| 13 | l | м | 0.389 | 0.292 | 0.200 | |
| 14 | $\Gamma_l = \frac{60 \cdot \eta_r \cdot g \cdot H}{z \cdot n}$ | м ² /с | 1.428 | | | |
| 15 | $C' = \frac{\Gamma_\alpha}{\Gamma_l}$ | - | 0.1 | 0.2 | 0.3 | |
| 16 | $\Gamma_\alpha = C' \cdot \Gamma_l$ | м ² /с | 0.1428 | 0.2855 | 0.4283 | |
| 17 | $\Gamma_s = \Gamma_l - \Gamma_\alpha$ | м ² /с | 1.2848 | 1.142 | 0.9993 | |
| 18 | $A_0 = \frac{2 \cdot \Gamma_\alpha}{\pi \cdot l}$ | м/с | 0.2338 | 0.6221 | 1,3613 | |
| 19 | $A_1 = \frac{4 \cdot \Gamma_s}{\pi \cdot l}$ | м/с | 4.208 | 4.977 | 6.353 | |
| 20 | Перше набли- ження | K | - | 0.95 | 0.82 | 0.72 |
| | | $\sin \alpha = \frac{\Gamma_\alpha}{\pi \cdot l \cdot w_m K}$ | - | 0.0073 | 0.0323 | 0.131 |
| | | α | ° | 0.42° | 1.85° | 7.53° |
| | | $\beta_{вст} = \beta_m - \alpha$ | ° | 21.54° | 27.38° | 38.13° |
| | | $\Delta\beta = \beta_{вст} - \beta_{пер.}$ | ° | 16.59° | | |

2.1.5. Визначення коефіцієнтів a і b

З ціллю спрощення визначення даних коефіцієнтів створена номограма . Спочатку наносимо на номограму хорду розрахункового профілю l_{Π} під кутом $\beta_{\text{вст}}$, перерахувавши її в масштабі номограми:

$$l_{\text{НОМ}} = l_{\Pi} \frac{t_H}{t_p} = \left(\frac{l}{t}\right) \cdot t_H, \quad (2.21)$$

де t_H – крок номограми.

Для першого перерізу:

$$l_{\text{НОМ}} = 0.55 \cdot 0.197 = 0.108 \text{ м.}$$

Визначену хорду розіб'ємо на шість рівних частин і відмітимо точки 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6, які послідовно будемо розміщувати на початку номограми.

Значення коефіцієнтів a і b , для відповідних точок запишемо в табл. 2.2. Так наприклад для визначення коефіцієнтів a_1 і b_1 для всіх розрахункових точок σ_0 на хорді точку $1\left(-\frac{2}{3}\right)$ розміщуємо на початок координат і в таблицю записуємо значення a_1 і b_1 , для точок $-1; \left(-\frac{2}{3}\right); \left(-\frac{1}{3}\right); 0; \left(\frac{1}{3}\right); \left(\frac{2}{3}\right); 1$, при чому в точці $-\frac{2}{3} a_1 = 0$ і $b_1 = 0$

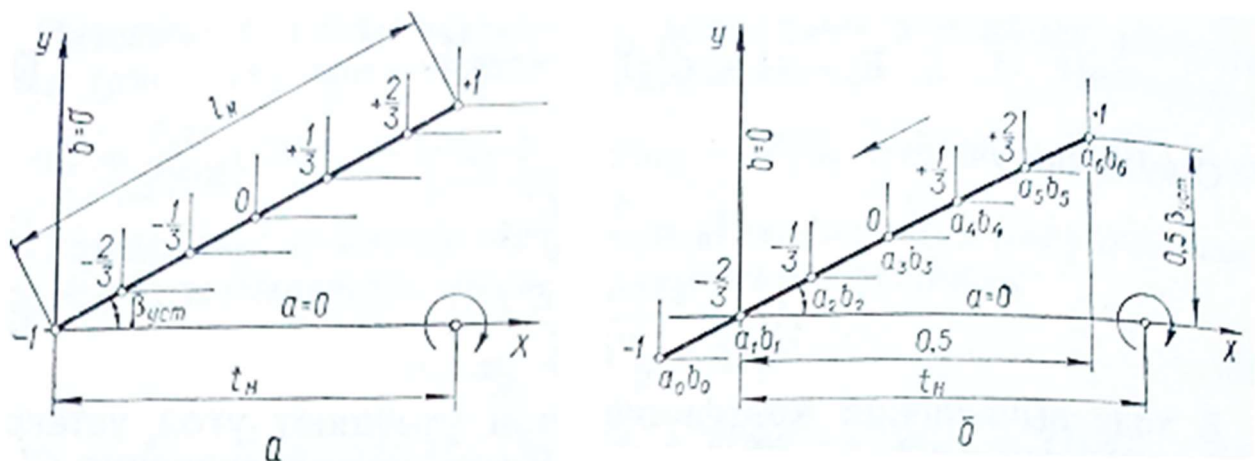


Рис. 2.2 Визначення коефіцієнтів a і b :

а – на початку координат розміщена точка -1 ;

б – на початку координат розміщена точка $-\frac{2}{3}$;

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

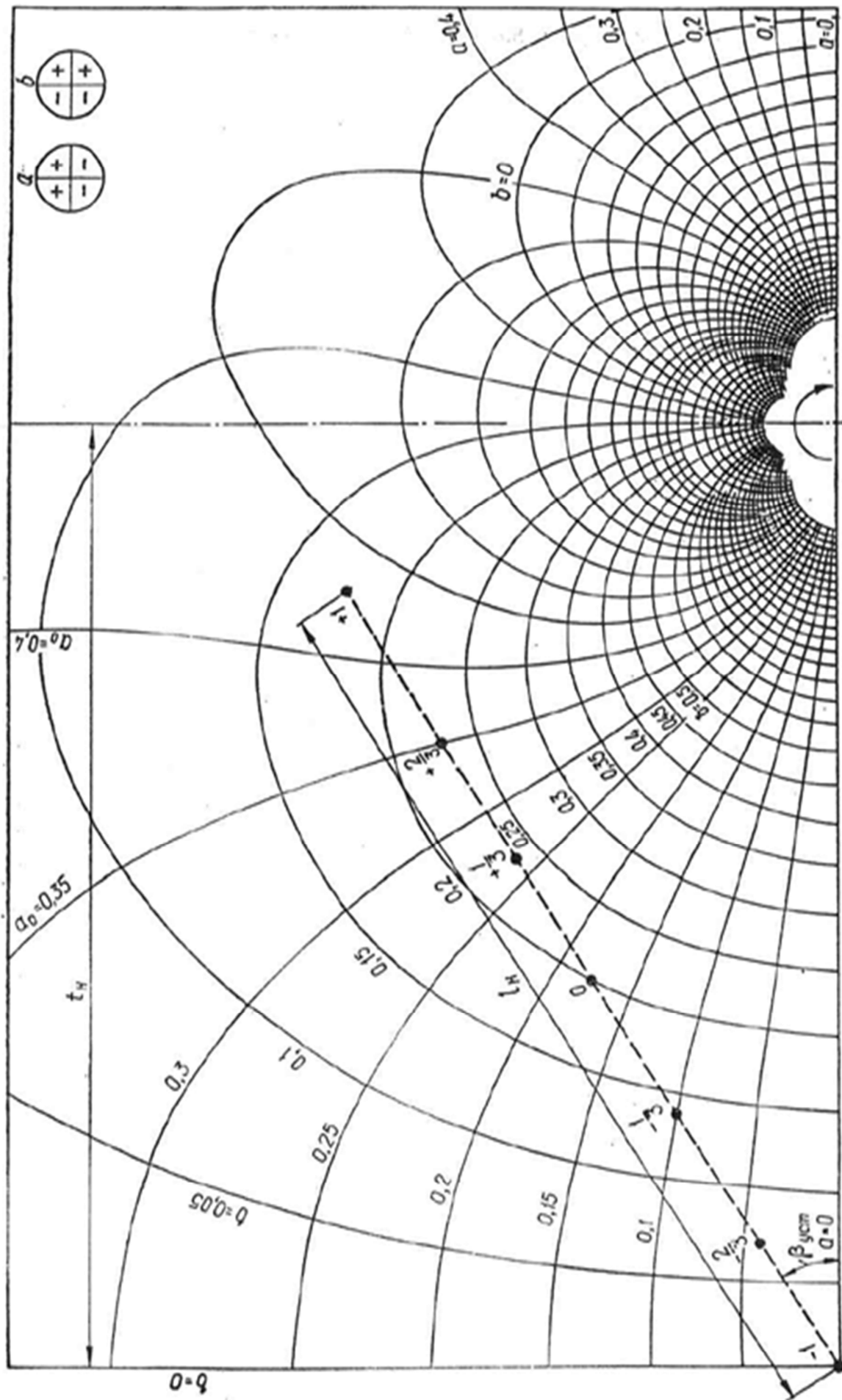


Рис. 2.3. Номограма для визначення коефіцієнтів a і b [2]

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
| | | | | |

ДРМ 306.18.00.000 ПЗ

Арк.

Аналогічно визначаємо коефіцієнти для інших перерізів. Дані внесемо відповідно в таблицю 2.3 та 2.4.

Таблиця 2.2

Значення коефіцієнтів в розрахункових точках профілю при $l_{\text{НОМ}} = 0,389$ м
та $\beta_{\text{вст}} = 21,54^\circ$

| Коефіцієнти | σ_0 | -1 | -2/3 | -1/3 | 0 | 1/3 | 2/3 | 1 |
|----------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| А | | | | | | | | |
| a ₀ | -1 | 0 | 0,016 | 0,031 | 0,053 | 0,080 | 0,121 | 0,163 |
| a ₁ | -2/3 | -0,016 | 0 | 0,016 | 0,031 | 0,053 | 0,080 | 0,121 |
| a ₂ | -1/3 | -0,031 | -0,016 | 0 | 0,016 | 0,031 | 0,053 | 0,080 |
| a ₃ | 0 | -0,053 | -0,031 | -0,016 | 0 | 0,016 | 0,031 | 0,053 |
| a ₄ | 1/3 | -0,080 | -0,053 | -0,031 | -0,016 | 0 | 0,016 | 0,031 |
| a ₅ | 2/3 | -0,121 | -0,080 | -0,053 | -0,031 | -0,016 | 0 | 0,016 |
| a ₆ | 1 | -0,163 | -0,121 | -0,080 | -0,053 | -0,031 | -0,016 | 0 |
| В | | | | | | | | |
| b ₀ | -1 | 0 | 0,049 | 0,090 | 0,139 | 0,185 | 0,234 | 0,282 |
| b ₁ | -2/3 | -0,049 | 0 | 0,049 | 0,090 | 0,139 | 0,185 | 0,234 |
| b ₂ | -1/3 | -0,090 | -0,049 | 0 | 0,049 | 0,090 | 0,139 | 0,185 |
| b ₃ | 0 | -0,139 | -0,090 | -0,049 | 0 | 0,049 | 0,090 | 0,139 |
| b ₄ | 1/3 | -0,185 | -0,139 | -0,090 | -0,049 | 0 | 0,049 | 0,090 |
| b ₅ | 2/3 | -0,234 | -0,185 | -0,139 | -0,090 | -0,049 | 0 | 0,049 |
| b ₆ | 1 | -0,282 | -0,234 | -0,185 | -0,139 | -0,090 | -0,049 | 0 |

Таблиця 2.3

Значення коефіцієнтів в розрахункових точках профілю при $l_{\text{НОМ}} = 0,292$ м
та $\beta_{\text{вст}} = 27,38^\circ$

| Коефіцієнти | σ_0 | -1 | -2/3 | -1/3 | 0 | 1/3 | 2/3 | 1 |
|----------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| А | | | | | | | | |
| a ₀ | -1 | 0 | 0,020 | 0,048 | 0,073 | 0,119 | 0,168 | 0,233 |
| a ₁ | -2/3 | -0,020 | 0 | 0,020 | 0,048 | 0,073 | 0,119 | 0,168 |
| a ₂ | -1/3 | -0,048 | -0,020 | 0 | 0,020 | 0,048 | 0,073 | 0,119 |
| a ₃ | 0 | -0,073 | -0,048 | -0,020 | 0 | 0,020 | 0,048 | 0,073 |
| a ₄ | 1/3 | -0,119 | -0,073 | -0,048 | -0,020 | 0 | 0,020 | 0,048 |
| a ₅ | 2/3 | -0,168 | -0,119 | -0,073 | -0,048 | -0,020 | 0 | 0,020 |
| a ₆ | 1 | -0,233 | -0,168 | -0,119 | -0,073 | -0,048 | -0,020 | 0 |
| В | | | | | | | | |
| b ₀ | -1 | 0 | 0,050 | 0,097 | 0,145 | 0,191 | 0,240 | 0,279 |
| b ₁ | -2/3 | -0,050 | 0 | 0,050 | 0,097 | 0,145 | 0,191 | 0,240 |
| b ₂ | -1/3 | -0,097 | -0,050 | 0 | 0,050 | 0,097 | 0,145 | 0,191 |
| b ₃ | 0 | -0,145 | -0,097 | -0,050 | 0 | 0,050 | 0,097 | 0,145 |
| b ₄ | 1/3 | -0,191 | -0,145 | -0,097 | -0,050 | 0 | 0,050 | 0,097 |
| b ₅ | 2/3 | -0,240 | -0,191 | -0,145 | -0,097 | -0,050 | 0 | 0,050 |
| b ₆ | 1 | -0,279 | -0,240 | -0,191 | -0,145 | -0,097 | -0,050 | 0 |

Таблиця 2.4

Значення коефіцієнтів в розрахункових точках профілю при $l_{\text{НОМ}} = 0,2 \text{ м}$ та $\beta_{\text{ВСТ}} = 38,13^\circ$

| Коефіцієнти | σ_0 | -1 | -2/3 | -1/3 | 0 | 1/3 | 2/3 | 1 |
|----------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| А | | | | | | | | |
| a ₀ | -1 | 0 | 0,042 | 0,095 | 0,155 | 0,225 | 0,300 | 0,362 |
| a ₁ | -2/3 | -0,042 | 0 | 0,042 | 0,095 | 0,155 | 0,225 | 0,300 |
| a ₂ | -1/3 | -0,095 | -0,042 | 0 | 0,042 | 0,095 | 0,155 | 0,225 |
| a ₃ | 0 | -0,155 | -0,095 | -0,042 | 0 | 0,042 | 0,095 | 0,155 |
| a ₄ | 1/3 | -0,225 | -0,155 | -0,095 | -0,042 | 0 | 0,042 | 0,095 |
| a ₅ | 2/3 | -0,300 | -0,225 | -0,155 | -0,095 | -0,042 | 0 | 0,042 |
| a ₆ | 1 | -0,362 | -0,300 | -0,225 | -0,155 | -0,095 | -0,042 | 0 |
| В | | | | | | | | |
| b ₀ | -1 | 0 | 0,060 | 0,115 | 0,167 | 0,199 | 0,209 | 0,190 |
| b ₁ | -2/3 | -0,060 | 0 | 0,060 | 0,115 | 0,167 | 0,199 | 0,209 |
| b ₂ | -1/3 | -0,115 | -0,060 | 0 | 0,060 | 0,115 | 0,167 | 0,199 |
| b ₃ | 0 | -0,167 | -0,115 | -0,060 | 0 | 0,060 | 0,115 | 0,167 |
| b ₄ | 1/3 | -0,199 | -0,167 | -0,115 | -0,060 | 0 | 0,060 | 0,115 |
| b ₅ | 2/3 | -0,209 | -0,199 | -0,167 | -0,115 | -0,060 | 0 | 0,060 |
| b ₆ | 1 | -0,190 | -0,209 | -0,199 | -0,167 | -0,115 | -0,060 | 0 |

2.1.6. Знаходження координат і побудова скелету профіля

Як зазначалося вище, нескінченно тонкий профіль являє собою лінію потоку кінцевого відносного потоку. Для визначення координат розрахункових точок скелету необхідно в кожній точці знайти швидкість результуючого потоку і її проекцію на вісь X і Y , кут β і довжину відрізка хорди профілю.

