

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

мікро гідроелектростанції

Вдосконалення конструкції проточної частини безгребельної ГЕС

2018

Зміст

Вступ.....	3
1. Характеристика малої гідроенергетики та карпатських річок.....	4
1.1 Мала гідроенергетика.....	4
1.2 Характеристика Карпатських річок	5
2. Прийнятий прототип — Гравітаційно-вирова станція	6
3. Запропонований Пристрій для виробництва електроенергії.....	9
3.1 Креслення пристрою для виробництва електроенергії.....	10
3.2 Розрахунок результуючої потужності установки.....	14
Висновки	24
Список використаних джерел.....	26

ВСТУП

Українською державою прийнято рішення про підтримку відновлювальних джерел енергії. Підтримка виявляється у стимулюванні виробництва електроенергії сонячними, вітровими електростанціями, а також гідроелектростанціями, потужністю до 10 МВт (стаття 1 Закону України «Про електроенергетику»).

Зелений тариф виявився достатньо потужним стимулом для підприємців, адже держава гарантує виплату власникам ГЕС за кожен вироблений кіловат-годину електроенергії суму, яка у кілька разів перевищує вартість енергії.[1]

Для виконання Програми комплексного використання водних ресурсів Карпатського регіону, планується збудувати 330 малих ГЕС.

У Карпатах більшість малих ГЕС проектується, як дериваційні у верхів'ях рік. Тут ухил річок найбільший, отже, падаюча вода дає найбільшу енергетичну віддачу. У зв'язку з чим з верхнього б'єфу викачують майже усю воду. Це спричиняє цілу низку екологічних та соціально-економічних проблем:

- зникнення водних організмів через знищення їх середовища існування;
- погіршення туристичного потенціалу територій;
- зміни гідрогеологічної обстановки включно із загрозою зниження рівня ґрунтових вод;
- негативний вплив на природоохоронні території. [2]

Ініціативи з будівництва такої великої кількості ГЕС зустрічають активний супротив з боку громадських діячів та населення. Дана робота спрямована на пошук такого типу ГЕС, що виробляє електроенергію з найменшою шкодою для довкілля.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ ТА КАРПАТСКИХ РІЧОК

Територія Карпат має найбільший гідроенергетичний потенціал в Україні, при цьому вона є найменш освоєною, оскільки більшість територій є заповідними зонами, а спорудження там ГЕС є проблематичним через отримання дозвільних документів. Слід зауважити, що у 1920-ті–1960-ті роки на даній місцевості працювало біля 1000 малих ГЕС, але з спорудженням каскаду на річці Дніпро потреба в них відпала і вони були закриті.

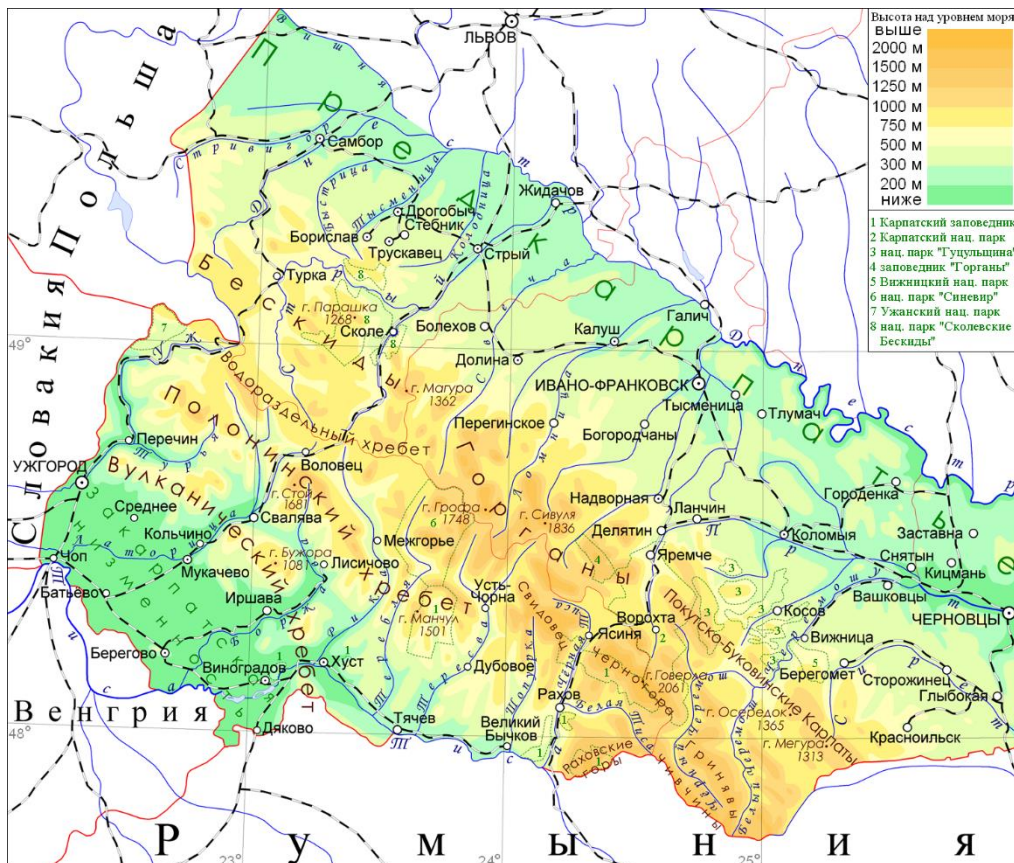
1.1 Мала гідроенергетика

До об'єктів малої гідроенергетики відносяться малі ГЕС згідно міжнародної класифікації потужністю в Україні не більше 10 МВт, міні-ГЕС – від 0,1 до 1,0 МВт, мікро-ГЕС – не більше 0,1 МВт.

Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлюваних джерел електроенергії, дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих річок і приток, систем водопостачання, іригації з видачою електроенергії в енергосистему, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в недостатньо розвинених районах країни 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 мінімальний вплив на довкілля, надійність і близькість до споживача.

В Україні загальна потужність малих ГЕС, що експлуатуються, складає більше 100 МВт. Більше 100 малих і міні-ГЕС вимагають відновлення та реконструкції. Загальний економічно ефективний потенціал малих ГЕС України оцінюється в більш ніж 3 млрд. кВт•год. Більша частина неосвоєного потенціалу знаходиться у Карпатському регіоні. [3]



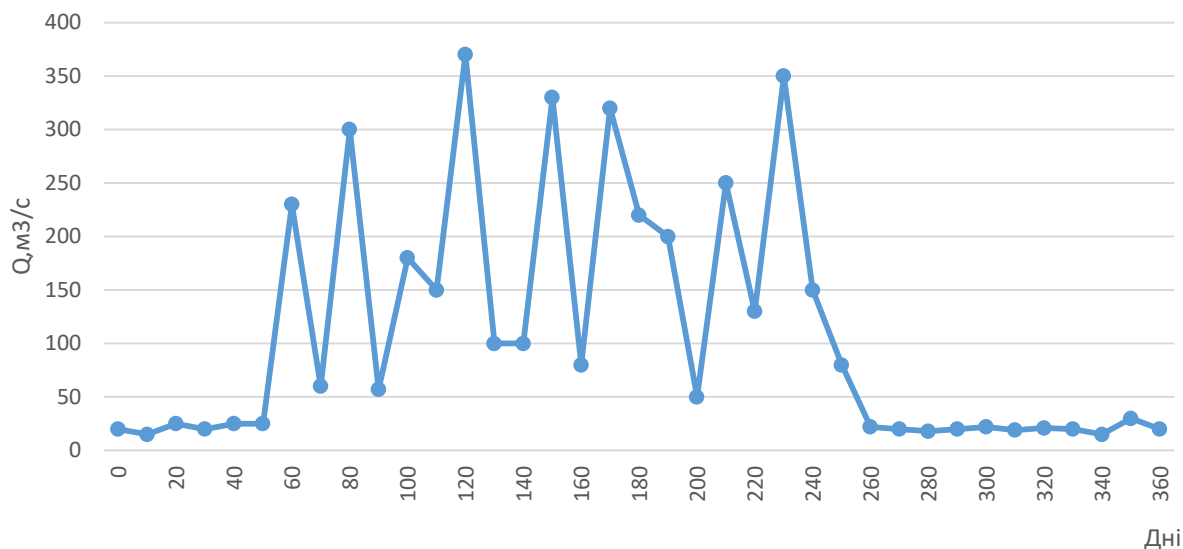
1.2 Характеристика Карпатських річок

Рисунок 1.1 – Фізична карта Карпатського регіону

В Україні нараховується біля 73 тисяч річок, з них в горах України - 29 700, а в Українських Карпатах - біля 28 000. Проте річок протяжністю більше 10 км тут налічується лише близько 450. Відповідно, основна частина карпатських річок належить до категорії малих. Їх загальна протяжність становить 36 000 км. Густота гідросітки тут найбільша в Україні: середня - від 0,5 до 0,7 км/км², а максимальна - 1,0-1,2 км/км² і більше.

