

# **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ**

**Волков Ю.С., Мирошниченко В.Л.,**

Институт математики им. С.Л.Соболева СО РАН, Новосибирск;

**Салиенко А.Е.**

ОАО «ТЯЖМАШ», Сызрань

10-я Международная конференция

**«Интеллектуализация обработки информации»**

о.Крит, Греция, 4 – 11 октября 2014 года



Рис.1 **Новосибирская ГЭС.**



Рис.2 Саяно-Шушенская ГЭС.

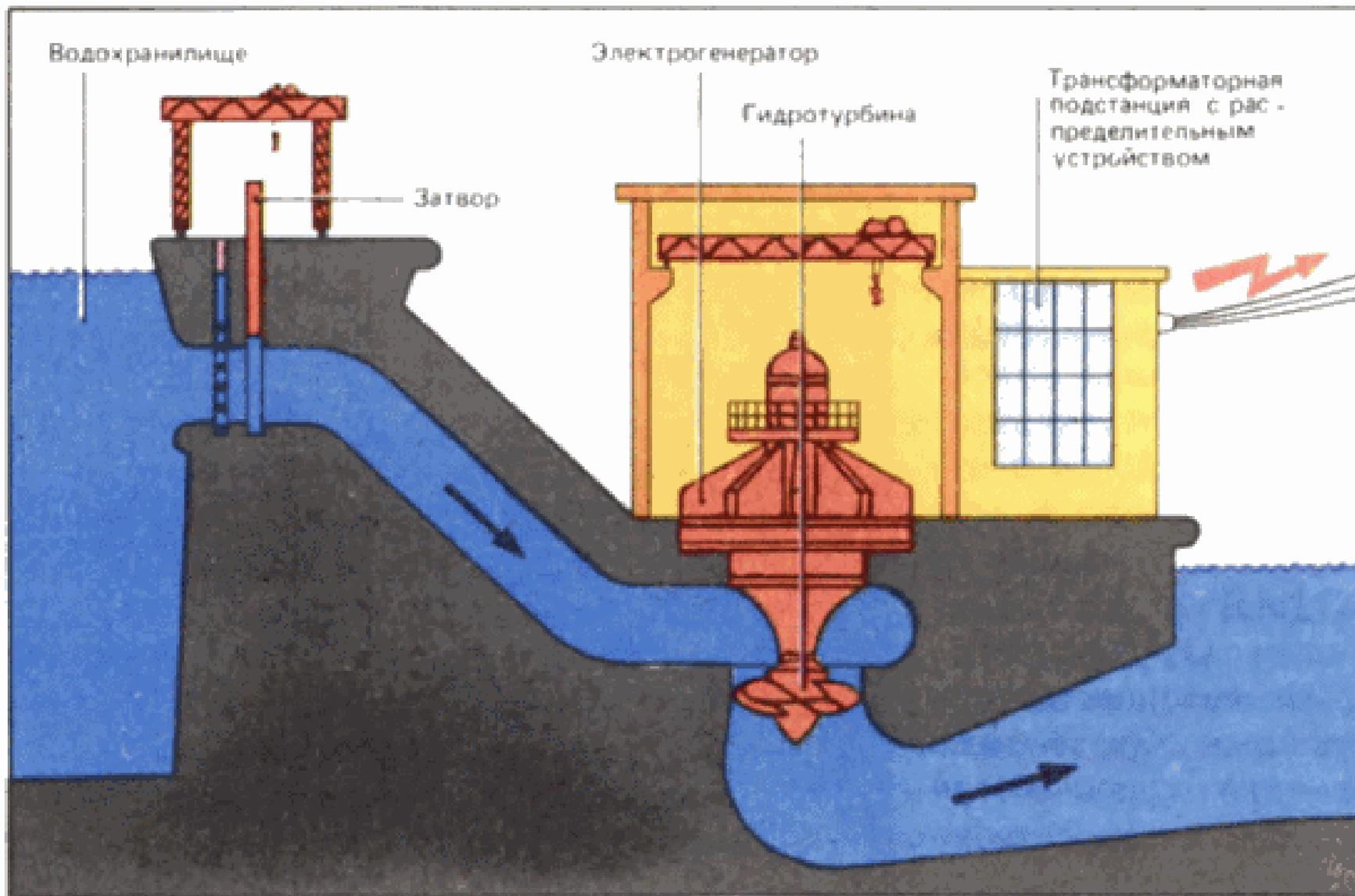


Рис.3 **Схема ГЭС.**

## Проектирование гидроэлектрических станций.

Заданные параметры при проектировании:

напор  $H$  (м)

расход  $Q$  (м<sup>3</sup>/с)

номинальная мощность  $N = \rho g Q H$  (кВт) – мощность  
потока

## Задача

Какие подобрать гидроагрегаты? Оптимальный выбор.

## Три основные системы гидротурбин

Радиально-осевые (РО) [Francis]

Поворотно-лопастные (ПЛ) [Kaplan]

Ковшовые [Pelton]



Рис.4 Рабочее колесо РО турбины  
Саяно-Шушенской ГЭС.



Рис.5 Рабочее колесо РО турбины  
Саяно-Шушенской ГЭС.