Обчислення проведемо в такій послідовності:

1. Визначимо проекції і величину відносної швидкості результуючого потоку в точках -1 ; $(-\frac{2}{3})$; $(-\frac{1}{3})$; 0 ; $(\frac{1}{3})$; $(\frac{2}{3})$; 1 за допомогою наступних формул:

$$w_x = w_{m_x} + v'_{x_a} + v''_{x_a} + v'_{x_s} + v''_{x_s}; \quad (2.22)$$

$$w_y = w_{m_y} + v'_{y_a} + v''_{y_a} + v'_{y_s} + v''_{y_s}; \quad (2.23)$$

Точка -1:

$$w_{m_x} = -w_m \cdot \cos \beta_m; \quad (2.24)$$

$$w_{m_x} = -16.848 \cdot 0.9274 = -15.63;$$

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

$$v'_{x_a} = -\frac{A_0 \cdot \sin \beta}{2}; \quad (2.25)$$

$$v''_{x_a} = \frac{A_0 \cdot \pi \cdot l}{2560 \cdot t} \cdot (126_{a_1} - 90_{a_2} + 460_{a_3} - 180_{a_4} + 630_{a_5} + 334_{a_6}); \quad (2.26)$$

$$v''_{x_a} = \frac{0.2338 \cdot 3.14 \cdot 0.389}{2560 \cdot 0.707} \cdot (-271,3) = -0.0221 \text{ м/с.}$$

$$v'_{x_s} = \frac{A_1}{2} \cdot \sigma_0 \cdot \sin \beta; \quad (2.27)$$

$$v'_{x_s} = \frac{4.208}{2} \cdot (-1) \cdot 0.7594 = -0.772 \text{ м/с.}$$

$$v''_{x_s} = \frac{A_1 \cdot \pi \cdot l}{2560 \cdot t} \cdot (210_{a_1} - 120_{a_2} + 460_{a_3} - 120_{a_4} + 210_{a_5}); \quad (2.28)$$

$$v''_{x_s} = \frac{4.208 \cdot 3.14 \cdot 0.389}{2560 \cdot 0.707} \cdot (-70.44) = -0.1132 \text{ м/с.}$$

$$w_x = (-5.69) + (-0.024) + (-0.034) + (-0.438) + (-0.16) = -16.576 \text{ м/с.}$$

$$w_{m_y} = w_m \cdot \sin \beta_m; \quad (2.29)$$

$$w_{m_y} = 16.848 \cdot 0.3739 = 6.3.$$

$$v'_{y_a} = \frac{A_0}{2} \cdot \cos \beta; \quad (2.30)$$

$$v'_{y_a} = \frac{0.2338}{2} \cdot 0.9302 = 0.1087 \text{ м/с.}$$

$$v''_{y_a} = \frac{A_0 \cdot \pi \cdot l}{2560 \cdot t} \cdot (126_{b_1} - 90_{b_2} + 460_{b_3} - 180_{b_4} + 630_{b_5} + 334_{b_6}); \quad (2.31)$$

$$v''_{y_a} = \frac{0,2338 \cdot 3,14 \cdot 0,389}{2560 \cdot 0,707} \cdot (-355.8) = -0.0427 \text{ м/с.}$$

$$v'_{y_s} = -\frac{A_0}{2} \cdot \sigma_0 \cdot \cos \beta; \quad (2.32)$$

$$v'_{y_s} = -\frac{0.2338}{2} \cdot (-1) \cdot 0.9302 = 1.957 \text{ м/с.}$$

$$v''_{y_s} = \frac{A_1 \cdot \pi \cdot l}{2560 \cdot t} \cdot (210_{b_1} - 120_{b_2} + 460_{b_3} - 120_{b_4} + 210_{b_5}); \quad (2.33)$$

$$v''_{y_s} = \frac{16.848 \cdot 3.14 \cdot 0.389}{2560 \cdot 0.707} \cdot (-121.8) = -0.1132 \text{ м/с.}$$

| | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|----------------------|------|
| | | | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |

$$w_y = (8.13) + 0.065 + (-0.045) + (-0.065) + (-0.277) = 8.06 \text{ м/с.}$$

2. Знаходимо кут β , що утворюється відносною швидкістю w і віссю X в кожній точці скелету:

$$w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}; \quad (2.34)$$

$$w = \sqrt{274,77 + 65,07} = 18.43 \text{ м/с.}$$

$$\sin \beta = \frac{w_y}{w}; \quad (2.35)$$

$$\sin \beta = \frac{8.06}{18.43} = 0.438.$$

$$\cos \beta = \frac{w_x}{w}; \quad (2.36)$$

$$\cos \beta = \frac{16.57}{18.43} = 0.899.$$

3. Визначаємо координати точок профілю:

а) проміжні:

$$\Delta x = \frac{l}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\cos \beta_n + \cos \beta_{n+1}); \quad (2.37)$$

$$\Delta x = \frac{0.389}{6} \cdot 0.616 = 0.0586.$$

$$\Delta y = \frac{l}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\sin \beta_n + \sin \beta_{n+1}); \quad (2.38)$$

$$\Delta y = \frac{0.389}{6} \cdot 0.788 = 0.0278.$$

б) сумарні:

$$x = \sum_{i=1}^n \Delta x_i; \quad (2.39)$$

$$x = -0.1775.$$

$$y = \sum_{i=1}^n \Delta y_i; \quad (2.40)$$

$$y = -0.0795.$$

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

Аналогічний розрахунок проведемо і для інших точок дані яких внесемо до табл. 2.5, 2.6 та 2.7.

Таблиця 2.5

Визначення швидкостей і координат профілю (переріз III)

| № пп | Розрахункові величини | Значення розрахункових величин в точках | | | | | | |
|----------|-----------------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | -2/3 | -1/3 | 0 | 1/3 | 2/3 | 1 |
| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | <u>7</u> | <u>8</u> | <u>9</u> |
| 1 | v'_{xa} | -0,0429 | -0,0429 | -0,0429 | -0,0429 | -0,0429 | -0,0429 | -0,0429 |
| 2 | 126a ₁ | -2,016 | 0 | 2,016 | 3,906 | 6,678 | 10,08 | 15,246 |
| 3 | -90a ₂ | 2,79 | 1,44 | 0 | -1,44 | -2,79 | -4,77 | -7,2 |
| 4 | 460a ₃ | -24,38 | -14,26 | -7,36 | 0 | 7,36 | 14,26 | 24,38 |
| 5 | -180a ₄ | 14,4 | 9,54 | 5,58 | 2,88 | 0 | -2,88 | -5,58 |
| 6 | 630a ₅ | -76,23 | -50,4 | -33,39 | -19,53 | -10,08 | 0 | 10,08 |
| 7 | 334a ₆ | -54,442 | -40,414 | -26,72 | -17,702 | -10,354 | -5,344 | 0 |
| 8 | $\sum[2 - 7]^*$ | -139,88 | -94,09 | -59,87 | -31,89 | -9,19 | 11,35 | 36,93 |
| 9 | v''_{xa} | -0,0221 | -0,0149 | -0,0095 | -0,0050 | -0,0015 | 0,0018 | 0,0058 |
| 10 | v'_{xs} | -0,772 | -0,515 | -0,257 | 0,000 | 0,257 | 0,515 | 0,772 |
| 11 | 210a ₁ | -3,36 | 0 | 3,36 | 6,51 | 11,13 | 16,8 | 25,41 |
| 12 | -120a ₂ | 3,72 | 1,92 | 0 | -1,92 | -3,72 | -6,36 | -9,6 |
| 13 | 460a ₃ | -24,38 | -14,26 | -7,36 | 0 | 7,36 | 14,26 | 24,38 |
| 14 | -120a ₄ | 9,6 | 6,36 | 3,72 | 1,92 | 0 | -1,92 | -3,72 |
| 15 | 210a ₅ | -25,41 | -16,8 | -11,13 | -6,51 | -3,36 | 0 | 3,36 |
| 16 | $\sum[11 - 15]$ | -39,83 | -22,78 | -11,41 | 0 | 11,41 | 22,78 | 39,83 |
| 17 | v''_{xs} | -0,1132 | -0,0647 | -0,0324 | 0 | 0,0324 | 0,0647 | 0,1132 |
| 18 | w_{mx} | -15,63 | -15,63 | -15,63 | -15,63 | -15,63 | -15,63 | -15,63 |
| 19 | $w_x = \sum [1,9,10,17,18]$ | -16,576 | -16,263 | -15,968 | -15,674 | -15,380 | -15,087 | -14,777 |
| 20 | v'_{ya} | 0,1087 | 0,1087 | 0,1087 | 0,1087 | 0,1087 | 0,1087 | 0,1087 |
| 21 | 126b ₁ | -6,174 | 0 | 6,174 | 11,34 | 17,514 | 23,31 | 29,484 |
| 22 | -90b ₂ | 8,1 | 4,41 | 0 | -4,41 | -8,1 | -12,51 | -16,65 |
| 23 | 460b ₃ | -63,94 | -41,4 | -22,54 | 0 | 22,54 | 41,4 | 63,94 |
| 24 | -180b ₄ | 33,3 | 25,02 | 16,2 | 8,82 | 0 | -8,82 | -16,2 |
| 25 | 630b ₅ | -147,42 | -116,55 | -87,57 | -56,7 | -30,87 | 0 | 30,87 |
| 26 | 334b ₆ | -94,188 | -78,156 | -61,79 | -46,426 | -30,06 | -16,366 | 0 |
| 27 | $\sum [21 - 26]$ | -270,32 | -206,68 | -149,526 | -87,376 | -28,976 | 27,014 | 91,444 |
| 28 | v''_{ya} | -0,0427 | -0,0326 | -0,0236 | -0,0138 | -0,0046 | 0,0043 | 0,0144 |
| 29 | v'_{ys} | 1,957 | 1,305 | 0,652 | 0 | -0,652 | -1,305 | -1,957 |
| 30 | 210b ₁ | -10,29 | 0 | 10,29 | 18,9 | 29,19 | 38,85 | 49,14 |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | |

Продовження таблиці 2.5

| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | <u>7</u> | <u>8</u> | <u>9</u> |
|----------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 31 | -120b ₂ | 10,8 | 5,88 | 0 | -5,88 | -10,8 | -16,68 | -22,2 |
| 32 | 460b ₃ | -63,94 | -41,4 | -22,54 | 0 | 22,54 | 41,4 | 63,94 |
| 33 | -120b ₄ | 22,2 | 16,68 | 10,8 | 5,88 | 0 | -5,88 | -10,8 |
| 34 | 210b ₅ | -49,14 | -38,85 | -29,19 | -18,9 | -10,29 | 0 | 10,29 |
| 35 | $\sum [30 - 34]$ | -90,37 | -57,69 | -30,64 | 0 | 30,64 | 57,69 | 90,37 |
| 36 | v''_{ys} | -0,2568 | -0,1639 | -0,0871 | 0,0000 | 0,0871 | 0,1639 | 0,2568 |
| 37 | w_{my} | 6,30 | 6,30 | 6,30 | 6,30 | 6,30 | 6,30 | 6,30 |
| 38 | $w_y = \sum [20,28,29,36,37]$ | 8,067 | 7,517 | 6,951 | 6,395 | 5,839 | 5,273 | 4,723 |
| 39 | w_x^2 | 274,77 | 264,49 | 254,97 | 245,66 | 236,55 | 227,62 | 218,36 |
| 40 | w_y^2 | 65,07 | 56,51 | 48,31 | 40,90 | 34,10 | 27,80 | 22,31 |
| 41 | $w_x^2 + w_y^2$ | 339,85 | 321,00 | 303,29 | 286,56 | 270,64 | 255,42 | 240,67 |
| 42 | $w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$ | 18,43 | 17,92 | 17,42 | 16,93 | 16,45 | 15,98 | 15,51 |
| 43 | $\cos\beta = w_x/w$ | 0,899 | 0,908 | 0,917 | 0,926 | 0,935 | 0,944 | 0,953 |
| 44 | $1/2(\cos\beta_n + \cos\beta_{n+1})$ | 0,903 | | 0,912 | 0,921 | 0,930 | 0,939 | 0,948 |
| 45 | 1/6 [44] | 0,0586 | | 0,0591 | 0,0597 | 0,0603 | 0,0609 | 0,0615 |
| 46 | x | -0,1775 | -0,1189 | -0,0597 | 0 | 0,0603 | 0,1212 | 0,1827 |
| 47 | $\sin\beta = w_y/w$ | 0,438 | 0,420 | 0,399 | 0,378 | 0,355 | 0,330 | 0,304 |
| 48 | $1/2(\sin\beta_n + \sin\beta_{n+1})$ | 0,4286 | 0,4094 | 0,3885 | 0,3664 | 0,3424 | 0,3172 | |
| 49 | 1/6 [48] | 0,0278 | 0,0265 | 0,0252 | 0,0238 | 0,0222 | 0,0206 | |
| 50 | y | -0,0795 | -0,0517 | -0,0252 | 0 | 0,0238 | 0,0460 | 0,0665 |

Примітка:

* В квадратних дужках вказаний номер рядка, з якого в розрахунку вирази підставляються потрібні величини.

Таблиця 2.6

Визначення швидкостей і координат профілю (переріз II)

| № пп | Розрахункові величини | Значення розрахункових величин в точках | | | | | | |
|----------|-----------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | -2/3 | -1/3 | 0 | 1/3 | 2/3 | 1 |
| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | <u>7</u> | <u>8</u> | <u>9</u> |
| 1 | v'_{xa} | -0,1430 | -0,1430 | -0,1430 | -0,1430 | -0,1430 | -0,1430 | -0,1430 |
| 2 | 126a ₁ | -2,52 | 0 | 2,52 | 6,048 | 9,198 | 14,994 | 21,168 |
| 3 | -90a ₂ | 4,32 | 1,8 | 0 | -1,8 | -4,32 | -6,57 | -10,71 |
| 4 | 460a ₃ | -33,58 | -22,08 | -9,2 | 0 | 9,2 | 22,08 | 33,58 |
| 5 | -180a ₄ | 21,42 | 13,14 | 8,64 | 3,6 | 0 | -3,6 | -8,64 |
| 6 | 630a ₅ | -105,84 | -74,97 | -45,99 | -30,24 | -12,6 | 0 | 12,6 |
| 7 | 334a ₆ | -77,822 | -56,112 | -39,746 | -24,382 | -16,032 | -6,68 | 0 |
| 8 | $\sum [2 - 7]$ | -194,02 | -138,22 | -83,78 | -46,77 | -14,55 | 20,22 | 48,00 |
| 9 | v''_{xa} | -0,0918 | -0,0654 | -0,0397 | -0,0221 | -0,0069 | 0,0096 | 0,0227 |
| 10 | v'_{xs} | -1,144 | -0,763 | -0,381 | 0,000 | 0,381 | 0,763 | 1,144 |

| | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |

Продовження таблиці 2.6

| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | <u>7</u> | <u>8</u> | <u>9</u> |
|----------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 11 | 210a ₁ | -4,2 | 0 | 4,2 | 10,08 | 15,33 | 24,99 | 35,28 |
| 12 | -120a ₂ | 5,76 | 2,4 | 0 | -2,4 | -5,76 | -8,76 | -14,28 |
| 13 | 460a ₃ | -33,58 | -22,08 | -9,2 | 0 | 9,2 | 22,08 | 33,58 |
| 14 | -120a ₄ | 14,28 | 8,76 | 5,76 | 2,4 | 0 | -2,4 | -5,76 |
| 15 | 210a ₅ | -35,28 | -24,99 | -15,33 | -10,08 | -4,2 | 0 | 4,2 |
| 16 | $\sum [11-15]$ | -53,02 | -35,91 | -14,57 | 0 | 14,57 | 35,91 | 53,02 |
| 17 | v''_{xs} | -0,2008 | -0,1360 | -0,0552 | 0 | 0,0552 | 0,1360 | 0,2008 |
| 18 | w_{mx} | -10,24 | -10,24 | -10,24 | -10,24 | -10,24 | -10,24 | -10,24 |
| 19 | $w_x = \sum [1,9,10,17,18]$ | -11,817 | -11,345 | -10,856 | -10,402 | -9,950 | -9,472 | -9,012 |
| 20 | v'_{ya} | 0,2762 | 0,2762 | 0,2762 | 0,2762 | 0,2762 | 0,2762 | 0,2762 |
| 21 | 126b ₁ | -6,3 | 0 | 6,3 | 12,222 | 18,27 | 24,066 | 30,24 |
| 22 | -90b ₂ | 8,73 | 4,5 | 0 | -4,5 | -87,3 | -13,05 | -17,19 |
| 23 | 460b ₃ | -66,7 | -44,62 | -23 | 0 | 23 | 44,62 | 66,7 |
| 24 | -180b ₄ | 34,38 | 26,1 | 17,46 | 9 | 0 | -9 | -17,46 |
| 25 | 630b ₅ | -151,2 | -120,33 | -91,35 | -61,11 | -31,5 | 0 | 31,5 |
| 26 | 334b ₆ | -93,186 | -80,16 | -63,794 | -48,43 | -32,398 | -16,7 | 0 |
| 27 | $\sum [21-26]$ | -274,28 | -214,51 | -154,38 | -92,818 | -109,93 | 29,936 | 93,79 |
| 28 | v''_{ya} | -0,1298 | -0,1015 | -0,0731 | -0,0439 | -0,0520 | 0,0142 | 0,0444 |
| 29 | v'_{ys} | 2,210 | 1,473 | 0,737 | 0 | -0,737 | -1,473 | -2,210 |
| 30 | 210b ₁ | -10,5 | 0 | 10,5 | 20,37 | 30,45 | 40,11 | 50,4 |
| 31 | -120b ₂ | 11,64 | 6 | 0 | -6 | -116,4 | -17,4 | -22,92 |
| 32 | 460b ₃ | -66,7 | -44,62 | -23 | 0 | 23 | 44,62 | 66,7 |
| 33 | -120b ₄ | 22,92 | 17,4 | 11,64 | 6 | 0 | -6 | -11,64 |
| 34 | 210b ₅ | -50,4 | -40,11 | -30,45 | -20,37 | -10,5 | 0 | 10,5 |
| 35 | $\sum [30-34]$ | -93,04 | -61,33 | -31,31 | 0 | -73,45 | 61,33 | 93,04 |
| 36 | v''_{ys} | -0,3523 | -0,2322 | -0,1186 | 0,0000 | -0,2781 | 0,2322 | 0,3523 |
| 37 | w_{my} | 5,73 | 5,73 | 5,73 | 5,73 | 5,73 | 5,73 | 5,73 |
| 38 | $w_y = \sum [20,28,29,36,37]$ | 7,735 | 7,146 | 6,552 | 5,963 | 4,940 | 4,780 | 4,194 |
| 39 | w_x^2 | 139,65 | 128,70 | 117,86 | 108,21 | 99,01 | 89,71 | 81,22 |
| 40 | w_y^2 | 59,82 | 51,07 | 42,93 | 35,56 | 24,41 | 22,85 | 17,59 |
| 41 | $w_x^2 + w_y^2$ | 199,47 | 179,77 | 160,79 | 143,77 | 123,42 | 112,56 | 98,81 |
| 42 | $w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$ | 14,12 | 13,41 | 12,68 | 11,99 | 11,11 | 10,61 | 9,94 |
| 43 | $\cos\beta = w_x/w$ | 0,837 | 0,846 | 0,856 | 0,868 | 0,896 | 0,893 | 0,907 |
| 44 | $1/2(\cos\beta_n + \cos\beta_{n+1})$ | 0,841 | | 0,851 | 0,862 | 0,882 | 0,894 | 0,900 |
| 45 | 1/6 [44] | 0,0409 | | 0,0414 | 0,0419 | 0,0429 | 0,0435 | 0,0438 |
| 46 | x | -0,1243 | -0,0834 | -0,0419 | 0 | 0,0429 | 0,0864 | 0,1302 |
| 47 | $\sin\beta = w_y/w$ | 0,548 | 0,533 | 0,517 | 0,497 | 0,445 | 0,451 | 0,422 |
| 48 | $1/2(\sin\beta_n + \sin\beta_{n+1})$ | 0,5403 | 0,5248 | 0,5070 | 0,4710 | 0,4476 | 0,4362 | |
| 49 | 1/6 [48] | 0,0263 | 0,0255 | 0,0247 | 0,0229 | 0,0218 | 0,0212 | |
| 50 | y | -0,0765 | -0,0502 | -0,0247 | 0 | 0,0229 | 0,0447 | 0,0659 |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | |

Таблиця 2.7

Визначення швидкостей і координат профілю (переріз I)

| № пп | Розрахункові величини | Значення розрахункових величин в точках | | | | | | |
|----------|---------------------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| | | 1 | -2/3 | -1/3 | 0 | 1/3 | 2/3 | 1 |
| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | <u>7</u> | <u>8</u> | <u>9</u> |
| 1 | v'_{xa} | -0,4203 | -0,4203 | -0,4203 | -0,4203 | -0,4203 | -0,4203 | -0,4203 |
| 2 | 126a ₁ | -5,292 | 0 | 5,292 | 11,97 | 19,53 | 28,35 | 37,8 |
| 3 | -90a ₂ | 8,55 | 3,78 | 0 | -3,78 | -8,55 | -13,95 | -20,25 |
| 4 | 460a ₃ | -71,3 | -43,7 | -19,32 | 0 | 19,32 | 43,7 | 71,3 |
| 5 | -180a ₄ | 40,5 | 27,9 | 17,1 | 7,56 | 0 | -7,56 | -17,1 |
| 6 | 630a ₅ | -189 | -141,75 | -97,65 | -59,85 | -26,46 | 0 | 26,46 |
| 7 | 334a ₆ | -120,91 | -100,2 | -75,15 | -51,77 | -31,73 | -14,028 | 0 |
| 8 | $\Sigma [2 - 7]$ | -337,45 | -253,97 | -169,73 | -95,87 | -27,89 | 36,51 | 98,21 |
| 9 | v''_{xa} | -0,4777 | -0,3596 | -0,2403 | -0,1357 | -0,0395 | 0,0517 | 0,1390 |
| 10 | v'_{xs} | -1,961 | -1,308 | -0,654 | 0,000 | 0,654 | 1,308 | 1,961 |
| 11 | 210a ₁ | -8,82 | 0 | 8,82 | 19,95 | 32,55 | 47,25 | 63 |
| 12 | -120a ₂ | 11,4 | 5,04 | 0 | -5,04 | -11,4 | -18,6 | -27 |
| 13 | 460a ₃ | -71,3 | -43,7 | -19,32 | 0 | 19,32 | 43,7 | 71,3 |
| 14 | -120a ₄ | 27 | 18,6 | 11,4 | 5,04 | 0 | -5,04 | -11,4 |
| 15 | 210a ₅ | -63 | -47,25 | -32,55 | -19,95 | -8,82 | 0 | 8,82 |
| 16 | $\Sigma [11 - 15]$ | -104,72 | -67,31 | -31,65 | 0 | 31,65 | 67,31 | 104,72 |
| 17 | v''_{xs} | -0,6919 | -0,4447 | -0,2091 | 0 | 0,2091 | 0,4447 | 0,6919 |
| 18 | w_{mx} | -5,04 | -5,04 | -5,04 | -5,04 | -5,04 | -5,04 | -5,04 |
| 19 | $w_x = \Sigma [1,9,10,17,18]$ | -8,594 | -7,575 | -6,566 | -5,599 | -4,640 | -3,659 | -2,671 |
| 20 | v'_{ya} | 0,5354 | 0,5354 | 0,5354 | 0,5354 | 0,5354 | 0,5354 | 0,5354 |
| 21 | 126b ₁ | -7,56 | 0 | 7,56 | 14,49 | 21,042 | 25,074 | 26,334 |
| 22 | -90b ₂ | 10,35 | 5,4 | 0 | -5,4 | -10,35 | -15,03 | -17,91 |
| 23 | 460b ₃ | -76,82 | -52,9 | -27,6 | 0 | 27,6 | 52,9 | 76,82 |
| 24 | -180b ₄ | 35,82 | 30,06 | 20,7 | 10,8 | 0 | -10,8 | -20,7 |
| 25 | 630b ₅ | -131,67 | -125,37 | -105,21 | -72,45 | -37,8 | 0 | 37,8 |
| 26 | 334b ₆ | -63,46 | -69,806 | -66,466 | -55,778 | -38,41 | -20,04 | 0 |
| 27 | $\Sigma [21 - 26]$ | -233,34 | -212,62 | -171,02 | -108,34 | -37,918 | 32,104 | 102,34 4 |
| 28 | v''_{ya} | -0,3303 | -0,3010 | -0,2421 | -0,1534 | -0,0537 | 0,0455 | 0,1449 |
| 29 | v'_{ys} | 2,499 | 1,666 | 0,833 | 0 | -0,833 | -1,666 | -2,499 |
| 30 | 210b ₁ | -12,6 | 0 | 12,6 | 24,15 | 35,07 | 41,79 | 43,89 |
| 31 | -120b ₂ | 13,8 | 7,2 | 0 | -7,2 | -13,8 | -20,04 | -23,88 |
| 32 | 460b ₃ | -76,82 | -52,9 | -27,6 | 0 | 27,6 | 52,9 | 76,82 |
| 33 | -120b ₄ | 23,88 | 20,04 | 13,8 | 7,2 | 0 | -7,2 | -13,8 |
| 34 | 210b ₅ | -43,89 | -41,79 | -35,07 | -24,15 | -12,6 | 0 | 12,6 |
| 35 | $\Sigma [30 - 34]$ | -95,63 | -67,45 | -36,27 | 0 | 36,27 | 67,45 | 95,63 |
| 36 | v''_{ys} | -0,6318 | -0,4456 | -0,2396 | 0,0000 | 0,2396 | 0,4456 | 0,6318 |
| 37 | w_{my} | 5,16 | 5,16 | 5,16 | 5,16 | 5,16 | 5,16 | 5,16 |
| 38 | $w_y = \Sigma [20,28,29,36,37]$ | 7,232 | 6,615 | 6,047 | 5,542 | 5,049 | 4,521 | 3,974 |
| 39 | w_x^2 | 73,85 | 57,38 | 43,11 | 31,35 | 21,53 | 13,39 | 7,13 |
| 40 | w_y^2 | 52,30 | 43,75 | 36,56 | 30,72 | 25,49 | 20,44 | 15,79 |

Арк.

ДРМ 306.18.00.000 ПЗ

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | <u>7</u> | <u>8</u> | <u>9</u> |
|----------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 41 | $w_x^2 + w_y^2$ | 126,16 | 101,13 | 79,68 | 62,06 | 47,01 | 33,83 | 22,92 |
| 42 | $w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$ | 11,23 | 10,06 | 8,93 | 7,88 | 6,86 | 5,82 | 4,79 |
| 43 | $\cos\beta = w_x/w$ | 0,765 | 0,753 | 0,736 | 0,711 | 0,677 | 0,629 | 0,558 |
| 44 | $1/2(\cos\beta_n + \cos\beta_{n+1})$ | 0,759 | | 0,744 | 0,723 | 0,694 | 0,653 | 0,593 |
| 45 | $1/6 [44]$ | 0,0253 | | 0,0248 | 0,0241 | 0,0231 | 0,0218 | 0,0198 |
| 46 | x | -0,0742 | -0,0489 | -0,0241 | 0 | 0,0231 | 0,0449 | 0,0647 |
| 47 | $\sin\beta = w_y/w$ | 0,644 | 0,658 | 0,677 | 0,704 | 0,736 | 0,777 | 0,830 |
| 48 | $1/2(\sin\beta_n + \sin\beta_{n+1})$ | 0,6508 | 0,6676 | 0,6905 | 0,7199 | 0,7568 | | 0,8036 |
| 49 | $1/6 [48]$ | 0,0217 | 0,0223 | 0,0230 | 0,0240 | 0,0252 | | 0,0268 |
| 50 | y | -0,0670 | -0,0453 | -0,0230 | 0 | 0,0240 | 0,0492 | 0,0760 |

Після визначення координат x і y наносимо точки на площину і будемо скелетні лінії для розрахункових перерізів лопаті (рис. 2.4)

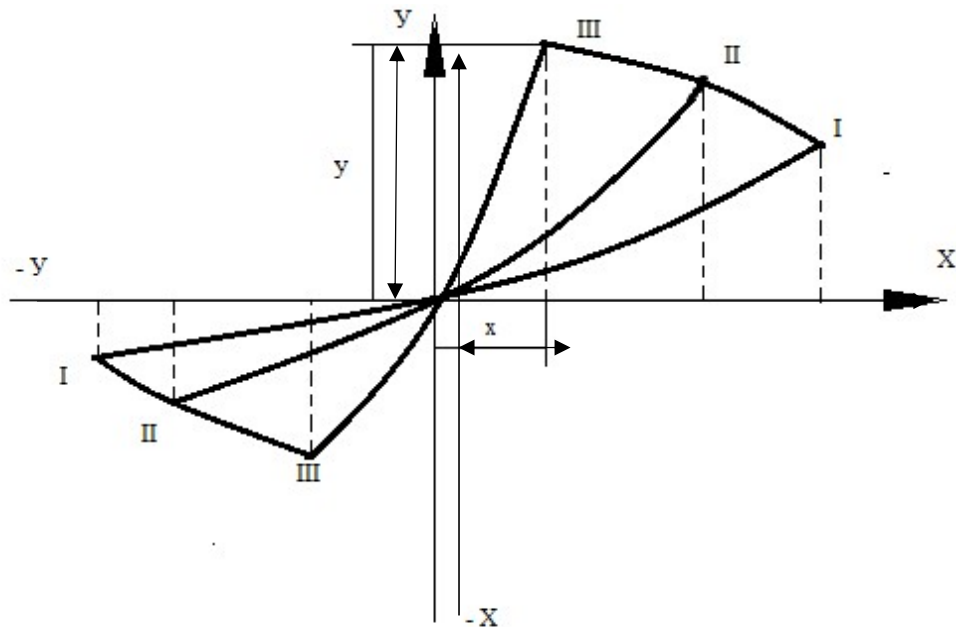


Рис. 2.4. Побудова скелетів профілів розрахункових перерізів лопаті

2.1.7. Побудова профілів кінцевої товщини

В результаті проведених розрахунків отримано нескінченно тонкі профілі ґраток. Побудова профілю кінцевої товщини виконують не розрахунковим шляхом, а використовуючи вибрану максимальну товщину і закон розподілу товщин одного з гідродинамічних профілів, що мають високі енергетичні і

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

кавітаційні характеристики. Для розрахунку було вибрано профіль ВИМГ – 15 [2, таблиця 24] . Тепер ми можемо визначити всі потрібні величини (координати).

Обчислення проведемо за наступними формулами:

$$x = \bar{x}_T \cdot \frac{l_{\text{пр}}}{100 \%}; \tag{2.41}$$

$$y = \bar{y}_T \cdot \frac{l_{\text{пр}}}{100 \%} \cdot \frac{\delta_{\text{мажпр}} \%}{\delta_{\text{мажт}} \%}, \tag{2.42}$$

де $l_{\text{пр}}$ – довжина профілю, заміряна вздовж його скелету;

\bar{x}_T, \bar{y}_T – табличні координати прийнятого профілю у відсотках;

$\delta_{\text{мажпр}}$ – прийнята максимальна товщина розрахункового профілю у відсотках;

$\delta_{\text{мажт}}$ – таблична максимальна товщина вибраного профілю.

Таблиця 2.8

Закон розподілу товщин профіля ВИМГ – 15 ($\delta_{\text{мажт}} = 20\%$)

| $\bar{x}_T = \frac{x}{l} \%$ | $\bar{y}_T = \frac{y}{l} \%$ | $\bar{x}_T = \frac{x}{l} \%$ | $\bar{y}_T = \frac{y}{l} \%$ | $\bar{x}_T = \frac{x}{l} \%$ | $\bar{y}_T = \frac{y}{l} \%$ |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1.25 | 27 | 20 | 9 | 80 | 4 |
| 25 | 4 | 30 | 9.8 | 90 | 2 |
| 5 | 54 | 40 | 9.8 | 95 | 1.2 |
| 7.5 | 63 | 50 | 8.8 | 100 | 0 |
| 10 | 7.1 | 60 | 7.5 | | |
| 15 | 81 | 70 | 5.9 | | |

Вибираємо [2, таблиці 23] $\delta_{\text{мажпр}} = 12 \%$ біля втулки та $\delta_{\text{мажпр}} = 2.5 \%$ на периферії.

Дані з розрахунку кінцевої товщини профілю внесемо до таблиць 2.9, 2.10 та 2.11 відповідно.

Таблиця 2.9

Побудова профілю кінцевої товщини ($l_{пр} = 389$ мм, $\delta_{маж пр.} = 2,5$ %)

| <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> | <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> | <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 4.8625 | 1.312875 | 77.8 | 4.37625 | 3112 | 1.945 |
| 9.725 | 1.945 | 116.7 | 4.76525 | 3501 | 0.9725 |
| 19.45 | 2.62575 | 155.6 | 4.76525 | 369.55 | 05835 |
| 29.175 | 3.063375 | 194.5 | 4.279 | 389 | 0 |
| 38.9 | 3.452375 | 233.4 | 3.646875 | | |
| 58.35 | 3938625 | 272.3 | 2.868875 | | |

Таблиця 2.10

Побудова профілю кінцевої товщини ($l_{пр} = 292$ мм, $\delta_{маж пр.} = 7.25$ %)

| <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> | <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> | <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 3.65 | 3.80734 | 58.4 | 12.6911 | 233.6 | 5.6405 |
| 7.3 | 5.6405 | 87.6 | 13.8192 | 262.8 | 2.82025 |
| 14.6 | 7.61468 | 116.8 | 13.8192 | 277.4 | 1.69215 |
| 21.9 | 8.88379 | 146 | 12.4091 | 292 | 0 |
| 29.2 | 10.0119 | 175.2 | 10.5759 | | |
| 43.8 | 11.422 | 204.4 | 8.31974 | | |

Таблиця 2.11

Побудова профілю кінцевої товщини ($l_{пр} = 200$ мм, $\delta_{маж пр.} = 12$ %)

| <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> | <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> | <i>x, мм</i> | <i>y, мм</i> |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2.5 | 6.3018 | 40 | 21.006 | 160 | 9.336 |
| 5 | 9.336 | 60 | 22.8732 | 180 | 4.668 |
| 10 | 12.6036 | 80 | 22.8732 | 190 | 2.8008 |
| 15 | 14.7042 | 100 | 20.5392 | 200 | 0 |
| 20 | 16.5714 | 120 | 17.505 | | |
| 30 | 18.9054 | 140 | 13.7706 | | |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | |

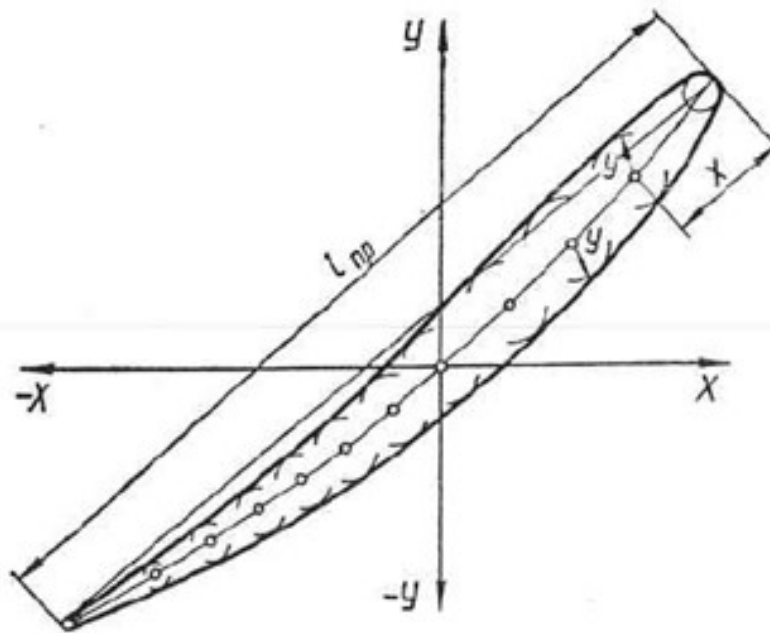


Рис. 2.5. Побудова профілю кінцевої товщини

Координату x відкладаємо вздовж скелетної лінії від вхідної кромки, а координату y – у відповідних точках x по обидві сторони (як радіус кола) рис. 2.5.

2.2. Розрахунок характеристик трилопатевої гідротурбіни для швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв

Для того, щоб визначити основні характеристики гідротурбіни при певній швидкості обертання робочого колеса використаємо формули залежності між основними параметрами подібних гідротурбін.

Подібною вважатимемо гідротурбіну Т-90 дещо перерахувавши її параметри швидкості з використанням трьох лопатей.

Згідно [2, табл. 23, стор. 221] відомо, що при кількості лопатей $z_1 = 6$ швидкість обертання робочого колеса буде рівною $n_1 = 115$ об/хв, а при кількості лопатей $z_2 = 5$ швидкість обертання складає $n_2 = 125$ об/хв. Коефіцієнт швидкості для даної кількості лопатей визначимо наступним чином:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.46)$$

де, $\frac{z_1}{z_2} = \frac{6}{5} = 1.2$ – коефіцієнт кількості лопатей;

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{125}{115} = 1.087 \text{ – коефіцієнт швидкості обертання для } z_1, z_2.$$

Для того, щоб визначити швидкість обертання робочого колеса при кількості лопатей 3 скористаємось тією ж залежністю. Коефіцієнт для визначення швидкості обертання при $z_1 = 4$ та $z_2 = 3$ буде рівний:

$$\frac{n_2}{n_1} = 1.21.$$

Швидкість обертання робочого колеса з трьома лопатями буде рівною:

$$n = 350 \cdot 1.21 = 424 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Отже вихідні дані для подібної трилопатевої гідротурбіни Т- 90 будуть наступними:

D – діаметр робочого колеса 0.9 м;

H – напір 3.7 м;

Q – витрата води крізь гідротурбіну $3.24 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

P – потужність 108 кВт;

n – швидкість обертання робочого колеса $424 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$;

η – коефіцієнт корисної дії 91.8 %;

z – килькість лопатей робочого колеса, $z = 3$.

Далі за формулами подібності визначимо параметри трилопатевої гідротурбіни зі швидкістю обертання робочого колеса 760 об/хв.