Режим рівнів води в річках характеризується безладним чергуванням паводків протягом усього року. В середньому за рік спостерігається 25-35 піків підняття рівня води. Більшість з них припадає на весняно-літній час. Весняне водопілля починається на рівнинах у кінці лютого - початку березня, в горах запізнюється приблизно на 15 днів. [4]

Для подальших розрахунків у результаті детального аналізу річок карпатського регіону обрано річку Прут, зокрема у місці водоспаду Пробій, що



є найповноводнішим водоспадом України. Висота падіння води – 8 м, кут нахилу — майже 45 градусів. [5]

Рисунок 1.1 – Гідрограф річки Прут поблизу водоспаду Пробій

Вибір даного місця обумовлений тим, що водоспад розташований у межах міста Яремча, тобто у разі реалізації запропонованого проекту буде забезпечено вільний доступ до території спорудження. Окрім водності водоспаду це було одним з найважливіших критеріїв, адже більшість водоспадів Карпат розташовані у важкодоступних місцях, далеко від поселень.

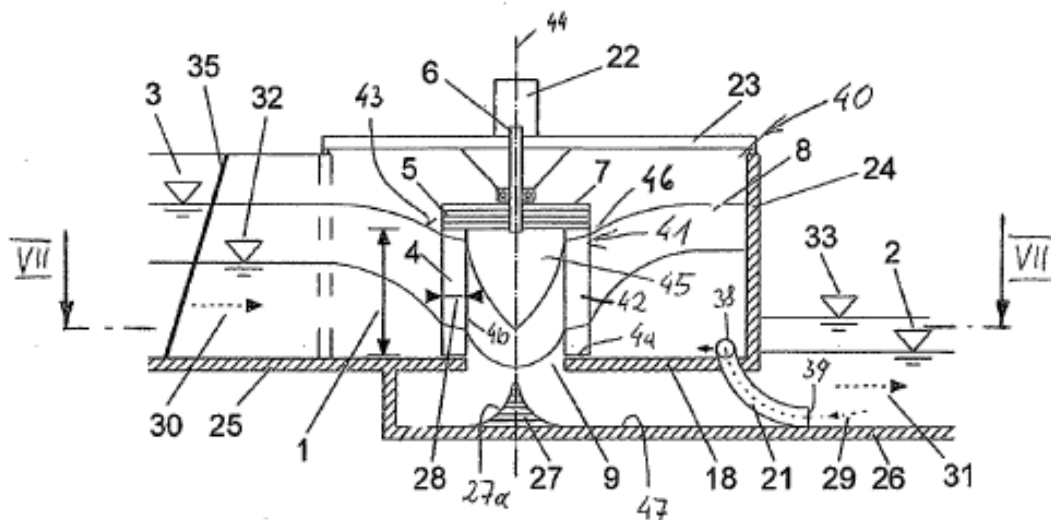
2. ПРИЙНЯТИЙ ПРОТОТИП — ГРАВІТАЦІЙНО-ВИРОВА СТАНЦІЯ

Даний патент належить австрійському вченому Францу Цотлетеру. Розглянута далі конструкція реалізована на річці П'єслач у Австрії та успішно функціонує з 2006 р. На офіційному сайті розробника [6] можна знайти актуальні дані щодо особливостей роботи та отримуваних на станції даних.

Патентна формула (рисунок 2.1, 2.2) [7, 8]:

Гідроелектростанція 40 з як мінімум однією турбіною 41, що має круглу форму робочого колеса 42 та має безліч розділених по колу лопатей 4, в якій

вісь обертання 44 розташована вертикально по відношенню до цього робочого колеса 42. Між вивориним баком 24, впускним каналом 25 і випускним каналом 26 вода проходить через робоче колесо 42. Як правило, вісь турбіни 6 з'єднана з кришкою 5 в якій лопаті 4 розташовані в осьовому напрямку на кришці 5. Лопаті 4 знаходяться над впускним каналом 25 в області потрапляння води на турбіну 46 навпроти дна 18 вивориного баку 24. Гідроелектростанція відрізняється тим, що лопаті ротора 4 розташовані горизонтально і по колу у внутрішніх краях лопатей 4b відкриті вниз і через кришку 5 герметизують простір під робочим колесом 45. Гідроелектростанція 40 також характеризується тим, що генератор 22 і проточний елемент 27 виконані як єдине ціле. [7]



Вид зверху та поперечний перетин станції зображені на рисунках 2.1 та 2.2.

Рисунок 2.1 – Поперечний перетин гідроелектростанції

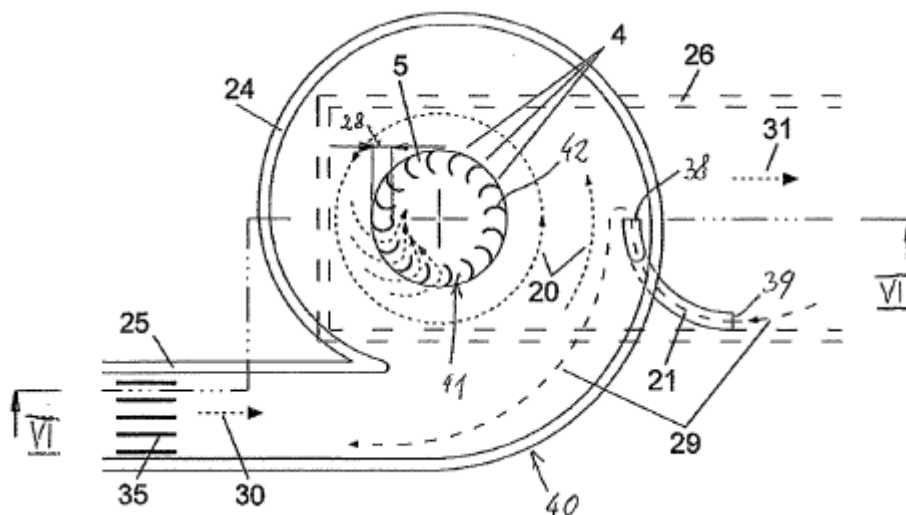


Рисунок 2.2 – Вид зверху на гідроелектростанцію

Гравітаційно-вирова станція: 1. Висота станції. 2. Рівень нижнього б'єфу. 3. Рівень верхнього б'єфу. 4. Лопаті турбіни. 4а Нижня кромка лопаті турбіни. 4б Внутрішній край лопаті турбіни. 5. Кришка. 6. Вісь турбіни. 7. Пази (канавки). 8. Центр основного розміщення води. 9. Зливний отвір. 10. Різниця висот. 11. Висота закручування потоку при низькому рівні води. 12. Висота закручування потоку при високому рівні води. 13. Турбінний підшипник. 14. Постійні магніти. 15. Дископодібна котушка. 16. Гнучкий струмопровід. 17. Порожнеча. 18. Дно. 19. Шлях проходження води через вхідний отвір. 20. Шлях напрямку обертання. 21. Підйомні канали. 22. Генератор. 23. Опора для генераторного блоку. 24. Вировний бак. 25. Впускний канал. 26. Випускний канал. 27. Проточний елемент. 27а Потік спільних поверхонь. 28. Глибина лопатки. 29. Шлях виходу води з випускного каналу. 30. Потік води на вході до станції. 31. Шлях відходу води зі станції. 32. Зниження рівня води у верхньому б'єфі. 33. Підвищення рівня води в нижньому б'єфі. 34. Дно біля вхідного бічного отвору. 35. Сорорутримуюча решітка. 38. Вхідний отвір випускного каналу. 39. Вихідний отвір випускного каналу. 40. Гідроелектростанція. 41. Турбіна. 42. Робоче колесо (ротор). 43. Генераторний блок турбіни. 44. Вісь обертання. 45. Простір під робочим колесом. 46. Область потрапляння води на турбіну. 47. Відвідний канал. 48. Повітропровід. [8]