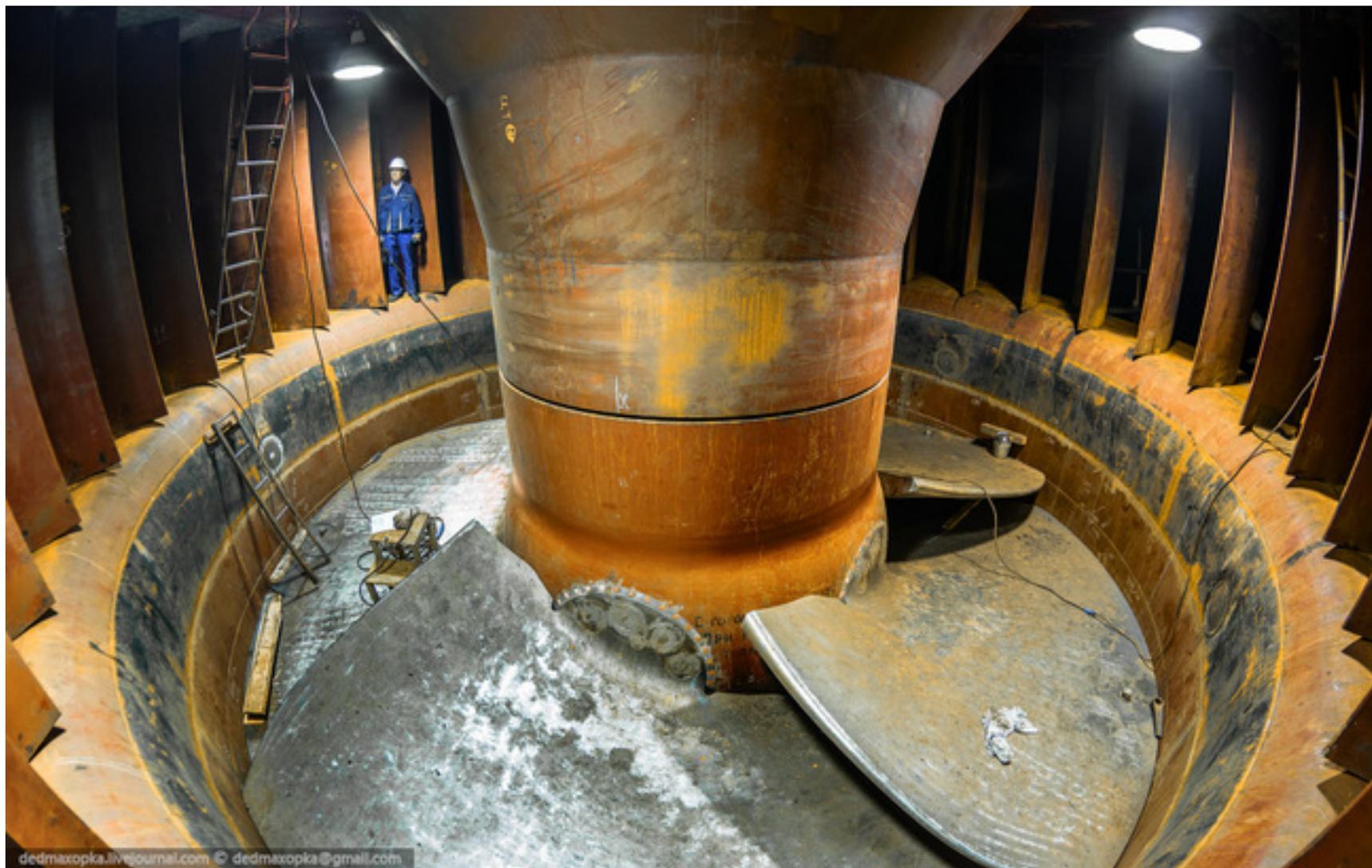


Рис.6 ПЛ турбина Новосибирской ГЭС.

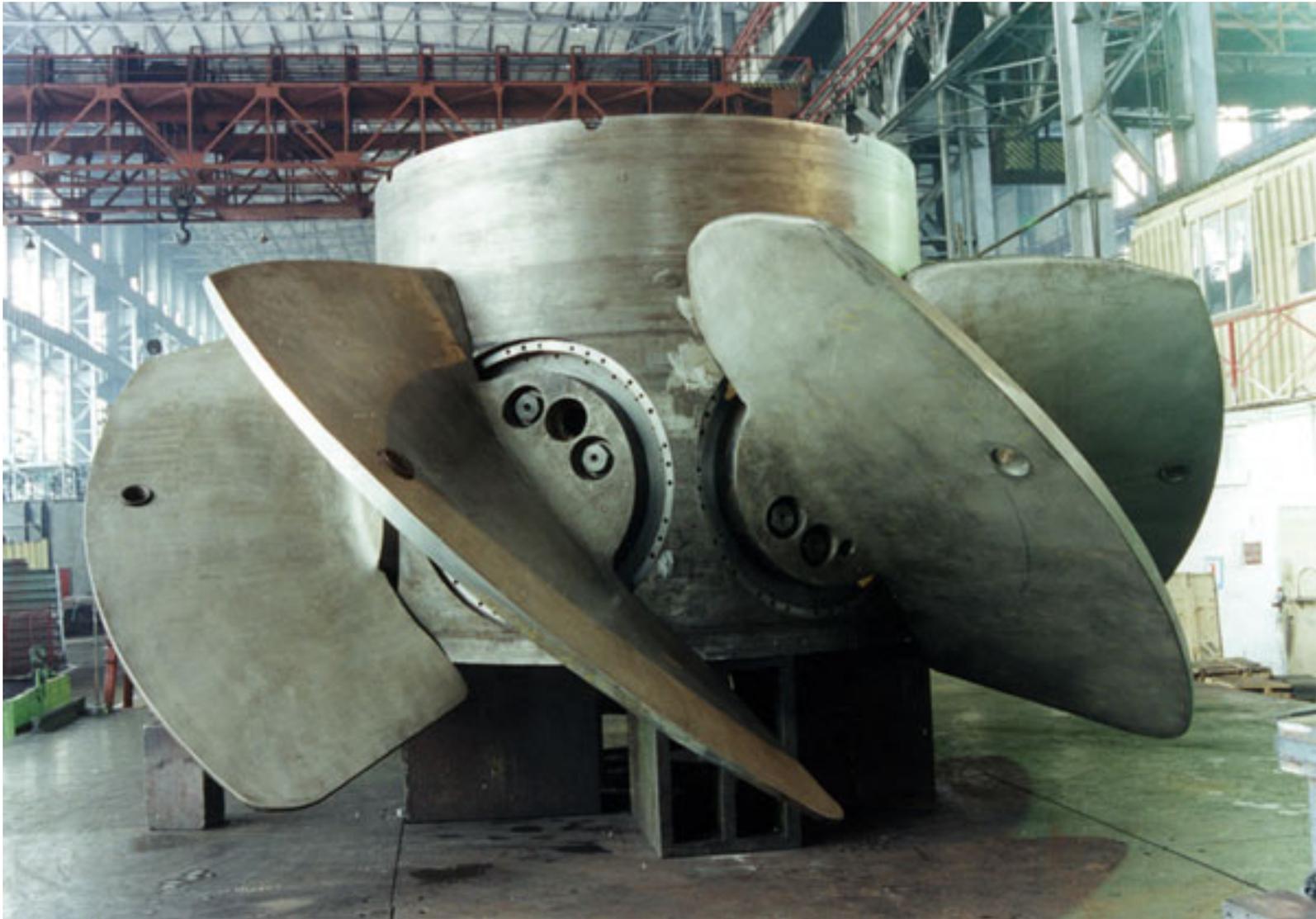


Рис.7 Рабочее колесо ПЛ турбины.