Згідно з формулою залежності [1, стор.49] між швидкостями обертання робочого колеса:

$$n_1 = n \cdot \frac{D}{D_1} \cdot \frac{\sqrt{g_1 \cdot H_1}}{\sqrt{g \cdot H}} \cdot \frac{\sqrt{\eta_{r1}}}{\sqrt{\eta_r}} \quad (2.47)$$

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | |

Зазвичай припускають, що $g_1 = g$, оскільки різниця прискорень сили тяжіння є малою. Наближене значення цієї формули можна одержати приймаючи $\eta_{r1} = \eta_r$ (рівність гідравлічних ККД) :

$$n_1 = n \cdot \frac{D}{D_1} \cdot \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H}}. \quad (2.48)$$

Із даної залежності визначимо діаметр робочого колеса:

$$D_1 = D \cdot \frac{n \cdot \sqrt{H_1}}{n_1 \cdot \sqrt{H}} = 0.9 \frac{424 \cdot \sqrt{3.97}}{760 \cdot \sqrt{3.7}} = 0.52 \text{ м}$$

Витрата води крізь гідротурбіну становить:

$$Q_1 = Q \frac{D_1^2 \cdot \eta_q \cdot \sqrt{g_1 \cdot H_1} \cdot \sqrt{\eta_{r1}}}{D^2 \cdot \eta_{q1} \cdot \sqrt{g \cdot H} \cdot \sqrt{\eta_r}}. \quad (2.49)$$

Якщо прийняти $\eta_q = \eta_{q1}$, $\eta_{r1} = \eta_r$, $g = g_1$, одержимо наближене співвідношення витрати на напор $H_1 = 3,97$ м:

$$Q_1 = Q \cdot \frac{D_1^2 \cdot \sqrt{H_1}}{D^2 \cdot \sqrt{H}} = 3.24 \cdot \frac{(0.52)^2 \cdot \sqrt{3.97}}{(0.9)^2 \cdot \sqrt{3.7}} = 1.12 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (2.50)$$

Формула потужності має наступний вигляд:

$$P_1 = P_2 \frac{\gamma_1 \cdot D_1^2 \cdot H_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_{q2} \cdot \sqrt{g_1 \cdot H_1} \cdot \sqrt{\eta_{r1}}}{\gamma_2 \cdot D_2^2 \cdot H_2 \cdot \eta_2 \cdot \eta_{q1} \cdot \sqrt{g_2 \cdot H_2} \cdot \sqrt{\eta_{r2}}}, \quad (2.51)$$

де, γ – питома вага рідини, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Наближене співвідношення потужностей за рівності всіх ккд, матиме вигляд:

$$P_1 = P \cdot \frac{D_1^2 \cdot H_1^{1.5}}{D^2 \cdot H^{1.5}} = 108 \cdot \frac{(0.52)^2 \cdot (3.97)^{1.5}}{(0.9)^2 \cdot (3.7)^{1.5}} = 39.9 \text{ кВт}. \quad (2.52)$$

Отже параметри гідротурбіни при швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв матиме такі характеристики:

D_1 – діаметр робочого колеса 0.52 м;

H_1 – напір 3.97 м;

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

Q_1 – витрата води крізь гідротурбіню $1.12 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

P_1 – потужність 39.9 кВт;

n_1 – швидкість обертання робочого колеса $760 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$;

η_1 – коефіцієнт корисної дії 91.8 %

z_1 – кількість лопатей робочого колеса, $z = 3$;

З допомогою отриманих результатів можна визначити кути встановлення та інші параметри лопатей робочого колеса.

2.2.1. Визначення розподілу осьової складової швидкості за радіусом $v_z = f(r)$

Перед тим як почати розрахунок лопаті, необхідно задатися розподілом осьової v_z і колової v_u складових абсолютної швидкості потоку на вході і на виході з робочого колеса. Для цього зазвичай використовують експериментальні дані випробування потоку на вході і виході з робочих коліс подібної швидкохідності [2].

Як показують експериментальні випробування, потік на вході в робоче колесо залежить від положення направляючого апарату і його параметрів, форми проточної частини і форми лопатей робочого колеса.

Осьова швидкість на середньому циліндричному перерізі визначається за формулою (2.2), а значення осьової складової швидкості на периферії і на втулці відповідно за формулами (2.3) та (2.4). Дані з розрахунку внесемо до табл. 2.12.

2.2.2. Побудова вхідних і вихідних трикутників швидкостей на розрахункових поверхнях потоку

Для розрахунку форми профілю ґратки на розрахунковій поверхні потоку необхідно визначити вхідні і вихідні кути, а також деякі параметри вільного

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | Арк. |
| | | | | | | | |

поток. Для цього будують трикутники швидкостей потоку на вході і виході з робочого колеса. Креслимо контури колеса у масштабі 1:1. Кількість перерізів приймаю 3 (перерізи зазвичай розміщують вздовж радіуса). Крайні перерізи вибираю на відстані 10 мм від камери і втулки робочого колеса (див. рис. 2.1).

Середню величину осьової складової швидкості v_z та колові швидкості потоку на вході і виході з робочого колеса на відповідному циліндричному перерізі визначаю за формулами 2.5 та 2.6 відповідно.

Величину і напрям середньовекторної швидкості відносного потоку ω_m для розрахункових перерізів а також їхні кути визначаю за формулами 2.9 та 2.10. Результати розрахунків вношу в таблицю 2.12, за даними якої судять про те, на скільки добре підібрані вихідні параметри ґраток і розподіл швидкостей v_z і v_u на вході та виході з робочого колеса.

Введення кутів атаки ґрунтується на тому, що розрахунок лопаті за допомогою двовимірних методів заснований на уявленні про постійність циркуляції довкола лопаті вздовж радіуса $\Gamma_{\text{л}} = f(r) = \text{const}$. Циркуляцію довкола лопаті визначимо за формулою (2.11).

2.2.3. Визначення коефіцієнтів A_0 і A_1

Для визначення індукованих швидкостей в розрахункових точках необхідно знати коефіцієнти A_0 і A_1 , що визначають закон розподілу вирів вздовж профілю. У випадку еліптичного закону, коли циркуляція навколо профілю створюється за рахунок його кривизни.

При нееліптичному законі розподілу вирів обидва коефіцієнти не дорівнюють нулю і мають визначення. Для цього при заданих умовах розраховуємо сумарну циркуляцію довкола профілю для відповідного перерізу визначаю за формулами (2.14 – 2.17) відповідно. Дані розрахунку вношу до табл. 2.12.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.2.4. Метод підйомних сил

Коефіцієнт впливу ґратки K визначають за номограмою Вейніґа [2, рис. 108]. Для початку потрібно визначитися з кутом встановлення лопаті тому користуються системою наближень. У першому наближенні приймаємо $\beta_{\text{вст}} = \beta_m$ а $\alpha = 0$. За номограмою визначаю коефіцієнт K і кут $\sin \alpha$ для відповідного перерізу за формулою (2.18).

Потрібно також визначити кут скручування лопаті, його знаходжу за формулою 2.20. Значення кутів атаки α і кута скручування $\Delta\beta$, а також характер їх зміни уздовж радіусу приймають на основі досвіду розроблення кращих робочих коліс $\alpha = 6 \div 10^\circ$ біля втулки і $\alpha = 0 \div 2^\circ$ на периферії $\Delta\beta = 14 \div 18^\circ$. Дані з розрахунку наближень внесемо в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Дані з розрахунку кута встановлення лопаті

| № | Розрахункові величини формули | Розмірність | Розрахункові перерізи | | |
|----------|---|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | | I | II | III |
| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> |
| 1 | r | м мм | 0.26 260.00 | 0.173 173.00 | 0.086 86.00 |
| 2 | D | м мм | 0.52 520.00 | 0.346 346.00 | 0.173 173.00 |
| 3 | $u = u_1 = u_2 = r \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}$ | м/с | 20.68 | 13.77 | 6.84 |
| 4 | K_2 | - | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 5 | $v_{u2} = \frac{K_2 \cdot \eta_r \cdot g \cdot H}{u}$ | м ² /с | 0.346 | 0.260 | 0 |
| 6 | $v_{u1} = v_{u2} + \frac{\eta_r \cdot g \cdot H}{\omega}$ | м ² /с | 0.792 | 0.706 | 0.447 |
| 7 | $v_{zcp} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_{\text{вт}}^2)}$ | м ² /с | 5.73 | | |
| 8 | $\tan \beta_m = \frac{v_z}{\left u - \frac{1}{2} \cdot (v_{u1} + v_{u2}) \right }$ | - | 0.324 | 0.446 | 0.807 |
| 9 | β_m | ° | 17.96 | 24.05 | 38.89 |

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | |
|----------|--|---|----------|----------|----------|--------|
| 10 | $w_m = \sqrt{w_{mu}^2 + w_{mz}^2} =$ $= \sqrt{\left[u - \frac{1}{2}(v_{u1} + v_{u2})\right]^2 + v_z^2}$ | м/с | 21.144 | 14.549 | 8.506 | |
| 11 | $\frac{l}{t}$ | - | 0.55 | 0.62 | 85 | |
| 12 | $t = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{z}$ | м | 0.545 | 0.362 | 0.18 | |
| 13 | l | м | 0.299 | 0.225 | 0.153 | |
| 14 | $\Gamma_L = \frac{60 \cdot \eta_r \cdot g \cdot H}{z \cdot n}$ | м ² /с | 0.941 | | | |
| 15 | $C' = \frac{\Gamma_\alpha}{\Gamma_L}$ | - | 0.1 | 0.2 | 0.3 | |
| 16 | $\Gamma_\alpha = C' \cdot \Gamma_L$ | м ² /с | 0.0941 | 0.1881 | 0.2822 | |
| 17 | $\Gamma_s = \Gamma_L - \Gamma_\alpha$ | м ² /с | 0.8465 | 0.7524 | 0.6584 | |
| 18 | $A_0 = \frac{2 \cdot \Gamma_\alpha}{\pi \cdot l}$ | м/с | 0.1999 | 0.5331 | 1.1733 | |
| 19 | $A_1 = \frac{4 \cdot \Gamma_s}{\pi \cdot l}$ | м/с | 3.599 | 4.265 | 5.475 | |
| 20 | Перше набли- ження | K | - | 1.18 | 0.98 | 0.81 |
| | | $\sin \alpha = \frac{\Gamma_\alpha}{\pi \cdot l \cdot w_m K}$ | - | 0.0040 | 0.0187 | 0.0851 |
| | | α | ° | 0.23° | 1.07° | 4.88° |
| | | $\beta_{вст} = \beta_m - \alpha$ | ° | 17.73° | 22.98° | 34° |
| | | $\Delta\beta = \beta_{вт} - \beta_{пер.}$ | ° | 16.27° | | |

2.2.5. Визначення коефіцієнтів a і b

З ціллю спрощення визначення даних коефіцієнтів створена номограма [2, рис. 108]. Спочатку наносимо на номограму хорду розрахункового профілю l_p під кутом $\beta_{вст}$, перерахувавши її в масштабі номограми за формулою 2.21. Визначену хорду розіб'ємо на шість рівних частин і відмітимо точки 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6, які послідовно будемо розміщувати на початку номограми.

Значення коефіцієнтів a і b , для відповідних точок запишемо в табл. А1 Так наприклад для визначення коефіцієнтів a_1 і b_1 для всіх розрахункових точок σ_0 на хорді точку 1 $\left(-\frac{2}{3}\right)$ розміщуємо на початок координат і в таблицю 2.13

| | | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | | |

записуємо значення a_1 і b_1 , для точок $-1; \left(-\frac{2}{3}\right); \left(-\frac{1}{3}\right); 0; \left(\frac{1}{3}\right); \left(\frac{2}{3}\right); 1$, при чому в точці $-\frac{2}{3}a_1 = 0$ і $b_1 = 0$. Аналогічно визначаємо коефіцієнти для інших перерізів. Дані внесемо в табл. А2, А3.

2.2.6. Знаходження координат і побудова скелету профіля

Як зазначалося вище, нескінченно тонкий профіль являє собою лінію потоку кінцевого відносного потоку. Для визначення координат розрахункових точок скелету необхідно в кожній точці знайти швидкість результуючого потоку і її проекцію на вісь X і Y , кут β і довжину відрізка хорди профілю.

Обчислення проведемо в такій послідовності :

1. Визначимо проекції і величину відносної швидкості результуючого потоку в точках $-1; \left(-\frac{2}{3}\right); \left(-\frac{1}{3}\right); 0; \left(\frac{1}{3}\right); \left(\frac{2}{3}\right); 1$.

2. Знаходимо кут β , що утворюється відносною швидкістю w і віссю X в кожній точці скелету.

3. Визначаємо координати точок профілю:

а) проміжні;

б) сумарні.

Аналогічний розрахунок проведемо для всіх точок дані яких внесемо до табл. Б1 – Б3.

Після визначення координат x і y наносимо точки на площину і будуємо скелетні лінії для розрахункових перерізів лопаті (рис. 2.4).

2.2.7. Побудова профілів кінцевої товщини

В результаті розрахунків отримано нескінченно тонкі профілі ґраток. Побудова профілю кінцевої товщини виконують не розрахунковим шляхом, а використовуючи вибрану максимальну товщину і закон розподілу товщин

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

ДРМ 306.18.00.000 ПЗ

одного з гідродинамічних профілів, що мають високі енергетичні і кавітаційні характеристики. Для розрахунку було вибрано профіль ВИМГ – 15 [2, таблиця 24] . Тепер ми можемо визначити всі потрібні величини (координати). Обчислення проведемо за формулами (2.41, 2.42). Визначивши потрібні величини (координати) наносимо їх на систему координат, як показано на рисунку (див. рис. 2.5).

Вибираємо [2, таблиці 23] $\delta_{\max пр} = 12 \%$ біля втулки та $\delta_{\max пр} = 2.5 \%$ на периферії.

Дані з розрахунку кінцевої товщини профілю внесемо до табл. В1 – В3.

2.3. Розрахунок характеристик дволопатевої гідротурбіни для швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв

Для подальшого розрахунку використаємо той самий метод, що і для чотирилопатевої. Для того, щоб визначити основні характеристики гідротурбіни при певній швидкості обертання робочого колеса використаємо формули залежності між основними параметрами подібних гідротурбін.

Подібною вважатимемо гідротурбіну Т-90 дещо перерахувавши її параметри швидкості з використанням двох лопатей.

Згідно [2] таблиця 23, сторінка 221 відомо, що при кількості лопатей $z_1 = 6$ швидкість обертання робочого колеса буде рівною $n_1 = 115$ об/хв, а при кількості лопатей $z_2 = 5$ швидкість обертання складає $n_2 = 125$ об/хв. Коефіцієнт швидкості для даної кількості лопатей визначимо наступним чином:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.46)$$

де, $\frac{z_1}{z_2} = \frac{6}{5} = 1,333$ – коефіцієнт кількості лопатей;

$\frac{n_2}{n_1} = \frac{125}{115} = 1,087$ – коефіцієнт швидкості обертання для z_1, z_2 .

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для того, щоб визначити швидкість обертання робочого колеса при кількості лопатей 2 скористаємось тією ж залежністю. Коефіцієнт для визначення швидкості обертання при $z_1 = 4$ та $z_2 = 2$ буде рівний:

$$\frac{n_2}{n_1} = 1.81.$$

Швидкість обертання робочого колеса з двома лопатями буде рівною:

$$n = 350 \cdot 1.81 = 634 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Отже вихідні дані для подібної дволопатевої гідротурбіни Т- 90 будуть наступними:

D – діаметр робочого колеса 0.9 м;

H – напір 3.7 м;

Q – витрата води крізь гідротурбіну $3.24 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

P – потужність 108 кВт;

n – швидкість обертання робочого колеса $634 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$;

η – коефіцієнт корисної дії 91.8 %;

z – кількість лопатей робочого колеса, $z = 2$.

Далі за формулами подібності визначимо параметри дволопатевої гідротурбіни зі швидкістю обертання робочого колеса 760 об/хв.

Із формули (2.48), визначимо діаметр робочого колеса дволопатевої гідротурбіни:

$$D_1 = D \cdot \frac{n \cdot \sqrt{H_1}}{n_1 \cdot \sqrt{H}} = 0.9 \frac{634 \cdot \sqrt{3.97}}{760 \cdot \sqrt{3.7}} = 0.77 \text{ м}$$

Витрата води крізь гідротурбіну згідно формули (2.50) становить:

$$Q_1 = Q \cdot \frac{D_1^2 \cdot \sqrt{H_1}}{D^2 \cdot \sqrt{H}} = 3.24 \cdot \frac{(0.77)^2 \cdot \sqrt{3.97}}{(0.9)^2 \cdot \sqrt{3.7}} = 2.46 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Наближене співвідношення потужностей за формулою (2.52), матиме вигляд:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$P_1 = P \cdot \frac{D_1^2 \cdot H_1^{1.5}}{D^2 \cdot H^{1.5}} = 108 \cdot \frac{(0.77)^2 \cdot (3.97)^{1.5}}{(0.9)^2 \cdot (3.7)^{1.5}} = 88 \text{ кВт.}$$

Отже параметри дволопатевої гідротурбіни при швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв матиме такі характеристики:

D_1 – діаметр робочого колеса 0.77 м;

H_1 – напір 3.97 м;

Q_1 – витрата води крізь гідротурбіну $2.46 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

P_1 – потужність 88 кВт;

n_1 – швидкість обертання робочого колеса $760 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$;

η_1 – коефіцієнт корисної дії 91.8 %

z_1 – кількість лопатей робочого колеса, $z = 2$;

2.3.1. Визначення розподілу осьової складової швидкості за радіусом $v_z = f(r)$

Перед тим як почати розрахунок лопаті, необхідно задатися розподілом осьової v_z і колової v_u складових абсолютної швидкості потоку на вході і на виході з робочого колеса. Для цього зазвичай використовують експериментальні дані випробування потоку на вході і виході з робочих коліс подібної швидкохідності [2].

Як показують експериментальні випробування, потік на вході в робоче колесо залежить від положення направляючого апарату і його параметрів, форми проточної частини і форми лопатей робочого колеса.

Осьова швидкість на середньому циліндричному перерізі визначається за формулою (2.2), а значення осьової складової швидкості на периферії і на втулці відповідно за формулами (2.3) та (2.4). Дані з розрахунку внесемо до табл. 2.13.

| | | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|----------------------|------|
| | | | | | | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | | |

2.3.2. Побудова вхідних і вихідних трикутників швидкостей на розрахункових поверхнях потоку

Для розрахунку форми профілю гратки на розрахунковій поверхні потоку необхідно визначити вхідні і вихідні кути, а також деякі параметри вільного потоку. Для цього будують трикутники швидкостей потоку на вході і виході з робочого колеса. Креслимо контури колеса у масштабі 1:1. Кількість перерізів приймаю 3 (перерізи зазвичай розміщують вздовж радіуса). Крайні перерізи вибираю на відстані 10 мм від камери і втулки робочого колеса (див. рис. 2.1).

Середню величину осьової складової швидкості v_z та колові швидкості потоку на вході і виході з робочого колеса на відповідному циліндричному перерізі визначаю за формулами 2.5 та 2.6 відповідно.

Величину і напрям середньовекторної швидкості відносного потоку $\overline{w_m}$ для розрахункових перерізів а також їхні кути визначаю за формулами (2.9) та (2.10). Результати розрахунків вношу в табл. 2.13, за даними якої судять про те, на скільки добре підібрані вихідні параметри ґраток і розподіл швидкостей v_z і v_u на вході та виході з робочого колеса.