Гравітаційно-вирова станція – це така станція, в якій шкоду навколишньому середовищу зведено до мінімуму. Під час її розробки за основу бралась Європейська Рамочна Водна Директива. На основі цілей Директиви відбувалася розробка основних складових частин станції.

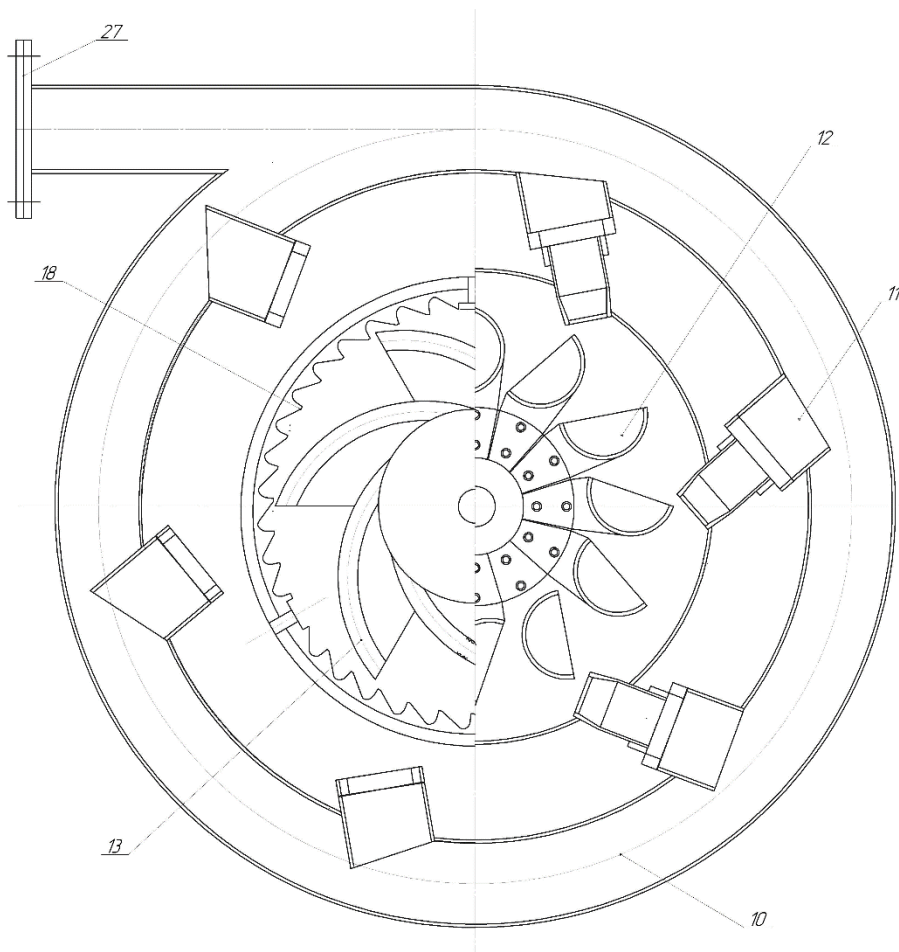
Одним з найважливіших недоліків станції є те, що при великих габаритах отримувана енергія не є значною. Збільшення габаритів вирового баку не веде до різкого збільшення отримуваної енергії, до того ж збільшення габаритів до необмежених значень не є раціональним.

При цьому, на території Австрії та Німеччини відбувається активне впровадження станцій Гравітаційно-вирового типу, також схожий проект реалізовано групою вчених у Непалі. Непальські вчені зменшили габарити вирового баку та виготовили його з металу.

3. ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Для покращення техніко-економічних показників функціонування Гравітаційно-вирової станції в проекті запропоновані наступні зміни у конструкції (рисунки 3.1, 3.2):

- зміна конструкції турбіни на гібридну (на одному валу розташована активна турбіна разом з реактивною);
- введення двох шляхів потрапляння води до станції;
- можливість контролю за швидкістю обертання турбіни без застосування направляючого апарату;
- впровадження гвинтоподібних рельєфних треків;
- застосування максимально можливої кількості типових елементів.