**Рис.8 Рабочее колесо ковшовой турбины  
Мойнакской ГЭС.**

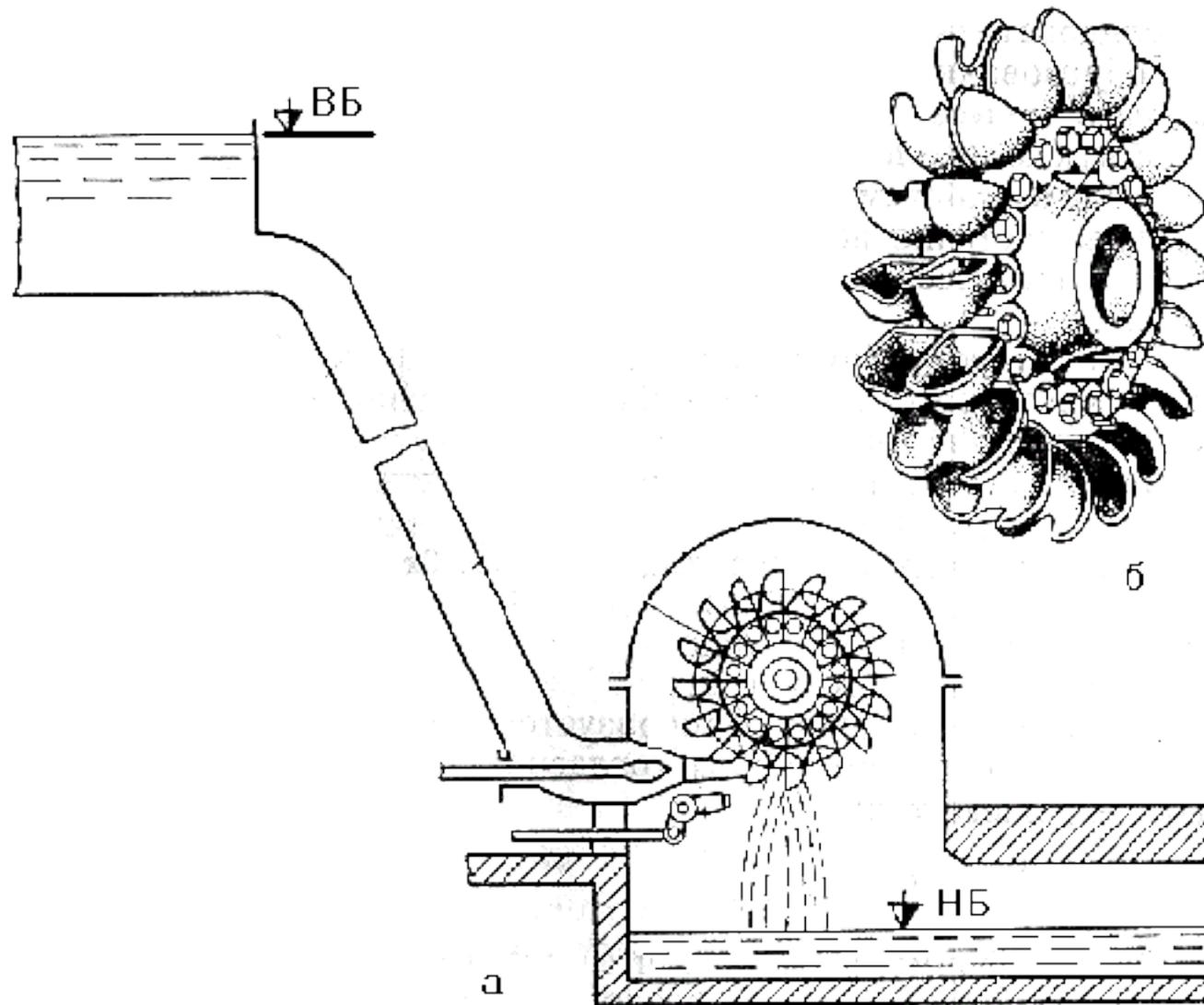


Рис.9 **Схема ковшовой ГЭС.**

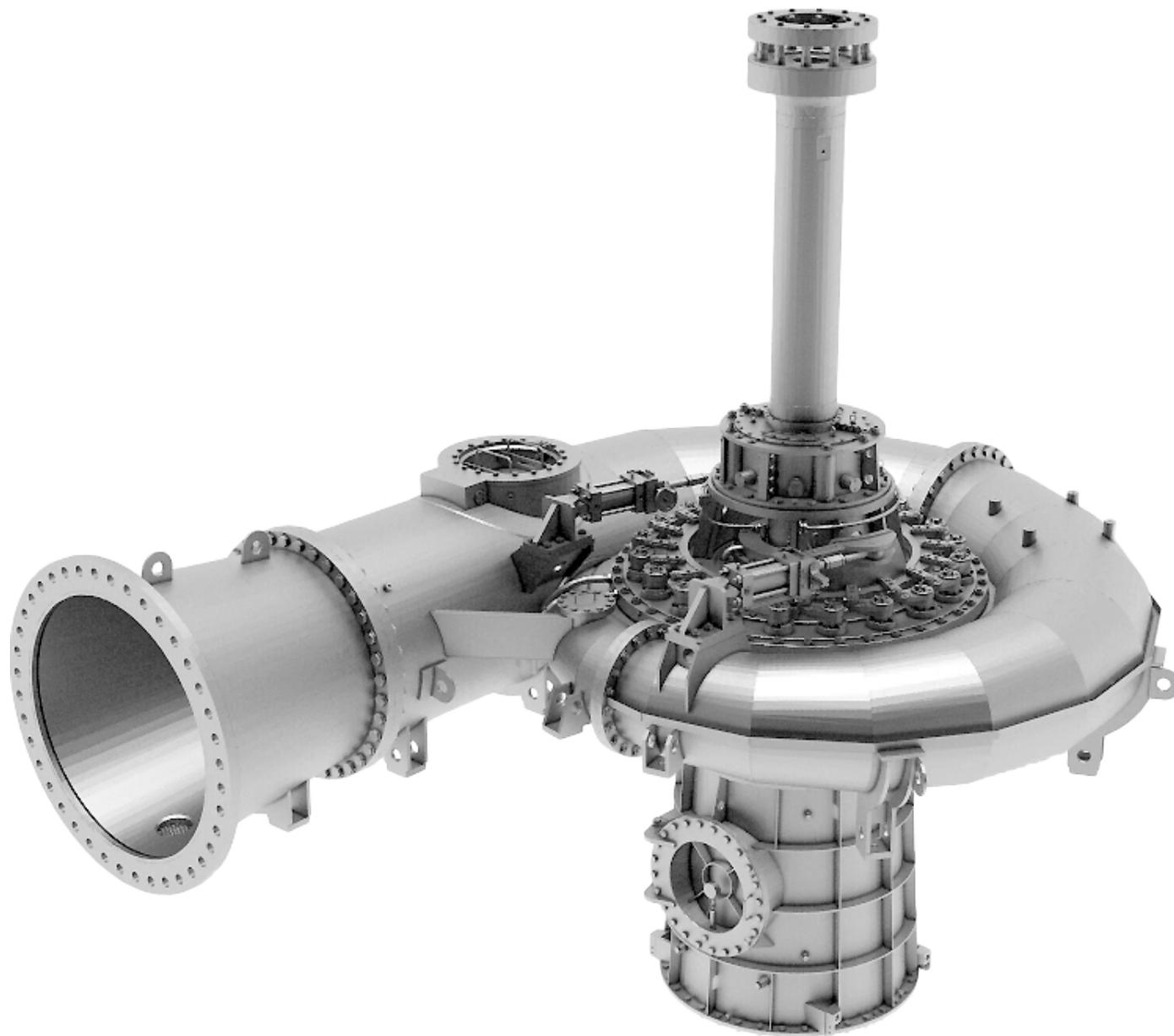


Рис.10 **Конструкция гидроагрегата ГЭС.**

Гидротурбины одной системы могут отличаться размерами, конструкцией механизмов, конфигурацией и относительными размерами проточного тракта.

Гидродинамические качества рабочего колеса в основном определяются такими характеристиками турбины:

КПД  $\eta$  – отношение мощности на валу к мощности потока

кавитационный коэффициент  $\sigma$

коэффициент быстроходности.

## Как получить оптимальную турбину?

Современное состояние науки пока ещё не позволяет только на основе теоретических расчётов спроектировать оптимальным образом все элементы гидротурбин.

Накопленный опыт.

Единственный инструмент — подобные режимы.

## Подобные режимы

Турбины с подобной геометрией проточного тракта (масштабирование)

Приведённые частота вращения и расход

$$Q'_I = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}}, \quad n'_I = \frac{nD}{\sqrt{H}}$$

расход и частота вращения условной турбины-эталона диаметра 1 м при напоре 1 м.

Здесь  $n$  – частота вращения (об/мин),  $D$  – диаметр рабочего колеса (м) определяемые параметры.

