

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Рекомендації щодо написання та оформлення розрахункової роботи.	5
2. Порядок захисту розрахункової роботи.....	7
3. Завдання для розрахункової роботи.....	7
4. Методика виконання роботи.....	10
4.1. Вибір кількості гідроагрегатів ГЕС.....	10
4.2. Вибір параметрів гідротурбін.....	12
5. Контрольні запитання.....	19
Список літератури.....	20
Додаток А Зразок титульної сторінки розрахункової роботи.....	21
Додаток Б Зразок сторінки завдання до розрахункової роботи.....	22
Додаток В Зони застосування найбільш поширених турбін.....	23
Додаток Г Зведений графік номенклатури і зон застосування крупних реактивних гідротурбін.....	24
Додаток Г Універсальні характеристики гідротурбін.....	25
Додаток Е Нормалізовані діаметри робочих коліс та параметри напрямних апаратів і статорів.....	40
Додаток Є Синхронна швидкість обертання гідроагрегатів.....	42

1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НАПИСАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Мета виконання розрахункової роботи – закріплення теоретичного матеріалу курсу «Гідроенергетика», вироблення у студентів уміння самостійно користуватись навчальною, спеціальною літературою, джерелами статистичної інформації для виконання типових розрахунків з вибором оптимального гідроенергетичного обладнання та устаткування при проектуванні ГЕС та ГАЕС, що являються об'єктами відновлюваної енергетики.

При виконанні РР необхідно дотримуватися наведених нижче правил. Роботи, виконані без дотримання цих правил, можуть бути повернені студентові для перероблення та доопрацювання.

Розрахункова робота оформлюється у вигляді розрахунково-пояснювальної записки, яка містить 15-25 сторінок формату А4.

Умовні графічні позначення елементів схем повинні відповідати ДСТУ. Літери позначення і найменування кожної величини повинні бути подані в одиницях СІ.

Структура та зміст роботи:

Типова структура розрахунково-пояснювальної записки така:

- титульний аркуш;
- аркуш завдання;
- зміст;
- вступ;
- основна частина;
- список літератури (перелік посилань);
- додатки (за необхідності).

Усі структурні елементи роботи розпочинаються з нової сторінки.

Титульний аркуш містить:

- найменування вищого навчального закладу,
- кафедри;
- назву дисципліни і назву роботи, номер залікової книжки;
- назву групи, прізвище, ім'я і по батькові студента;
- прізвище, ініціали викладача;
- місто та рік.

Приклад оформлення титульного аркуша наведено у додатку А.

Аркуш завдання

Стандартний бланк завдання (Додаток Б) заповнюється студентом самостійно згідно зі своїм варіантом. Варіант завдання на розрахункову роботу студент визначає за двома останніми цифрами номеру залікової книжки.

Вступ

Містить стислий опис ролі і місця застосування автономних перетворювачів у сучасній електронній техніці та промисловості, особливості побудови ДВЕЖ.

Основна частина

Основна частина містить рішення всіх завдань з усіма необхідними розрахунками, поясненнями, мотивуючи всі дії за ходом рішення, і роблячи всі необхідні рисунки, які обов'язково супроводжуються посиланнями на рисунки і використовувану літературу.

Порядок розрахунку за формулою:

- записати формулу у загальному вигляді, за якою обчислюють величини параметра;
- привести значення кожного умовного позначення;
- підставити у формулу числові значення і обчислити величини.

У кінці роботи необхідно зазначити список літератури (джерел), яка була використана.

2. ПОРЯДОК ЗАХИСТУ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Кафедра складає графік ходу виконання РР, де зазначаються контрольні терміни виконання основних розділів, подання роботи до захисту. Якщо при виконанні роботи у студента виникають ускладнення з вирішенням завдань, він може звернутися до викладача за консультацією.

Студент, що не подав розрахункову роботу, чи не захистив її у встановлений термін, вважається таким, що має академічну заборгованість.

У процесі захисту студент обґрунтовує рішення, що приймаються, відповідає на поставлені запитання.

За результатами захисту розрахункової роботи студент отримує диференційовану оцінку, яка виставляється на титульному аркуші і завіряється підписом викладача.

3. ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

Завдання 1. Вибрати тип та розрахувати параметри гідротурбіни використовуючи варіант з таблиці 1, що відповідає двом останнім цифрам номеру залікової книжки:

Таблиця 1

Номер варіанту	Розрахунковий напор, м	Максимальний напор, м	Мінімальний напор, м	Висота розташування ГЕС над рівнем моря, м	Встановлена потужність ГЕС, МВт	Коефіцієнт корисної дії генератора η_2 , %
1	2	3	4	5	6	7
1	22	26	15	41	160	0,95
2	38	45	30	30	200	0,96

3	28	34	22	50	520	0,95
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	-------------

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
4	47	57	40	61	430	0,96
5	24	30	18	33	120	0,95
6	35	40	30	28	80	0,96
7	42	48	36	60	250	0,95
8	53	61	44	50	400	0,96
9	20	25	15	35	100	0,95
10	33	43	26	88	180	0,96
11	44	55	37	120	240	0,95
12	51	60	42	72	380	0,96
13	43	48	37	59	700	0,95
14	38	43	33	48	320	0,96
15	27	37	17	38	70	0,95
16	62	79	48	180	430	0,96
17	82	100	63	130	700	0,95
18	41	47	36	48	150	0,96
19	105	140	78	280	100	0,95
20	94	108	86	480	60	0,96
21	73	90	60	180	190	0,95
22	62	78	50	134	260	0,96
23	84	94	74	74	170	0,95
24	35	41	29	49	50	0,96
25	47	59	36	89	280	0,95

Завдання 2. Визначити основні параметри гідротурбіни та вибрати тип гідрогенератора використовуючи варіант з таблиці 2, що відповідає двом останнім цифрам номеру залікової книжки.

Таблиця 1

Номер варіанту	Потужність турбіни, МВт	Швидкість обертання турбіни, об/хв	Коефіцієнт корисної дії генератора	Коефіцієнт потужності генератора	Частота струму, Гц
1	2	3	4	5	6
1	86	108,3	0,98	0,89	50
2	38	112,8	0,985	0,88	50
3	162	102,5	0,97	0,87	50
4	74	107,7	0,98	0,875	50
5	124	105,5	0,985	0,895	50
6	56	108,7	0,97	0,9	50
7	64	105,8	0,975	0,89	50
8	98	106,4	0,98	0,88	50
9	38	104,6	0,985	0,87	50
10	42	106,9	0,97	0,885	50
11	78	103,8	0,975	0,875	50
12	94	102,3	0,98	0,895	50
13	88	106,2	0,985	0,9	50
14	48	107,4	0,97	0,89	50
15	134	105,9	0,975	0,88	50
16	102	103,3	0,98	0,87	50
17	108	109	0,985	0,885	50

1	2	3	5	6	7
18	84	105,1	0,97	0,875	50
19	94	108,4	0,975	0,895	50
20	58	107,5	0,98	0,9	50
21	78	106,3	0,985	0,89	50
22	68	104,9	0,97	0,88	50
23	44	107,6	0,975	0,87	50
24	34	109,3	0,98	0,875	50
25	160	103,2	0,985	0,895	50

4. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Вибір кількості гідроагрегатів ГЕС

При виборі устаткування гідроелектростанції доводиться сумісно визначати: кількість гідроагрегатів, тип турбіни, параметри турбіни і генератора та висотне розташування робочого колеса реактивної турбіни. Кількість гідроагрегатів вибирають на основі техніко-економічних розрахунків з урахуванням умов роботи ГЕС в енергосистемі. Визначивши встановлену потужність ГЕС $N_{вст}$, задають два-три найбільш вірогідних варіанти кількості агрегатів і для кожного з них визначають потужність агрегата N_a , потужність турбіни N_m , параметри і габарити турбіни і генератора, габарити будівлі ГЕС, підраховують обсяги робіт, капіталовкладення і щорічні витрати гідроелектростанції, визначають кількість енергії, що вона виробляє і потужність.

При розрахунках діаметрів турбін і округленні їх до номенклатурних розмірів та з повним використанням пропускної спроможності турбіни за витратою води встановлена потужність ГЕС для варіантів може виявитись неоднаковою і відрізнятись від початкової величини. Це вважається цілком

допустимим, оскільки остаточно величина встановленої потужності ГЕС визначається в процесі вибору для неї турбін і генераторів.

Допустимо, що по одному з варіантів при розрахунковому напорі H і приведеній витраті Q на лінії 5% запасу потужності, потужність турбіни становила N_2 і потужність генератора $N_2 + \Delta N_2$. В цьому випадку при кількості агрегатів z встановлена потужність ГЕС буде на $\Delta N_{вст} = z \cdot \Delta N_2$ більше початкової величини потужності ГЕС $N_{вст}$, отриманої попередніми розрахунками. Збільшення встановленої потужності ГЕС на $\Delta N_{вст}$, $кВт$ дає додаткове вироблення енергії $E_{вст}$, $кВт \cdot год/рік$, яку можна використовувати в системі вже в перший рік роботи агрегатів ГЕС. Тому додаткова економія на паливі теплових електростанцій враховується в повному розмірі без коефіцієнта зниження. Порівнявши між собою варіанти з урахуванням додаткової економії на потужності і паливі теплових електростанцій, можна визначити найвигіднішу кількість агрегатів по мінімуму розрахункових витрат.

Вартість турбін, генераторів і будівлі ГЕС звичайно зростає зі збільшенням кількості гідроагрегатів. ККД турбіни і генератора зростають зі збільшенням їх потужності. Ці чинники також зумовлюють доцільність зменшення кількості агрегатів і їх укрупнення. Але, з іншого боку, збільшення кількості агрегатів істотно покращує контур робочої характеристики гідроелектростанції. Важливим є також урахування періодичності капітальних ремонтів гідроагрегатів (5÷7 років).

Поворотно-лопатеві турбіни характеризуються пологою робочою характеристикою. Тому для гідроелектростанції, обладнаної ПЛ турбінами, достатньо полого крива загальної характеристики всієї станції в цілому досягається вже при порівняно малому числі агрегатів, за рахунок ефективної роботи турбін з неповним навантаженням. Навпаки, у швидкохідних радіально-осьових турбін і, особливо, у пропелерних - відбувається різке падіння ККД при відхиленні потужності від оптимальної. Отже для того, щоб

досягти стійких значень, ККД станції, необхідно встановлювати підвищену кількість агрегатів цього типу.

Мінімальною кількістю агрегатів звичайно вважається два агрегати, але вони можуть дати високий ККД станції лише у разі застосування турбін з дуже пологою робочою характеристикою (поворотно-лопатеві - осьові та діагональні). При малій кількості гідроагрегатів такі турбіни раціональні і з точки зору забезпечення санітарних пропусків, коли турбіна працює з неповною потужністю. Установку тільки з одного агрегата можна допустити лише для станції відносно невеликої потужності, яка працює в крупній енергетичній системі, коли зупинка ГЕС не може істотно вплинути на роботу системи і не спричинить значної втрати у виробленні енергії.

4.2 Вибір параметрів гідротурбін

Турбіни для великих гідроелектростанцій добирають у 2 етапи. Спочатку виконують первинний (орієнтовний) добір типу і кількості турбін, потім техніко-економічним порівнянням ряду варіантів визначають оптимальний.

Під час первинного добору насамперед з'ясовують розрахункове оптимальне значення одиничної потужності турбіни за формулою:

$$N = \frac{N_{ГЕС}}{n_0 \cdot \eta_{ГЕН}} \quad (1)$$

де n_0 – кількість турбін, що встановлюються на ГЕС, для малих гідроелектростанцій беруть не менше 2-х турбін, а для великих – кількість турбін вибирають, порівнюючи кілька варіантів;

$\eta_{ГЕН}$ – ККД гідрогенератора (під час первинного добору вибирають за довідковими даними);

$N_{ГЕС}$ – розрахункова встановлена потужність ГЕС, кВт, визначена відповідно за формулою:

$$N_{\text{вст}} = 9,81 \cdot Q_{\text{вст}} \cdot H \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{а}} \quad (2)$$

де $Q_{ГЕС}$ – витрата води ГЕС, м³/с;

H – напор, м;

η_G – ККД генератора;

η_T – ККД турбіни.

Первинний добір турбін можна зробити двома способами: за графіками областей застосування гідротурбін і за приведеними параметрами з використанням універсальних характеристик.

Вибирають тип турбіни за графіком областей застосування (Додаток В), далі на зведеному графіку (Додаток Г) знаходять точку, що відповідає розрахунковим значенням H і N . Положення цієї точки вказує на доцільний тип турбіни. Якщо точка падає в межі двох полів, що взаємно перетинаються, то можна застосувати обидва типи, але при значних коливаннях напору перевагу віддають поворотно-лопатовим. Остаточну придатність вибраного типу турбіни визначають за мінімальним і максимальним робочими напорами.

Для обраного типу турбіни з універсальної характеристики, за умов максимального ККД або підвищеної швидкохідності, виписують оптимальне значення зведених параметрів:

Q'_1 – приведена витрата через турбіну, м³/с;

n'_1 – приведена швидкість обертання, об./хв;

σ – коефіцієнт кавітації;

η'_1 – коефіцієнт корисної дії моделі, вибір рівня якого визначає на універсальній характеристиці зону вибору всіх попередніх параметрів. Рівень коефіцієнта корисної дії залежить від призначення ГЕС, а саме: для ГЕС тижневого регулювання ККД повинен бути максимальним, а для ГЕС добового регулювання доцільніше приймати більш високі інші параметри з деякою втратою ККД.

Крім універсальних характеристик (Додаток Г), як джерела для вибору приведених параметрів, можна використати таблиці оптимальних параметрів

турбін (Додаток Д), з яких необхідно також вибирати приведену розгінну швидкість обертання n'_{PI} .

Номинальний діаметр робочого колеса турбіни визначають за формулою:

$$D_1 = \sqrt{\frac{N}{9,81 \cdot Q_1' \cdot \eta_1' \cdot H \cdot \sqrt{H}}} \quad (3)$$

Отримане значення діаметру округлюють до одного зі стандартизованих. Як правило, вибирають найближчий більший. Лише тоді, коли менший діаметр значно ближчий до визначеного, приймають менше значення. Стандартний ряд діаметрів, що входять до номенклатури, можна взяти з Додатку Е.

Для прийнятого діаметра робочого колеса за формулою подібності визначається витрата води через турбіну:

$$Q = Q_1' \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{H} \quad (4)$$

Перерахунок коефіцієнта корисної дії натурної турбіни на практиці здійснюється за емпіричною формулою через приведений коефіцієнт корисної дії подібної модельної турбіни:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1') \sqrt[5]{\frac{D_{1M}}{D_1}} \cdot \sqrt[20]{\frac{H_M}{H}} \quad (5)$$

для турбін, які працюють при напорі 150 м і вище, а при напорі до 150 м корінь двадцятого ступеня не враховується, і формула має такий вигляд:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1') \sqrt[5]{\frac{D_{1M}}{D_1}} \quad (6)$$

У виразах (5-6) використовуються параметри моделей:

η_1' – приведений коефіцієнт корисної дії (за універсальною характеристикою або з таблиці);

$D_{1M} = 0,46 \text{ м}$ – діаметр робочого колеса моделі турбіни (за даними Харківського заводу «Турбоатом»);

$H_M = 4 \text{ м}$ – напор лабораторної модельної установки (за даними Харківського заводу «Турбоатом»).