3.1 Креслення пристрою для виробництва електроенергії

Рисунок 3.1 – Вид зверху на пристрій для виробництва електроенергії

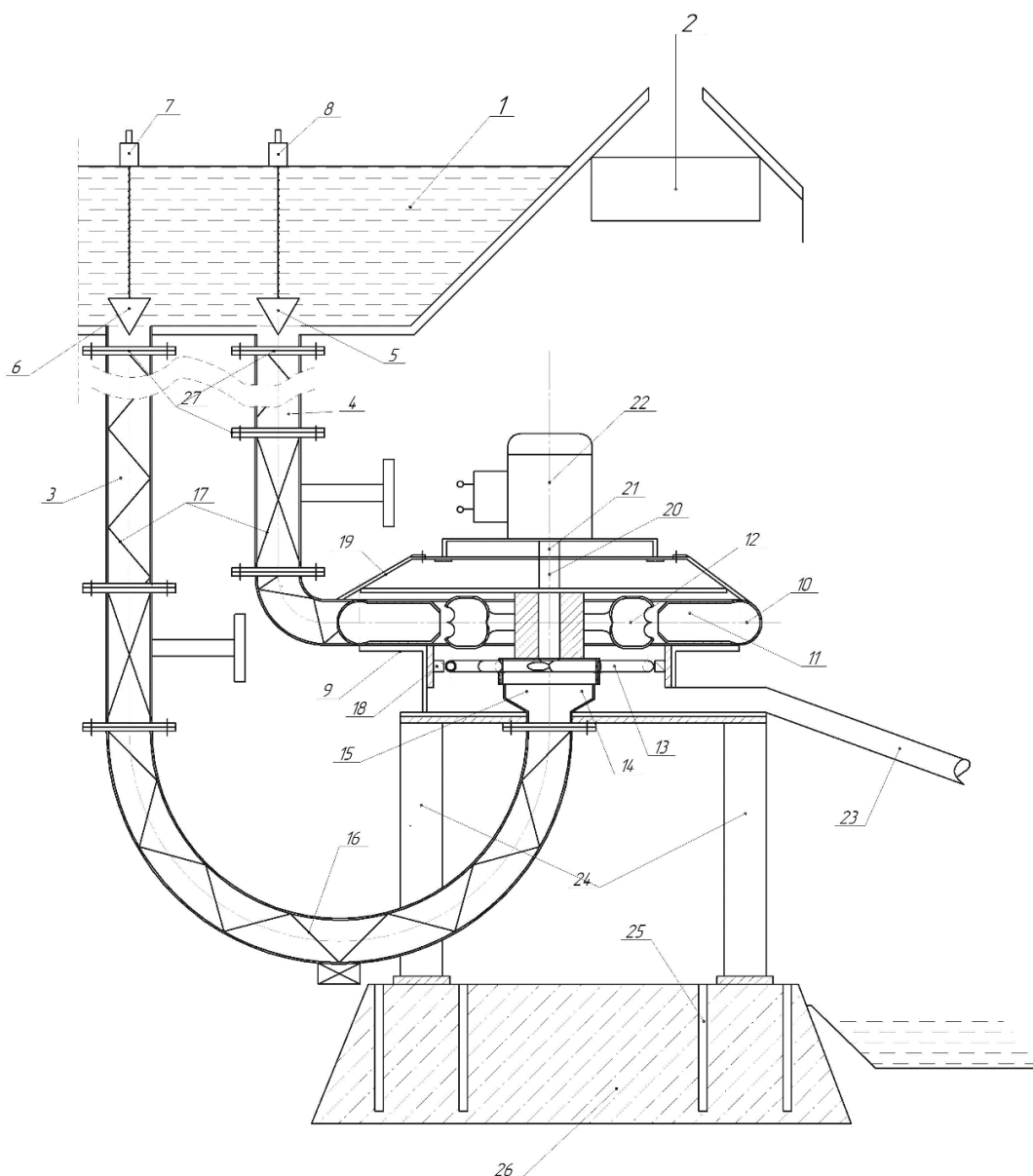


Рисунок 3.2 – Розріз пристрою для виробництва електроенергії

Пристрій, схему якого наведено на рисунках 3.1 та 3.2, складається з накопичувача води 1, аварійного зливного лотка 2, двох вертикальних трубопроводів: нижнього 3 і верхнього 4, які підведені до дна накопичувача 1 і включають дроселі-засувки 5 і 6 та індикатори 7 і 8 рівня води в накопичувачі і жорстко закріплені на корпусі 9 в якому закріплений кільцевий колектор 10 з форсунками 11, що розміщені на одній горизонтальній осі з ковшовою активною турбіною 12, з'єднаною з реактивною турбіною 13 з каналами-соплами через колектор 14, що розміщений над затопленим у ньому штуцером 15, який є продовженням сифону 16, що з'єднаний з нижнім трубопроводом

через фланець 27, в сифоні розміщений гвинтоподібний рельєфний трек 17. На внутрішній поверхні корпусу 9 розміщений кільцевий рельєфний відбивач 18.

Над активною турбіною 12 розміщена рама 19 з підшипниковим вузлом 20, муфтою 21 та електрогенератором 22, нижня частина корпусу 9 має зливний лоток 23, опори 24, амортизатори 25, що закріплені в фундаменті 26.

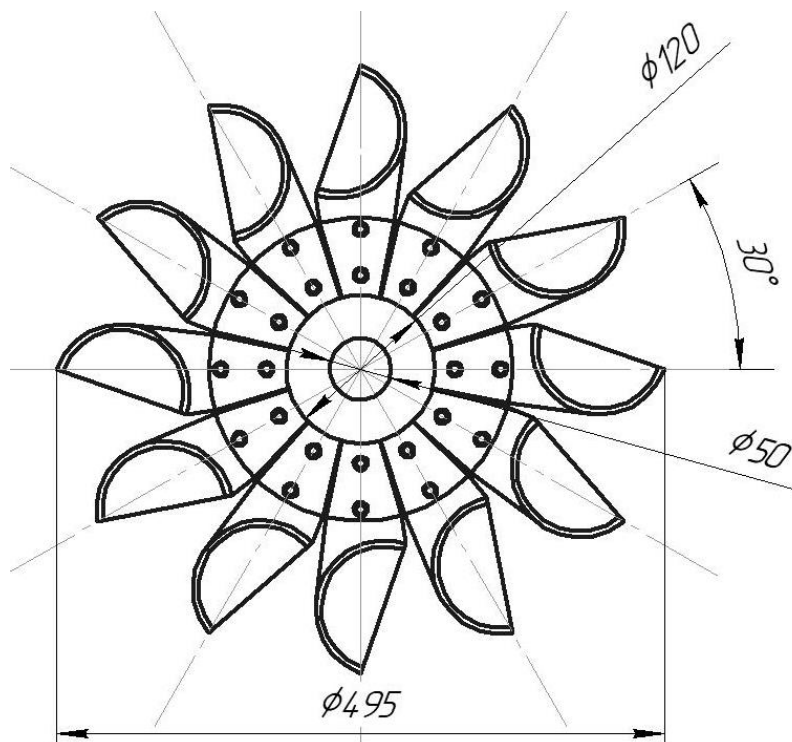
Дроселі-засувки головним чином використовуються для регулювання швидкості обертання турбіни. Постійна і регульована швидкість обертання турбіни є необхідною умовою для сталого постачання споживачам електричної енергії. Дроселі-засувки у даній схемі виконують роль направляючого апарату і регулятора швидкості обертання активної і реактивної турбін. Це здійснюється шляхом розрахунків оптимальних розмірів конструкції та кількості каналів-сопел турбіни. Дану задачу можна вирішити лише дослідним шляхом під час запуску пілотного зразка, бо запропонована конструкція турбіни є новою і її дослідження планується в майбутньому.

Головною особливістю проекрованої станції є турбіна. Ковшова турбіна (турбіна Пелтона) - активна гідравлічна турбіна, яка використовується зазвичай при дуже великих напорах. Її параметри представлені на рисунку 3.3.

Сегнерове колесо – пристрій, заснований на реактивній дії витікання води з каналів сегнерова колеса. Колесо складається з вертикальної труби, по якій підводиться вода на якій закріплені дві (або більше) відігнуті труби, що вільно обертаються, з горизонтальними відігнутими в протилежні сторони трубами з відкритими кінцями, через які рідина витікає, приводячи турбіну до обертання. (рисунок 3.4)

Дані турбіни закріплені на одному валу, а їх конструкція передбачає виключно коректне дослідження швидкості обертання і визначення фактичної потужності та швидкості обертання. При цьому, у конструкції передбачається можливість такого з'єднання, яке дає можливість дослідити роботу окремо двох різних типів турбін, або роботу двох активних та двох реактивних турбін. При реалізації такого варіанту ми маємо визначити найбільшу енергетичну віддачу. На запропоновану безгребельну гідроелектростанцію отримано зареєстрований

та затверджений патент України на корисну модель “Пристрій для виробництва



електроенергії” №и201708384 від 14.08.2017 р., МПК F03B13/08 (2006.01).

Рисунок 3.3 – Турбіна Пелтона

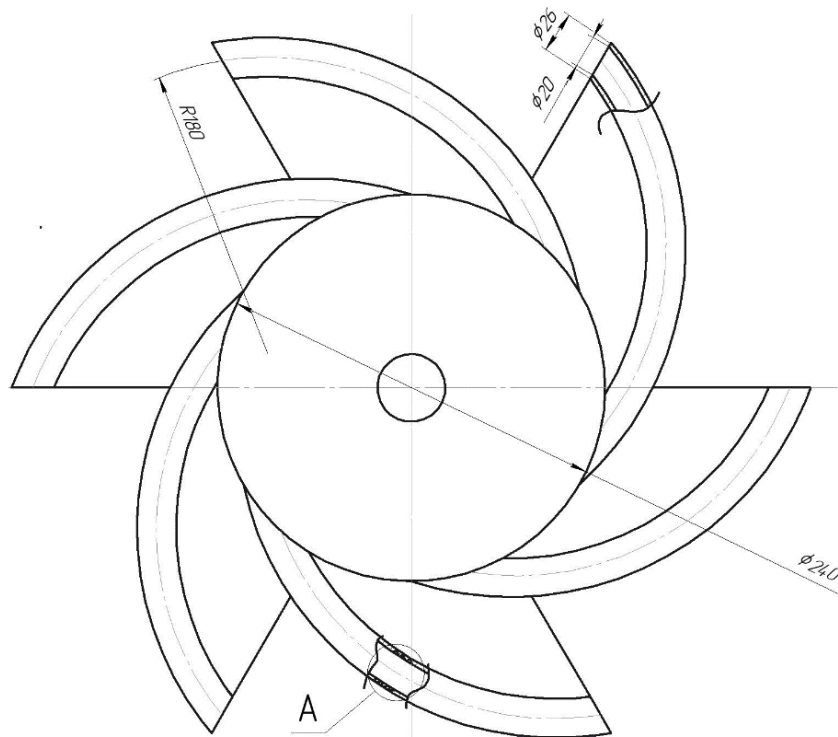


Рисунок 3.4 – Сегнерове колесо

3.2 Розрахунок результуючої потужності установки

Розрахунок потужності пропонованого пристрою для водоспаду Пробій виконаний за методикою з підручнику [9] за формулами 3.1-3.5:

Діаметр одного сопла:

$$d_0 = 17.3 \cdot \sqrt{\frac{Q}{z_0 \cdot \sqrt{H}}} = 17.3 \cdot \sqrt{\frac{125}{12 \cdot \sqrt{8}}} = 33 \text{ мм} \quad (3.1)$$

де, Q – витрата води, $Q = 300$ л/с; z_0 – кількість сопел, 12 шт; $H = 8$ м – розрахунковий напір станції, м.

Швидкість витікання води через сопло:

$$V = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 0,945 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 8} = 11,84 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.2)$$

де, φ – коефіцієнт швидкості для насадка, що конічно звужується з [10], при куті конусності $13^\circ 24'$; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с².

Швидкість обертання турбіни n_1 :

$$n_1 = \frac{V}{\frac{\pi + \pi r}{30 + 30}} = \frac{11,84}{\frac{3,14 + 3,14 \cdot 0,245}{30 + 30}} = 91 \text{ об/хв} \quad (3.3)$$

де, r – радіус турбіни, м; π – число пі, $\pi = 3,14$.

Окружна швидкість U :

$$U = \frac{\pi \cdot r \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 0,245 \cdot 91}{30} = 2,33 \text{ м/с} \quad (3.4)$$

Розрахункова потужність ГЕС складає:

$$N = \rho \cdot Q(V - U) \cdot U = 1000 \cdot 0,25 \cdot (11,84 - 2,33) \cdot 2,33 = 5539,58 \text{ Вт} = 5,54 \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де, ρ – щільність води, $\rho = 1000$ г/см³.

Потужність Гравітаційно-вирової станції $N = 8,3$ кВт, при розмірах вирового баку 5,5 м, а діаметр пристрою для виробництва електроенергії дорівнює 1 м. Тобто розрахунки показали, що кількість отриманої електричної енергії зменшилась на 36%, при зменшенні габаритів більш ніж у 5 разів. При цьому, питомі капіталовкладення на 1 кВт отриманої електроенергії у Гравітаційно-вировій станції в 10 разів більше, ніж у запропонованому пристрої.

Виконаний розрахунок потужності пристрою для різних значень напорів та витрат води через нього. Отримані розрахунки відображені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок потужності ГЕС для різних значень напорів та витрат води

№	Q, л/с	H, м	do, мм	V, м/с	n1, об/хв	U, м/с	N, кВт
1	325	25	40	20,93	161	4,12	45,00
2	300	20	41	18,72	144	3,68	33,23
3	150	15	31	16,21	124	3,19	12,46
4	100	10	28	13,24	102	2,60	5,54
5	50	5	24	9,36	72	1,84	1,38
6	50	25	16	20,93	161	4,12	6,92
7	100	20	24	18,72	144	3,68	11,08
8	150	15	31	16,21	124	3,19	12,46
9	300	10	49	13,24	102	2,60	16,62
10	325	5	60	9,36	72	1,84	9,00

$z_0=12$ – кількість сопел, шт.

$\varphi=0,945$ – коефіцієнт швидкості витікання води із сопла.

$r_{\text{турб.}}=0.245$ м – радіус турбіни.

Надалі значення z_0 , φ , та $r_{\text{турб.}}$ будуть постійними, поки це не буде змінено у вхідних умовах.

Отримано розрізнені значення потужності станції. Надалі доцільно дослідити як саме змінюється потужність станції, при постійності одного чи декількох параметрів.

Визначимо залежність потужності пристрою для виробництва електроенергії від витрати води при постійному значенні напору.

Таблиця 3.2 – Потужність станції при постійному напорі

№	Q, л/с	d ₀ , мм	N, кВт	№	Q, л/с	d ₀ , мм	N, кВт
1	0	0	0,00	11	0	0	0
2	15	9	2,08	12	15	13	0,42
3	30	12	4,15	13	30	18	0,83
4	45	15	6,23	14	45	22	1,25
5	60	17	8,31	15	60	26	1,66
6	75	19	10,39	16	75	29	2,08
7	90	21	12,46	17	90	32	2,49
8	105	23	14,54	18	105	34	2,91
9	120	24	16,62	19	120	37	3,32
10	135	26	18,69	20	135	39	3,74

$H_1=25$ м – розрахунковий напір (строки 1-10): $V=\text{const}=20,93$ м/с;
 $n_1=\text{const}=161$ об/хв; $U=\text{const}=4,12$ м/с.

$H_2=5$ м – розрахунковий напір (строки 11-20): $V=\text{const}=9,36$ м/с;
 $n_1=\text{const}=72$ об/хв; $U=\text{const}=1,84$ м/с.

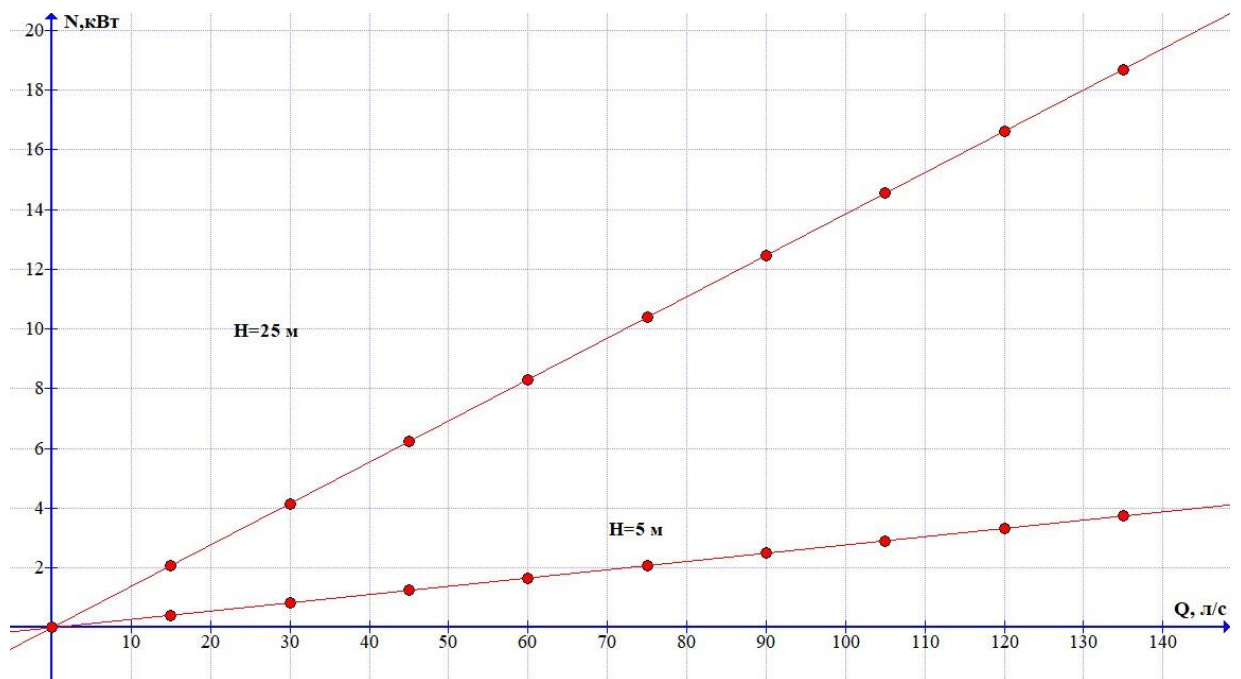


Рисунок 3.5 – Залежність потужності пристрою від витрати води при постійному напорі