Значения приведённых параметров  $n'_I$  и  $Q'_I$  в подобных режимах практически сохраняются неизменными.

Данные о турбине представляются в форме характеристик, определяющих все необходимые показатели турбины для различных условий её работы, различных режимов.

Наиболее интересны и показательны зависимости КПД, кавитационного коэффициента и других величин от основных параметров  $(D, n, Q, H)$  на различных режимах работы.

Для ПЛ-турбины есть ещё зависимость от угла поворота лопастей  $\varphi$

В подобных режимах зависимости КПД  $\eta$ , кавитационного коэффициента и других величин от основных приведённых параметров почти одинаковы.

$\eta(Q'_I, n'_I)$  для ковшовых и РО-турбин

$\eta(Q'_I, n'_I, \varphi)$  для ПЛ-турбин

Универсальная характеристика

## Лабораторные испытания модельной турбины

Данные  $a_0, Q'_I, n'_I, \eta, \sigma, \varphi$

$a_0$  – величина открытия направляющего аппарата

$\varphi$  – угол поворота лопастей

задача состоит в восстановлении функции  $\eta(Q'_I, n'_I, \varphi)$  и функции  $\eta$  как функции от  $Q'_I, n'_I$ , являющейся огибающей семейства с параметром  $\varphi$ .

Это пропеллерная и комбинаторная характеристики, называемые универсальными характеристиками

