

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.

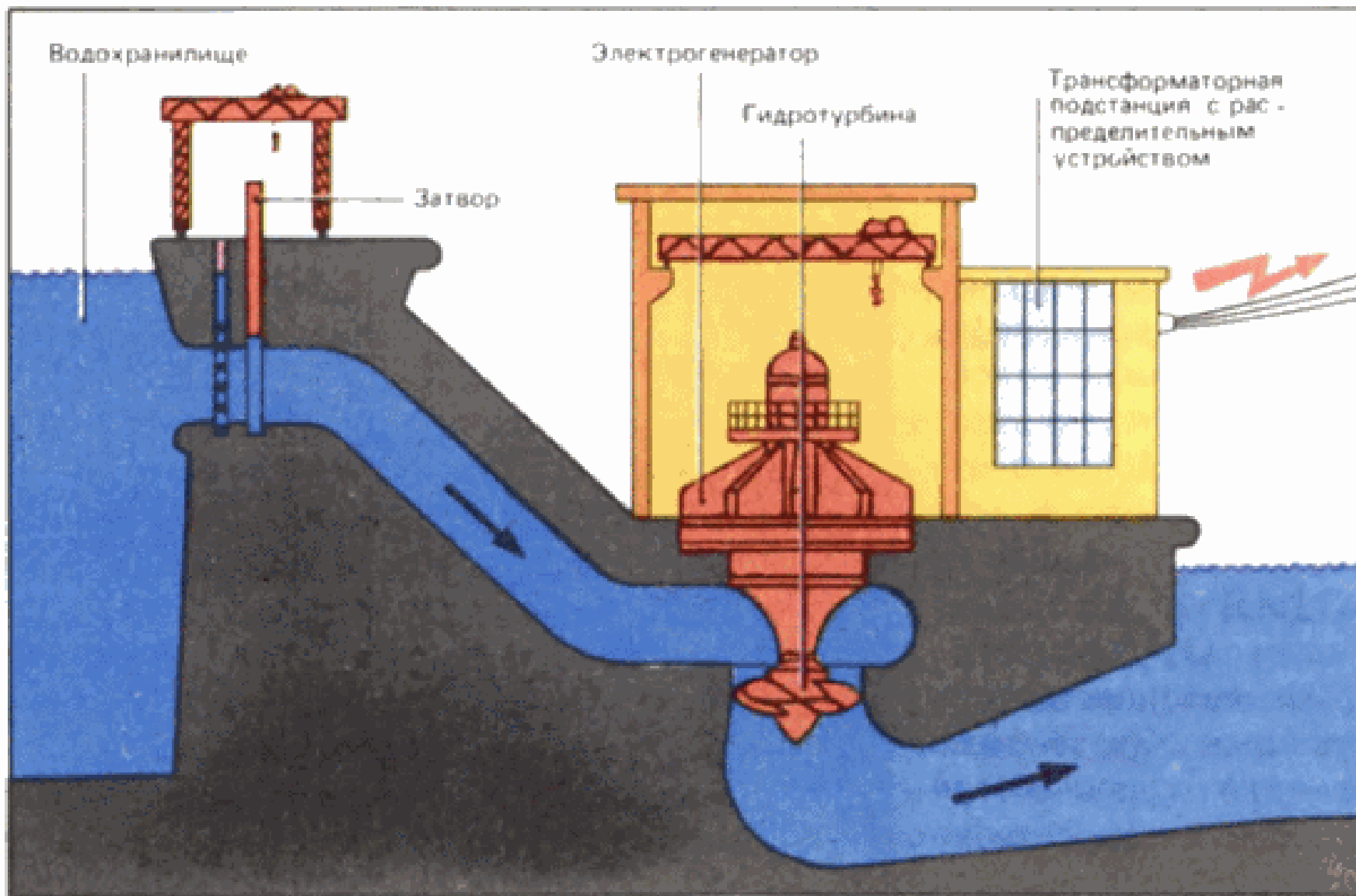


Рис.3 **Схема ГЭС.**

Проектирование гидроэлектрических станций.

Заданные параметры при проектировании:

напор H (м)