Введення кутів атаки ґрунтується на тому, що розрахунок лопаті за допомогою двовимірних методів заснований на уявленні про постійність циркуляції довкола лопаті вздовж радіуса $\Gamma_{л} = f(r) = const$. Циркуляцію довкола лопаті визначимо за формулою (2.11).

2.3.3. Визначення коефіцієнтів A_0 і A_1

Для визначення індукованих швидкостей в розрахункових точках необхідно знати коефіцієнти A_0 і A_1 , що визначають закон розподілу вирів вздовж профілю. У випадку еліптичного закону, коли циркуляція навколо профілю створюється за рахунок його кривизни.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

При нееліптичному законі розподілу вирів обидва коефіцієнти не дорівнюють нулю і мають визначення. Для цього при заданих умовах розраховуємо сумарну циркуляцію довкола профілю для відповідного перерізу визначаю за формулами (2.14 – 2.17) відповідно. Дані розрахунку вношу до табл. 2.13.

2.3.4. Метод підйомних сил

Коефіцієнт впливу ґратки K визначають за номограмою Вейніґа [2, рис. 108]. Для початку потрібно визначитися з кутом встановлення лопаті тому користуються системою наближень. У першому наближенні приймаємо $\beta_{вст} = \beta_m$ а $\alpha = 0$. За номограмою визначаю коефіцієнт K і кут $\sin \alpha$ для відповідного перерізу за формулою (2.18).

Потрібно також визначити кут скручування лопаті, його знаходжу за формулою 2.20. Значення кутів атаки α і кута скручування $\Delta\beta$, а також характер їх зміни уздовж радіусу приймають на основі досвіду розроблення кращих робочих коліс $\alpha = 6 \div 10^\circ$ біля втулки і $\alpha = 0 \div 2^\circ$ на периферії $\Delta\beta = 14 \div 18^\circ$. Дані з розрахунку наближень внесемо в табл. 2.13.

Таблиця 2.13

Дані з розрахунку кута встановлення лопаті

| № | Розрахункові величини і формули | Розмірність | Розрахункові перерізи | | |
|----------|---|-------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| | | | I | II | III |
| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> |
| 1 | r | м мм | 0.39 385.00 | 0.26 257.00 | 0.13 128.00 |
| 2 | D | м мм | 0.77 770.00 | 0.51 513.00 | 0.26 257.00 |
| 3 | $u = u_1 = u_2 = r \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}$ | м/с | 30.63 | 20.45 | 10.19 |
| 4 | K_2 | - | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 5 | $v_{u2} = \frac{K_2 \cdot \eta_r \cdot g \cdot H}{u}$ | м ² /с | 0.233 | 0.175 | 0.000 |
| 6 | $v_{u1} = v_{u2} + \frac{\eta_r \cdot g \cdot H}{\omega}$ | м ² /с | 0.680 | 0.621 | 0.447 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | | |

| <u>1</u> | <u>2</u> | <u>3</u> | <u>4</u> | <u>5</u> | <u>6</u> | |
|----------|---|---|----------|----------|----------|--------|
| 7 | $v_{zcp} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_{BT}^2)}$ | м ² /с | 5.95 | | | |
| 8 | $\tan \beta_m = \frac{v_z}{\left u - \frac{1}{2} \cdot (v_{u1} + v_{u2}) \right }$ | - | 0.217 | 0.297 | 0.537 | |
| 9 | β_m | ° | 12.24 | 16.53 | 28.26 | |
| 10 | $w_m = \sqrt{w_{mu}^2 + w_{mz}^2} =$ $= \sqrt{\left[u - \frac{1}{2} (v_{u1} + v_{u2}) \right]^2 + v_z^2}$ | м/с | 21.144 | 14.549 | 8.506 | |
| 11 | $\frac{l}{t}$ | - | 0.55 | 0.62 | 85 | |
| 12 | $t = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{z}$ | м | 1.21 | 0.807 | 0.402 | |
| 13 | l | м | 0.665 | 0.501 | 0.342 | |
| 14 | $\Gamma_L = \frac{60 \cdot \eta_r \cdot g \cdot H}{z \cdot n}$ | м ² /с | 1.411 | | | |
| 15 | $C' = \frac{\Gamma_\alpha}{\Gamma_L}$ | - | 0.1 | 0.2 | 0.3 | |
| 16 | $\Gamma_\alpha = C' \cdot \Gamma_L$ | м ² /с | 0.1411 | 0.2822 | 0.4232 | |
| 17 | $\Gamma_s = \Gamma_L - \Gamma_\alpha$ | м ² /с | 1.2697 | 1.1286 | 0.9876 | |
| 18 | $A_0 = \frac{2 \cdot \Gamma_\alpha}{\pi \cdot l}$ | м/с | 0.1350 | 0.3588 | 0.7883 | |
| 19 | $A_1 = \frac{4 \cdot \Gamma_s}{\pi \cdot l}$ | м/с | 2.430 | 2.871 | 3.679 | |
| 20 | Перше набли- ження | K | - | 1.7 | 1.38 | 1.1 |
| | | $\sin \alpha = \frac{\Gamma_\alpha}{\pi \cdot l \cdot w_m K}$ | - | 0.0013 | 0.0062 | 0.0317 |
| | | α | ° | 0.07° | 0.67° | 1.82° |
| | | $\beta_{вст} = \beta_m - \alpha$ | ° | 12.17° | 16.17° | 26° |
| | | $\Delta\beta = \beta_{вст} - \beta_{пер.}$ | ° | 14.27° | | |

2.3.5. Визначення коефіцієнтів *a* і *b*

З ціллю спрощення визначення даних коефіцієнтів створена номограма (рис. 2.2). Спочатку наносимо на номограму хорду розрахункового профілю $l_{п}$ під кутом $\beta_{вст}$, перерахувавши її в масштабі номограми за формулою

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | | |

2.21. Визначену хорду розіб'ємо на шість рівних частин і відмітимо точки 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6, які послідовно будемо розміщувати на початку номограми.

Значення коефіцієнтів a і b , для відповідних точок запишемо в таблицю 2.13 Додаток А. Так наприклад для визначення коефіцієнтів a_1 і b_1 для всіх розрахункових точок σ_0 на хорді точку $1\left(-\frac{2}{3}\right)$ розміщуємо на початок координат і в таблицю записуємо значення a_1 і b_1 , для точок $-1; \left(-\frac{2}{3}\right); \left(-\frac{1}{3}\right); 0; \left(\frac{1}{3}\right); \left(\frac{2}{3}\right); 1$, при чому в точці $-\frac{2}{3}a_1 = 0$ і $b_1 = 0$.

Аналогічно визначаємо коефіцієнти для інших перерізів. Дані внесемо в табл. Г1 – Г3.

2.3.6. Знаходження координат і побудова скелету профіля

Як зазначалося вище, нескінченно тонкий профіль являє собою лінію потоку кінцевого відносного потоку. Для визначення координат розрахункових точок скелету необхідно в кожній точці знайти швидкість результуючого потоку і її проекцію на вісь X і Y , кут β і довжину відрізка хорди профілю.

Обчислення проведемо в такій послідовності :

1. Визначимо проекції і величину відносної швидкості результуючого потоку в точках $-1; \left(-\frac{2}{3}\right); \left(-\frac{1}{3}\right); 0; \left(\frac{1}{3}\right); \left(\frac{2}{3}\right); 1$.

2. Знаходимо кут β , що утворюється відносною швидкістю w і віссю X в кожній точці скелету.

3. Визначаємо координати точок профілю:

а) проміжні;

б) сумарні.

Аналогічний розрахунок проведемо для всіх точок дані яких внесемо до табл. Д1 – Д3.

Після визначення координат x і y наносимо точки на площину і будуємо скелетні лінії для розрахункових перерізів лопаті (рис. 2.4).

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

2.3.7. Побудова профілів кінцевої товщини

В результаті розрахунків отримано нескінченно тонкі профілі ґраток. Побудова профілю кінцевої товщини виконують не розрахунковим шляхом, а використовуючи вибрану максимальну товщину і закон розподілу товщин одного з гідродинамічних профілів, що мають високі енергетичні і кавітаційні характеристики. Для розрахунку було вибрано профіль ВИМГ – 15 [2, таблиця 24]. Тепер ми можемо визначити всі потрібні величини (координати). Обчислення проведемо за формулами (2.41, 2.42). Визначивши потрібні величини (координати) наносимо їх на систему координат, як показано на рисунку (див. рис. 2.5).

2.4. Висновки до розділу 2

1. Розрахунковим шляхом доведено, що швидкість обертання робочого колеса гідротурбіни обернено пропорційна кількості лопатей, тобто при зменшенні їх кількості удвічі швидкість обертання колеса, навпаки, зростає майже у два рази (точніше, у 1.81 рази).

2. Визначено кути встановлення профілю на трьох перерізах – периферійному $\beta_{\text{вст.пер.}}$, серединному $\beta_{\text{вст.сер.}}$ та втулочному $\beta_{\text{вст.вт}}$. Також знайдено кут скручування $\Delta\beta$ лопатей гідротурбін:

а) для чотирилопатевого робочого колеса:

$$\beta_{\text{вст.пер.}} = 21.54^\circ;$$

$$\beta_{\text{вст.сер.}} = 27.38^\circ;$$

$$\beta_{\text{вст.вт}} = 38.13^\circ;$$

$$\Delta\beta = 16.59^\circ.$$

б) для трилопатевого робочого колеса:

$$\beta_{\text{вст.пер.}} = 17.73^\circ;$$

$$\beta_{\text{вст.сер.}} = 22.98^\circ;$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\beta_{\text{вст.вт}} = 34^\circ;$$

$$\Delta\beta = 16.27^\circ.$$

в) для дволопатевого робочого колеса:

$$\beta_{\text{вст.пер.}} = 12.17^\circ;$$

$$\beta_{\text{вст.сер.}} = 16.17^\circ;$$

$$\beta_{\text{вст.вт}} = 26^\circ;$$

$$\Delta\beta = 14.27^\circ.$$

3. Розраховано діаметри робочих коліс та потужність на валах гідротурбін, виходячи зі швидкості обертання 760 об/хв і напору 3.97 м. Для трилопатевої гідротурбіни діаметр робочого колеса становить 0.52 м при потужності 39.9 кВт. Діаметр робочого колеса дволопатевої гідротурбіни дорівнює 0.77 м при механічній потужності на її валу 88 кВт.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз існуючих комп'ютерних програм для моделювання гідродинамічних задач

Моделювання в широкому сенсі - це особливий пізнавальний процес, метод теоретичного та практичного опосередкованого пізнання, коли суб'єкт замість безпосереднього об'єкта пізнання вибирає чи створює схожий з ним допоміжний об'єкт-замінник (модель), досліджує його, а здобуту інформацію переносить на реальний предмет вивчення.

Комп'ютерне моделювання - метод розв'язування задачі аналізу або синтезу складної системи, що ґрунтується на використанні її комп'ютерної моделі. Сутність комп'ютерного моделювання полягає у шуканні кількісних і якісних результатів із залученням наявної моделі.

У якості комп'ютерної моделі буде використовуватися робоче колесо гідротурбіни Каплана, яке можна створити за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Дана програма є продуктом компанії SolidWorks Corporation, САПР, та використовується для інженерного аналізу та підготовки виробництва будь-якої складності та призначення.

Моделювання гідродинамічних задач пропонується провести у додатковому модулі програми по газо/гідродинамічним розрахункам - SolidWorks Flow Simulation. Цей модуль проводить моделювання течії рідин і газів, управління розрахункової сіткою, використання типових фізичних моделей рідин і газів, комплексний тепловий розрахунок, газо/гідродинамічні і теплові моделі технічних пристроїв, нединамічний і нестационарний аналіз, а

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|--|--|------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА | | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | | | | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | | | |
| Консуьт. | | Зінь М.М. | | | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | | | | |

також розрахунок обертових об'єктів.

ДЛЯ того щоб оцінити доцільність впровадження міні ГЕС, а саме дізнатись кількість виробленої електроенергії при застосуванні гідротурбіни Каплана та підвести техніко-економічний аналіз пропонується використати для моделювання програмне забезпечення RETScreen 4.

RETScreen 4 - програмний пакет, розроблений на замовлення уряду Канади. Дана програма широко використовується для просування і впровадження проектів з використанням джерел чистої енергії. Програмне забезпечення дозволяє комплексно ідентифікувати, оцінювати й оптимізувати технічну й фінансову життєздатність потенційних проектів з відновлюваної енергії та енергоефективності, а також вимірювати й перевіряти фактичну ефективність об'єктів і визначати можливості зі збереження та виробництва енергії.

Використання RETScreen затверджено та рекомендовано програмами сприяння чистій енергетиці на всіх рівнях державного управління в усьому світі, включаючи РКЗК ООН і ЄС, Канаду, Нову Зеландію та Велику Британію, а також численні американські штати й канадські провінції, міста, муніципалітети, комунальні підприємства.

3.2. Моделювання руху рідини в робочому елементі поворотно-лопатевої турбіни

За допомогою програмного забезпечення SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана (рис. 3.1). Для проведення експериментів зі швидкістю руху води та розподілу тиску на лопатках гідротурбіни були задані наступні граничні умови (рис. 3.2):

- матеріал корпусу гідротурбіни: нержавіюча сталь;
- об'єм потоку на вході: 3,7 м³/с;
- тиск навколишнього середовища: 101325 Па.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

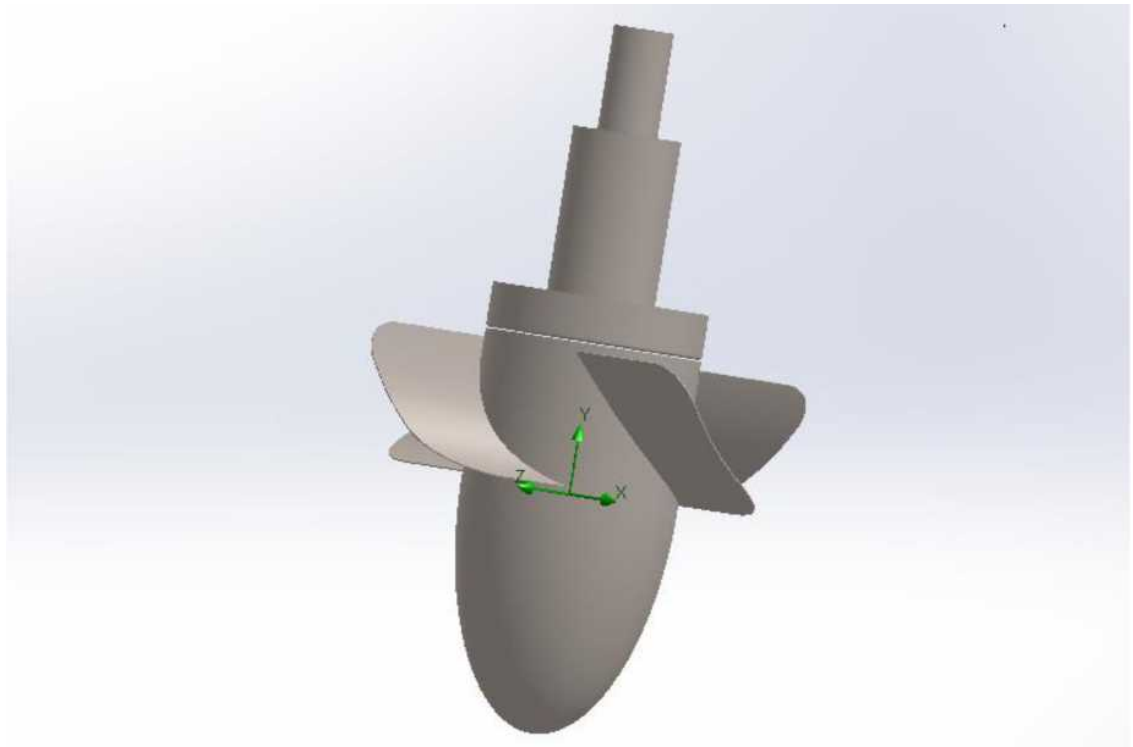


Рис. 3.1. Загальний вигляд робочого елемента турбіни Каплана у програмному середовищі SolidWorks

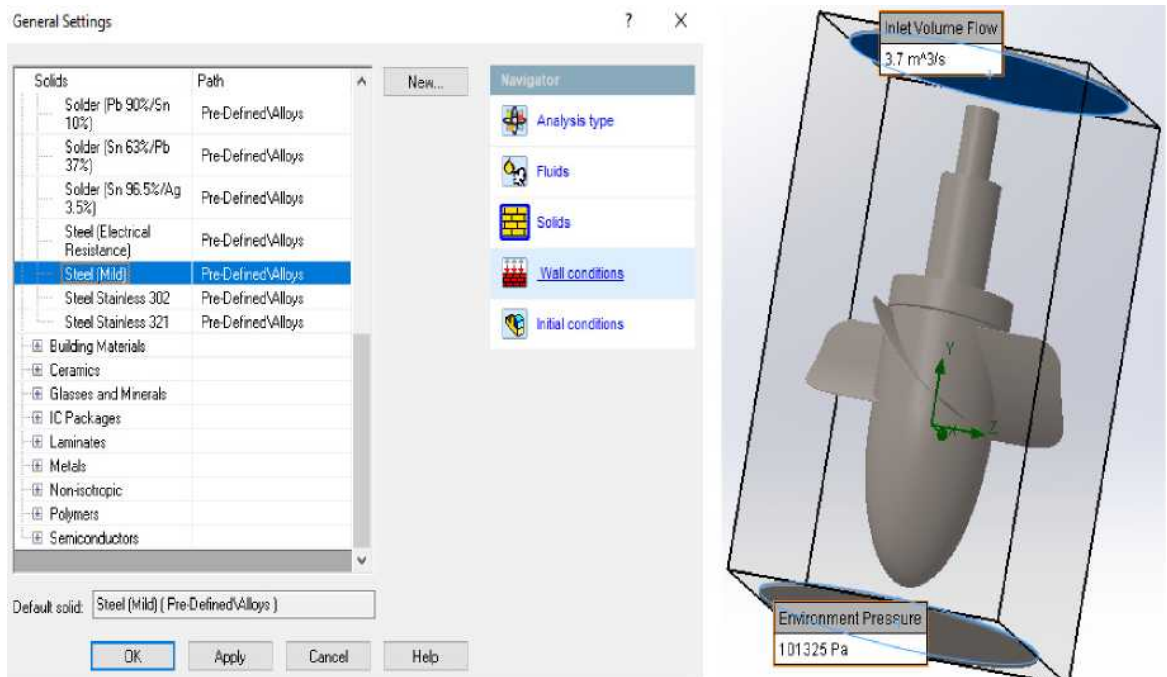


Рис. 3.2. Матеріал та граничні умови для розрахунку

У поворотно-лопатевої турбіни лопаті мають вигнуту форму. Коли вода

обтікає їх створюється підйомна сила за рахунок реактивного впливу потоку. Тангенціальна складова підйомної сили змушує ротор обертатися. Це обертання передається на генератор для виробництва електроенергії.