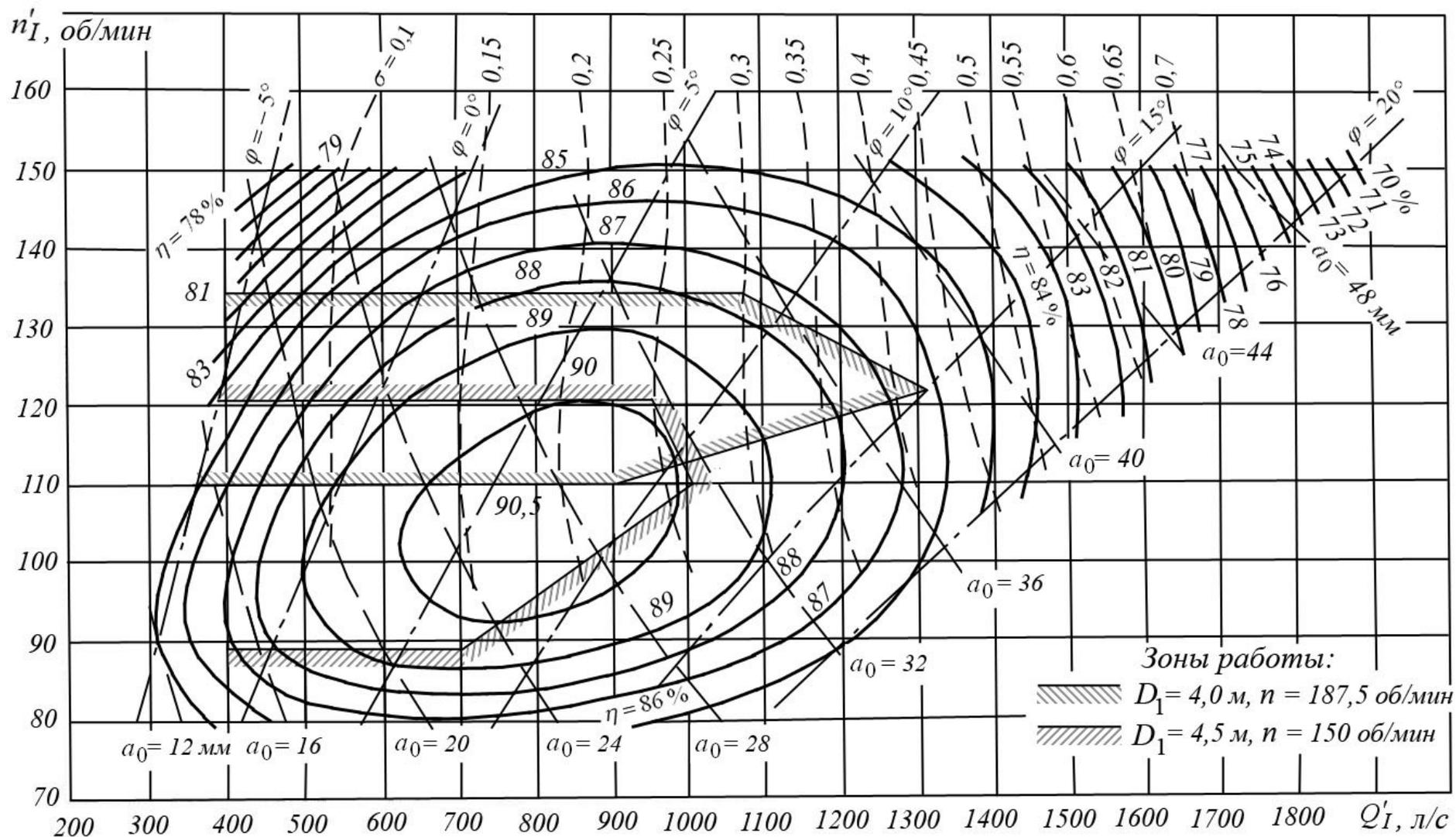


Рис.11 **Пример универсальной характеристики.**

## Пример лабораторных испытаний

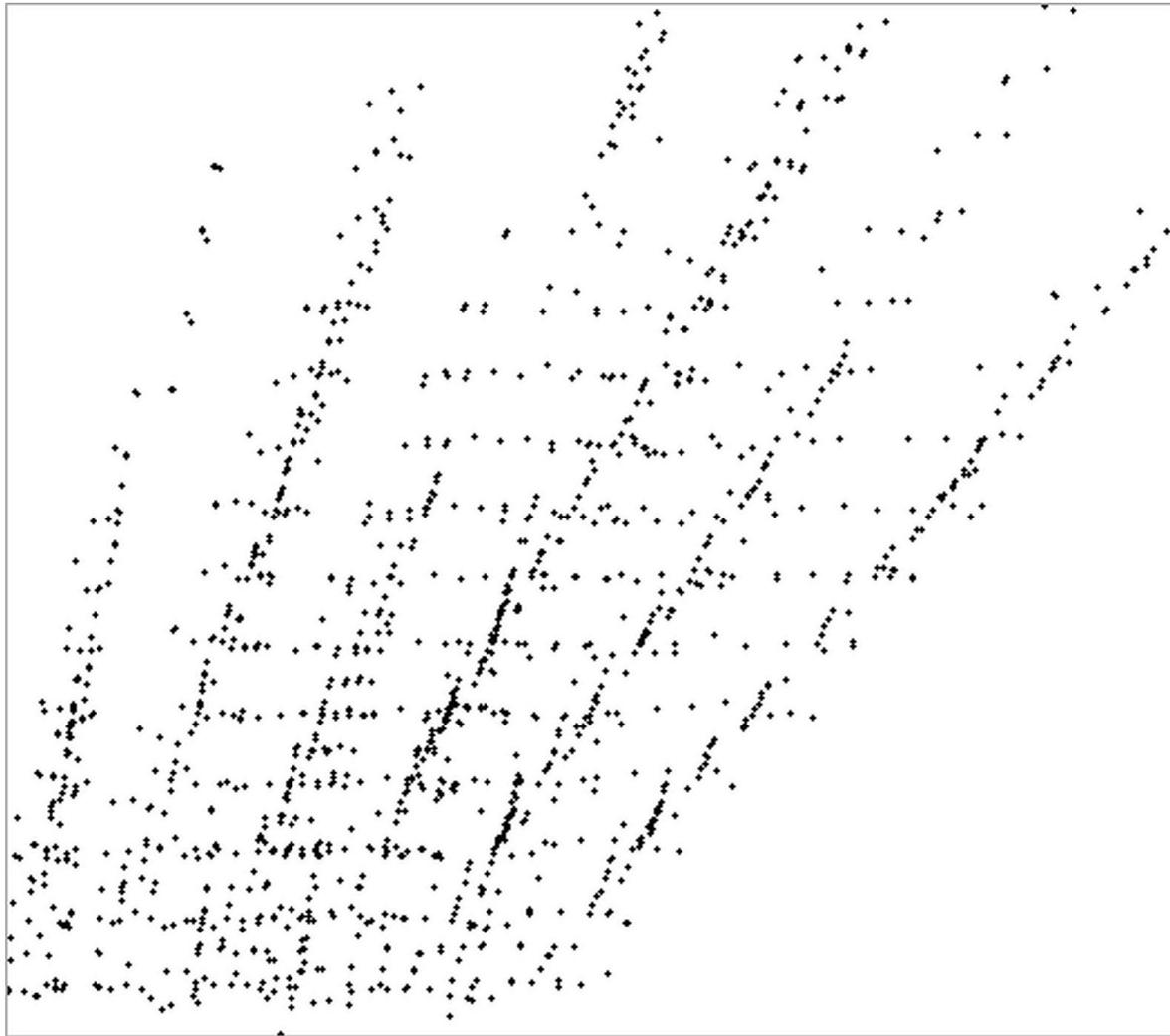


Рис.12 Данные из 1479 точек в плоскости  $(Q'_I, n'_I)$  для углов поворота лопастей -10, -5, 0, 5, 10, 15.

## Пример лабораторных испытаний

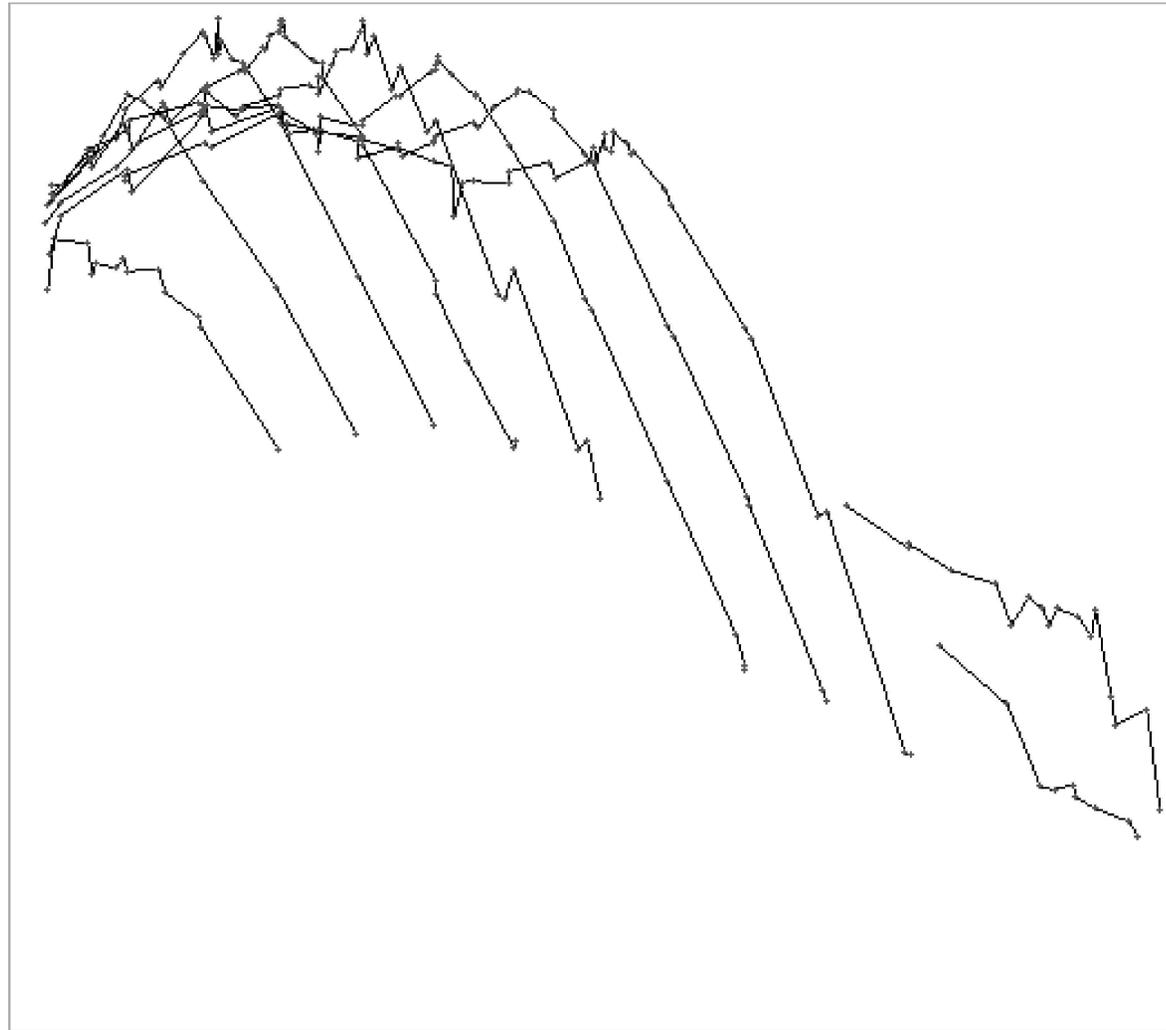


Рис.13 Данные в плоскости  $(n'_I, \eta)$  для  $\varphi = 0$ .

Задача состоит в восстановлении трёхмерной функции по существенно нерегулярным (хаотическим) данным, имеющим большую погрешность

DMM-сплайн

$$P(x, y, z) : P_i(x_i, y_i, z_i) \in \Omega \subset R^3, \quad i = 1, \dots, N,$$

$$f_i = f(P_i) \quad i = 1, \dots, N.$$

ДММ-сплайн степени  $m$ :

$$S(P) = \sum_{i=1}^N \lambda_i r_i^m (\ln r_i)^{(1+(-1)^m)/2} + \pi_k(P),$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \pi_k(P_i) = 0, \quad \text{для любых } \pi_k \in \mathcal{P}_k,$$

где  $r_i = r(P, P_i) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 + R^2}$ ,

$R$  — параметр Харди,

$k$  — полиномиальная степень сплайна,

$\mathcal{P}_k$  — множество полиномов  $\pi_k(x, y, z)$  — степени  $k$ :

$$\pi_k(P) = \pi_k(x, y, z) = \sum_{0 \leq i+j+l \leq k} b_{ijl} x^i y^j z^l$$

**Интерполяционный DMM-сплайн  $S(P)$ :**

$$S(P_i) = f_i, \quad i = 1, \dots, N.$$

**Сглаживающий DMM-сплайн  $S_\rho(P)$ :**

$$(-1)^{\tilde{m}} \rho \lambda_i + S_\rho(P_i) = f_i, \quad i = 1, \dots, N,$$

$$\tilde{m} = [m/2] + 1,$$

$\rho > 0$  — параметр сглаживания.