расход Q (м³/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.**

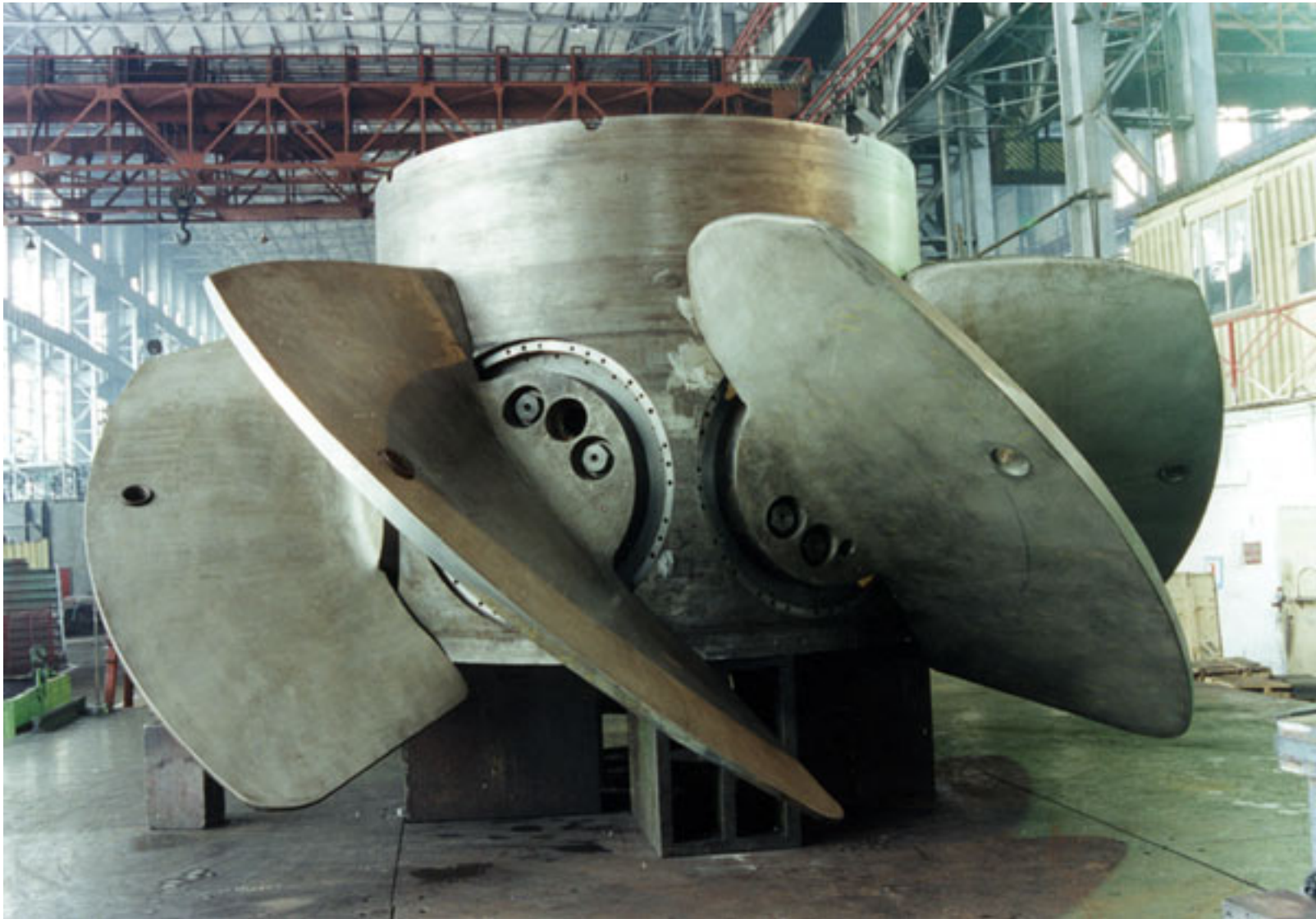


Рис.7 Рабочее колесо ПЛ турбины.



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

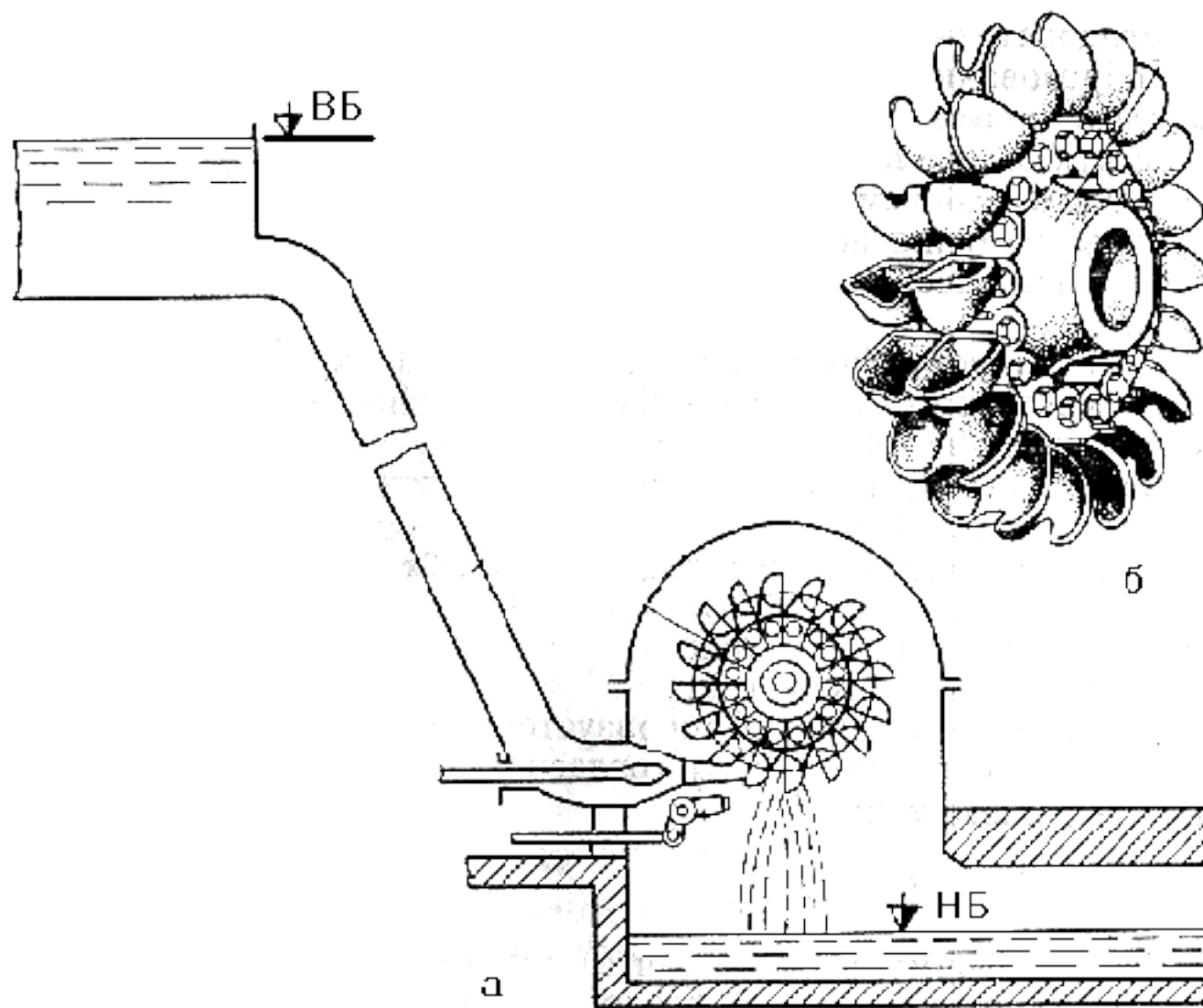


Рис.9 **Схема ковшовой ГЭС.**

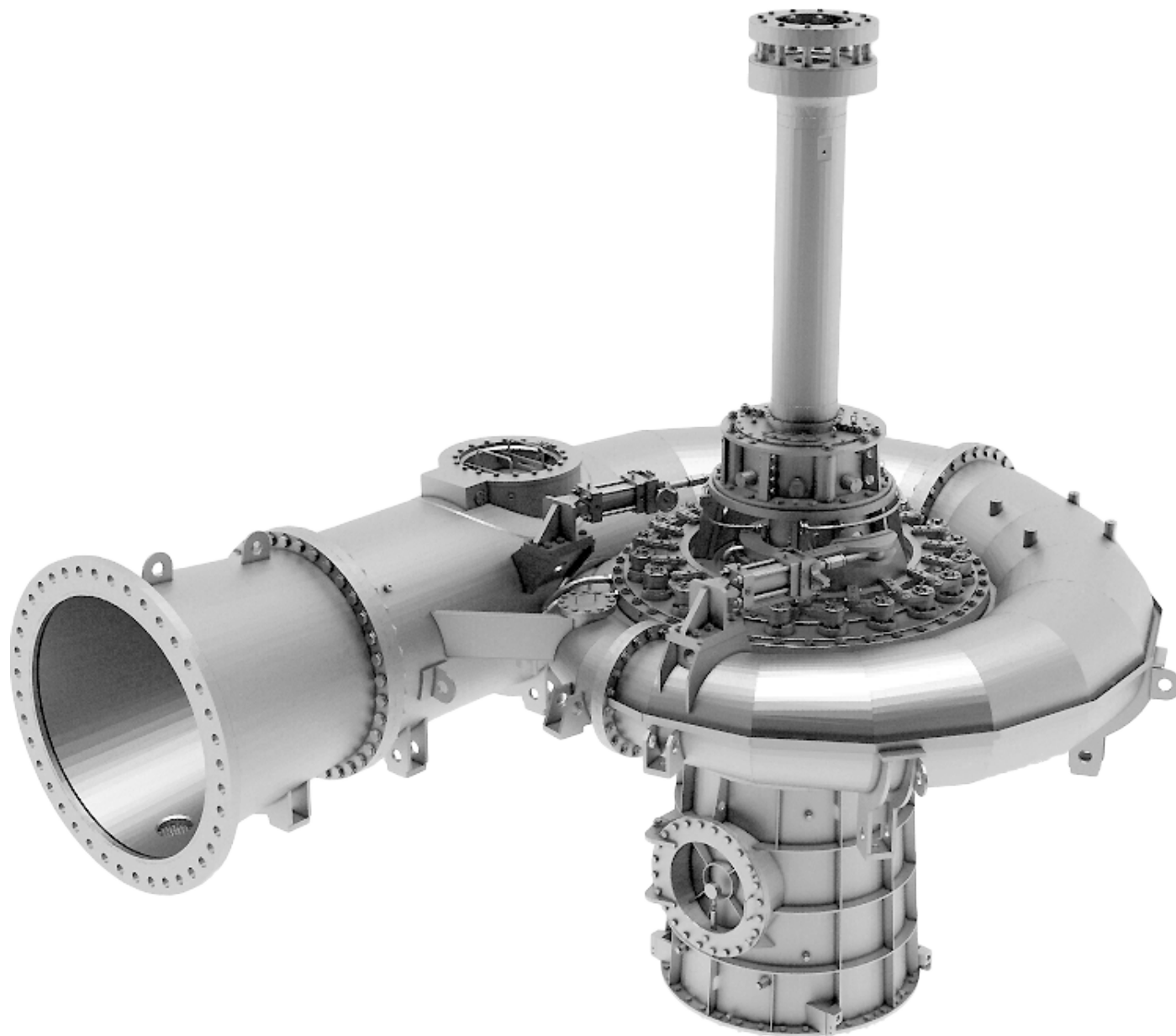


Рис.10 **Конструкция гидроагрегата ГЭС.**

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 η – отношение мощности на валу к мощности потока

кавитационный коэффициент σ

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 φ

В подобных режимах зависимости КПД η , 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

φ – угол поворота лопастей

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

Это **пропеллерная** и **комбинаторная** характеристики, называемые **универсальными характеристиками**

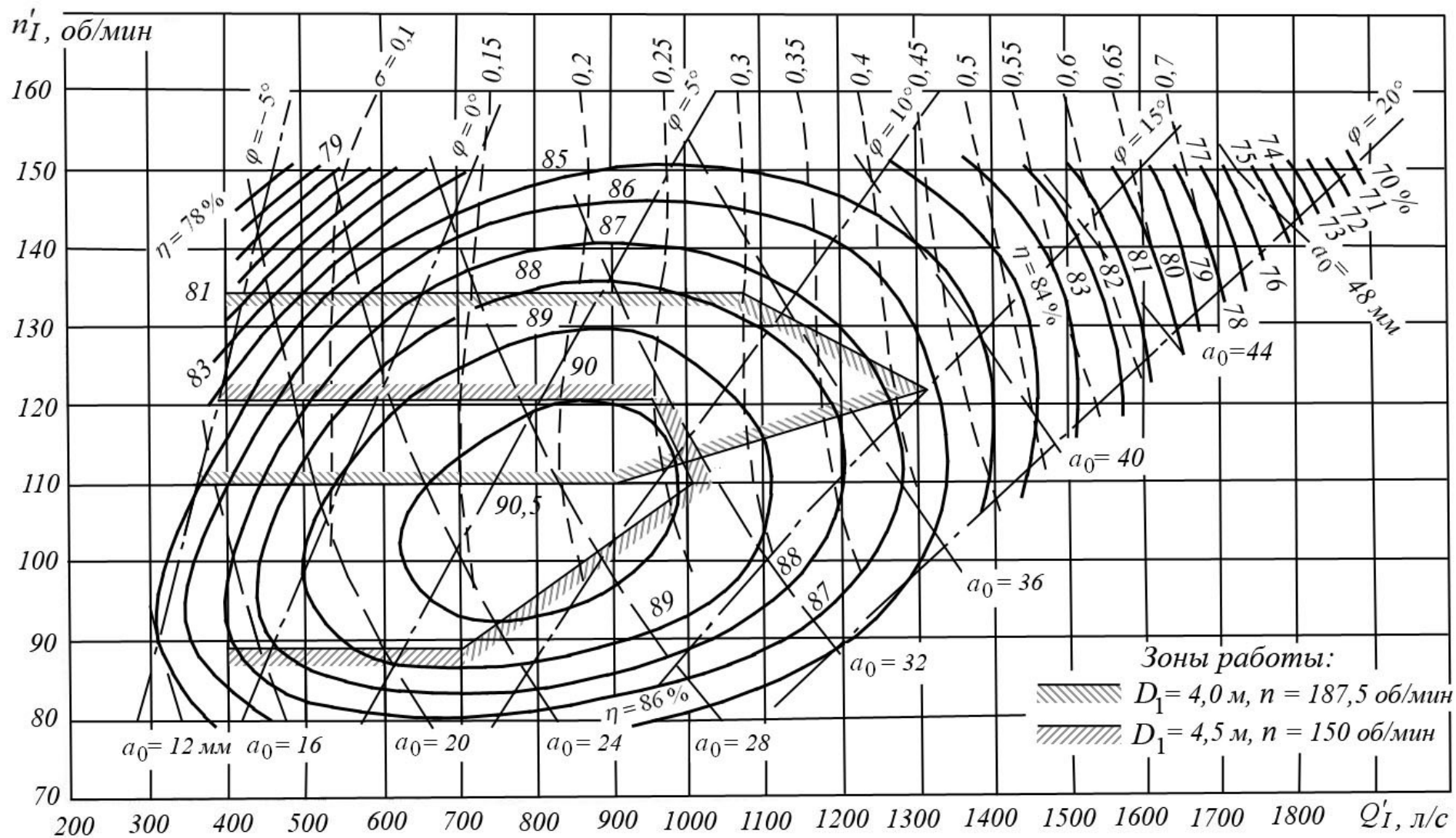


Рис.11 Пример универсальной характеристики.

Пример лабораторных испытаний

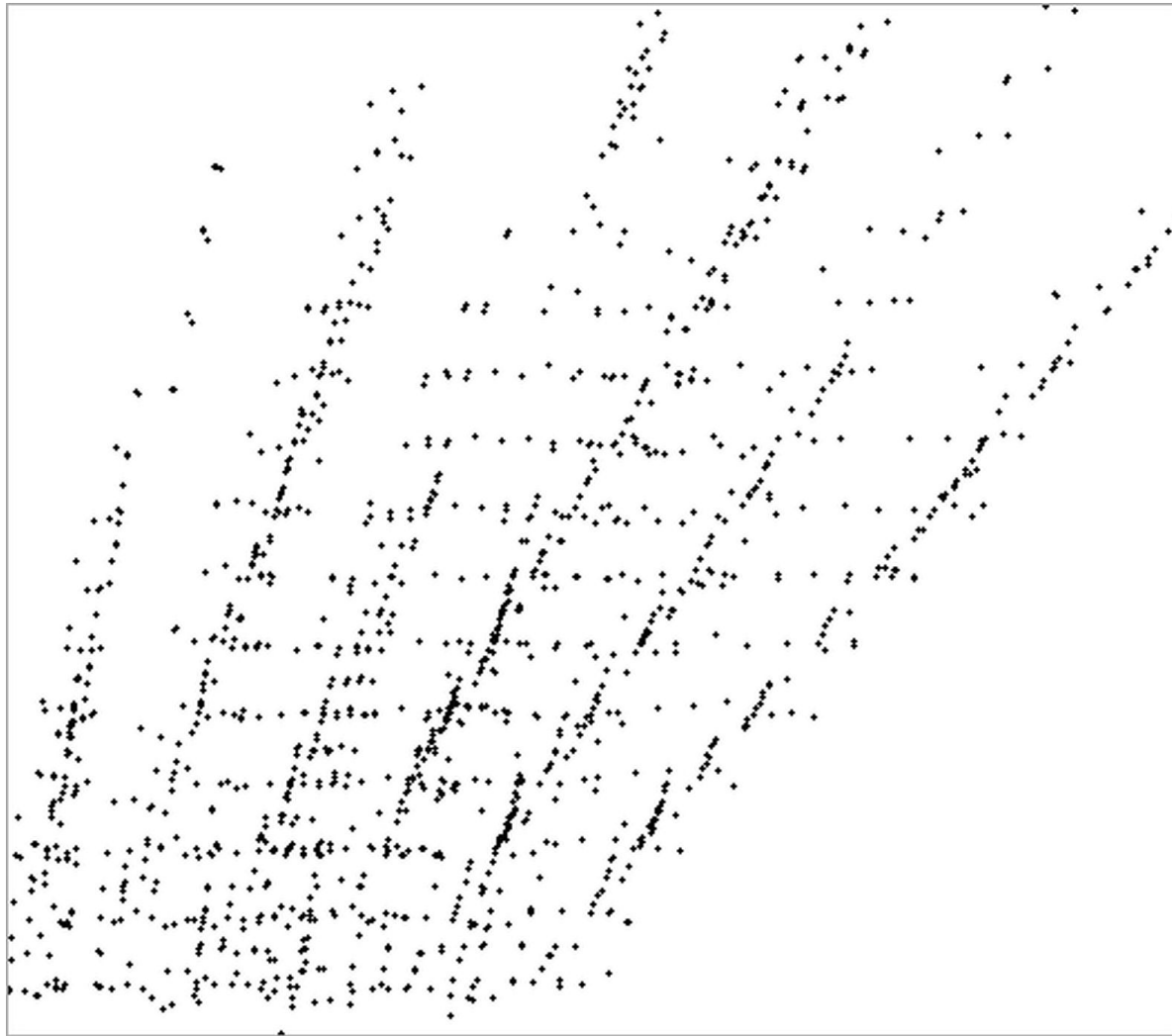


Рис.12 Данные из 1479 точек в плоскости (Q'_I, n'_I) для углов поворота лопастей -10, -5, 0, 5, 10, 15.

Пример лабораторных испытаний

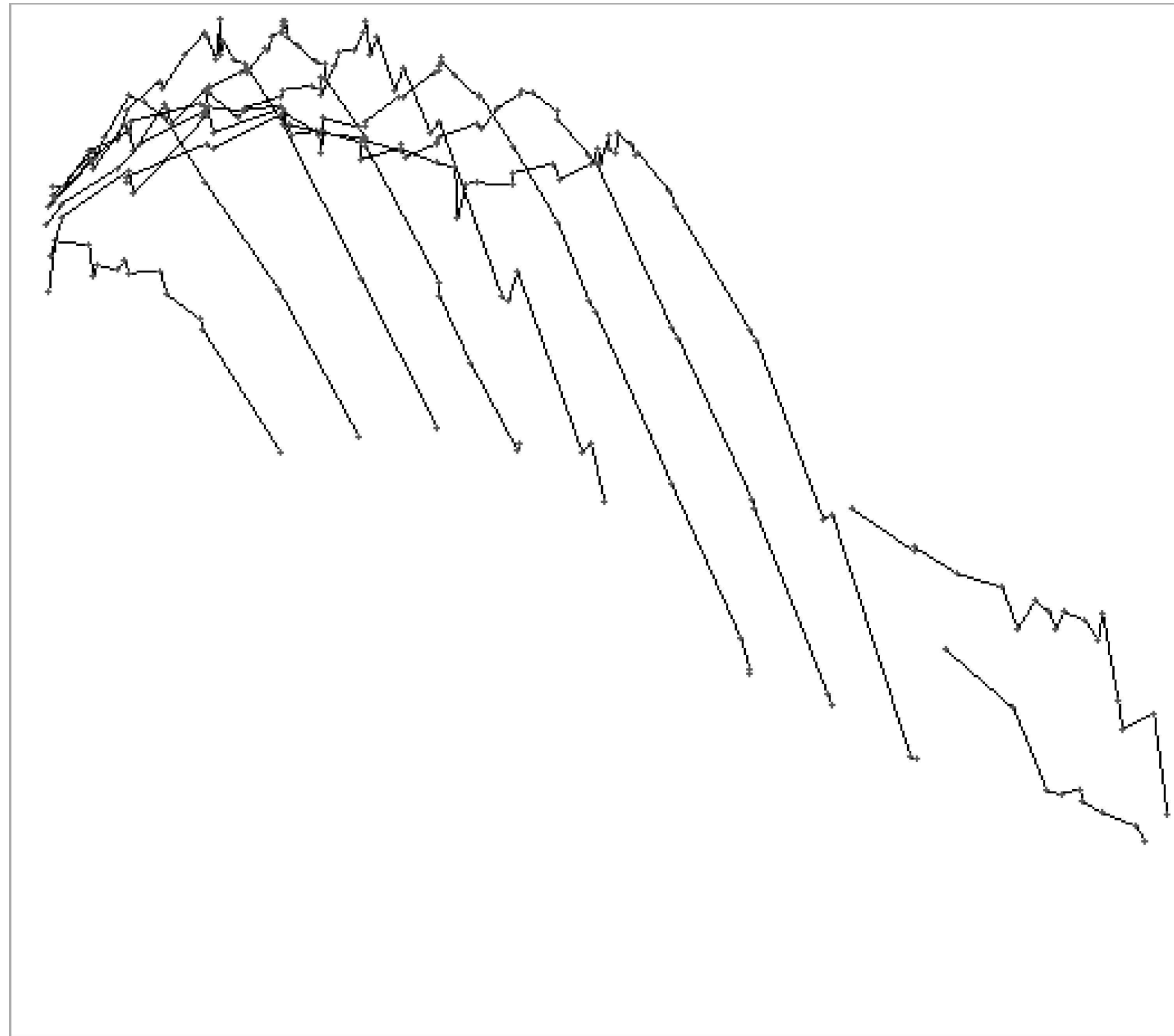


Рис.13 Данные в плоскости (n'_I, η) для $\varphi = 0$.

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.

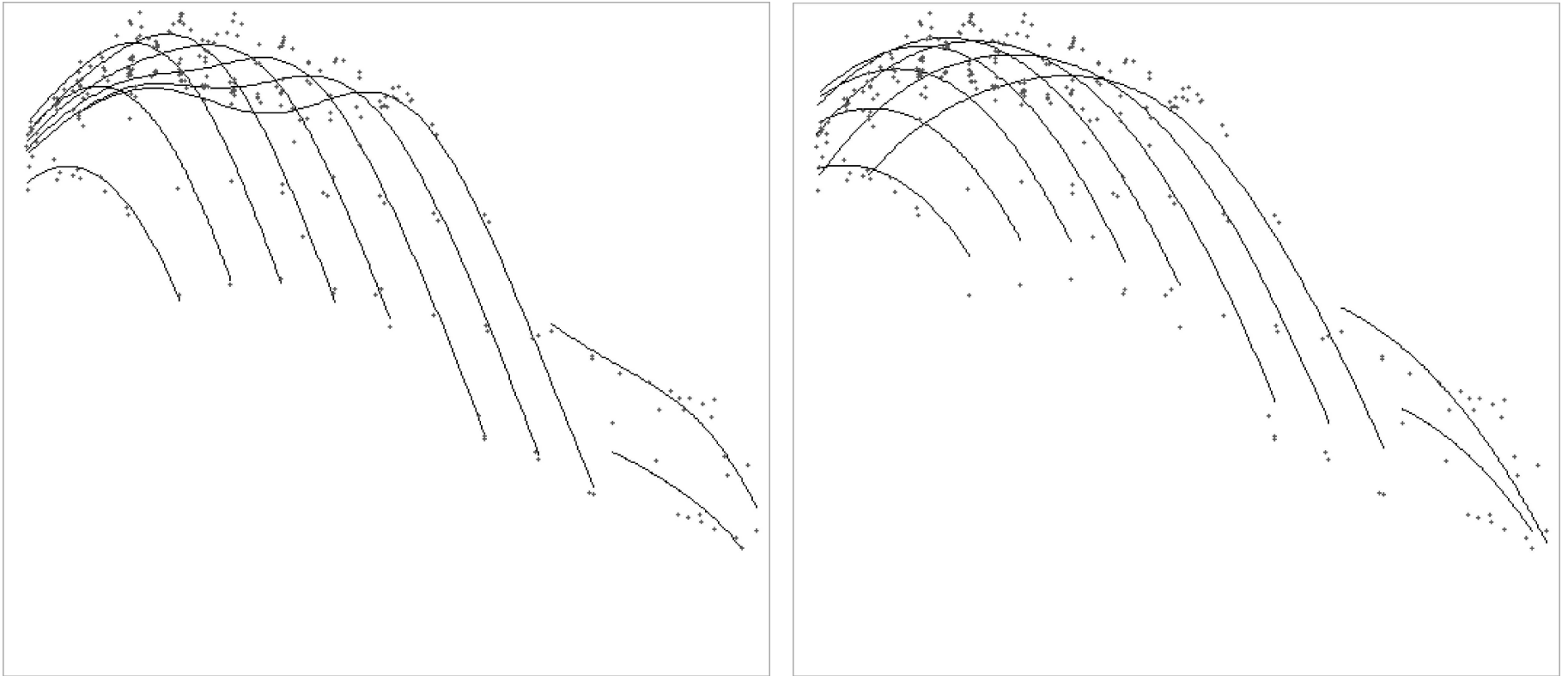


Рис.14 **Линии открытий ($\varphi = 0$)** после построения сглаживающего сплайна при $\rho = 0.001$ и $\rho = 0.1$.

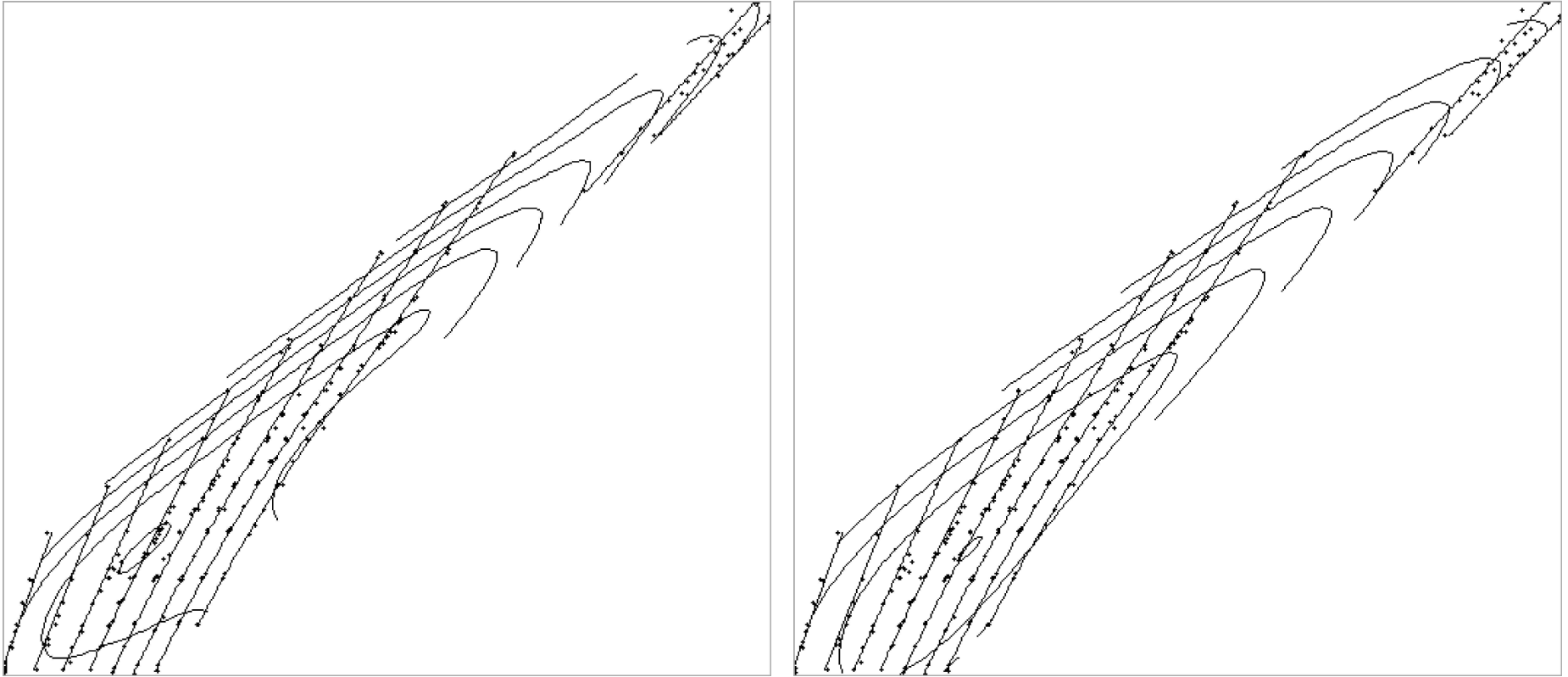


Рис.15 Пропеллерная характеристика ($\varphi = 0$) при $\rho = 0.001$ и $\rho = 0.1$.

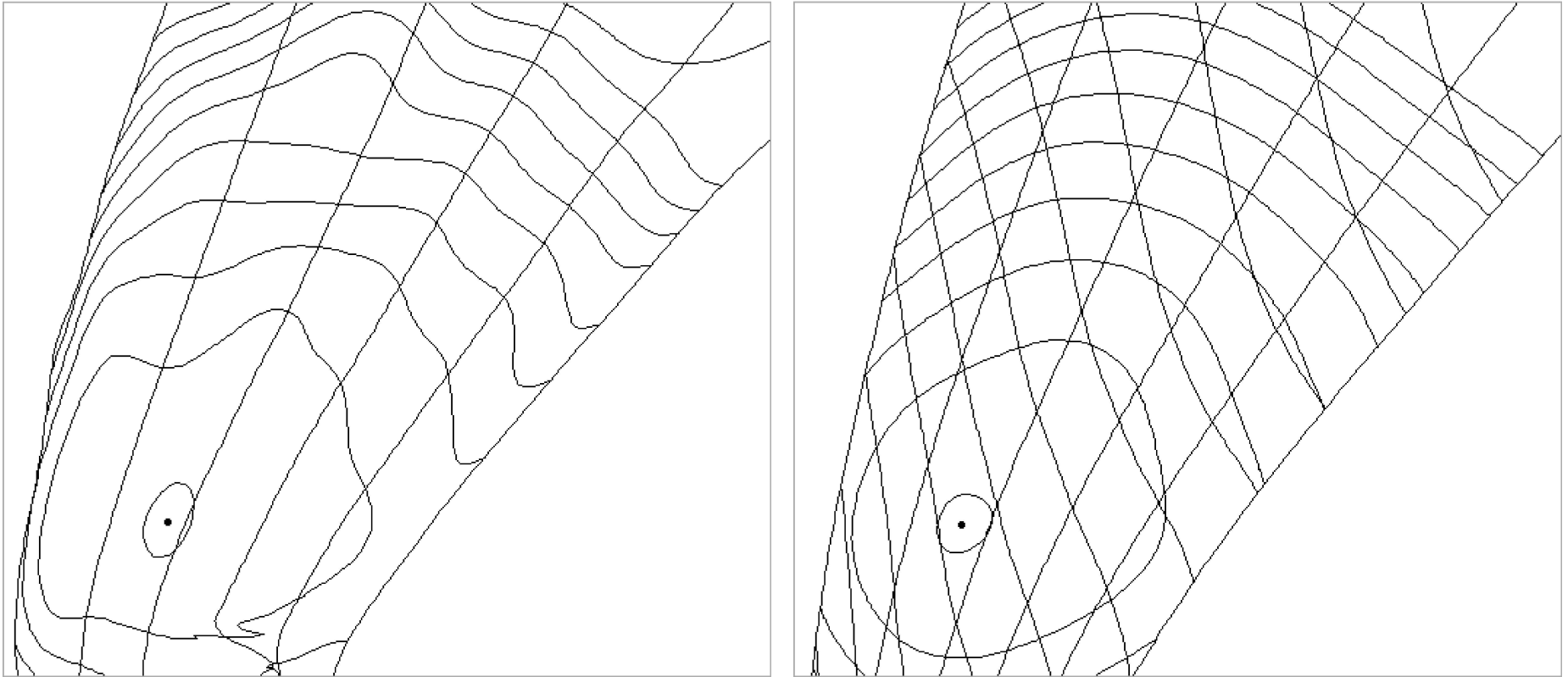


Рис.16 **Универсальная характеристика при $\rho = 0.001$
и $\rho = 0.1$.**

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!