За прийнятим діаметром, розрахованими витратою і коефіцієнтом корисної дії остаточно уточнюють потужність турбіни, користуючись основною формулою потужності:

$$N_{\text{ААН}} = 9,81 \cdot Q_{\text{ААН}} \cdot H \cdot \eta \quad (7)$$

За уточненою потужністю турбіни, користуючись формулою (1), визначають остаточно встановлену потужність ГЕС:

$$N_{\text{ААН}} = N \cdot n_0 \cdot \eta_a \quad (8)$$

Номінальну (реально можливу) швидкість обертання за законами гідродинаміки визначає напор, а за законами механіки - діаметр робочого колеса. Тому для визначення її користуються формулою:

$$n = n_1 \cdot \frac{\sqrt{H}}{D_1} \quad (9)$$

Надалі, відповідно до параметрів гідрогенератора, ця швидкість уточнюється як синхронна.

Розгінна швидкість обертання турбіни визначається аналогічно попередньому підpunkту, але із урахуванням умов виникнення - за формулою:

$$n_p = n_{p1} \cdot \frac{\sqrt{H_{\text{max}}}}{D_1}, \quad (10)$$

де n'_{p1} – приведена розгінна частота обертання з таблиць Додатку Д, об./хв.;

H_{max} – максимально можливий напор на турбіні, м.

Визначення допустимої висоти відсмоктування H_s , за якої кавітація не повинна виникати, виконують у залежності від атмосферного тиску на рівні робочого колеса і кавітаційних властивостей турбіни із формули:

$$H_s = 10,33 - \frac{\nabla}{900} - k \cdot \sigma \cdot H, \quad (11)$$

де H – розрахунковий напор гідроелектростанції, м;

σ – коефіцієнт кавітації, що визначає початок виникнення кавітації, приймається з універсальної характеристики турбіни або з таблиць Додатку Д;

∇ – абсолютна позначка висотного розташування робочого колеса відносно рівня моря;

$k = 1,05 \div 2,5$ – коефіцієнт запасу кавітації.

Розрахунок коефіцієнта швидкохідності n_s конкретної натурної турбіни звичайно виконують за формулою:

$$n_s = 3,65 \cdot n_1' \cdot \sqrt{Q_1' \cdot \eta}, \quad (12)$$

де η – коефіцієнт корисної дії натурної турбіни, визначений за виразами (5–6).

Користуючись вказаними таблицями для вибору приведених параметрів, слід ураховувати й те, що хоч таблиці і побудовані на оптимальних співвідношеннях приведених параметрів, але вони позбавляють можливості користуватися другими раціональними варіантами цих співвідношень в залежності від призначення електростанції, умов її будівництва і роботи та інших економічних міркувань при проектуванні конкретної турбіни.

Зібрані у таблицях Додатку Д приведені параметри гідротурбін можуть дещо не співпадати з аналогічними параметрами на відповідних універсальних характеристиках турбін. Це пояснюється тим, що таблиці і універсальні характеристики склалися на різних етапах турбобудування і на результатах різних рівнів модельних випробувань.

Параметри гідрогенераторів у переважній більшості нерозривно залежать від напору, при якому працює турбіна. Це пояснюється тим, що швидкість обертання турбіни за законами гідродинаміки визначається за формулою (9) в залежності від напору, а параметри гідрогенератора (особливо габарити і вага) в основному пов'язані зі швидкістю обертання.

Основні параметри генератора такі:

– потужність активна:

$$N_{\bar{a}} = N \cdot \eta_{\bar{a}}, \quad (13)$$

де N – потужність турбіни, кВт;

– η_z – коефіцієнт корисної дії генератора (для сучасних середніх і потужних генераторів знаходиться в межах $(0,96 \div 0,98)$, а для надпотужних – досягає рівня $0,985$;

– повна потужність генератора визначається з формули:

$$S_{\bar{a}} = \frac{N_{\bar{a}}}{\cos \varphi}, \quad (14)$$

де $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності електричної машини, вибирається з паспортних даних генератора; для сучасних середніх і потужних генераторів знаходиться у межах $(0,85 \div 0,88)$, а для надпотужних – досягає рівня $0,9$;

– число пар полюсів:

$$p = \frac{f \cdot 60}{n}, \quad (15)$$

де p – число пар полюсів (повинне бути парним) округлюють до нормального згідно з таблицею в додатку Є;

n – швидкість обертання турбіни;

$f = 50$ Гц, частота струму.

– синхронна частота обертання визначається за прийнятим числом пар полюсів:

$$n_c = \frac{f \cdot 60}{p}; \quad (16)$$

– номінальна напруга V – для генераторів потужністю до 20 МВт використовується напруга 6,3 кВ, для потужності $(20 \div 40)$ МВт приймається 10,5 кВ, а при більшій потужності – 13,8 кВ та 15,4 кВ;

– діаметр ротора по полюсах визначається за емпіричною формулою, м:

$$D_{\dot{a}\dot{a}} = \frac{13,9 \cdot \sqrt[4]{S}}{\sqrt[3]{n_C}} \quad (17)$$

(округлюється відповідно до нормального конструктивного розміру);

- довжина активної сталі (висота магнітопровода, полюса) визначається з емпіричної формули, м:

$$l_{\dot{a}} = \frac{160 \cdot S}{D_{\dot{a}\dot{a}}^2 \cdot n_C} \quad (18)$$

Тип електрогенератора вибирається в залежності від синхронної швидкості:

при $n_C < 75$ об/хв. – генератор зонтичного типу;

при $n_C > 150$ об/хв. – генератор підвісного типу.

Для проміжних значень синхронної швидкості, коли при $n_C = 75 \div 150$ об/хв, тип генератора визначається в залежності від співвідношення довжини активної сталі до діаметра ротора:

при $\frac{l_{\dot{a}}}{D_{\dot{a}\dot{a}}} < 0,15$ – генератор зонтичного типу;

при $\frac{l_{\dot{a}}}{D_{\dot{a}\dot{a}}} > 0,15$ – генератор підвісного типу.

На основі прийнятої конструктивної схеми і визначених параметрів складається манкіровка гідрогенератора:

$$\text{CVD}_{\text{ар}} (\text{см}) / l_{\text{а}} (\text{см}) - 2\text{р}; \quad (19)$$

де перші дві літри:

СВ – синхронна вертикальна електрична машина;

СГ – синхронна горизонтальна електрична машина;

СГК – синхронна горизонтальна капсульна електрична машина.

Установочні розміри генератора для попереднього проектування машинного залу приблизно визначаються за емпіричними формулами:

- діаметр корпусу статора, м:

$$D_{\text{сò}} = 1,15 \cdot D_{\dot{a}\dot{a}} \quad (20)$$

– діаметр шахти генератора, м:

$$D_{c\grave{o}} = D_{\grave{a}\grave{a}} + 2.5 \quad (21)$$

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Встановлена потужність та кількість гідротурбін на ГЕС.
2. Потужність гідротурбіни, принципи визначення (прийняття) одиничної потужності турбіни.
3. Номенклатура існуючих турбін, принципи вибору типу.
4. Порівнювальна характеристика поворотно-лопатевої і радіально-осьової гідротурбін.
5. Порівнювальна характеристика радіально-осьової і поворотно-лопатевої діагональної гідротурбін.
6. Порівнювальна характеристика поворотно-лопатевої осьової і діагональної гідротурбін.
7. Основні параметри гідротурбіни, послідовність їх визначення.
8. Особливості вибору приведених параметрів гідротурбін з універсальних характеристик і з таблиць.
9. Вибір конструктивної схеми гідрогенератора, залежність її від швидкості обертання.
10. Основні параметри гідрогенератора, їх визначення.
11. Залежність параметрів гідрогенератора від напору, при якому працює турбіна.
12. Геометричні параметри гідрогенератора, спосіб попереднього визначення.
13. Значення виконаних розрахунків для подальшого проектування складових гідроенергетичного вузла.
14. Призначення холостого випуску та його конструкції;
15. Функції та принцип дії клапана зриву вакууму;

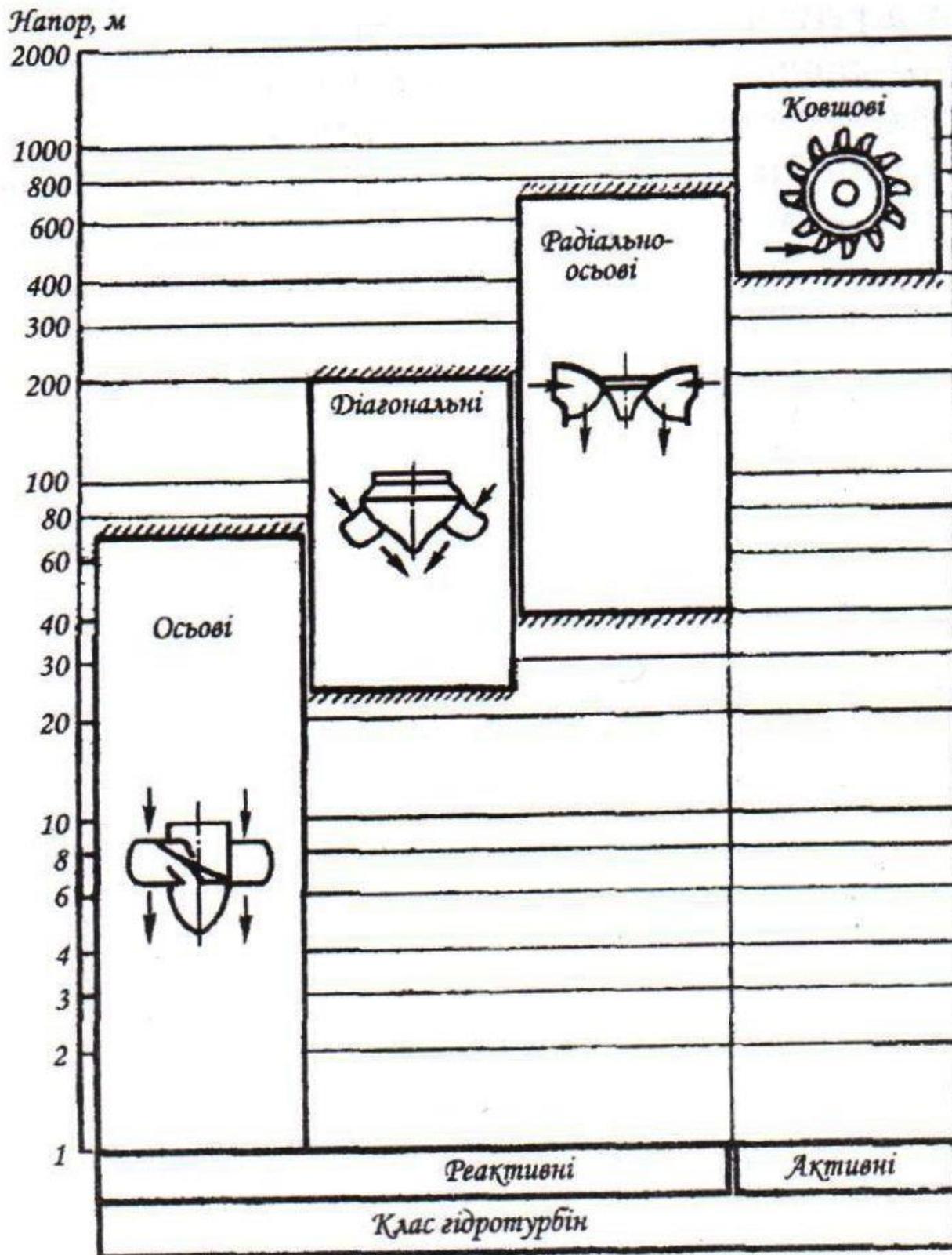
16. Необхідність впуску повітря в камеру робочого колеса турбіни при її зупинці;
17. Природа виникнення гідроударів при роботі гідромашин;
18. Шляхи витікання води на кришку турбіни та засоби її відкачування;
19. Призначення лекажного агрегата, його складові частини;
20. Затвори перед турбіною, їх призначення та типи, які застосовуються;
21. Порівнювальна характеристика дискового і кульового затворів;
22. Порівнювальна характеристика кульового та голчастого затворів;
23. Системи охолодження гідрогенераторів, джерела виділення тепла;
24. Безпосереднє охолодження водою обмоток і магнітопроводів генератора;
25. Охолодження гідрогенераторів повітрям із замкненою циркуляцією;
26. Вимоги до системи охолодження двигун-генератора.
27. Пуск оборотного гідроагрегата у режимі насоса, гідравлічні способи пуску.
28. Пуск оборотного гідроагрегата у режимі насоса, електричні способи пуску.
29. Необхідність та способи гальмування ротора гідроагрегата;
30. Особливі вимоги до гальмування ротора оборотного гідроагрегата.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Самойленко Є. Г. «Основи проектування гідроенергетичних вузлів» : підручник. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 388 с.
2. Справочник по гидротурбинам: справочник / Андреев В. Б., Бронковский Г. А., Веремеенко С. И. и др.; Под. общ. ред. Н. Н. Ковалева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984 г. – 496 с.