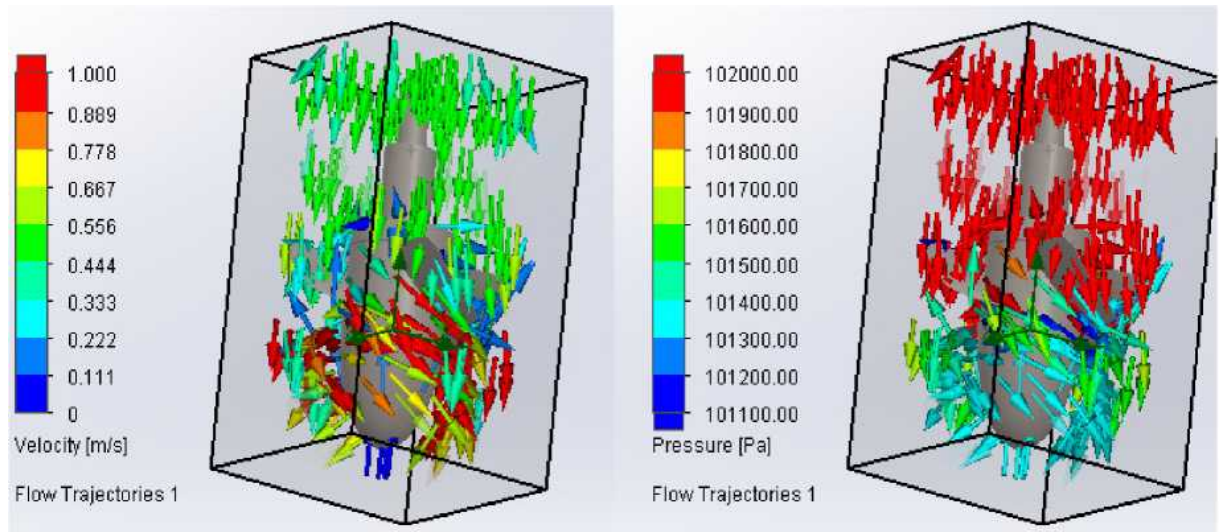


Рис. 3.3. Розподіл швидкості та тиску у робочому елементі гідротурбіни

Як видно з рис. 3.3 потік води проходячи через турбіну ковзає по лопатях робочого колеса, в результаті цього можна побачити збільшення швидкості потоку до 1 м/с. Частина енергії турбіна отримує від імпульсної сили, тому у процесі проходження води через лопаті робочого колеса її кінетична енергія і тиск знижуються до 101,3 кПа.

Положення лопаток турбіни Каплана регулюється. Коли швидкість потоку висока відносна швидкість потоку буде більше осьової, тому лопать розташовується більш вертикально. Якщо швидкість потоку низька зростає тангенціальна складова відносної швидкості і лопаті встановлюються більш полого.

3.3. Аналіз впливу зміни кута нахилу лопаті турбіни на швидкість та тиск рідини в робочому елементі турбіни

При змінній швидкості потоку за рахунок регулювання нахилу лопаток

забезпечується оптимальний кут атаки. Тому пропонується розглянути розподіл швидкості та тиску на лопаті у робочому елементі гідротурбіни при зміні їх кута нахилу. За допомогою програмного забезпечення SolidWorks на моделі робочого елемента поворотно-лопатевої турбіни було проаналізовано зміну швидкості потоку у робочому елементі гідроагрегату та тиску на лопаті при їх положенні: 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°. Граничні умови залишаємо без змін:

- матеріал корпусу гідротурбіни: нержавіюча сталь;
- об'єм потоку на вході: 3,7 м³/с;
- тиск навколишнього середовища: 101325 Па;
- інтервал розподілу тиску: 101,5 кПа - 103 кПа;
- інтервал розподілу швидкості: 0 м/с - 1 м/с.

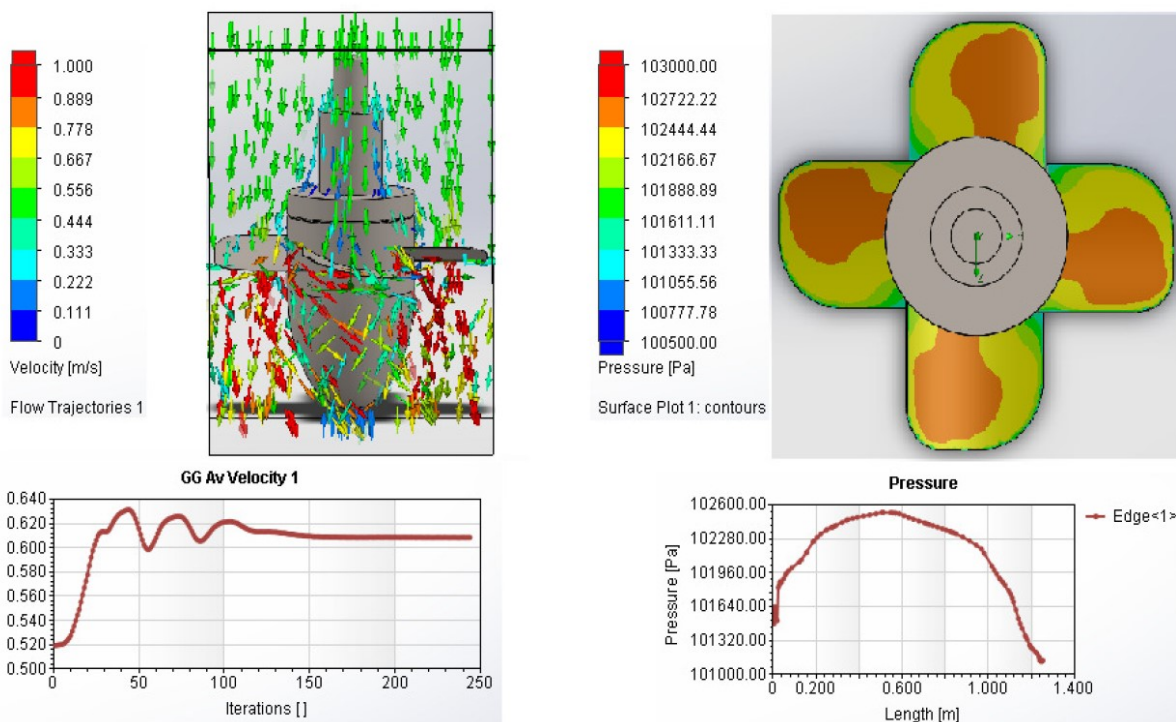


Рис. 3.4. Розподіл швидкості та тиску у робочому елементі гідротурбіни

Швидкість потоку не висока, тому пропонується встановити лопаті більш полого. При такому положенні вода при проходженні через робоче колесо буде збільшувати тиск на лопатки, а при оптимальному пологому положенні

швидкість потоку у роторі також збільшиться. Для більш зручної оцінки результатів пропонується звести отримані результати у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Результати моделювання

| Кут нахилу лопаток, ° | Тиск на лопаті, Па | Швидкість потоку у робочому елементі гідротурбіни, м/с |
|-----------------------|--------------------|--|
| 0 | 102850 | 0,585 |
| 15 | 102536 | 0,608 |
| 30 | 102311 | 0,62 |
| 45 | 102070 | 0,6 |
| 60 | 101881 | 0,594 |
| 75 | 101632 | 0,558 |
| 90 | 101383 | 0,528 |

Із таблиці видно, що найгірший результат спостерігається при куті нахилу лопаток 90°, у такому випадку маємо низький тиск на лопаті 101383 Па та малу швидкість потоку у робочому елементі 0,528 м/с, оскільки велика частина води проходить без перешкод. При куті 0° спостерігається високий тиск по всій поверхні лопаток 102850 Па, але за рахунок великих завихрень потоку швидкість не стабільна і становить 0,585 м/с. Найбільш оптимальний результат досягається при встановленні лопаток під кутом 30°, у такому випадку маємо більш рівномірний розподіл тиску на лопатках 102536 Па та найбільшу швидкість потоку води у робочому елементі гідроагрегату 0,62 м/с.

Як бачимо дане дослідження дало змогу вибрати оптимальний кут нахилу лопаток для забезпечення оптимального кута атаки, який в свою чергу дозволить збільшити ККД гідротурбіни.

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Основні показники економічної ефективності інноваційних проектів

Економічна ефективність інноваційного проекту визначається розміром доходів чи прибутку, отриманих за рахунок реалізації інновації протягом життєвого циклу проекту. При прийнятті рішення щодо реалізації інноваційного проекту слід враховувати вартість капіталу, залученого з різних джерел на різних стадіях життєвого циклу інноваційного проекту, і очікуваний прибуток від реалізації інноваційної продукції.

При розрахунку економічної ефективності слід обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі при дотриманні таких принципів:

1. Проект вважається ефективним, якщо забезпечується повернення початкової суми інвестицій і обумовлена дохідність для інвестора, що надав капітал.
2. Інвестований капітал і грошові потоки, які генеруються цим капіталом (отримані від продажу нової продукції), зводяться до теперішнього розрахункового періоду, який зазвичай визначається роком початку реалізації проекту.
3. Процес дисконтування капіталовкладень і грошових потоків здійснюється за різними ставками дисконту, які визначаються залежно від особливостей інноваційних проектів.

Дисконтування — це перерахунок вигоди і витрати для кожного розрахункового періоду за допомогою норми (ставки) дисконту.

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|--|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Малюта Л.Я. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

Приведення до базисного періоду витрат і вигоди (коефіцієнт дисконтування) визначається для постійної норми дисконту.

З погляду інвесторів, сума, яку вони одержать у майбутньому, має тим меншу цінність, чим довше її доводиться чекати, оскільки більшою буде сума втрачених за період очікування доходів.

Використовувані на практиці методи оцінювання економічної ефективності включають розрахунок кількох показників:

1. Інтегрального показника ефективності, розрахованого на основі чистої теперішньої (дисконтованої) вартості;
2. Індексу рентабельності інвестицій;
3. Внутрішньої норми рентабельності (доходності);
4. Терміну окупності;
5. Точки беззбитковості проекту.

Чиста теперішня вартість ЧТВ (або інтегральний ефект). Це різниця результатів і витрат за розрахунковий період, приведених до одного, як правило, початкового року, тобто з урахуванням їх дисконтування:

Рішення доцільно впроваджувати, якщо ЧТВ є позитивною.

Найскладнішим у розрахунку ЧТВ є прогнозування величини грошових потоків, точність якого великою мірою залежить від зовнішніх умов господарської діяльності — рівня інфляції, зміни цін на ресурси, зміни попиту на продукцію внаслідок появи конкурентів тощо. Тому розрахунок ЧТВ слід супроводжувати аналізом чутливості проекту до ризику.

Аналіз чутливості — це техніка аналізу проектного ризику, яка показує, як зміниться значення чистого дисконтованого доходу (або чистої теперішньої вартості — ЧТВ) при заданій зміні входної змінної за інших умов. Метод передбачає:

1. Визначення ключових змінних, які впливають на значення ЧТВ;
2. Встановлення аналітичної залежності ЧТВ від ключових змінних;
3. Розрахунок базової ситуації (встановлення очікуваного значення ЧТВ

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

при очікуваних значеннях ключових змінних);

4. Зміну однієї з вхідних змінних на потрібну величину (зазвичай на 10%), при цьому всі інші значення фіксовані; проводиться послідовно для всіх вхідних змінних;

5. Розрахунок нового значення та його зміни у %;

6. Розрахунок критичних значень змінних проекту та визначення найчутливіших з них; критичне значення показника — значення, за якого чиста теперішня вартість дорівнює нулю ($ЧТВ = 0$);

7. Аналіз отриманих результатів і визначення чутливості ЧТВ до зміни вхідних параметрів.

Індекс рентабельності інвестицій IR . Це відношення приведених доходів до приведених на цю ж дату витрат, що супроводжують реалізацію інноваційного проекту.

При $IR > 1$ інноваційний проект вважається економічно ефективним, а якщо $IR < 1$ — неефективним.

Цей показник доцільно використовувати для порівняння кількох альтернативних проектів. За жорсткого дефіциту коштів перевагу слід надавати тим проектам, для яких індекс рентабельності є найвищим.

Внутрішня норма рентабельності (ВНР). Показує ту норму дисконту r , за якої величина дисконтованих доходів за певне число років стає рівною інвестиційним вкладенням у реалізацію проекту. У такому разі доходи (D) і витрати (B) проекту визначаються приведенням до розрахункового періоду:

Отже, *норма рентабельності* - дорівнює максимальному відсотку за позиками, який можна платити за використання необхідних ресурсів, залишаючись при цьому на безбитковому рівці.

Розрахунок внутрішньої норми рентабельності здійснюють методом послідовних наближень величини ЧТВ до нуля за різних ставок дисконту. Якщо значення ВНР проекту для приватних інвесторів більше за існуючу ставку рефінансування банків, а для держави — за нормативну ставку дисконту, і

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

більше за ВНР альтернативних варіантів проекту з врахуванням ступеня ризику, то рішення про його інвестування може бути позитивним.

Термін окупності інноваційного проекту. Це період, протягом якого додатковий прибуток, отриманий внаслідок реалізації інноваційного проекту, забезпечить повернення вкладених інвестицій. Його розрахунок також базується на грошовому потоці з його дисконтуванням для приведення до початкової (теперішньої) вартості.

Кінцевою метою будь-яких проектних рішень є, як правило, збільшення маси та норми прибутку за рахунок підвищення конкурентоспроможності товарів (продукції, робіт, послуг), розширення ринку збуту і забезпечення стійкого функціонування організації (підприємства). Іншими словами, покращання фінансового стану організації) можна досягти за рахунок підвищення якості (чим вона вища, тим вища ціна), реалізації політики ресурсозбереження, збільшення або оптимізації програми випуску конкурентоспроможних товарів, послуг, організаційно-технічного та соціального розвитку. У споживача товарів головними критеріями придбання є якість, ціна та експлуатаційні витрати під час використання товарів.

Ці дві особливості формування ефекту від розроблення і впровадження заходів, запропонованих у випускних роботах, який проявляється як у сфері виробництва, так і у сфері споживання товарів, вимагають застосування різних підходів до його оцінювання.

Загалом *під ефектом* розуміють результат зіставлення нового стану явища після досягнення продиктованих потребами суб'єкта цілей з якістю його вихідного стану. Залежно від сфери виникнення розрізняють такі види ефекту від проектних рішень: економічний, фінансово-економічний, науковий, науково-технічний, соціальний (соціально-політичний), екологічний.

Економічний ефект відображає результат перевищення доходів від пропонованого заходу над видатками на його розроблення і впровадження.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.2. Прогноз економічного ефекту від реалізації проекту

Прогноз ефекту виконано на підставі розрахунку результативних показників проекту. В ньому подано прогнозовані дані щодо обсягів інвестиційних зарат. Зазначену інформацію відображено нижче у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Інвестиційні затрати

| Показник | | Роки реалізації |
|---|---------|-----------------|
| | | 2017 |
| Загальна вартість сталі (грн) | | 5 000 |
| Вартість виготовлення робочого колеса (грн) | | 10 000 |
| Вартість монтажу робочого колеса (грн) | | 3 000 |
| Вартість генератора (грн) | 55 кВт | 39 000 |
| | 110 кВт | 80 397 |
| Вартість гідротурбіни (грн) | | 840 000 |

4.2.1. Загальна економічна ефективність капітальних вкладень

Економічна ефективність характеризує кількісне співвідношення одержаної економії з витратами, що забезпечили досягнення цього ефекту.

Розрізняють такі форми економічної ефективності: загальна (повна, абсолютна) і порівняльна.

Загальна економічна ефективність виражає співвідношення кінцевих економічних результатів і витрат (капітальних вкладень), що забезпечили одержання цього ефекту. Загальну економічну ефективність прийнято визначати як ефективність капітальних вкладень. Її розрахунки виконуються у

відповідності з “типовою методикою визначення економічної ефективності капітальних вкладень”, яка встановлює мету розрахунків, показники та критерії ефективності, склад та порядок визначення економічного ефекту та витрат.

Розрахункові величини показників порівнюються з нормативами. Критерієм ефективності капітальних вкладень є показником перевищення його нормативного значення. Показники загальної економічної ефективності визначають на різних рівнях господарювання. Так, по госпрозрахункових об’єднаннях та підприємствах при використанні власних коштів і банківських кредитів за показник ефективності вважають рентабельність капітальних вкладень:

$$E_{\text{пр}} = \frac{\Delta\Pi}{K}, \quad (4.1)$$

де $\Delta\Pi$ – приріст прибутку, обумовлений капітальними вкладеннями;

K – сума капітальних вкладень, що забезпечують приріст прибутку.

Визначимо кількість електроенергії, яку виробляє електростанція з трилопатевою гідротурбіною на рік при встановленій потужності 39,9 кВт:

$$E_{\text{річ}} = P_{\text{турб.}} \cdot \eta_{\text{вик}} \cdot T, \quad (4.2)$$

де $P_{\text{турб.}}$ – встановлена потужність гідротурбіни;

T – кількість годин роботи на рік;

$\eta_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання гідротурбіни, 0,8.

$$E_{\text{річ}} = 39,9 \cdot 0,8 \cdot 8\,760 = 279\,619 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Визначимо кількість електроенергії, яку виробляє електростанція з дволопатевою гідротурбіною на рік при встановленій потужності 88 кВт:

$$E_{\text{річ}} = 88 \cdot 0,8 \cdot 8\,760 = 616\,704 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Згідно з постановою НКРЕКП № 788 10.05.2016 р. тариф на електричну енергію, вироблену на об’єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії, зокрема для мікро-, міні- та малих ГЕС становить 450 коп. / кВт · год.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Прибуток, що ми отримаємо при 39,9 кВт встановленої потужності дорівнюватиме:

$$\Pi = E_{\text{річ}} \cdot 4, \quad (4.3)$$

$$\Pi = 279\,619 \cdot 4,5 = 1\,258\,285 \text{ (грн).}$$

Визначимо приріст прибутку зумовлений капіталовкладеннями:

$$\Delta\Pi = \Pi - K, \quad (4.4)$$

$$\Delta\Pi = 1\,258\,285 - 897\,000 = 361\,285 \text{ (грн).}$$

Показник ефективності становитиме:

$$E_{\text{пр}} = \frac{361\,285}{897\,000} = 0,41.$$

Прибуток що ми отримаємо при 88 кВт встановленої потужності дорівнюватиме:

$$\Pi = 616\,704 \cdot 4,5 = 2\,775\,168 \text{ (грн).}$$

Визначимо приріст прибутку зумовлений капіталовкладеннями:

$$\Delta\Pi = 2\,775\,168 - 938\,397 = 1\,836\,771 \text{ (грн).}$$

Показник ефективності для трилопатевої гідротурбіни становитиме:

$$E_{\text{пр}} = \frac{1\,836\,771}{938\,397} = 1,95.$$

Оскільки показники ефективності проектів $E_{\text{пр}}$ є більшими нормативного значення 0,15, то проекти є доцільними.