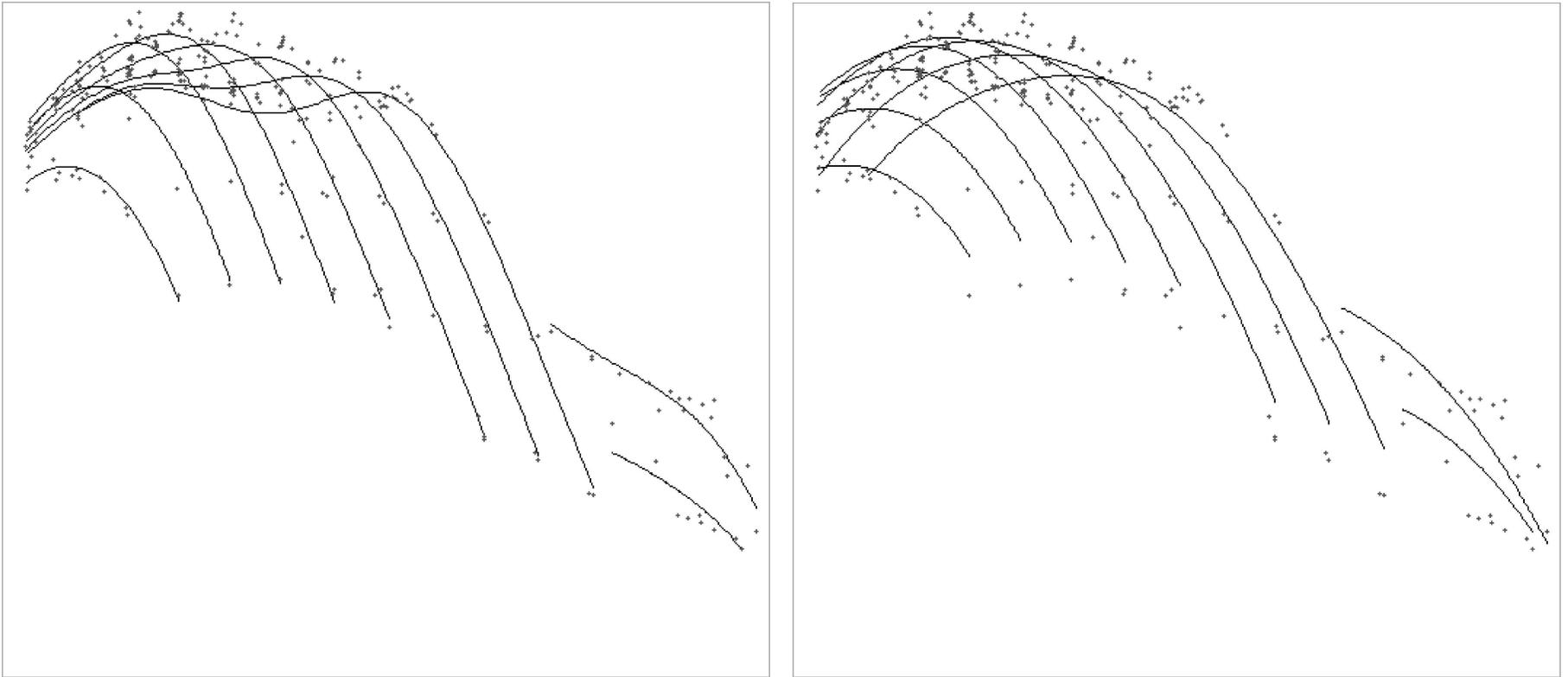


Рис.14 **Линии открытий ( $\varphi = 0$ ) после построения сглаживающего сплайна при  $\rho = 0.001$  и  $\rho = 0.1$ .**

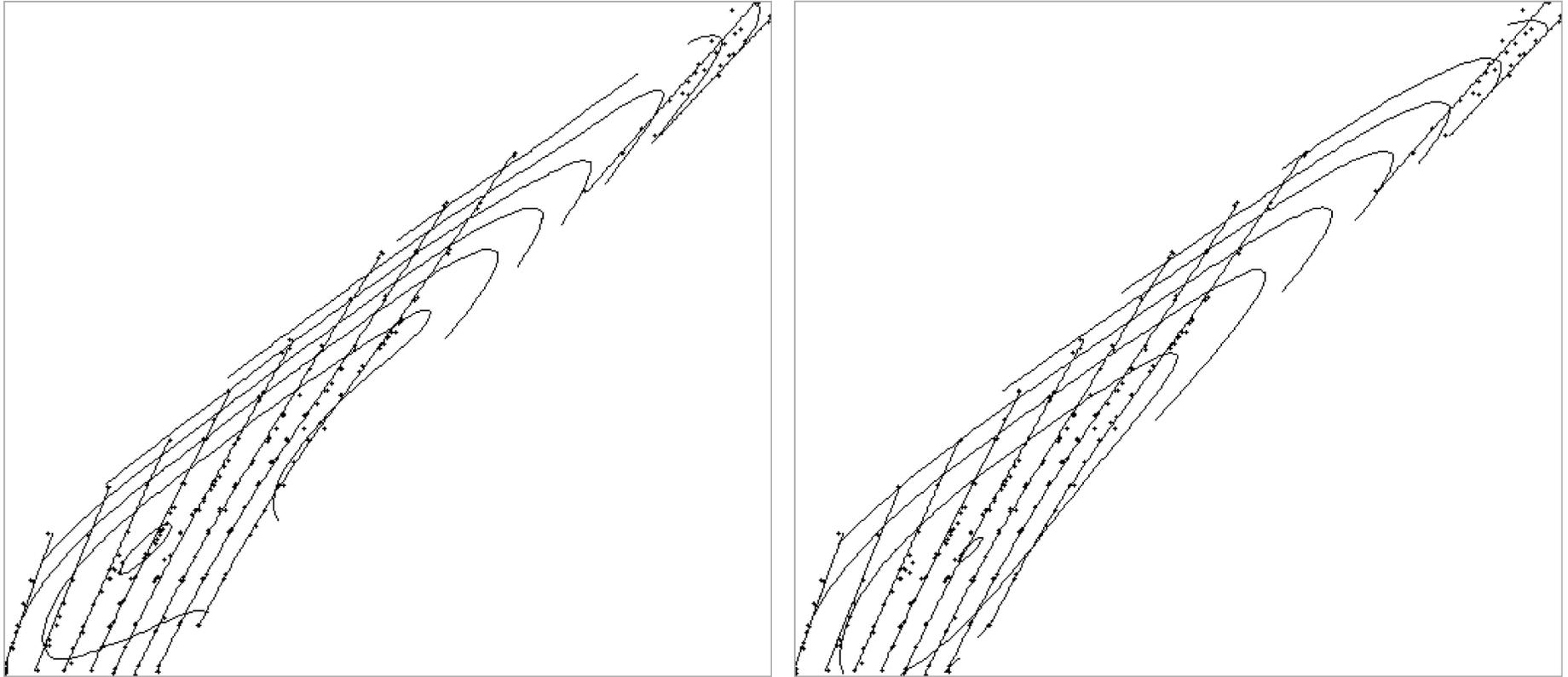


Рис.15 Пропеллерная характеристика ( $\varphi = 0$ ) при  $\rho = 0.001$  и  $\rho = 0.1$ .

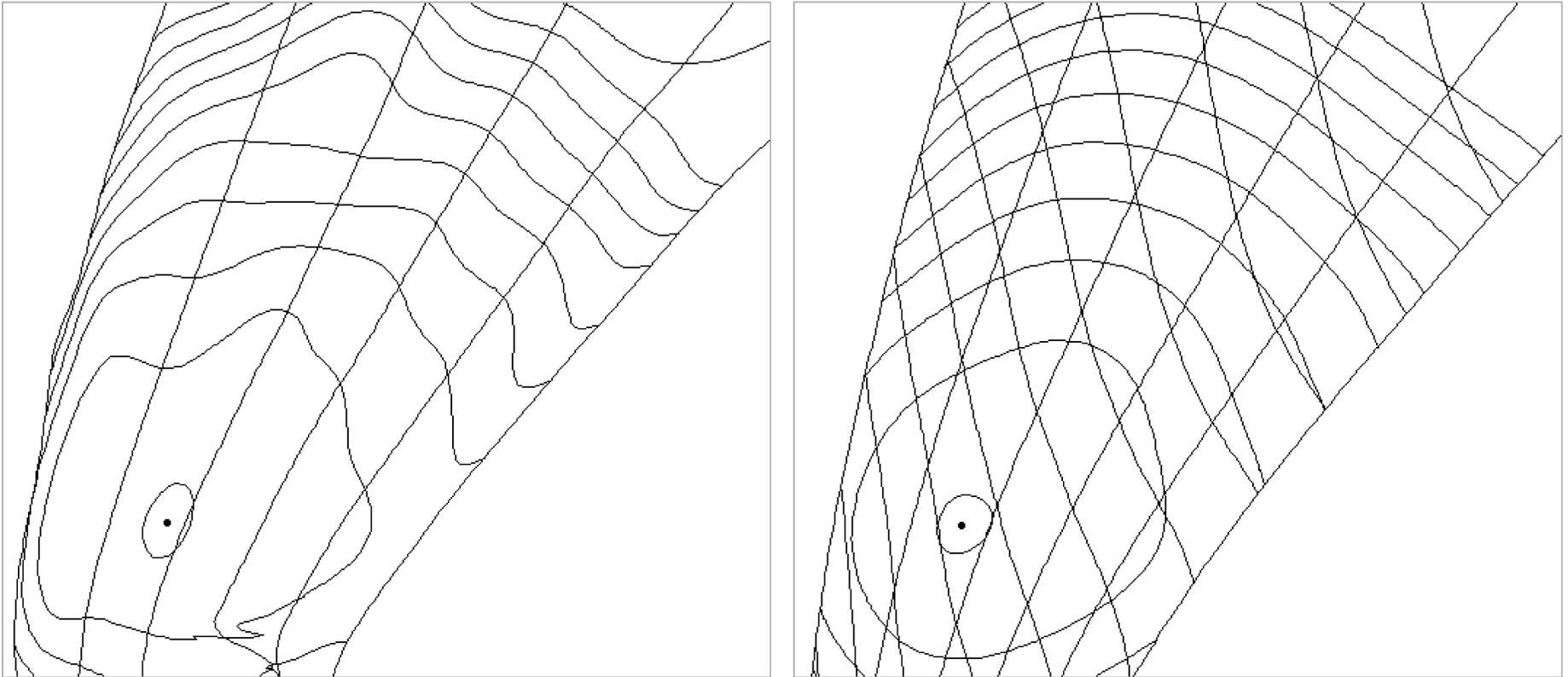


Рис.16 **Универсальная характеристика при  $\rho = 0.001$   
и  $\rho = 0.1$ .**

## Литература

1. Ю.С.Волков, В.Л.Мирошниченко. Построение математической модели универсальной характеристики радиально-осевой гидротурбины // Сибирский журнал индустриальной математики. 1998, 1(1), 77-88.
2. V.V.Bogdanov, V.V.Karsten, V.L.Miroshnichenko, Yu.S.Volkov. Application of splines for determining the velocity characteristic of medium from a vertical seismic survey // Central European Journal of Mathematics. 2013, 11(4), 779-786.

СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!