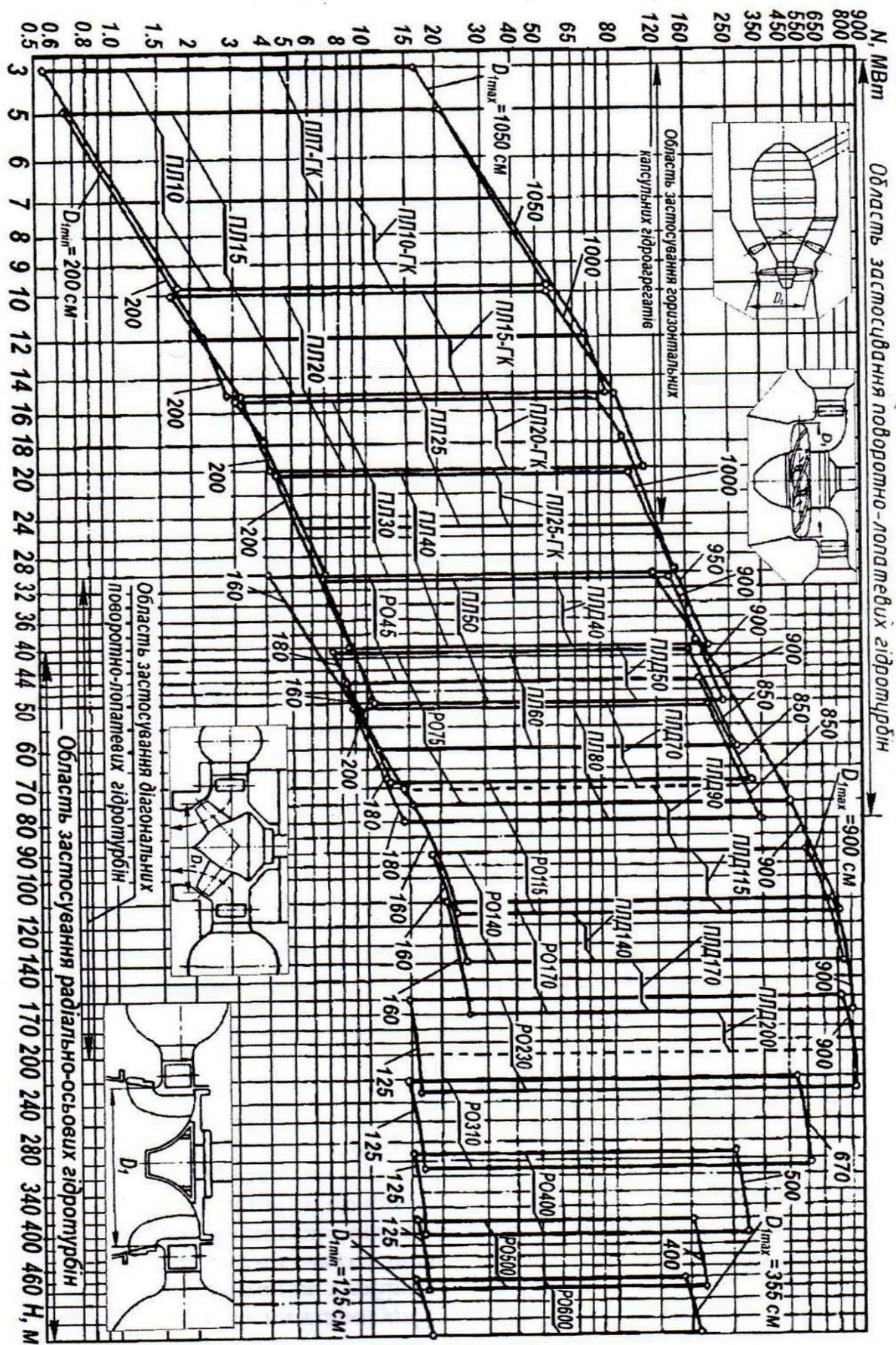
ДОДАТОК В

Зони застосування найбільш поширених турбін



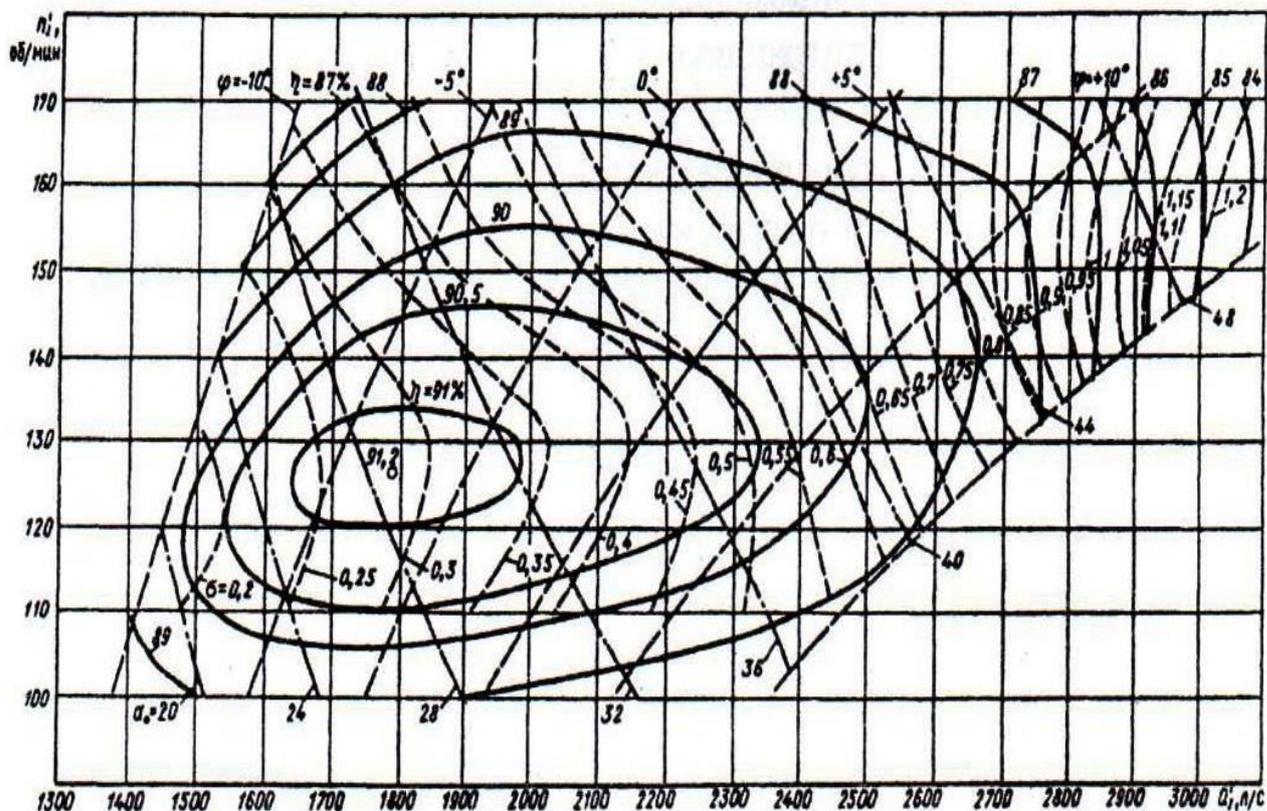
ДОДАТОК Г

Зведений графік номенклатури і зон застосування крупних реактивних гідротурбін

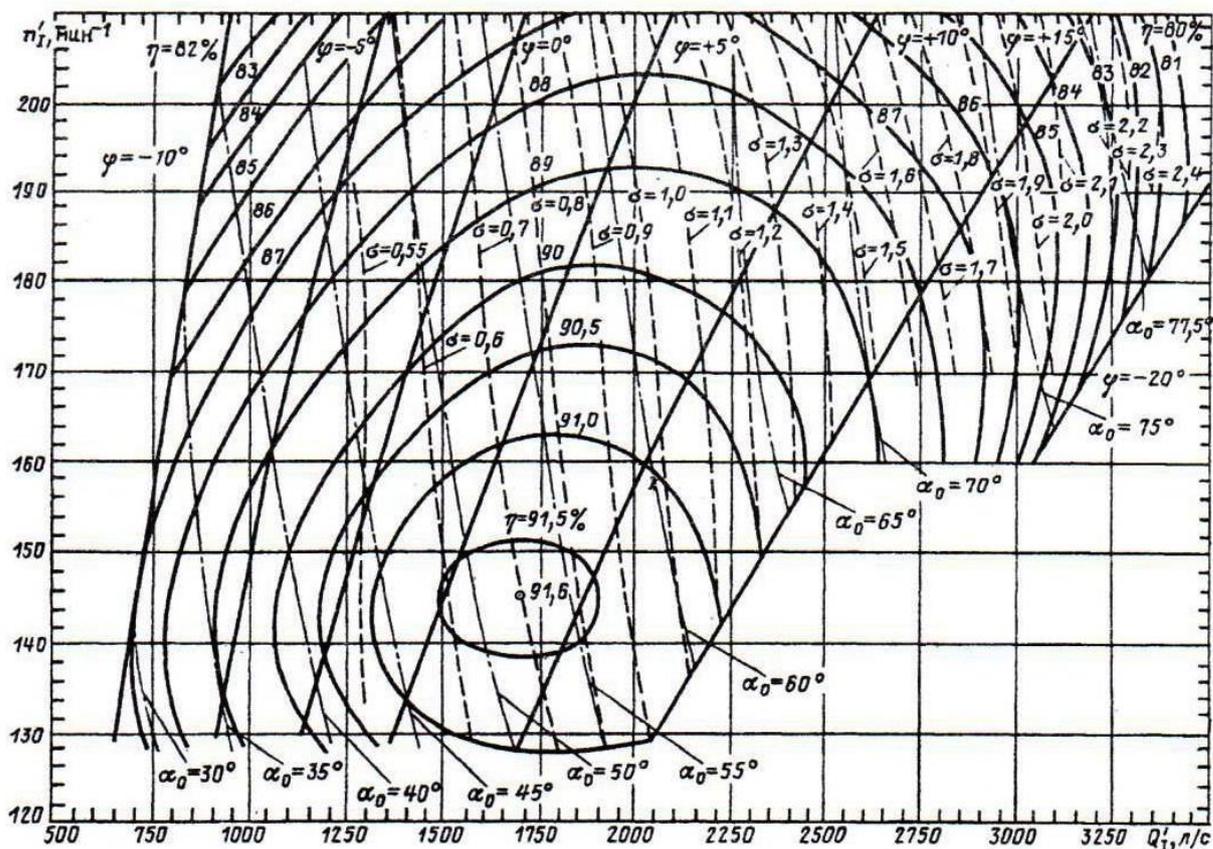


ДОДАТОК Г

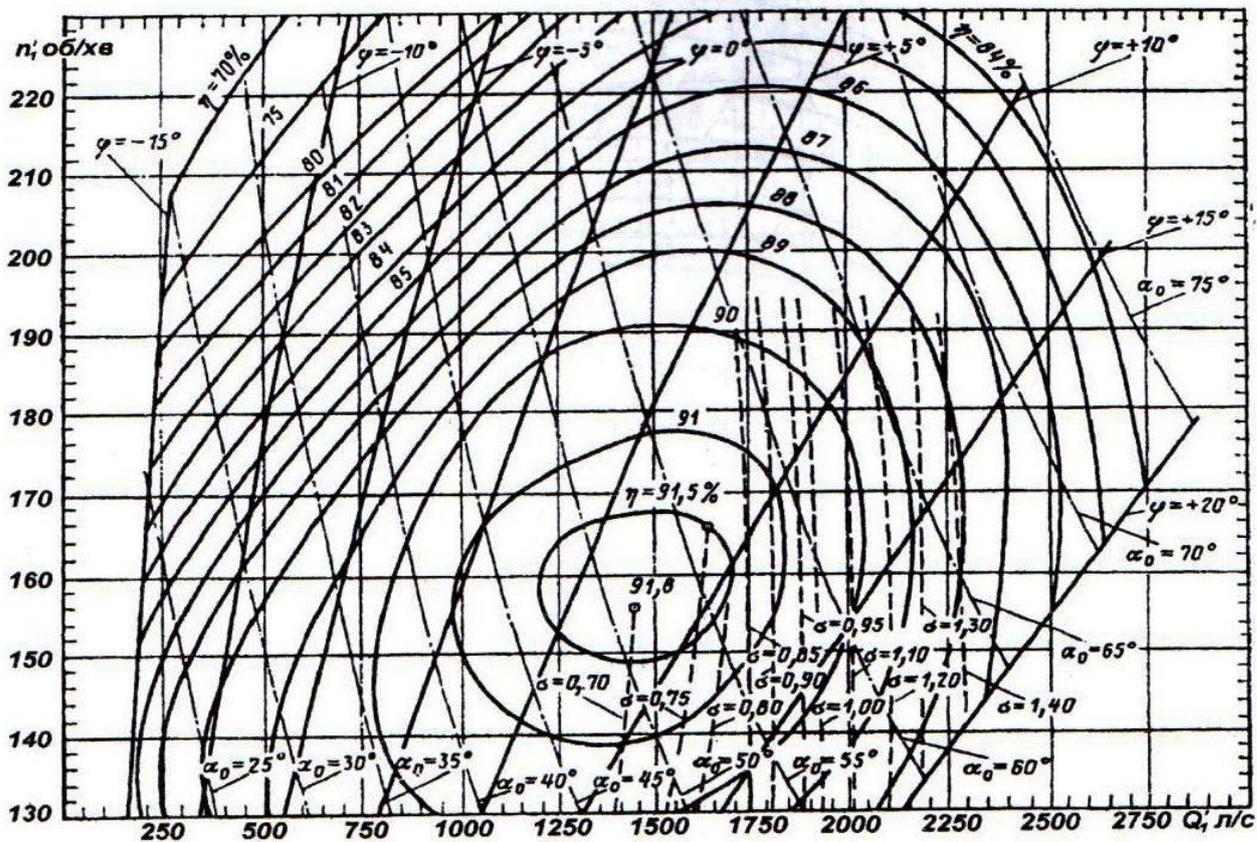
Універсальна характеристика турбіни ПЛ10



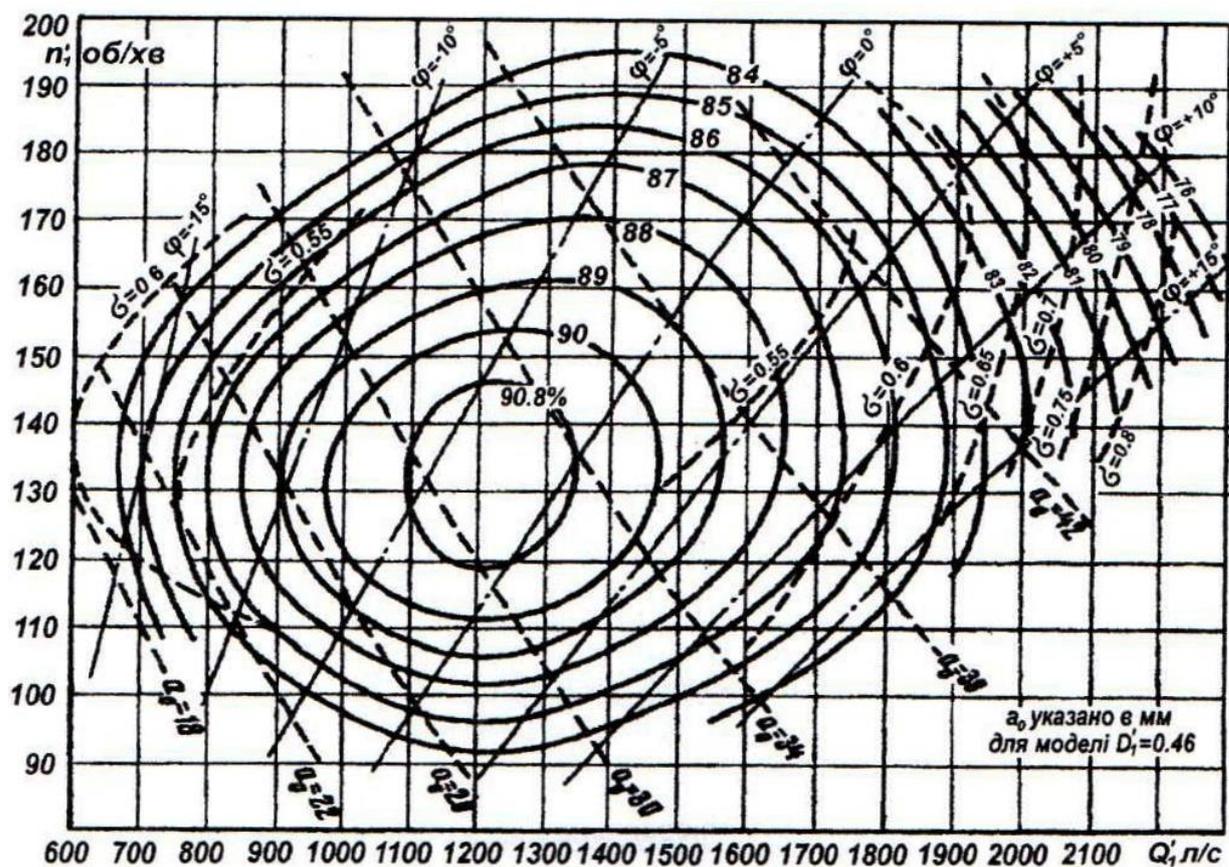
Універсальна характеристика турбіни ПЛ15



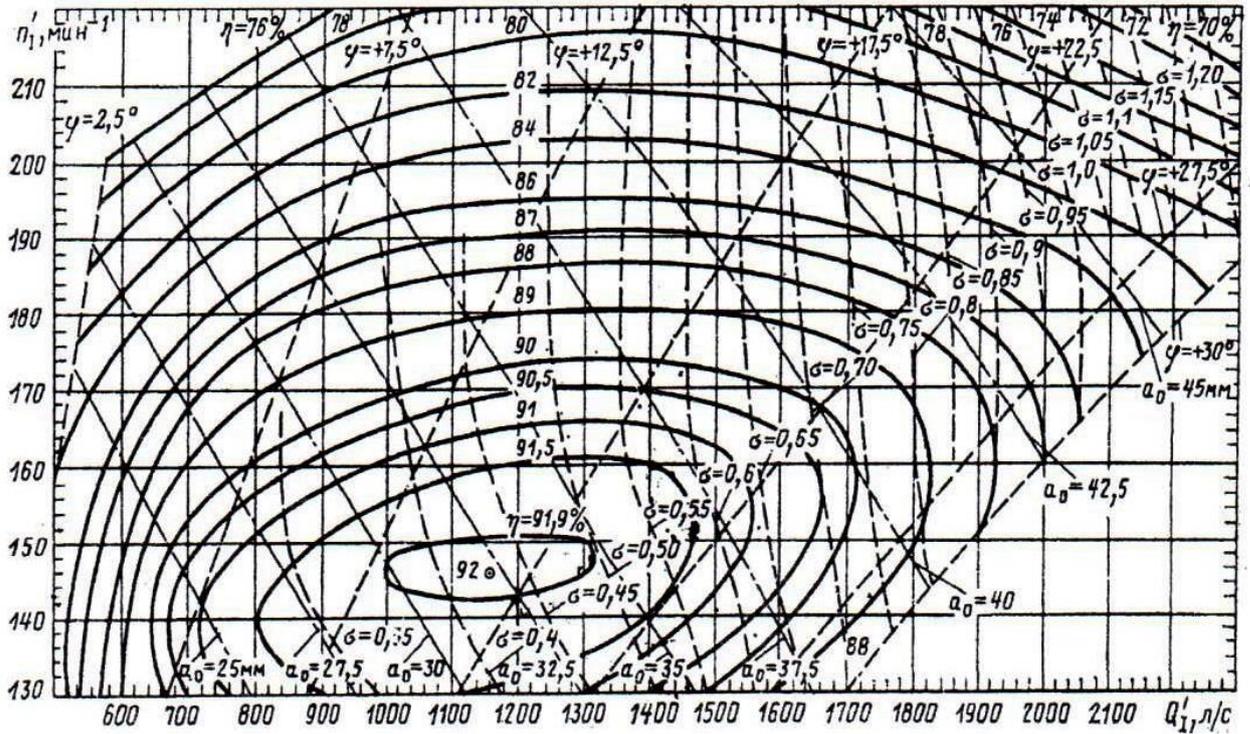
Універсальна характеристика турбіни ПЛ20



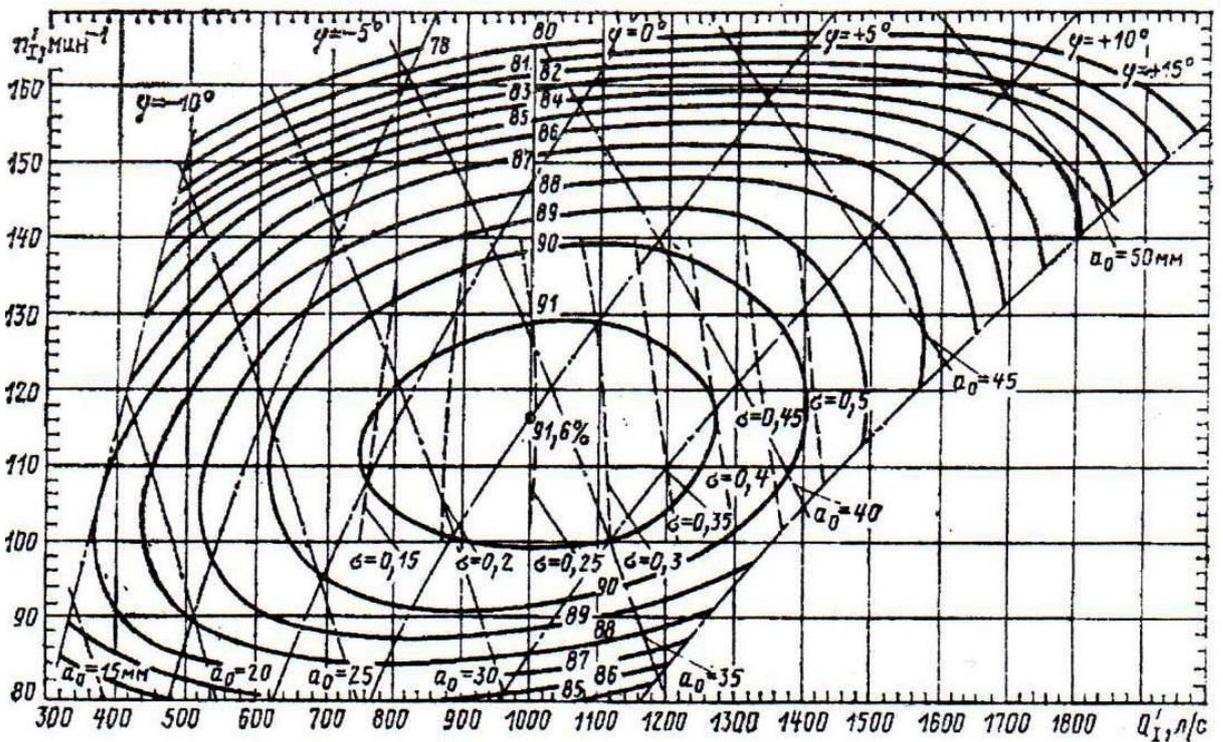
Універсальна характеристика турбіни ПЛ25



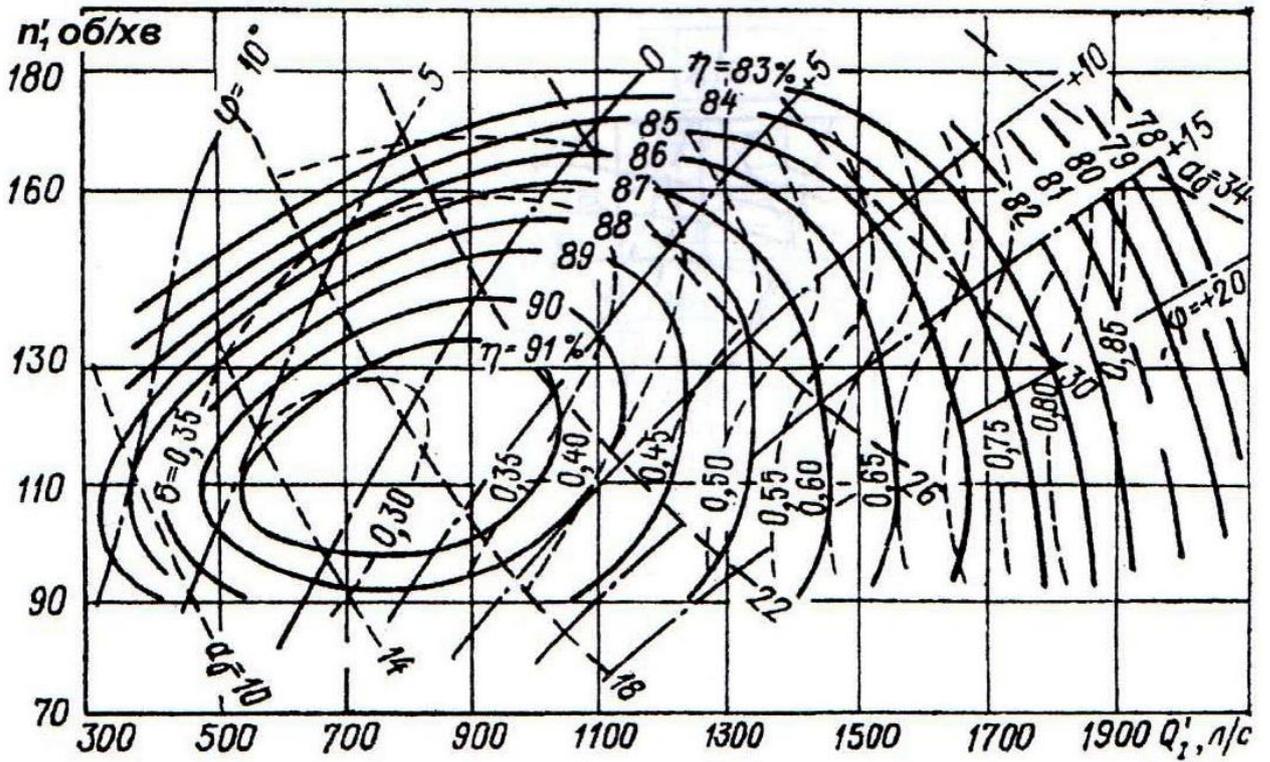
Універсальна характеристика турбіни ПЛ30



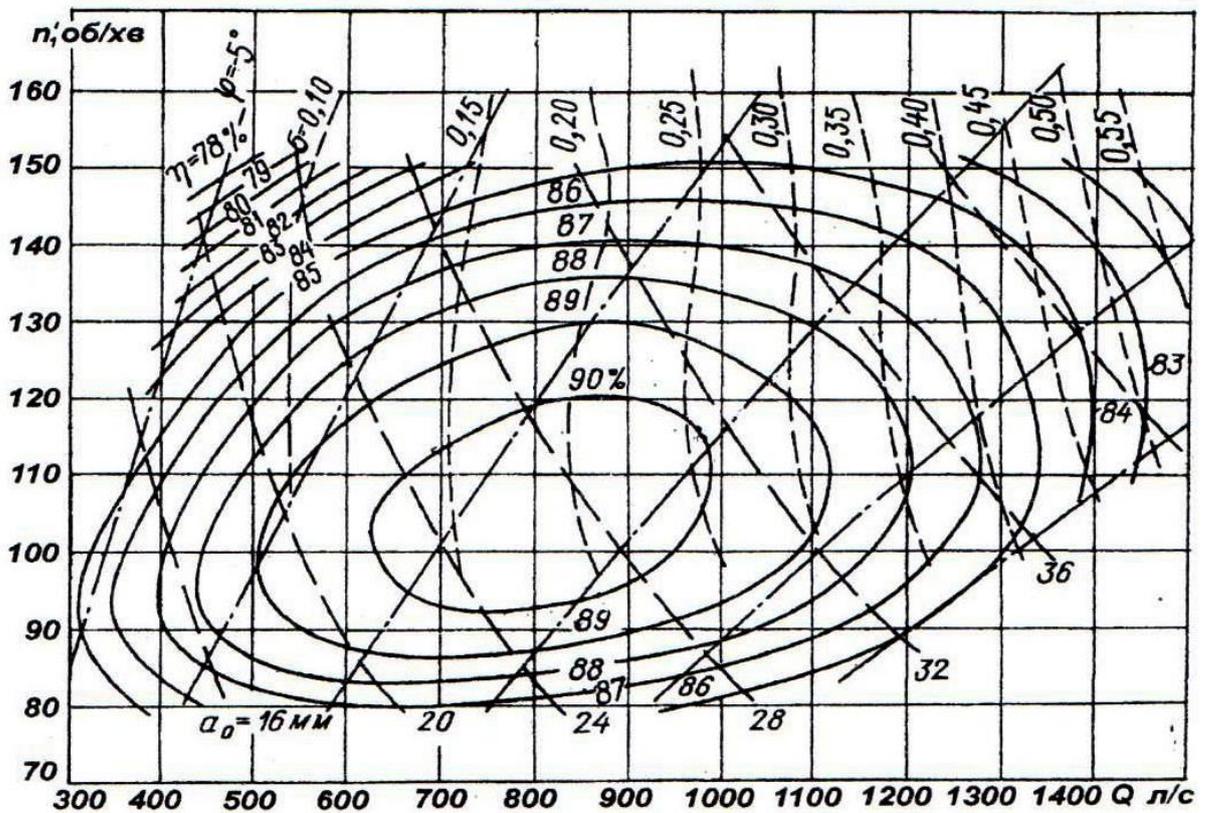
Універсальна характеристика турбіни ПЛ40



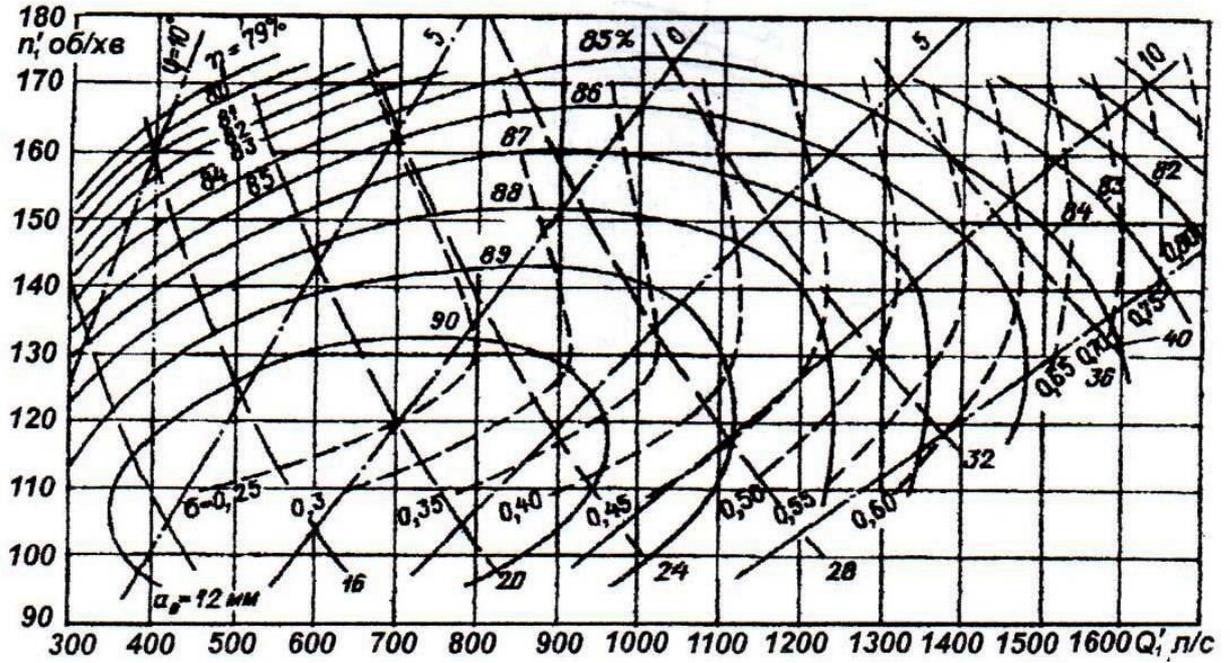
Універсальна характеристика турбіни ПЛ50



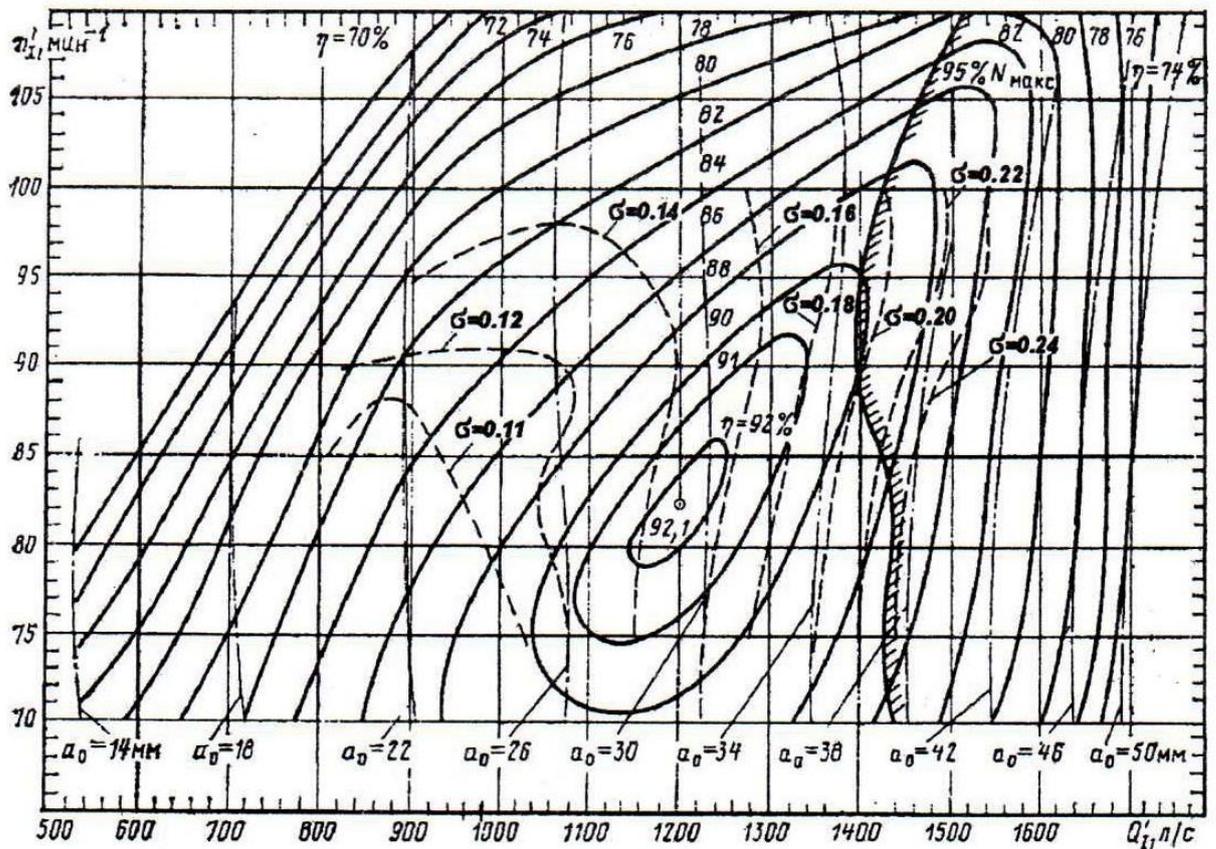
Універсальна характеристика турбіни ПЛ60



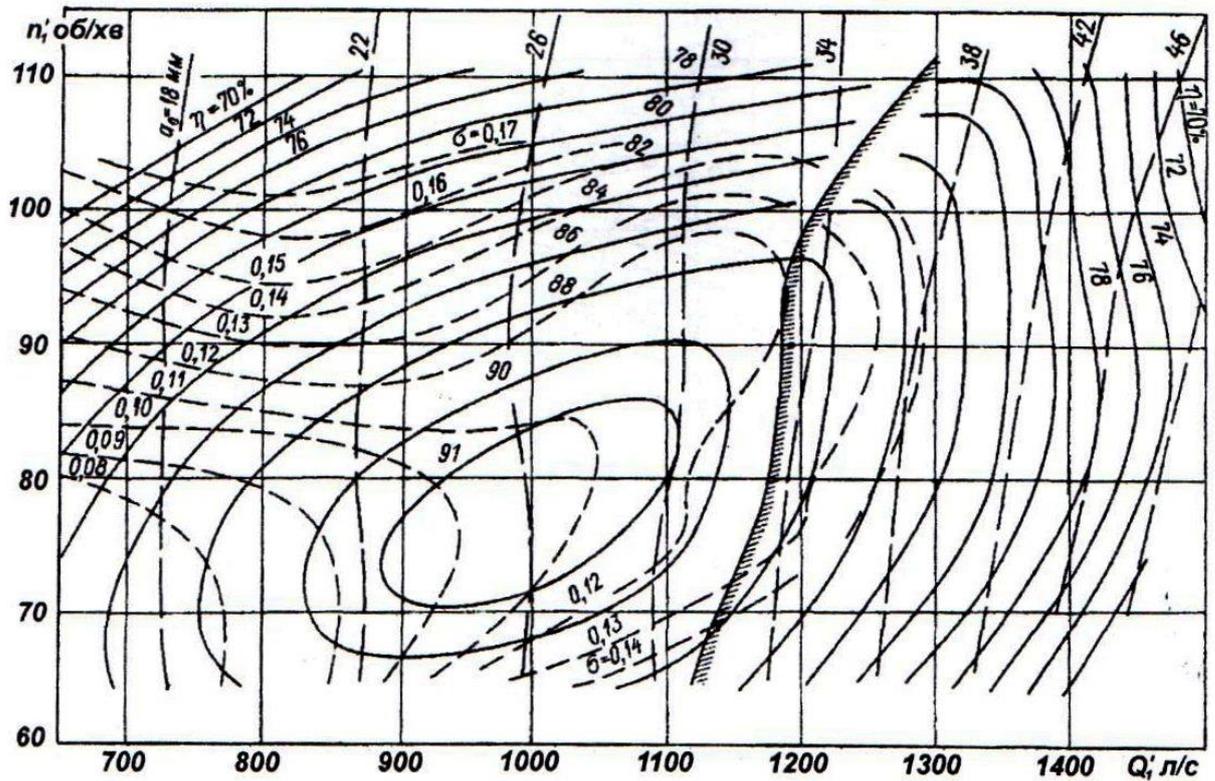
Універсальна характеристика турбіни ПЛ80



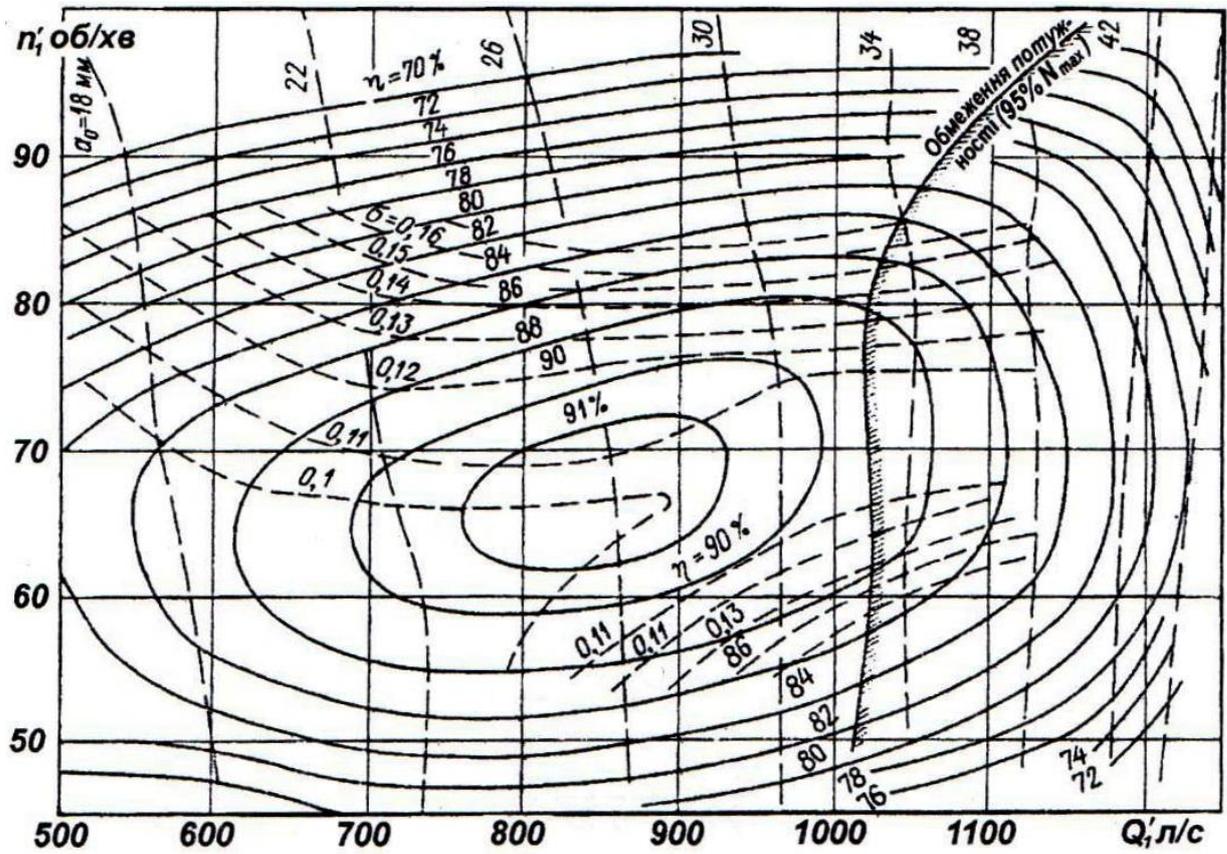
Універсальна характеристика турбіни РО45



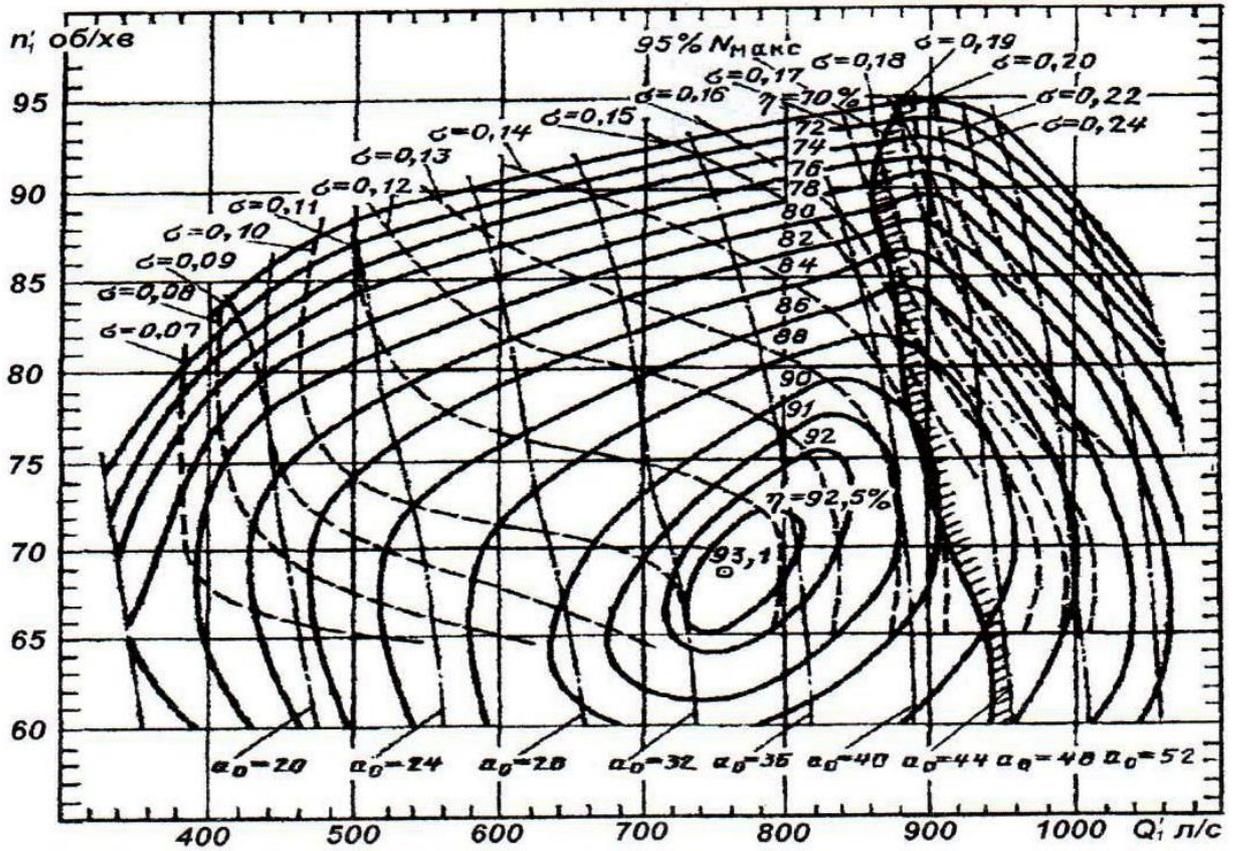
Універсальна характеристика турбіни PO75



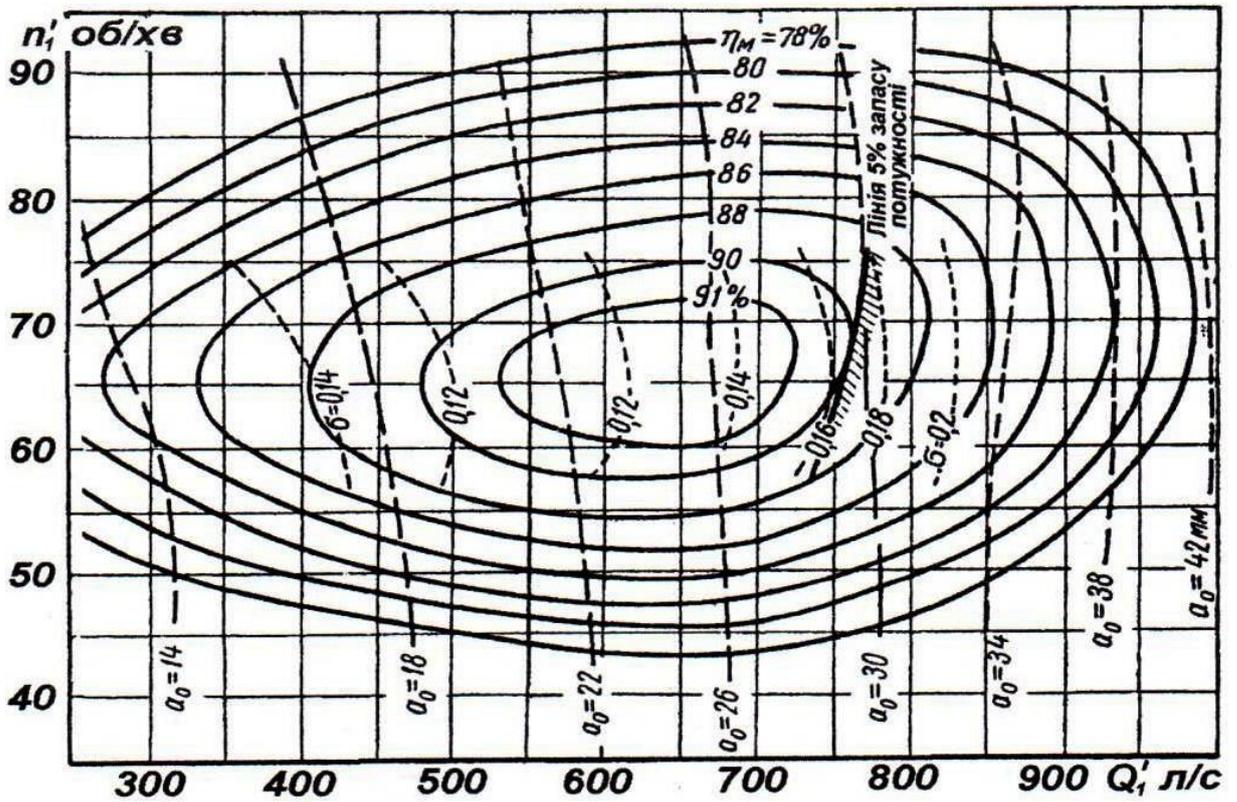
Універсальна характеристика турбіни PO115



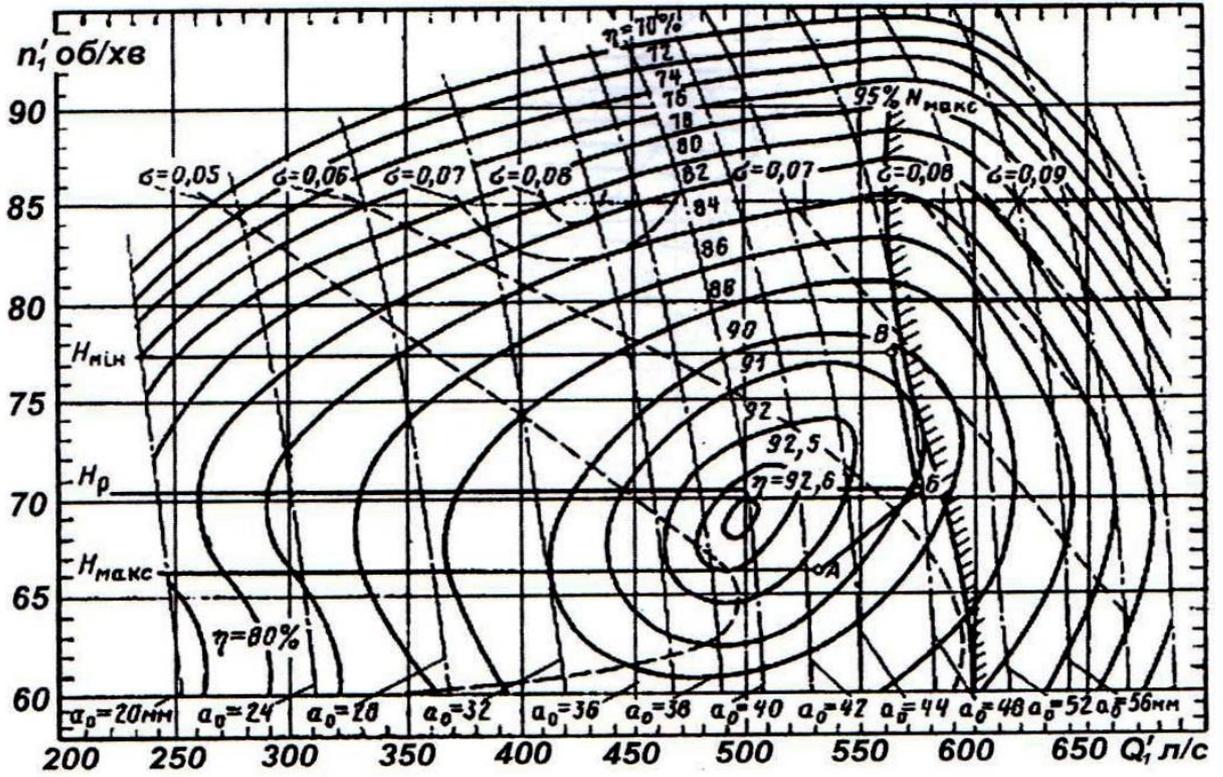
Універсальна характеристика турбіни РО140



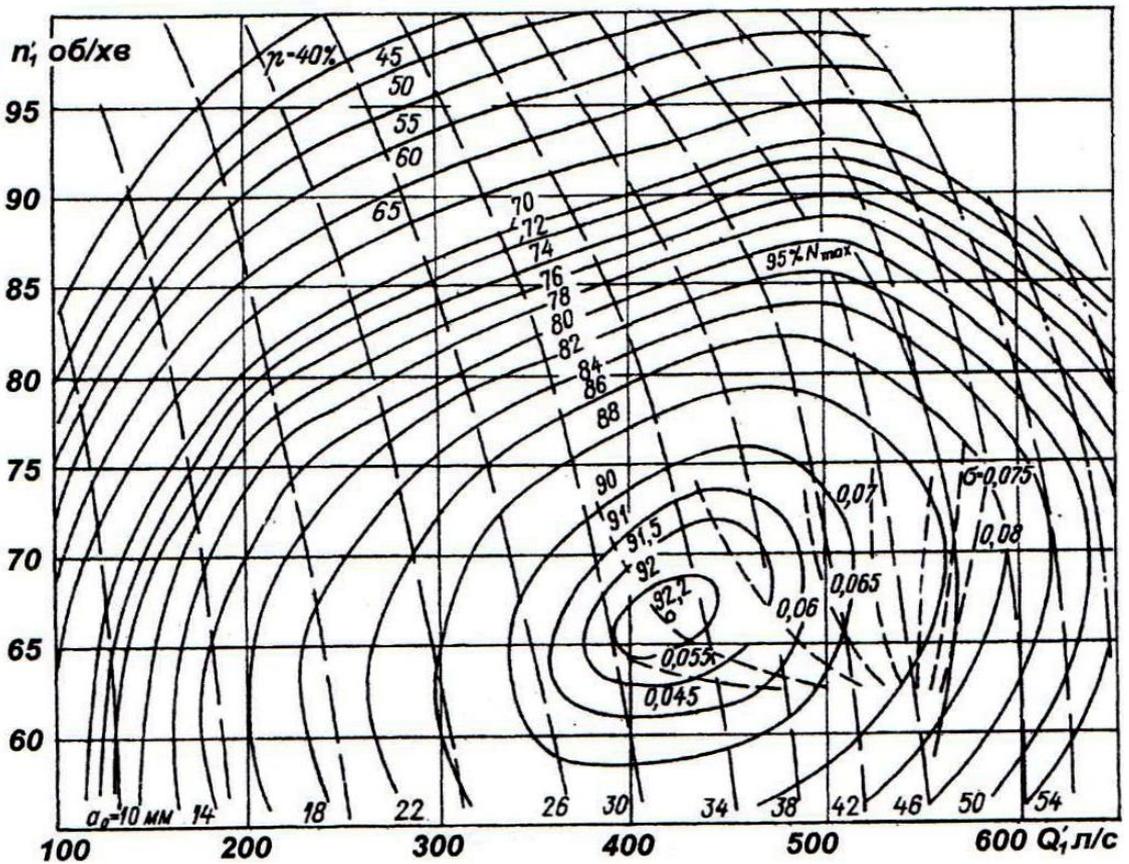
Універсальна характеристика турбіни РО170



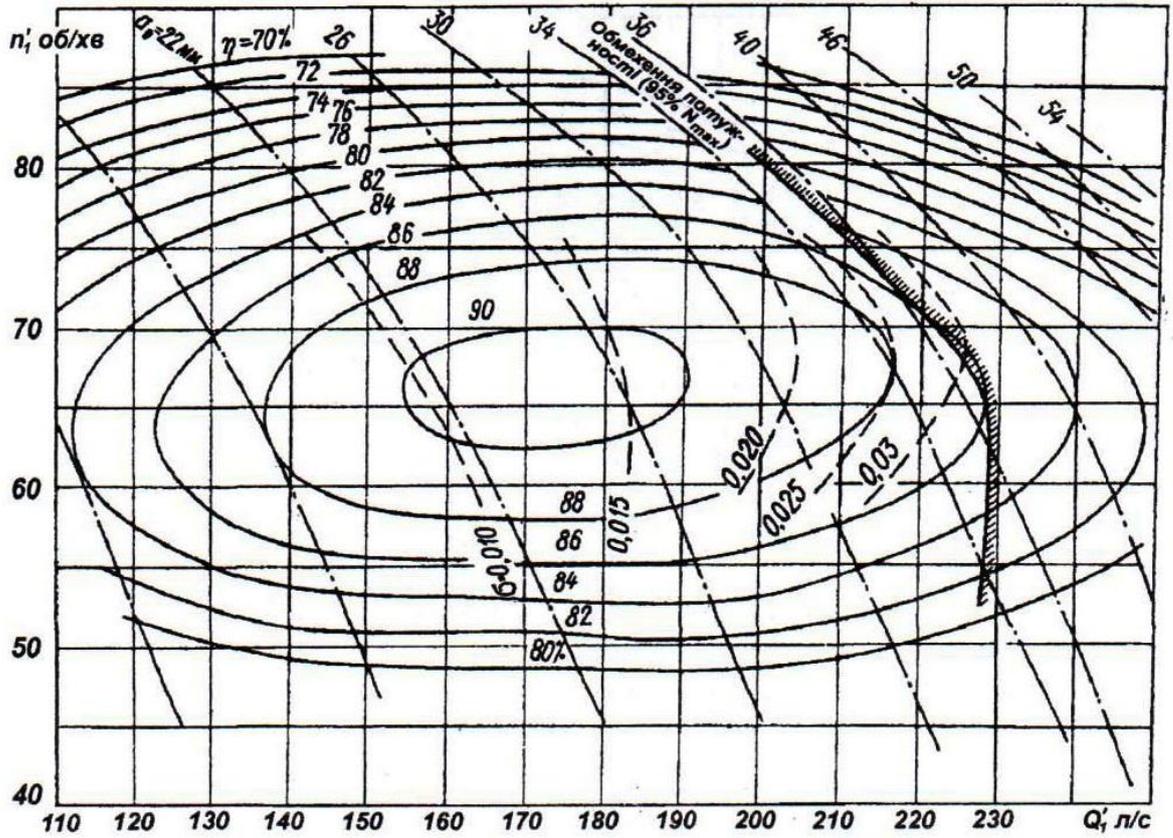
Універсальна характеристика турбіни РО230



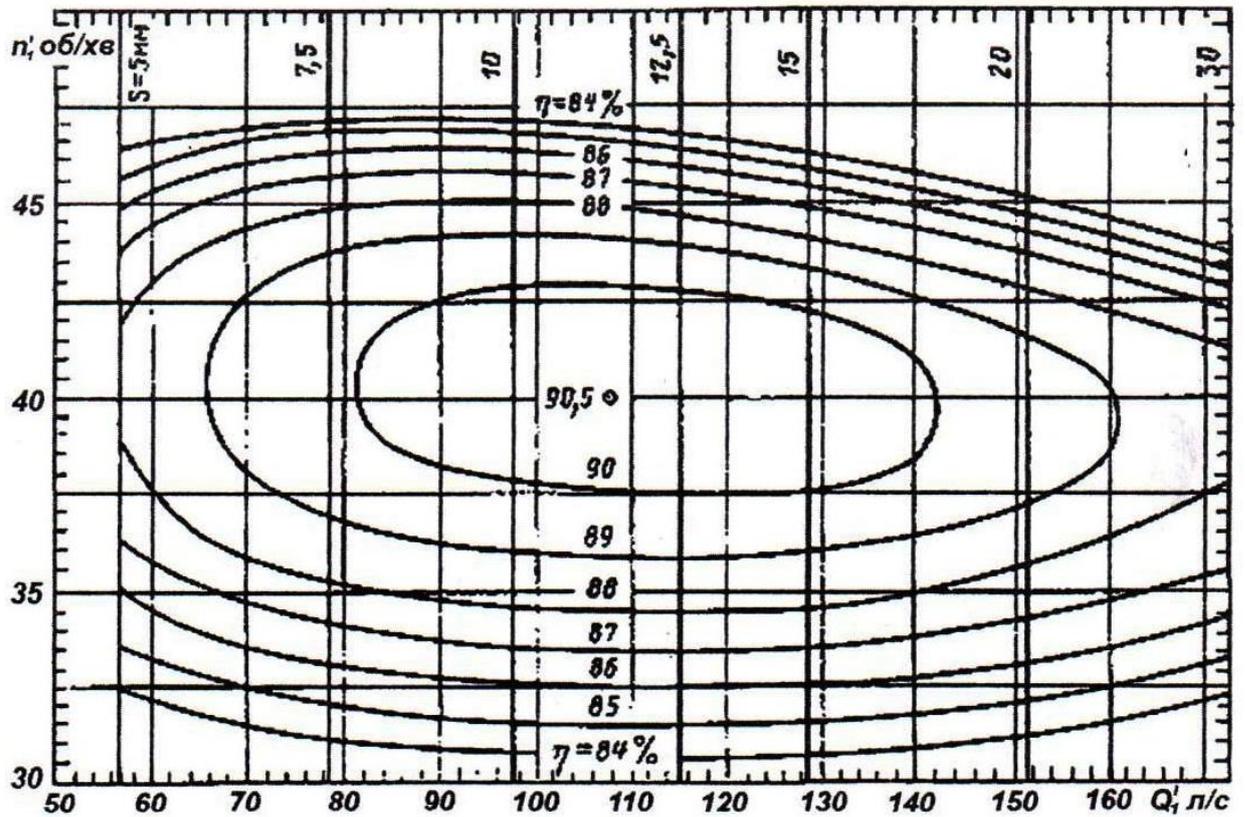
Універсальна характеристика турбіни РО310



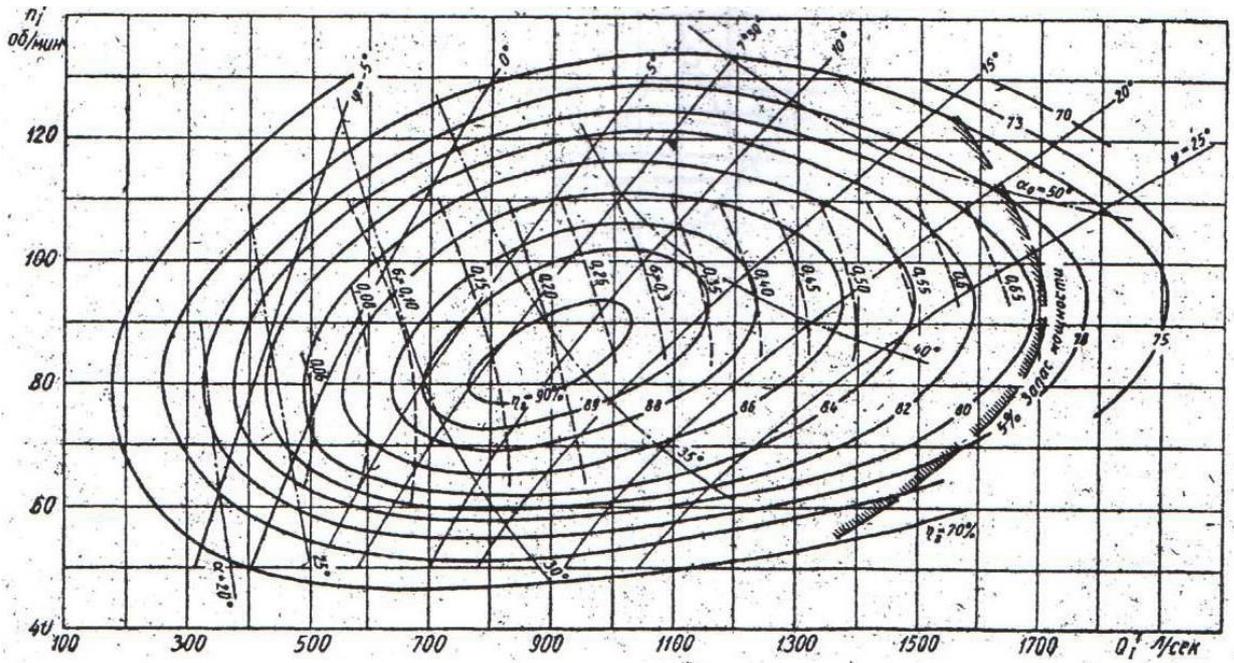
Універсальна характеристика турбіни PO400



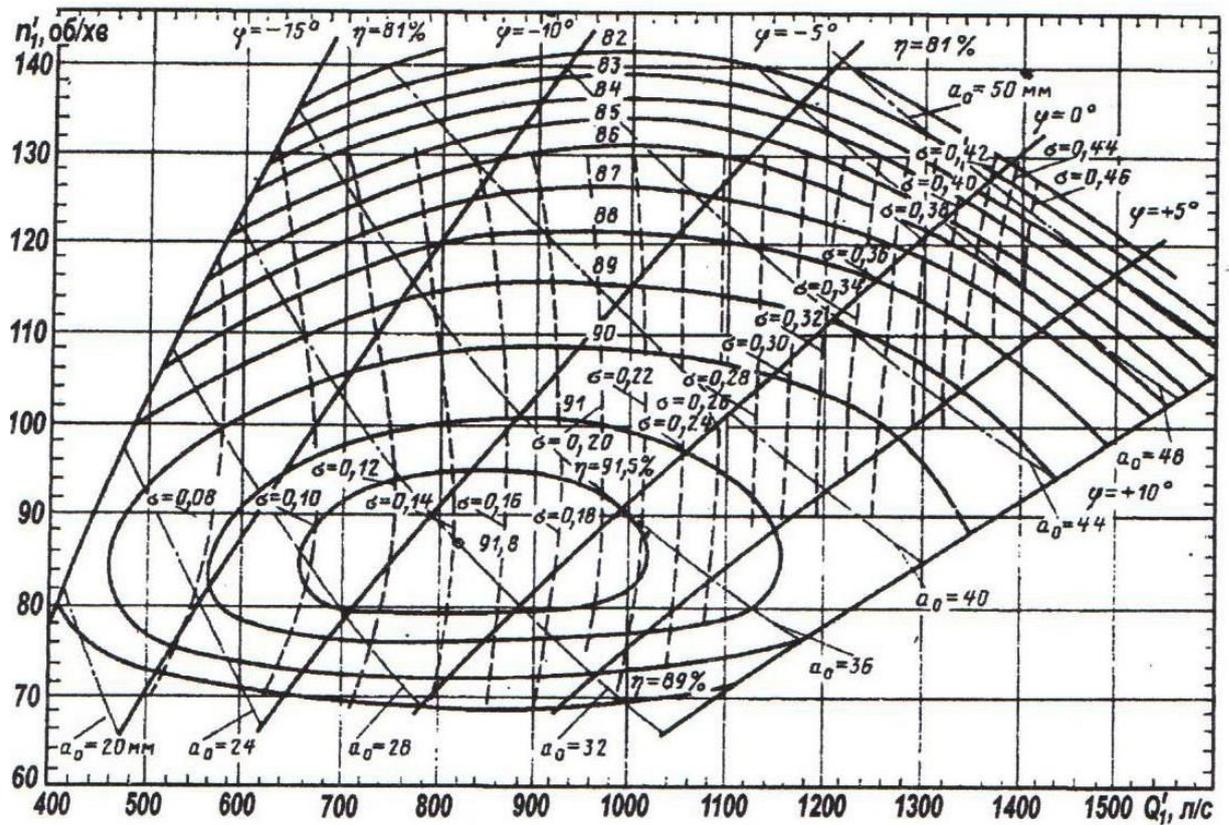
Універсальна характеристика турбіни K600



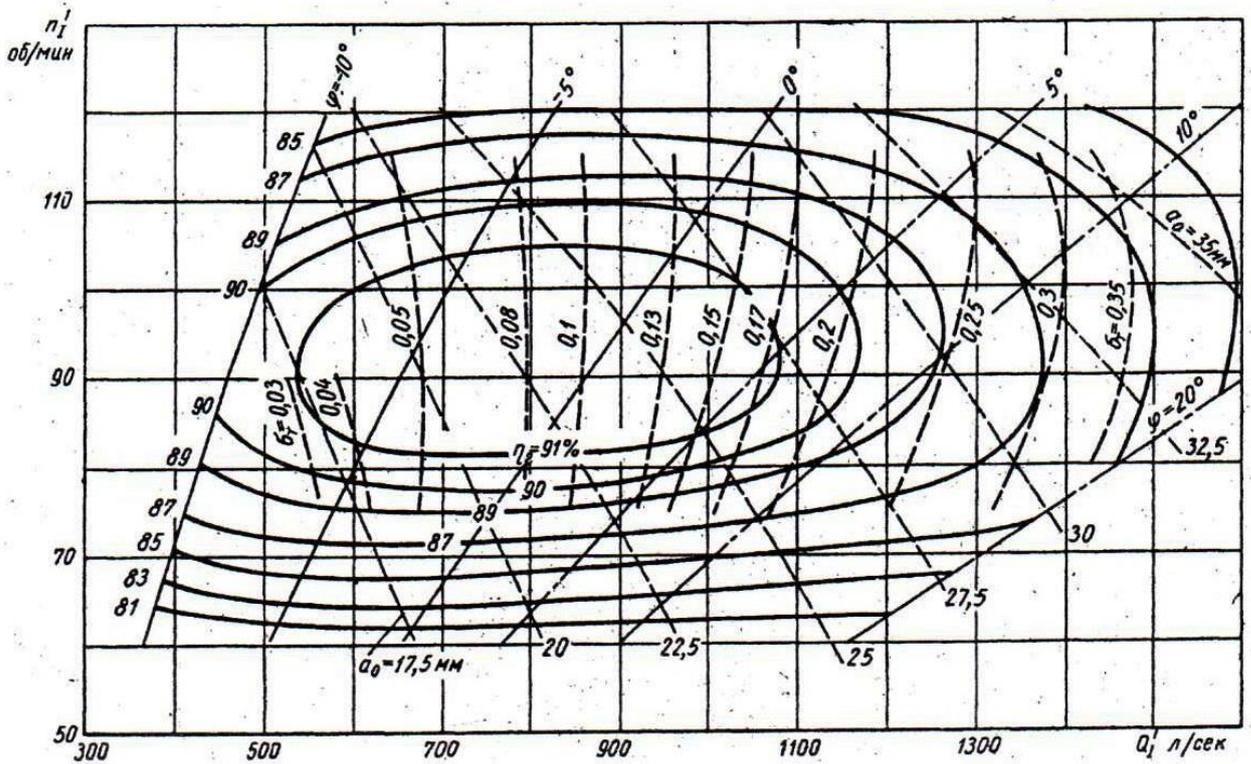
Універсальна характеристика турбіни ПЛД70



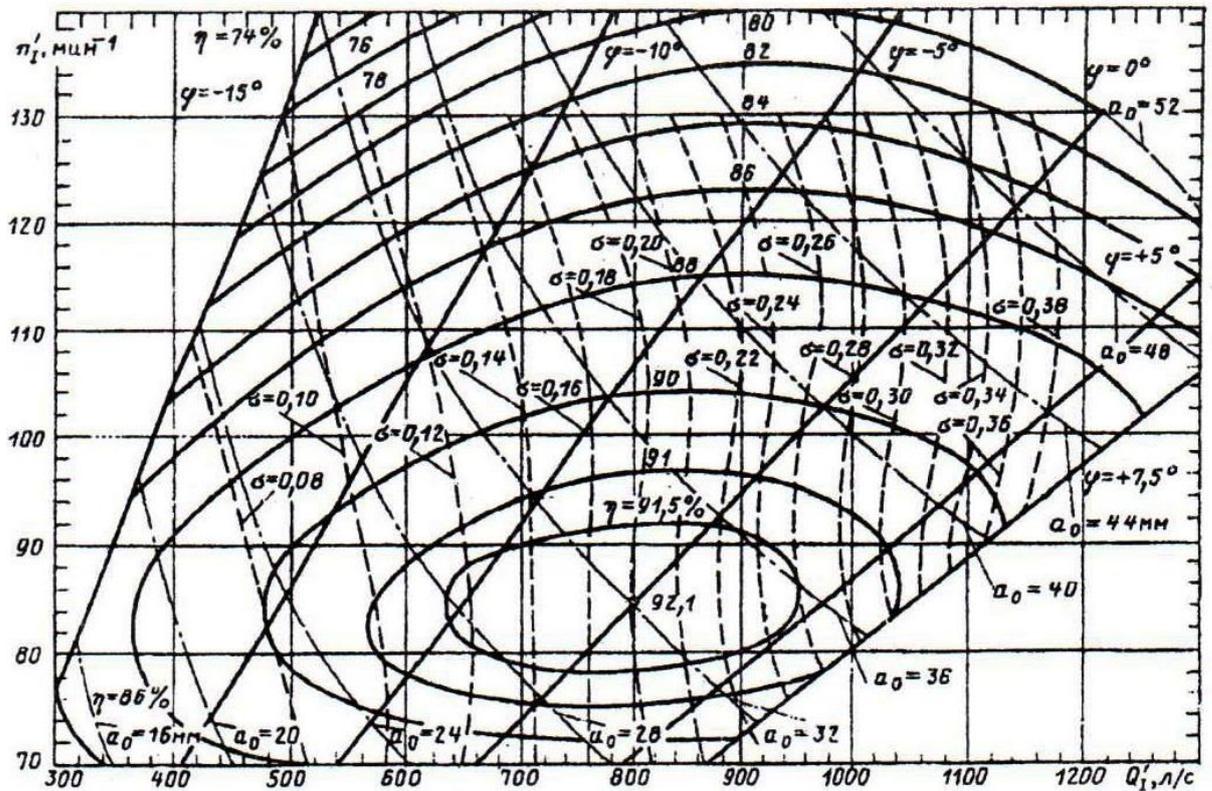
Універсальна характеристика турбіни ПЛД90



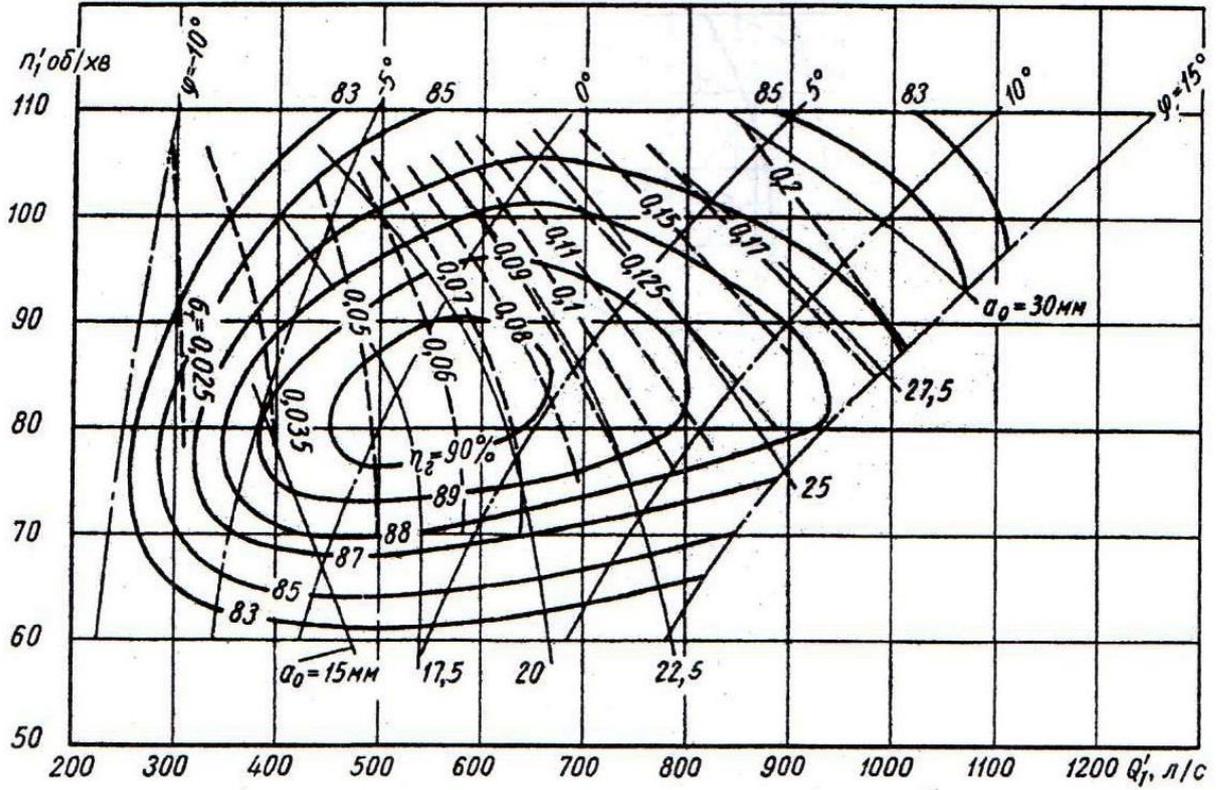
Універсальна характеристика турбіни ПЛД115



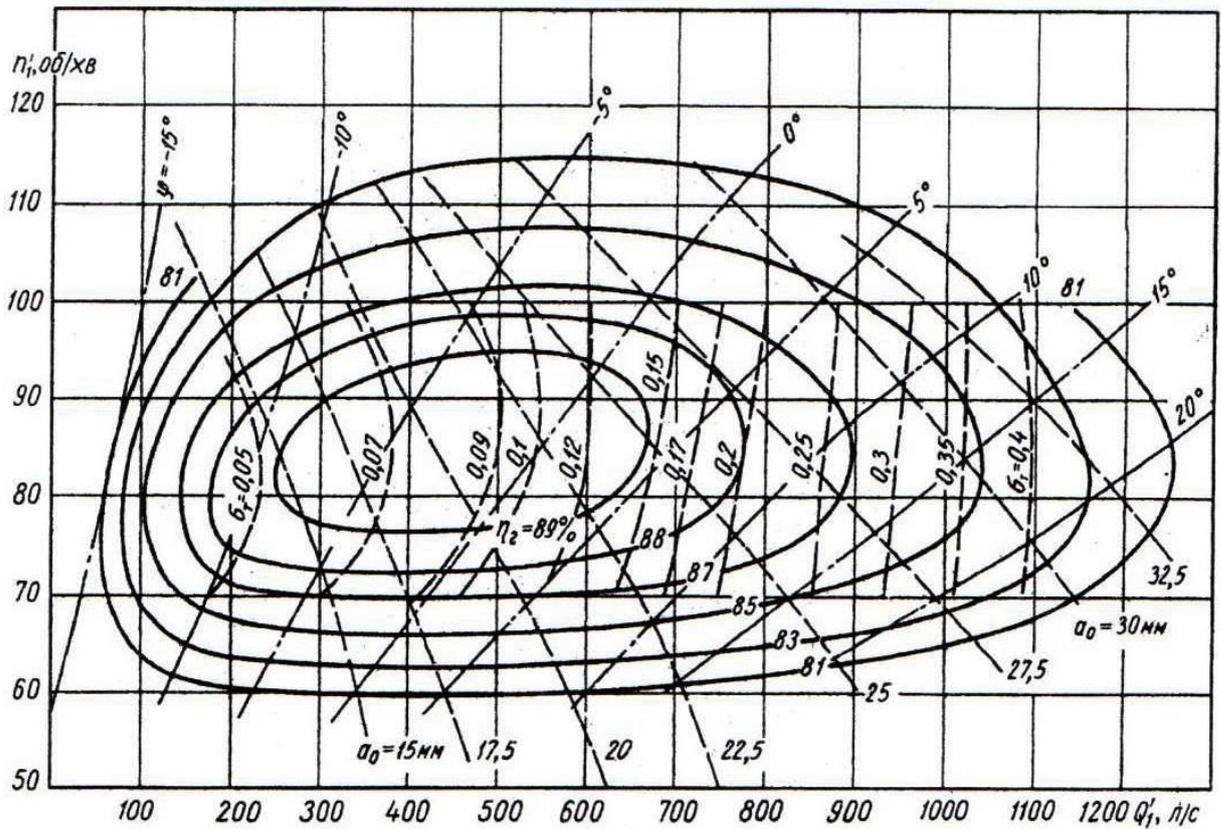
Універсальна характеристика турбіни ПЛД140



Універсальна характеристика турбіни ПЛД170



Універсальна характеристика турбіни ПЛД200



ДОДАТОК Д

Основні параметри радіально осевих гідротурбін

Тип турбіни за номенклатурою	PO45	PO75	PO115	PO170	PO230	PO310	PO400	PO500	
Зона напорів $H_{min} - H_{max}$, м	30-45	40-75	70-115	110-170	160-230	220-310	290-400	380-500	
Відносна висота напрямного апарата v_o / D_1	0.35	0.30	0.25	0.20	0.16	0.12	0.10	0.08	
Кількість лопатей робочого колеса z_1	11-15	11-15	11-15	13-15	13-17	13-19	13-19	13-19	
Приведена швидкість обертання, об / хв	$n'_{1\text{ розр}}$	75	73	68	67	62	60	58	57
	$n'_{1\text{ max}}$	78	74	72	69	67	65	62	60
Приведена витрата (із умов безкавітаційної роботи), л / с	$Q'_1\text{ max}$	1400	1370	1250	1030	650	420	280	200
	$Q'_1\text{ min}$	1370	1250	1030	650	420	280	200	150
Кавітаційний коефіцієнт σ	при $Q'_1\text{ max}$	0.27	0.243	0.168	0.10	0.065	0.048	0.042	0.036
	при $Q'_1\text{ min}$	0.23	0.16	0.097	0.06	0.047	0.04	0.035	0.03
Приведена розгінна швидкість обертання за розгінною характеристикою	n'_{p1} , об / хв	160	146	139	130	110	104	98	95
Коефіцієнт осевого зусилля K_{oc}	$кн / м^2$	2.5–3.1	2.6–3.1	2.2–2.9	1.5–2.5	1.05–1.9	0.075–0.15	0.055–0.095	0.05–0.09
	$т / м^2$	0.27–0.32	0.26–0.31	0.22–0.30	0.16–0.25	0.11–0.2	0.08–0.16	0.06–0.1	0.06–0.09

Основні параметри поворотно-лопатевої гідротурбін

Тип турбіни за номенклатурою	ПЛ10	ПЛ15	ПЛ20	ПЛ30	ПЛ40	ПЛ50	ПЛ60	ПЛ80	
Зона напорів $H_{min} - H_{max}$ м	2-10	5-15	10-20	15-30	20-40	30-50	40-60	50-80	
Кількість лопатей робочого колеса z_1	3-4	3-4	4	5	6	7	8	8	
Відносна висота напрямого апарата σ_0 / D_1	0.45	0.45	0.40	0.40	0,375	0,375	0.35	0.35	
Приведена швидкість обертання, об / хв	$n'_{1\text{ розр}}$	165	150	138	125	115	110	106	100
	$n'_{1\text{ max}}$	180	160	152	140	130	120	112	105
Приведена витрата (за умов безкавітаційної роботи), л / с	$Q'_1\text{ max}$	2250	2130	2040	1940	1700	1400	1240	1075
	$Q'_1\text{ min}$	2010	1850	1710	1430	1240	1110	1040	830
Кавітаційний коефіцієнт σ	при $Q'_1\text{ max}$	1.4	1.0	0.835	0.745	0.68	0.505	0.40	0.325
	при $Q'_1\text{ min}$	1.14	0.84	0.68	0.505	0.40	0.325	0.27	0.205
Приведена розгінна швидкість обертання n'_{p1} , об / хв	Із діючим комбіна-торним зв'язком	316	295	280	255	230	210	205	200
	за розгінною характеристикою	380	365	340	312	290	275	270	260
Коефіцієнт осьового зусилля K_{oc}	$кн / м^2$	6.54	6.54	6.54	6.93	6.93	7.16	7.16	7.16
	$т / м^2$	0.667	0.667	0.667	0.706	0.706	0.730	0.730	0.730

Основні параметри поворотно-лопатевих діагональних гідротурбін

Тип турбіни за номенклатурою	ПЛД40	ПЛД50	ПЛД70	ПЛД90	ПЛД115	ПЛД140	ПЛД170	
Зона напорів $H_{min} - H_{max}, M$	30-40	40-50	50-70	70-90	90-115	115-140	140-170	
Кількість лопатей робочого колеса z_1	7-8	7-8	8-9	9-10	9-10	9-11	10-12	
Відносна висота напрямого апарата v_o / D_1	0.4	0.375	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	
Приведена швидкість обертання, об / хв	$n'_{1 розр}$	104	100	96	94	92	90	87
	$n'_{1 max}$	113	108	103	100	98	95	92
Приведена витрата (за умов безкавітаційної роботи), л / с	$Q'_1 max$	1250	1160	1100	1050	1030	1000	975
	$Q'_1 min$	1100	1020	950	900	875	850	820
Кавітаційний коефіцієнт σ	при $Q'_1 max$	0.53	0.48	0.42	0.36	0.32	0.25	0.18
	при $Q'_1 min$	0.32	0.28	0.26	0.25	0.23	0.17	0.11
Приведена розгінна швидкість обертання $n'_{p1}, об / хв$	Із діючим комбінаторним зв'язком	195	182	175	171	169	164	158
	за розгінною характеристикою	225	215	208	201	196	192	186
Коефіцієнт осьового зусилля K_{oc}	$кн / м^2$	5.3	5.01	4.71	4.32	3.83	3.04	2.16
	$т / м^2$	0.54	0.51	0.48	0.44	0.39	0.31	0.22

ДОДАТОК Е

**Нормалізовані діаметри робочих коліс та параметри напрямних апаратів
і статорів (статори для металевої спіральної камери)**

Діаметр робочого коlesa	Параметри напрямого апарата		Розміри статорів					
	$D_l, м$	$D_o, м$	z_o	$D_s, м$	$D_a, м$	$D_d, м$	$R, м$	$h_l, м$
1.8	2.16	20	2.48	2.94	3.14	0.2	0.21	0.10
1.9	2.28		2.62	3.1	3.3	0.2	0.21	
2.0	2.4		2.76	3.26	3.46	0.2	0.23	
2.12	2.54		2.93	3.46	3.66	0.2	0.23	
2.24	2.69		3.09	3.65	3.85	0.2	0.23	
2.36	2.85		3.26	3.85	4.05	0.25	0.23	0.10
2.5	3.0		3.45	4.08	4.32	0.25	0.25	0.12
2.65	3.18		3.66	4.32	4.56	0.25	0.25	
2.8	3.36		3.86	4.56	4.8	0.25	0.25	
3.0	3.6		4.14	4.89	5.13	0.3	0.25	
3.15	3.78		4.35	5.14	5.38	0.3	0.25	
3.35	4.02		4.62	5.46	5.7	0.3	0.35	0.12
3.55	4.26		4.9	5.79	6.09	0.35	0.35	0.15
3.75	4.5		5.18	6.11	6.41	0.35	0.35	
4.0	4.8		5.52	6.52	6.82	0.35	0.35	
4.25	5.1		5.86	6.93	7.23	0.35	0.35	
4.5	5.4		6.21	7.34	7.64	0.4	0.41	
4.75	5.7		6.56	7.74	8.04	0.4	0.41	
5.0	6.0		6.9	8.15	8.45	0.4	0.41	0.15
5.3	6.36		7.32	8.64	9.0	0.4	0.41	0.18
5.6	6.72	20	7.73	9.13	9.51	0.5	0.46	
6.0	7.2	24	8.28	9.78	10.16	0.5	0.46	
6.3	7.56		8.7	10.27	10.65	0.5	0.46	
6.7	8.04		9.25	10.92	11.3	0.6	0.5	
7.1	8.52		9.8	11.57	11.91	0.6	0.5	
7.5	9.0		10.35	12.22	12.6	0.65	0.55	
8.0	9.6		11.04	13.04	13.42	0.65	0.55	
8.5	10.2	24	11.73	13.86	14.24	0.65	0.55	0.18

Нормалізовані діаметри робочих коліс та параметри напрямних апаратів і статорів (статори для залізобетонної спіральної камери)

Діаметр робочого колеса	Параметри напрямного апарата		Розміри статорів						
	$D_1, м$	$D_0, м$	z_0	$D_6, м$	$D_0, м$	$D_4, м$	$R, м$	$h_1, м$	$h_2, м$
2.5	3.0	20	3.45	4.08	4.18	0.28	0.32	0.23	0.05
2.65	3.18		3.66	4.32	4.42	0.28	0.32	0.23	
2.8	3.36		3.86	4.56	4.66	0.28	0.35	0.25	
3.0	3.6		4.14	4.89	5.99	0.28	0.35	0.25	
3.15	3.78		4.35	5.14	5.24	0.3	0.35	0.25	
3.35	4.02		4.62	5.46	5.56	0.3	0.4	0.3	
3.55	4.26		4.9	5.79	5.89	0.3	0.4	0.3	
3.75	4.5		5.18	6.11	6.21	0.35	0.4	0.3	
4.0	4.8		5.52	6.52	6.62	0.35	0.45	0.35	
4.25	5.1		5.86	6.93	7.03	0.35	0.45	0.35	
4.5	5.4		6.21	7.34	7.44	0.4	0.45	0.35	
4.75	5.7		6.56	7.74	7.84	0.4	0.45	0.35	
5.0	6.0		6.9	8.15	8.25	0.4	0.5	0.4	0.05
5.3	6.36		7.32	8.64	8.8	0.4	0.5	0.4	0.08
5.6	6.72	20	7.73	9.13	9.29	0.5	0.5	0.4	
6.0	7.2	24	8.28	9.78	9.94	0.5	0.55	0.45	
6.3	7.56		8.7	10.27	10.43	0.5	0.55	0.45	
6.7	8.04		9.25	10.92	11.08	0.6	0.55	0.45	
7.1	8.52		9.8	11.57	11.73	0.6	0.55	0.5	
7.5	9.0		10.35	12.22	12.38	0.6	0.55	0.5	
8.0	9.6	24	11.04	13.04	13.2	0.6	0.55	0.5	
8.5	10.2	28	11.73	13.86	14.02	0.6	0.55	0.5	
9.0	10.8		12.42	14.67	14.83	0.65	0.6	0.55	
9.5	11.4		13.11	15.48	15.64	0.65	0.6	0.55	
10.0	12.0		13.8	16.3	16.46	0.65	0.6	0.55	
10.6	12.72	28	14.63	17.28	17.44	0.65	0.6	0.55	0.08

ДОДАТОК Є

Синхронна швидкість обертання гідроагрегатів

Число полюсів $2p$	Синхронна швидкість обертання об/хв	Число полюсів $2p$	Синхронна швидкість обертання об/хв	Число полюсів $2p$	Синхронна швидкість обертання об/хв
12	500	48	125	88	68,2
14	428,6	52	115,4	90	66,7
16	375	56	107,1	92	65,2
18	333,3	60	100	96	62,5
20	300	64	93,8	100	60
24	250	66	90,9	102	58,8
26	230,8	68	88,2	104	57,4
28	214,3	70	85,7	108	55,6
30	200	72	83,3	110	54,6
32	187,5	76	78,9	112,	53,6
36	166,7	78	76,9	114	52,6
40	150	80	75	116	51,8
44	136.4	84	71,4	120	50