4.2.2. Визначення терміну окупності проекту

Термін окупності пов'язаний з економічним ефектом від впровадження проекту тому визначимо його за наступною формулою:

$$T = \frac{K}{\Delta\Pi}; \quad (4.5)$$

Для трилопатевої гідротурбіни він становитиме:

$$T = \frac{897\,000}{361\,285} = 2,5 \text{ року} \approx 30 \text{ міс.}$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для дволопатевої гідротурбіни він становитиме:

$$T = \frac{938397}{1\,836\,771} = 0,5 \text{ року} \approx 6 \text{ міс.}$$

4.3. Висновок до розділу 4

Якщо використовувати дволопатеве робоче колесо у гідротурбіні, то капіталовкладення будуть відповідати сумі 938 397 грн, кількість електроенергії, яку вироблятиме дана гідротурбіна за рік, принесе прибуток у розмірі 2 775 168 грн. Термін окупності даного проекту складе 6 місяців.

При встановленні трилопатевого робочого колеса, капіталовкладення складуть 897 000 грн, а кількість електроенергії, що виробляється гідротурбіною за рік дасть прибуток у розмірі 1 258 285 грн, термін окупності даного проекту складе 30 місяців.

Проведені розрахунки економічної ефективності використання гідротурбін з три- та дволопатевиими робочими колесами показують, що проекти мають більший нормативного значення показник ефективності тому є привабливим до впровадження.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Забезпечення безпечних умов роботи гідротехнічних споруд

Під час експлуатації гідротехнічних споруд повинна бути забезпечена їхня безпека та надійна робота, а також безперебійна й економічна робота технологічного устаткування з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища. Особливу увагу слід звернути на забезпечення надійності роботи протифільтраційних і дренажних пристроїв.

Гідротехнічні споруди (підпірні греблі й дамби, канали, тунелі, трубопроводи, водозабори і водоскиди, дамби тощо) повинні відповідати нормативним (проектним) вимогам щодо стійкості, міцності, довговічності та екології. Споруди і конструкції, що знаходяться під напором води, а також їхні основи і примикання повинні відповідати нормативним (проектним) показникам водонепроникності і морозостійкості.

Гідротехнічні споруди повинні охоронятися від пошкоджень, викликаних несприятливими фізичними, хімічними і біологічними процесами, впливом навантажень і води. Виявлені пошкодження повинні бути своєчасно усунені. Усі напірні гідротехнічні споруди, які перебувають в експлуатації понад 25 років, незалежно від їхнього стану, повинні періодично піддаватися багатофакторному дослідженню з урахуванням процесів "старіння" і з оцінкою їхньої міцності, стійкості і експлуатаційної надійності із залученням спеціалізованих організацій. За результатами досліджень повинні бути вжиті заходи щодо забезпечення працездатності споруд.

У бетонних гідротехнічних спорудах згідно з графіком і обсягом, затвердженим технічним керівником енергооб'єкту, повинна проводитися

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|---|--|--|------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | | | | | |
| Розроб. | Галінський А.М. | | | | | | | Літ. | Лист | Листів |
| Консульт. | Гурик О.Я. | | | | | | | | | |
| Консульт. | Клепчик В.М. | | | | | | | | | |
| Н. контр. | Коваль В.П. | | | | | | | | | |
| Зав. каф. | Тарасенко М.Г. | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | | | | |

перевірка міцності бетону на ділянках, які зазнають дії динамічних навантажень, регулярного промерзання і розташовані у зонах постійної зміни рівня. Виявленні пошкодження, зумовлені впливом води та навантажень, повинні своєчасно усуватися. У разі зниження міцності конструкцій споруд порівняно з встановленою проектом, вони повинні бути підсилені.

Ґрунтові греблі і дамби повинні бути захищені від розмивів і переливів води через гребінь. Кріплення відкосів, дренажна і водовідвідна мережі повинні бути у справному стані. Ґрунтові греблі, особливо канали в насипах і водопроникних ґрунтах, а також дамби повинні бути захищені від пошкодження тваринами. Берми і кювети каналів повинні регулярно очищатися від ґрунту, не повинно допускатися заростання укосів і гребеня земляних споруд деревами і кущами, якщо це не передбачене проектом. На підвідних і відвідних каналах у необхідних місцях повинні бути встановлені сходи, містки й огорожі.

Повинна бути забезпечена надійна робота ущільнень деформаційних швів. Розміщення вантажів і будівництво будь-яких споруд, у тому числі причалів, автомобільних і залізничних доріг на бермах і відкосах каналів, гребель, дамб і біля підпірних стінок у межах розрахункової призми обвалення, забороняється. Небезпечна зона обвалення повинна бути позначена на місцевості розпізнавальними знаками. На ділянках відкосів ґрунтових гребель і дамб при високому рівні ґрунтових вод у низовому кліні для уникнення промерзання і руйнування повинен бути обладнаний дренаж або утеплення.

Дренажні системи для відведення води, що профільтувалася, повинні бути оснащені водомірними пристроями і утримуватися у справному стані. Вода з дренажних систем споруд повинна відводитися безперервно. У разі виявлення виносу ґрунту водою, що фільтрується, повинні бути вжиті заходи для його припинення. Суглинкові ядра і екрани ґрунтових гребель повинні захищатися від морозного випинання і промерзання, а дренажні пристрої і перехідні фільтри - від промерзання. Великоуламковий матеріал упорних

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

призм, що зазнає сезонного заморожування і розморожування, повинен відповідати нормативним (проектним) вимогам з морозостійкості і через кожні 10-15 років експлуатації випробовуватися на механічну і зсувну міцність.

Під час експлуатації підземної частини ГЕС необхідно забезпечувати постійну робочу готовність pomp відкачування води, яка потрапляє внаслідок фільтрації або через непередбачені прориви з водопровідних трактів, справність вентиляційних установок, аварійного освітлення, запасних виходів.

5.2. Правила безпечної експлуатації гідротурбінного устаткування

Під час експлуатації гідротурбінного устаткування повинна бути забезпечена безперебійна робота з максимально можливим для заданого навантаження і діючого напору коефіцієнтом корисної дії.

Гідроагрегати повинні працювати з повністю відкритими заслонами, установленими на турбінних водоводах. Граничне відкриття направляючого апарату гідротурбіни повинне відповідати максимально допустимому навантаженню гідроагрегату (генератора, генератора - двигуна) при даному напорі. Перепад рівнів на сміттєзбиральних ґратах не повинен перевищувати граничного значення.

Умови, які дозволяють пуск гідроагрегату, його нормальну та аварійну зупинку та незаплановану зміну навантаження повинні бути викладені в інструкціях з експлуатації, затверджених технічним керівником ГЕС, які знаходяться на робочих місцях оперативного персоналу. Значення всіх параметрів, які визначають умови пуску гідроагрегату та режим його роботи, повинні бути встановлені на підставі рекомендацій виробника та спеціальних випробувань.

Пуск гідроагрегату забороняється у таких випадках:

- при напорі, що виходить за межі допустимих значень, встановлених заводом-виробником гідротурбін;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- при несправності будь-якого із захистів, що діють на зупин устаткування;
- при дефектах системи регулювання гідроагрегату, що можуть призвести до перешкод у регулювання і нормального керування гідроагрегатом;
- при несправності пристроїв дистанційного керування, клапанів зривання вакууму, клапанів впуску повітря і системи гальмування гідроагрегату;
- при якості оливи, що не задовільняє норми експлуатаційні оливи і температурі нижчій від встановленої інструкціями заводу-виробника;
- при рівні оливи у підшипниках, зливному баці і повітряному котлі оливонапірної установки, нижчому від встановленого інструкціями заводу-виробника.

Під час експлуатації гідроагрегату шляхом огляду і систематичних вимірювань за допомогою стаціонарних і переносних приладів повинен бути організований контроль за роботою устаткування з періодичністю, вказаною в інструкціях з експлуатації.

Система технічного водопостачання гідроагрегату повинна забезпечувати охолодження опорних вузлів, статора і ротора генератора, змащення гумового турбінного підшипника та інших споживачів у всіх режимах роботи гідроагрегату.

Капітальний ремонт гідротурбін повинен проводитися один раз на 5-7 років. В окремих випадках за узгодженим дозволом допускається відхилення від установлених термінів.

5.3. Заходи для забезпечення електробезпеки

Експлуатація обладнання неминуче пов'язана з використанням електричної енергії. Електробезпека – це система організаційних, технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

впливу електричного струму.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, викликає місцеві і загальні електротравми. Дія електричного струму на організм людини супроводжується зовнішнім ураженням тканин та органів у вигляді механічних ушкоджень, електричних знаків електрометалізації шкіри, опіків.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

На підприємствах теплопостачання споживачами електроенергії є: електроприводи, освітлювальні прилади, електроцит. Все це обладнання може стати небезпечним при виникненні короткого замикання, пробою ізоляції, оголення проводів, попадання струму на струмоведучі частини обладнання. Для уникнення небезпечної дії електричного струму на персонал котелень проводяться заходи з метою уникнення ураження працівників струмом.

Для забезпечення роботи електрообладнання використовується напруга 380 та 220 В, яка є смертельно небезпечна для людини. Вражаюча дія електричного струму при цій напрузі залежить від наступних факторів: величини і тривалості протікання струму через тіло людини, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини. Людина починає відчувати струм величиною 0,6 – 1,5 мА. Струм 10-15 мА (при $f = 50$ Гц) викликає судомі м'язів, які людина не може подолати сама. Цей струм називається пороговим невідпускаючим. При 100 мА і тривалості дії більше 0,5 с струм може спричинити зупинку або фібриляцію серця. Опір тіла людини різко падає в залежності від часу дії струму. Найбільш небезпечним є змінний струм з частотою 20 – 100 Гц. Постійний струм людина відчуває при 6-7 мА, пороговий невідпускаючий струм складає 50-70 мА, а фібриляційний – 300 мА.

Заходи по захисту, які застосовують на підприємствах теплопостачання, поділяють на заходи, які забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

електроустановок, і заходи, які забезпечують безпеку при аварійних режимах. При нормальному режимі роботи безпека в електроустановках забезпечується наступними заходами:

- ізоляцією струмоведучих частин;
- виконання електричних мереж, ізольованих від землі;
- компенсацією ємнісної складової струму замикання на землю;
- недоступністю струмоведучих частин.

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання з землею металічних не струмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою. Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і заземлюючого провідника, який з'єднує заземлювані частини з заземлювачем. В якості заземлювачів використовують металічні конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій, які мають сполучення з землею.

Захисне відключення – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини електричним струмом. Установка автоматичного відключення, яка застосовується на котельнях повинна відповідати наступним вимоги: висока чутливість, малий час відключення, селективність роботи, самоконтроль і надійність.

5.4. Заходи для запобігання виникнення пожежі

Як уже зазначалось, вибухопожежна безпека об'єкта забезпечується системами:

- попередження вибухів і пожеж;
- протипожежного та противибухового захисту;
- організаційно-технічних заходів.

Система попередження вибухів і пожеж має за мету не допустити виникнення вибухів і пожеж.

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Попередження утворення горючого середовища може забезпечуватись загальними заходами або їх комбінаціями, що наведені в ГОСТ 12.1.007.-91.

Найбільш радикальним заходом попередження утворення горючого середовища є заміна горючих речовин і матеріалів, що використовуються, на негорючі та важкогорючі.

Тому попередження виникнення в горючому середовищі або внесення до нього джерел запалювання є головним стратегічним пріоритетом у роботі щодо запобігання пожежам. Джерелом запалювання може бути нагріте тіло чи екзотермічний процес, які здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до температури, коли швидкість тепловиділення ініційованого нагрівом процесу окислення перевищує швидкість тепловідводу із зони реакції.

5.5. Фактори, що впливають на протипожежну стійкість об'єкту

Важливим питанням забезпечення стійкості роботи під час надзвичайних ситуацій є стійкість до світлового випромінювання. Внаслідок дії енергії світлового імпульсу на підприємстві може виникнути складна пожежна обстановка, оскільки на зберіганні знаходиться значна кількість горючих речовин і обладнання.

Світлове випромінювання ядерного вибуху є електромагнітним випромінюванням в ультрафіолетовій, видимій і інфрачервоній областях спектру.

Джерелом світлового випромінювання є область що світиться (вогняна куля), що складається з розжарених продуктів вибуху і повітря. З цієї області випромінюється величезна кількість променистої енергії в надзвичайно короткий проміжок часу, унаслідок чого відбувається швидкий нагрів

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

опромінюваних предметів, обуглювання або запалювання горючих матеріалів і опік живих тканин.

На частку світлового випромінювання припадає 30...40 % всієї енергії атомного або термоядерного вибуху. На відкритій місцевості світлове випромінювання має великий радіус дії в порівнянні з ударною хвилею.

Основним параметром, що характеризує вражаючу дію світлового випромінювання, є світловий імпульс $I_{\text{СВ}}$. Світловий імпульс – це кількість світлової енергії, випадаючої на 1 м^2 освітлюваної поверхні, що перпендикулярна до напрямку розповсюдження випромінювання, за весь час дії вибуху (вогняної кулі).

Світловий імпульс в даній точці пропорційний потужності ядерного вибуху і обернено пропорційний квадрату відстані до центру вибуху. На світловий імпульс також впливають вид ядерного вибуху, стан (прозорість) атмосфери і інші чинники.

При наземних вибухах світловий імпульс на поверхні землі при тих же відстанях буде приблизно на 40 % меншим ніж при повітряних вибухах такої ж потужності. Пояснюється це тим, що в горизонтальному напрямі випромінюється не вся поверхня сфери вогняної кулі, а лише половина сфери, хоча і більшого радіусу.

Якщо земна поверхня добре відбиває світло (сніговий покрив, асфальт, бетон і ін.), то сумарний світловий імпульс (прямий і відбитий) при повітряному вибуху може бути більше прямого в 1,6...2 рази.

В атмосфері завжди відбувається ослаблення променистої енергії через розсіювання і поглинання світла частинками пилу, диму, краплями вологи (туман, дощ, сніг). Ступінь прозорості атмосфери прийнято оцінювати коефіцієнтом K , що характеризує ступінь ослаблення світлового потоку. Вважається, що в великих промислових містах ступінь прозорості атмосфери можна характеризувати видимістю в 10...20 км; в приміських районах - 30...40

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

км, а в районах сільської місцевості, де ступінь забруднення повітря найменший, видимість досягає 60...80 км.

Світлове випромінювання, падаючи на об'єкт, частково поглинається, частково відбивається, а якщо об'єкт пропускає випромінювання, то частково проходить крізь нього. Скло, наприклад, пропускає більше 90 % енергії світлового випромінювання.

Ступінь ураження будь-якого матеріалу під дією світлового випромінювання при одному і тому ж світловому імпульсі залежить від коефіцієнта поглинання, фізичних властивостей (густини, теплоємності, теплопровідності), товщини матеріалу і інших чинників. Матеріали темного кольору більше поглинають світлове випромінювання, ніж світлі, а тому ушкоджуються швидше. Предмети, забарвлені чорною фарбою, поглинають близько 96 % світлового випромінювання, а білою -18 %.

Чим більша потужність ядерного вибуху, тим більший світловий імпульс потрібен для запалювання одного і того ж матеріалу. Це пояснюється тим, що при великій потужності вибуху опромінювання світлом матеріалу триває довше. За цей час частина тепла втрачається за рахунок проникнення з поверхні в глибину матеріалу в результаті його теплопровідності.

Дія світлового випромінювання ядерного вибуху на будівлі і споруди об'єктів народного господарства виявляється у виникненні загорянь і пожеж, що викликають руйнування і знищення матеріальних цінностей, у ряді випадків перевершуючі по масштабах руйнування від ударної хвилі.

За оцінкою фахівців пожежної служби мінімальним розрахунковим світловим імпульсом, що викликає загоряння і пожежі, може бути імпульс в 100... 150 кДж/м², при якому відбувається запалювання горючих матеріалів (сіна, соломи, стружки, обривків газетного паперу, сухого сміття і інших легкозаймистих речовин). Тому скупчення займистого сміття поблизу будівель – реальна загроза виникнення пожежі.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

На промислових підприємствах можуть утворюватися окремі або суцільні пожежі. Окрема пожежа виникає в окремій будівлі або споруді. Суцільна пожежа характеризується тим, що всі або більшість будівель і споруд підприємства, що займають значну площу, охоплені вогнем.

Середня кількість спалахів від світлового імпульсу, що припадає на одиницю площі забудови, за інших однакових умов залежить від протипожежної готовності об'єкту. При добрій протипожежній підготовці об'єкту кількість пожеж може бути значно понижена, а для деяких виробництв зведена до нуля. Ця задача може бути успішно вирішена при обліку конкретних умов і основних чинників, що впливають на виникнення і розповсюдження пожеж на об'єкті.

На виникнення і розповсюдження пожеж впливають, головним чином, такі чинники: вогнестійкість будівель і споруд; пожежна небезпека виробництва; густина забудови; метеорологічні умови і ін.

Вогнестійкість будівель і споруд визначається займистістю їх елементів і межами вогнестійкості основних конструкцій (частин) будівель і споруд.

Займистість того або іншого елемента будівлі визначається займистістю будівельних матеріалів, з яких він виконаний. Всі будівельні матеріали по займистості діляться на три групи: не згораючі, важкоспалимі, згораючі.

Межа вогнестійкості будівельної конструкції – це період часу в годинах від початку дії вогню на конструкцію до утворення в ній наскрізних тріщин або до досягнення температури 200 °С на поверхні, протилежній дії вогню, або до втрати конструкцією несучої здатності (обвалення).