Залежність потужності станції при постійній витраті води та змінному напорі розраховану у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Потужність станції при постійній витраті води

	№	H, м	do, мм	V, м/с	n1, об/хв	U, м/с	N, кВт
Q ₁	1	0,1	45	1,32	10	0,26	0,01
	2	3	19	7,25	56	1,43	0,43
	3	6	16	10,25	79	2,02	0,86
	4	9	15	12,56	96	2,47	1,30
	5	12	14	14,50	111	2,85	1,73
	6	15	13	16,21	124	3,19	2,16
	7	18	12	17,76	136	3,49	2,59
	8	21	12	19,18	147	3,77	3,02
	9	24	12	20,51	157	4,04	3,46
	10	27	11	21,75	167	4,28	3,89
Q ₂	11	0,1	126	1,32	10	0,26	0,11
	12	3	54	7,25	56	1,43	3,32
	13	6	45	10,25	79	2,02	6,65
	14	9	41	12,56	96	2,47	9,97
	15	12	38	14,50	111	2,85	13,29
	16	15	36	16,21	124	3,19	16,62
	17	18	34	17,76	136	3,49	19,94
	18	21	33	19,18	147	3,77	23,26
	19	24	32	20,51	157	4,04	26,59
	20	27	31	21,75	167	4,28	29,91

Q₁ – витрата води через пристрій, Q₁=26 л/с.

Q₂ – витрата води через пристрій, Q₂=200 л/с.

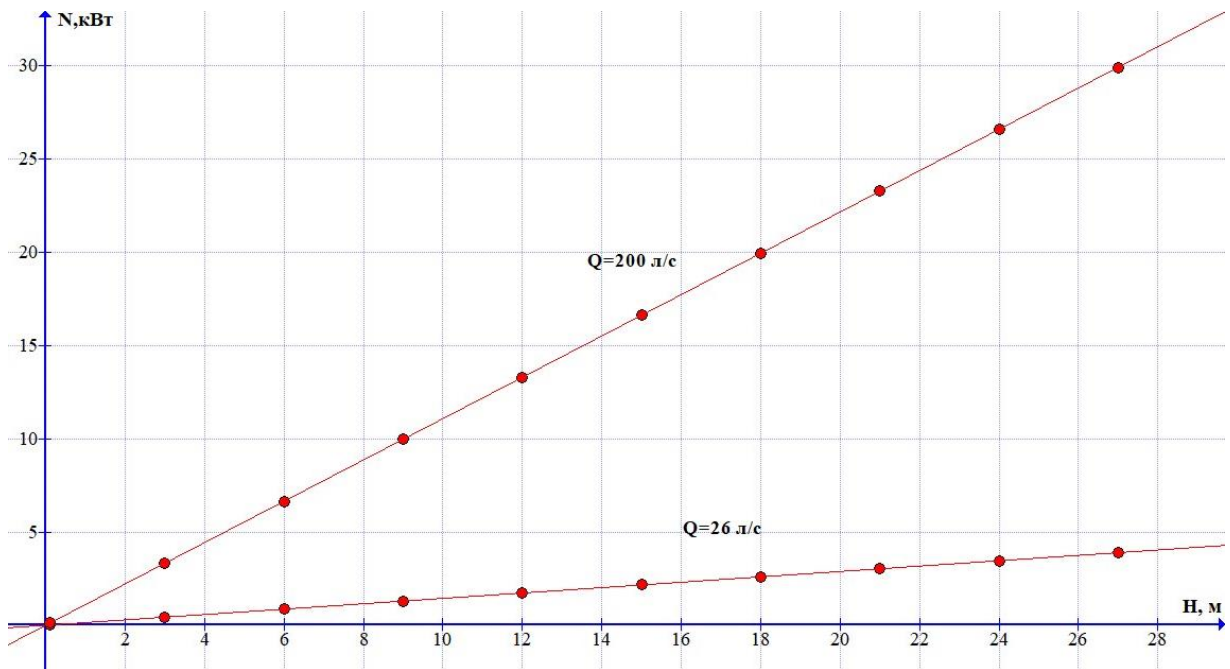


Рисунок 3.6 – Залежність потужності станції від розрахункового напору при постійній витраті води через неї

У результаті з побудованих на рисунках 3.5 та 3.6 графіках ми бачимо, що у заданому діапазоні параметрів залежність потужності станції при постійній витраті води через неї, або постійному напорі змінюються лінійно.

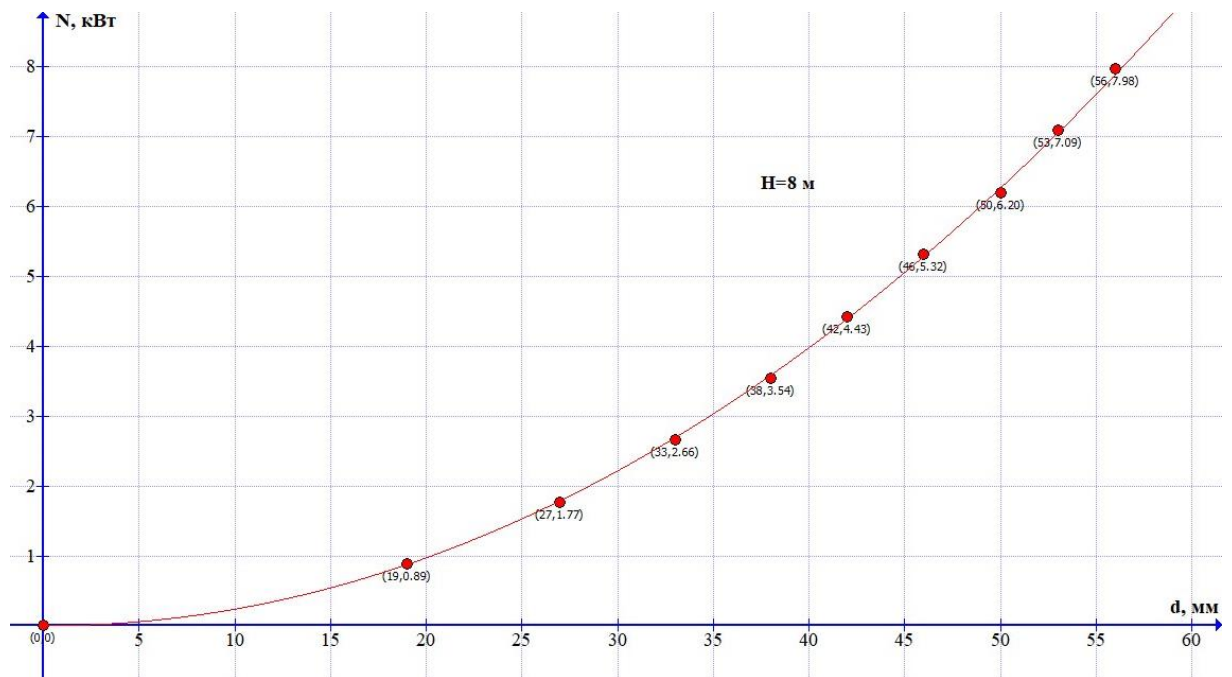
Надалі було досліджено залежність потужності станції від діаметру сопла форсунки, при постійному значенні напору та змінній витраті води.

Таблиця 3.4 – Потужність станції в залежності від діаметру сопла при напорі (Н=8 м)

№	Q, л/с	d ₀ , мм	N, кВт
1	0	0	-
2	20	13	0,89
3	40	19	1,77
4	60	23	2,66
5	80	27	3,54
6	100	30	4,43
7	120	33	5,32
8	140	35	6,20
9	160	38	7,09
10	180	40	7,98

$$V = \text{const} = 11,84 \text{ м/с.}$$

$$n_1 = \text{const} = 91 \text{ об/хв.}$$



$$U = \text{const} = 2,33 \text{ м/с.}$$

Рисунок 3.7 – Графік залежності потужності ГЕС від діаметру сопла при змінній витраті води та постійному ($H=8$ м) значенні напорі

У результаті в заданому діапазоні параметрів отримано степеневу функцію: $N = 0.0022 \cdot d^{2.033}$. При цьому, степінь даної функції завжди близька до 2, незалежно від початкового значення напорі станції.

Для визначення найбільш оптимальних параметрів станції необхідно визначити залежність потужності станції від радіусу турбіни. Це дозволить оцінити найкращі співвідношення габаритів для будівництва пілотного зразка.

Таблиця 3.5 – Залежність потужності станції від радіусу турбіни

№	r, м	n1, об/хв	U, м/с	N, кВт	№	r, м	n1, об/хв	U, м/с	N, кВт
1	0,20	67	1,40	2,92	31	0,20	115	2,42	8,76
2	0,30	62	1,93	3,73	32	0,30	107	3,35	11,20
3	0,40	57	2,39	4,29	33	0,40	99	4,14	12,87
4	0,50	53	2,79	4,67	34	0,50	92	4,83	14,02
5	0,60	50	3,14	4,93	35	0,60	87	5,44	14,78
6	0,70	47	3,45	5,09	36	0,70	81	5,97	15,28
7	0,80	44	3,72	5,19	37	0,80	77	6,44	15,57
8	0,90	42	3,97	5,24	38	0,90	73	6,87	15,73
9	1,00	40	4,19	5,26	39	1,00	69	7,25	15,77
10	1,10	38	4,39	5,24	40	1,10	66	7,60	15,73
11	1,20	36	4,57	5,21	41	1,20	63	7,91	15,64
12	1,30	35	4,73	5,17	42	1,30	60	8,20	15,50
13	1,40	33	4,88	5,11	43	1,40	58	8,46	15,33
14	1,50	32	5,02	5,05	44	1,50	55	8,70	15,14
15	1,60	31	5,15	4,98	45	1,60	53	8,92	14,93
16	0,20	94	1,97	5,84	46	0,20	133	2,79	11,68
17	0,30	87	2,73	7,46	47	0,30	123	3,86	14,93
18	0,40	81	3,38	8,58	48	0,40	114	4,78	17,16
19	0,50	75	3,95	9,34	49	0,50	107	5,58	18,69
20	0,60	71	4,44	9,86	50	0,60	100	6,28	19,71
21	0,70	67	4,88	10,19	51	0,70	94	6,89	20,37
22	0,80	63	5,26	10,38	52	0,80	89	7,44	20,77
23	0,90	60	5,61	10,48	53	0,90	84	7,93	20,97
24	1,00	57	5,92	10,51	54	1,00	80	8,37	21,03
25	1,10	54	6,20	10,49	55	1,10	76	8,77	20,98
26	1,20	51	6,46	10,43	56	1,20	73	9,13	20,85
27	1,30	49	6,69	10,33	57	1,30	70	9,46	20,67
28	1,40	47	6,91	10,22	58	1,40	67	9,77	20,44
29	1,50	45	7,10	10,09	59	1,50	64	10,05	20,18
30	1,60	44	7,29	9,95	60	1,60	62	10,30	19,91

Строки 1-15: $Q=\text{const}=150$ л/с, $H=\text{const}=4$ м, $d_o=\text{const}=43$ мм,
 $V=\text{const}=8,37$ м/с.

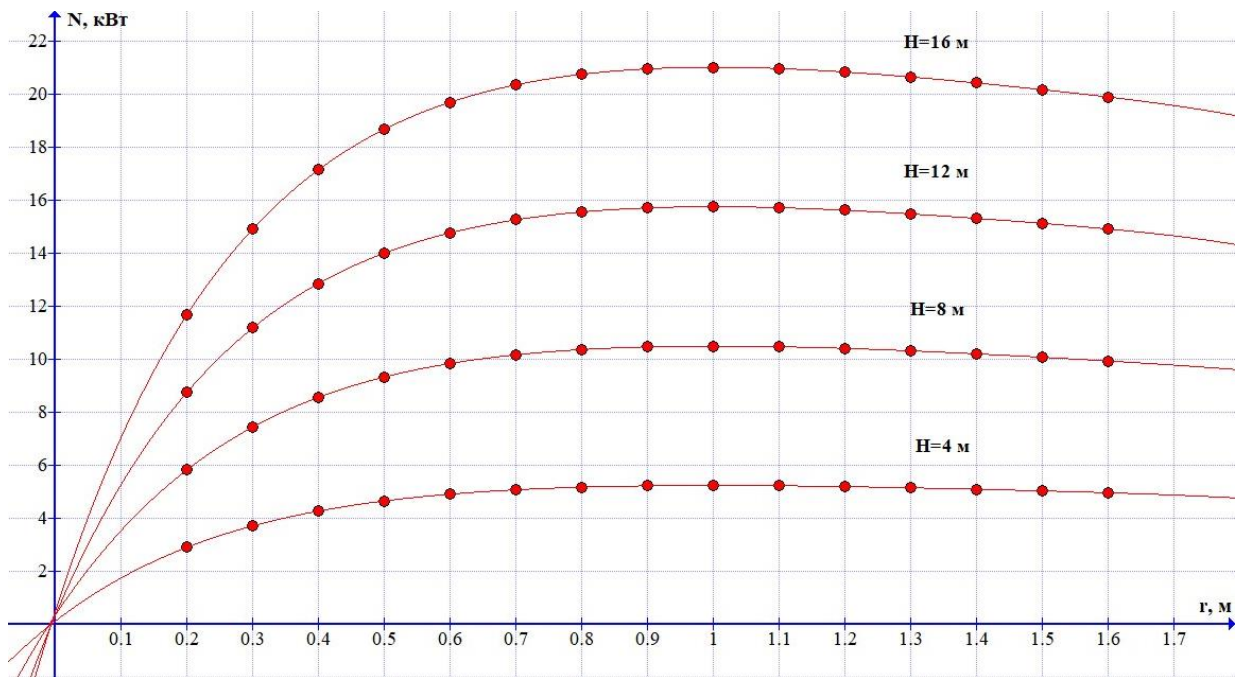
Строки 16-30: $Q=\text{const}=150$ л/с, $H=\text{const}=8$ м, $d_o=\text{const}=36$ мм, $V=\text{const}=11,84$ м/с.

Строки 31-45: $Q=\text{const}=150$ л/с, $H=\text{const}=12$ м, $d_o=\text{const}=33$ мм, $V=\text{const}=14,5$ м/с.

Строки 46-60: $Q=\text{const}=150$ л/с, $H=\text{const}=16$ м, $d_o=\text{const}=31$ мм, $V=\text{const}=16,74$ м/с.

Згідно отриманих розрахунків з таблиці 3.5, при однакових вхідних даних, найбільше значення потужності ГЕС виходить при радіусі турбіни в діапазоні від 0,8 до 1,2 м.

Залежність потужності станції від радіусу турбіни при постійній витраті



води та різних значеннях напору зображена на рисунку 3.8.

Рисунок 3.8 – Залежність потужності станції від радіусу турбіни, при постійній витраті води через неї та при постійному напорі

Математична залежність для графіку функції $H=4$ м при заданих значеннях описується поліномом 6 степеню і має вигляд:

$$N = -0,9618 \cdot r^6 + 6,5304 \cdot r^5 - 18,9634 \cdot r^4 + 31,1112 \cdot r^3 - 31,765 \cdot r^2 + 19,1676 \cdot r + 0,1366 \quad (3.1)$$

Математична залежність для графіку функції $H=8$ м при заданих значеннях описується поліномом 6 степеню і має вигляд:

$$N = -1,366 \cdot r^6 + 10,0761 \cdot r^5 - 31,6886 \cdot r^4 + 55,7793 \cdot r^3 - 60,1185 \cdot r^2 + 37,4786 \cdot r + 0,3513 \quad (3.2)$$

Математична залежність для графіку функції $H=12$ м при заданих значеннях описується поліномом 6 степеню і має вигляд:

$$N = -3,0544 \cdot r^6 + 20,7231 \cdot r^5 - 59,8212 \cdot r^4 + 97,0306 \cdot r^3 - 97,6481 \cdot r^2 + 58,2015 \cdot r + 0,3399 \quad (3.3)$$

Математична залежність для графіку функції $H=16$ м при заданих значеннях описується поліномом 6 степеню і має вигляд:

$$N = -3,7137 \cdot r^6 + 25,7662 \cdot r^5 - 75,9287 \cdot r^4 + 125,4031 \cdot r^3 - 128,0322 \cdot r^2 + 77,0295 \cdot r + 0,5074 \quad (3.4)$$

З таблиці 3.5 видно, що коли радіус турбіни коливається в межах від 0,8 до 1,2 м, то потужність електричної установки при однакових вхідних параметрах є максимальною. Запропонований радіус турбіни на водоспаді Пробій складає $r=0,245$ м, при збільшенні радіусу турбіни до знайдених максимальних значень (0,8-1,2 м) кількість виробленої електричної енергії збільшується на 51%, а габарити у 3 рази. У зв'язку з цим при будівництві пілотного зразка необхідно прораховувати найкращий для реалізації варіант, виходячи з наявних умов.

Виведено залежності та побудовано графіки за якими з'ясовано, що залежність потужності установки при постійному напорі, або постійній витраті води через сопла форсунок є лінійними функціями. Залежність потужності станції при змінній витраті води, постійному напорі та при зміні діаметру сопла форсунки є степеневою функцією. Показник степеню даної функції наближається до 2. Залежність потужності станції при постійному напорі та

постійній витраті води через неї при зміні радіусу турбіни має вигляд полінома. Найближче та найточніше дану функцію описує поліном 6-го степеню.

Слід враховувати, що отримані математичні залежності достовірні лише у заданому діапазоні значень та можуть змінюватись при зміні вхідних параметрів.

ВИСНОВКИ

В період активного будівництва ГЕС у Карпатському регіоні питання створення станції, яка б забезпечувала збільшення енергетичного потенціалу, при цьому з найменшою шкодою для навколишнього середовища, стоїть дуже гостро. Запропоновано проект в якому виконані попередні розрахунки та зареєстровано патент “Пристрій для виробництва електроенергії”(№и201708384 від 14.08.2017, МПК F03B13/08 (2006.01)) на корисну модель для створення безгребельної гідроелектростанції тобто без перегородження річкового потоку, з мінімальною шкодою для навколишнього середовища. При цьому, використовуючи практику масового будівництва ГЕС у Європі, в разі абсолютно точного дотримання норм будівництва ГЕС при реалізації запропонованої моделі шкоду для навколишнього середовища може бути зведено нанівець, так як серійна модель буде мати мобільну конструкцію у вигляді модуля.

Порівнюючи станцію-зразок (Гравітаційно-вирова станція Франца Цотлетерера) та запроповану корисну модель станції на річці Прут для водоспаду Пробій можна підсумувати:

- при зменшенні потужності запропонованого пристрою на 36% у порівнянні з Гравітаційно-вировою станцією, габарити конструкції зменшуються більш ніж у 5 разів;
- капіталовкладення у будівництво Гравітаційно-вирової станції складають за поточним курсом євро 1920000 грн, а капіталовкладення у будівництво однієї ГЕС, що містить у собі дві

установки для виробництва електроенергії складають 118800 грн. Тобто капіталовкладення зменшилися у 16 разів;

- під час будівництва безгребельної ГЕС відпадає необхідність будівництва вхідного каналу, що являє собою основну частину будівельних робіт з спорудження станції. Вода до станції потрапляє через 4 сталеві трубопроводи діаметром 108 мм кожен, замість каналу з розмірами 3м на 2м;
- для здешевлення вартості спорудження станції підбиралися типові елементи конструкції з сучасних матеріалів (труби, муфти, опори);
- конструкцією передбачається обслуговування станції в автоматичному режимі.

Принципово важливою функцією пілотного зразка станції є можливість дослідження роботи кожної з турбін окремо. Це забезпечується наявністю окремих живильних трубопроводів на кожному турбіну. Завдяки цьому ми маємо можливість коректного порівняння двох типів турбін.

В результаті отриманих даних з'ясовано, що найліпшими місцями для встановлення станції слугують водоспади. У них можна використовувати природний перепад висот на невеликій відстані без створення штучних водосховищ. При цьому доцільно шукати повноводні місця, а гірські ріки у даному випадку є найкращим варіантом. Вивчені гідрографи карпатських річок свідчать про те, що у весняно-літній період їх водність зростає в рази, що можна використовувати для отримання додаткової резервної потужності.

Розроблено принципові схеми вузлів енергетичної установки, підбрано матеріали для виготовлення робочих вузлів. Виконаний ескізний варіант технічної документації для реалізації проекту пілотного зразка.

Надалі для розвитку проекту можливе збільшення кількості установок для вироблення електричної енергії. Необхідно звести до мінімуму участь людей у процесі виробництва електроенергії. Це дозволить не тільки зменшити собівартість електричної енергії, а й застосовувати дані проекти для будівництва каскадів ГЕС не лише вздовж річки, а і по висоті водоспаду (якщо

його розміри дозволяють). При цьому вода з однієї станції може використовуватись на наступній, нижче за каскадом. Такий підхід дозволить створювати гідроелектростанції з модулів загальною потужністю яких може складати від 100 до 1000 кВт на одному водоспаді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малі ГЕС [Електронний ресурс] –Режим доступу: <http://epl.org.ua/malishes/> – Заголовок з екрану.
2. Зоряна Попович, Світлана Дорош//Чому селяни Закарпаття проти будівництва мали ГЕС? [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.bbc.com/ukrainian/features-40641403> – 31.07.2017 – Заголовок з екрану.
3. Гидроэнергетические станции – Н. Н. Аршеневский и др.; Под. ред. Карелина В. Я.-М.:“Энергоатомиздат”, 1987. – 464с.
4. Ріки в Українських Карпатах [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://podorozg.ostriv.in.ua/publication/code-BA17CFBA7BD6/list-18EE4023327> – 26.03.2006 – Заголовок з екрану.
5. Географічна енциклопедія України : у 3 т. / редколегія: О. М. Маринич (відпов. ред.) та ін. — К. : «Українська радянська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1989. – 638с.
6. Офіційний сайт Франца Цотлетерера/ [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/>
7. Пат. WO2011051421/Gravitation water vortex power plant/Франц Цотлетерер (Австрія); Заявлено 29.10.10; Опубл. 05.05.11. [Електронний ресурс] Режим доступу:<https://www.google.com.ua/patents/WO2011051421A2?cl=de&hl=ru&q=gravitation+water+vortex+power+plant>
8. Пат. WO2011051421/Гравітаційно-вирова станція/Франц Цотлетерер (Австрія); Заявлено 29.10.10; Опубл. 05.05.11. [Електронний ресурс] Режим

доступу:

<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011051421&recNum=1&maxRec=&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=&tab=PCT+Bibli>
[io](#)

9. В.В. Вакина, И. Д. Денисенко, А. Л. Столяров. //”Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов”. К., Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1987 р., 234 с.

10. Справочник по гидротехнике//Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии.-М.: 1955., - 648с.