Підвищити стійкість роботи гідрогенератора можна таким чином:

1. Кабелі живлення електродвигунів на 380 В прокладати в металевих трубах, на вводах до двигунів встановлювати розрядники;
2. Мережу керування і кабелі введення інформації від датчиків прокладати в сталевих заземлених трубах;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3. Пристрої введення, ЕОМ, блок керування розміщувати в металевих пасивних екранах з коефіцієнтом безпеки понад 40 дБ;

4. На вводах ЕОМ, блоку керування встановлювати швидкодіючі вимикаючі електронні пристрої.

Підвищення стійкості роботи об'єкту передбачає:

1. Захист робітників та службовців;
2. Підвищення міцності і стійкості найважливіших елементів і удосконалювання технологічного процесу;
3. Підвищення стійкості матеріально-технічного постачання;
4. Підвищення стійкості управління об'єктом;
5. Розробку заходів, щодо зменшення імовірності виникнення вторинних факторів ураження і збитків від них;
6. Підготовку до відновлення виробництва після ураження об'єкта.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 6

ЕКОЛОГІЯ

6.1. Особливості взаємодії ГЕС із навколишнім середовищем

Питанням впливу водоймищ і ГЕС на навколишнє середовище приділялася обмежена увага, і хоча здавалося, що природні ресурси безмежні, уже почали проводитися дослідження з його оцінки.

Міжнародна комісія з великих гребель дала таке визначення поняття навколишнього середовища: «Ансамбль фізичних, хімічних, біологічних і соціальних факторів, у певний момент здатних робити прямий або непрямий, короткий або тривалий вплив на живі істоти й людську діяльність». При цьому діяльність по охороні навколишнього середовища повинна бути спрямована на поліпшення життя людини у всіх її аспектах при збереженні екологічної рівноваги. Саме життя людини, його здоров'я є головними пріоритетами, що визначають екологічну безпеку.

З огляду на те, що у природних умовах елементи екосистем постійно зазнають циклічних, або незворотних перетворень, екологічна рівновага є динамічною. Виходячи із цього, масштаби й рівень втручання в природне середовище й відповідно її змін повинні забезпечити можливість її відновлення й саморегулювання й не перевищити допустиму межу, викликаючи порушення екологічної рівноваги.

Створення гідроенергетичних об'єктів з водоймищами комплексного призначення, на відміну від водних об'єктів, що еволюційно сформувалися, відбувається за історично короткий строк, і ми спостерігаємо в першу чергу початковий етап формування й становлення їх екосистем – найбільш важкий і вразливий для зовнішніх і внутрішніх впливів. При цьому чим «здоровішим»

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|------------------------------------|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | РОЗДІЛ 6 ЕКОЛОГІЯ | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Зварич Н.М. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

був вихідний стан водного об'єкту, порушений створенням водоймища, тим легше й швидше проходить етап адаптації з мінімальними негативними наслідками для навколишнього середовища. У чому складаються ці зміни, де межі припустимих впливів, як зберегти стійкість нових екосистем, – відповіді на ці питання набувають першорядного значення. Адже необхідно забезпечити їх гомеостатичний стан, щоб розвиток екосистем по новому шляху було стійким і передбачуваним.

У зону впливу гідроенергетичних об'єктів з водоймищами входять:

1. Зона гідровузла з водоймищем і прилегла до них територія по всьому периметру в межах підпору, де позначається вплив водоймища на гідрологію, гідрогеологію, геологічні процеси, клімат, рельєф, ґрунти, рослинний і тваринний світ та ін.

2. Зона нижнього б'єфа, що включає ділянку ріки до впадання в море, озеро або нижче розташоване водоймище в умовах каскаду ГЕС, де проявляється вплив ГЕС на гідрологію, геологічні процеси, клімат, ґрунти, рослинний і тваринний світ та ін.

3. Ділянка ріки й водозбірної площі, де виявляється їх вплив.

4. Гідроенергетичні об'єкти з водоймищами й елементами навколишнього середовища в зоні їх впливу, включаючи зону нижнього б'єфа, а також їх водозбірну площу, що є єдиною складною системою, в якій усі підсистеми взаємодіють і зв'язані між собою.

При створенні водоймищ у більшості випадків можна виділити три стадії формування нових екологічних умов.

Для першої стадії, яка збігається з періодом заповнення водоймища й перших років експлуатації, характерне різке порушення природної рівноваги й сформованих зв'язків природних комплексів зі зміною режимів ґрунтових вод, ґрунтів, відмиранням одних і появою інших видів рослин і тварин.

У другій стадії відбуваються спрямоване формування природного середовища, ув'язування його компонентів і утворюється новий природний

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|----------------------|------|
| | | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

комплекс. У третій стадії складається нова динамічна рівновага природного середовища.

Недооблік негативних впливів на навколишнє середовище, погіршення в ряді випадків умов життя населення, нерівномірний розподіл витрат і вигід, істотна різниця між планованими й фактичними результатами викликали ріст опозиції будівництву водоймищ у багатьох країнах.

Проблеми впливу ГЕС на навколишнє середовище стали предметом глибокого комплексного вивчення фахівцями з 70-х років ХХ ст.

Аналіз, систематизація й узагальнення накопичених даних про взаємодію водоймищ із навколишнім середовищем у різних природних умовах і відповідні рекомендації з мінімізації негативних наслідків створення водоймищ розглядалися Міжнародною комісією з великих гребель, Міжнародною гідроенергетичною асоціацією, Міжнародним енергетичним агентством та іншими міжнародними організаціями.

З огляду на величезну роль гідроенергетичних об'єктів з водоймищами комплексного призначення в соціально-економічному розвитку суспільства, масштаби робіт і суспільні витрати, пов'язані з їх створенням, найважливіше значення при їх проектуванні набувають багатобічні дослідження й прогнозування наслідків їх спорудження для навколишнього середовища. На підставі цих досліджень проводиться вибір створів, оптимальних параметрів і режимів їх роботи, природоохоронних, захисних і компенсаційних заходів, спрямованих на мінімізацію негативних наслідків, і в цілому дається комплексна оцінка впливу об'єкта на навколишнє середовище.

Ухвалення рішення про будівництво можливе при підтвердженні, що реалізація проекту не становить погрози для навколишнього середовища, забезпечуючи збереження екологічної рівноваги, поліпшення умов життя населення, і має переваги в порівнянні з альтернативними варіантами. При цьому при зіставленні варіантів спільно розглядаються їх техніко-економічні, соціальні й екологічні параметри.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для забезпечення зростаючих потреб у воді й енергії до початку ХХІ століття у світі було побудовано більше 45000 великих гребель із водоймищами, у тому числі в Китаї – 22000, у США – 6575, в Індії – 4291, в Японії – 2675. Існуючи досить тривалий час, багато з них потребують реконструкції для відповідності сучасним вимогам.

У цілому постійно зростаюче техногенне навантаження на навколишнє середовище викликало в останні десятиліття ХХ ст. погіршення екологічної ситуації в багатьох країнах, найбільш гостро постали питання знаходження раціональної рівноваги між економічними й соціальними потребами суспільства й збереженням навколишнього середовища. Проблема охорони навколишнього середовища й забезпечення екологічної безпеки вийшла за межі національних кордонів і перетворилася на одну з глобальних проблем, що стоять перед світовим співтовариством в ХХІ ст.

6.2. Оцінка негативного впливу на довкілля будівництва і експлуатації ГЕС

Проектом передбачається будівництво існуючих гідротехнічних споруд: будівля ГЕС; водозливна гребля; водоприймач; влаштування пристанційного майданчика; влаштування КТП; влаштування під'їзних доріг до будівлі ГЕС. Будівництво та подальша експлуатація будівлі ГЕС призводить до впливів, які мають локальний географічний характер поширення.

Більшість негативних впливів планованої діяльності пов'язані із проведенням будівельних робіт, при цьому вони обмежені строком проведення будівництва. Залишкові впливи після будівництва не представляють особливої загрози для об'єктів навколишнього природного середовища та умов проживання населення. Під час експлуатації ГЕС технологічні особливості вироблення електроенергії з використанням агрегатів незначної потужності не призводять до істотної трансформації територіальних ресурсів, включаючи

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

процесів з мінімальними операційними затратами (виключається постійна присутність обслуговуючого персоналу); близькість до споживачів, невисока собівартість виробництва електроенергії; швидкодія, підвищення гарантій енергозабезпечення віддалених населених пунктів, висока соціальна значимість об'єктів електрогенерації для місцевих громад.

Окрім того, ГЕС мінімально впливають на довкілля. У більшості випадків такий комплексний вплив оцінюється скоріше як позитивний, ніж негативний.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

1. У проведеному літературному огляді розглядалися питання використання енергії малих річок України, а саме їх гідроенергетичний потенціал для вироблення електроенергії. Підкреслено, що основою ефективної енергетичної політики сучасності повинні стати: енергобезпека, енергоефективність, енергозбереження, використання відновлюваних джерел енергії та екологічна гармонізація суспільного розвитку. Охарактеризовано різні типи малих ГЕС та види сучасних гідротурбін. Наведено характеристику малих ГЕС.

2. Встановлено, що за рахунок узгодженого регулювання кутів нахилу робочих і напрямних лопаток змінюється швидкість водяного потоку та забезпечується оптимальний кут атаки, що в кінцевому підсумку сприяє досягненню максимально можливих значень ККД гідротурбіни для різних режимів її роботи.

3. Під час теоретичного оцінювання ефективності роботи гідротурбіни визначено, що оптимальний кут атаки досягається за умови встановлення кута нахилу робочих лопаток 30° (на периферії); при цьому швидкість водяного потоку в зоні робочого колеса складає 0,62 м/с, а тиск на лопаті – 102311 Па.

4. Теоретично доведено, що швидкість обертання робочого колеса гідротурбіни обернено пропорційна кількості лопатей, тобто у випадку зменшення їх кількості удвічі швидкість обертання робочого колеса, навпаки, зростає майже у два рази (точніше, в 1,81 рази).

5. Техніко-економічні розрахунки показали, що встановлення трилопатевих робочих коліс у осьових турбінах, які працюють за напорів до 5 метрів, є ефективним не тільки в технічному, але й у фінансовому плані, оскільки термін окупності гідроагрегатів з такими робочими колесами не перевищує 4 років (наприклад, становить 3 роки та 6 місяців для безредуктор-

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|----------------------|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | ВИСНОВКИ | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

ного агрегату мікроГЕС, який працює за напору нетто 3,97 м і швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв).

6. Запропоновані рішення дозволять застосовувати в гідроагрегатах низьконапірних (до 5 метрів водяного стовпчика) мікроГЕС тихохідні електрогенератори серійного виробництва без використання мультиплікаторів, що суттєво зменшить собівартість гідроагрегатів та експлуатаційні витрати, які пов'язані з їх обслуговуванням.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Граковский С. А. Конструкции и расчет гидротурбин, – М., Машиностроение, 1974. – 240 с.
2. Барлит В.В. Гидравлические турбины и насосы [Текст] : учеб. пособие - справочник / В. В. Барлит; Ин-т системных исследований образования, Харьковский гос. политехнический ун-т, – К.: ИСИО, 1994. – 176 с.
3. Кафедра енергозбереження та енергетичного менеджменту. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Інформаційний пакет ЕКТС (ECTS). – Режим доступу: <http://kaf-em.tntu.org.ua/informpack.aspx> (дата звернення 27. 02. 2015).
4. Праховник А. В. Малая энергетика. Распределённая генерация в системах энергоснабжения / А. В. Праховник, – Київ: "Освіта України" 2007. – 463с.
5. Васильев Ю. С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций справочное пособие в двух томах / Ю. С. Васильев, Д. С. Щавелев, – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.
6. Абдурахманв Л. Ф. Основное оборудование гидроэлектростанций / Л. Ф. Абдурахманов, – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.
7. Ластер Р. Б. Стан світу 2000. Доповідь Інституту Всесвітнього Спостереження про прогрес до сталого суспільства / Дж. Н. Абрамович, Ластер Р. Браун, Кріс Брайт, Сен Дан, Крістофер Флавін / Дир. проекту Ластер Р. Браун. – К.: Інтелсфера, 2000. – 285 с.
8. Смирнов И.Н. Гидравлические турбины и насосы. Учебное пособие для энергетических и политехнических вузов – М.: Высшая школа, 1969. – 400 с.
9. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ. - Алматы, 2016. - с. 36

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|-------------------------|---------------------|------|--------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | | | |
| Зм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Галінський А.М. | | | ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | Літ. | Лист | Листів |
| Перевір. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Консульт. | | Зінь М.М. | | | | | | |
| Н. контр. | | Коваль В.П. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Тарасенко М.Г. | | | | | | |
| | | | | | | ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61 | | |

10. Гідроенергетика [Електронний ресурс]: Мала гідроенергетика світу. - Режим доступу: <https://msd.in.ua/mala-gidroenergetika-svitu/>
11. Держенергоефективності України [Електронний ресурс]: Гідроенергетика. Режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk/ae/hydroenergy/>
12. Алхасов А. Б. Возобновляемая энергетика. — 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 256 с.
13. Гидроэлектростанции малой мощности: Учеб. пособие / Под. ред. В.В. Елистратова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 432 с.
14. Картанбаев, Б.А. Руководство по строительству и эксплуатации микро гидроэлектростанций (микро ЕЗС) / Б.А. Картанбаев, К.А. Жумадилов, А.А. Зазульский. - Б.: «ДЗМИ», 2011. - 57 с.
15. Михайлов, Л.П. Малая гидроэнергетика / Л.П. Михайлов, Б. Н. Фельдман, Т. К. Марканова и др.; под ред. Л.П. Михайлова. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - с. 184
16. Кудря, С.О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії / С.О. Кудря, В.М. Еоловко. - Киев, 2009. - 201 с.
17. В.В. Парлит. Гидравлические турбины. М. 1987 г. 328 с.
18. Цепенда М.М. Методичні особливості економіко-географічної оцінки гідроенергетичного потенціалу Середнього Придністров'я / М.М.Цепенда // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія - Вінниця, 2009. - Вип. 18. - С.211-219.
19. Гидроэнергетические ресурсы / А.Б.Авакян, В.А.Баранов, Л.Б.Бернштейн [и др.]. - М.: Наука, 1967. - 600 с.
20. Золотарев Т.Л. Гидроэнергетика / Т.Л.Золотарев. - Ч.І Основи использования гидравлической энергии: учебное пособие для высших технических учебных заведений. - М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1950. - 196 с.
21. Малі річки України: Довід. / За ред. А.В.Яцика. - К.: Урожай, 1991. -

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

296 с.

22. Гинко С.С. Основы гидротехники / С.С.Гинко. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 368 с.

23. Ресурси поверхностних вод СССР. - Т.6. Украина и Молдавия. - Вип. 2 Среднее и нижнее Поднепровье. - Описание отдельных рек и водохранилищ бассейна р. Днепр / Под ред. М.С.КАГАНЕРА - Л.: ГИМИЗ, 1970. - 520 с.

24. Бабич М.І. Особливості ідентифікації конфігурації проектів каскаду малих дериваційних гідроелектростанцій в умовах стохастичного середовища / О.В. Сидорчук. В.М. Боярчук, М.І. Бабич. А.В. Татомир // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. - № 43, Т. 1. - С. 40 - 42.

25. Мороз А.В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України. / Інститут відновлювальної енергетики НАН України. - К, 2015

26. Пупасов-Максимов А.М., Орлов А.В., Федосеев А. В.. - Задача оптимизации местоположения и структуры малой ГЭС на стадии обоснования инвестиций. Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИЕУПИТ) / Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №5 – 2013

27. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие.-М.: РГОТУПС, 2006 - 104 с.

28. Academic [Электронный ресурс]: Поворотно-лопастная турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1395890>

29. Academic [Электронный ресурс]: Радиально-осевая турбина. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/7513>

30. Academic [Электронный ресурс]: Ковшовая турбина. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/4034>

31. Academic [Электронный ресурс]: Турбина поперечного потока. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/8076>

32. Природа України [Електронний ресурс]: Нормативно-правова база у сфері отримання дозволу на будівництво міні ГЕС. - Режим доступу: <http://pryroda.in.ua/miniges/normatyvno-pravova-baza-u-sferi-otrymannya-dozvolu>

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

na-budivnytstvo-mini-hes/

33. Асоціація біоенергетичних структур [Електронний ресурс]: Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні - Режим доступу: <http://abc.in.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai-ni.pdf>

34. Пылаев, Н.И. Кавитация в гидротурбинах / Н.И. Пылаев, Ю.У. Эдель. – М., Машиностроение, 1974. – 240 с.

35. Захаров, А.В. Автоматизированный программный комплекс «Гидродинамический расчет насосов и турбин» / А.В. Захаров, Г.И. Топаж // Энергомашиностроение. Труды СПбГПУ. 2004. №491. С. 80-99.

36. Степанов, Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин / Г.Ю. Степанов – М.: ГИФМЛ, 1962. – 512 с.

37. Гутовский Е.В. Теория и гидродинамический расчет гидротурбин : Учеб. пособие для вузов / Е.В. Гутовский, А.Ю. Колтон – Л. : Машиностроение, 1974. – 365 с.

38. Холщевников, К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К.В. Холщевников, О.Н. Емин, В.Т. Митрохин – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.

39. Ковалёв Н. Н. Гидротурбины. Конструкции и вопросы проектирования [Текст] : научное издание / Н. Н. Ковалев. - 2-е изд., доп. и перераб. – Ленинград : Машиностроение, 1971. – 584 с.

40. Викторов Г.В. Гидродинамическая теория решеток / Г. В. Викторов – М.: Высшая школа, 1969. – 368с.

41. Булашенко А.В. Информатика: конспект лекцій у чотирьох частинах. – Частина 4: Обробка інженерної інформації за допомогою математичного пакета MathCAD / Укладач А.В. Булашенко. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 123 с.

42. Жидецкий В.Ц. Основы охраны праці: підручник / В.Ц. Жидецкий, В.С. Джигирей, О.В. Мельников; Вид. 5-те доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

43. Зеркалов Д.В. Основи охорони праці: навчальний посібник / Д.В. Зеркалов. – К.: Науковий світ, 2000. – 278 с.

44. Цапка В.Г. Безпека життєдіяльності: Навч. Посібник / За ред. В.Г. Цапка – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Знання-Прес, 2003. – 397 с.

45. Джигирей В.С., Шидецький В.Ц. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. – Вид. 3-тє, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 256 с.

46. НТУУ КПІ. Енергетика: економіка, технології, екологія. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Науковий журнал № 1 (35) – 2014. – Режим доступу: http://energy.kpi.ua/files/2014/1_2014 (дата звернення 25. 04. 2015).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | ДРМ 306.18.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |