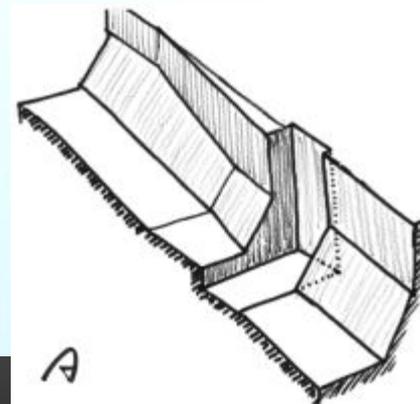




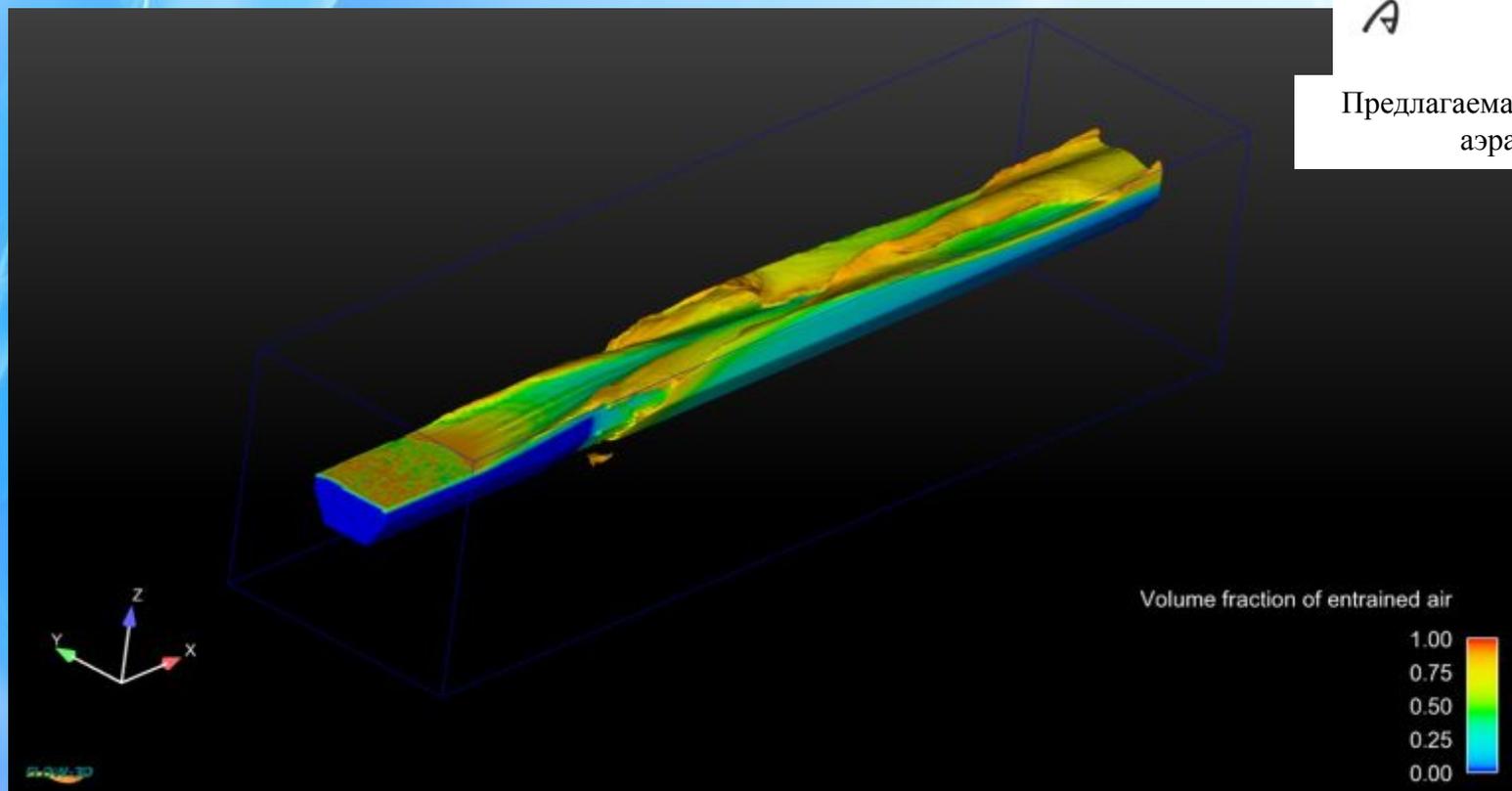
**Результаты физического и  
математического моделирования  
строительного туннеля №4 (СТ4) и  
вихревых шахт водосброса ТВВУ1  
(для обсуждения с экспертом-  
гидравликом компании AFRY доктором  
Бенно Цундом)**

# 1. Аэрация быстотока ДТ4

# Работа аэратора (тип А) при расходе 1750 м<sup>3</sup>/с

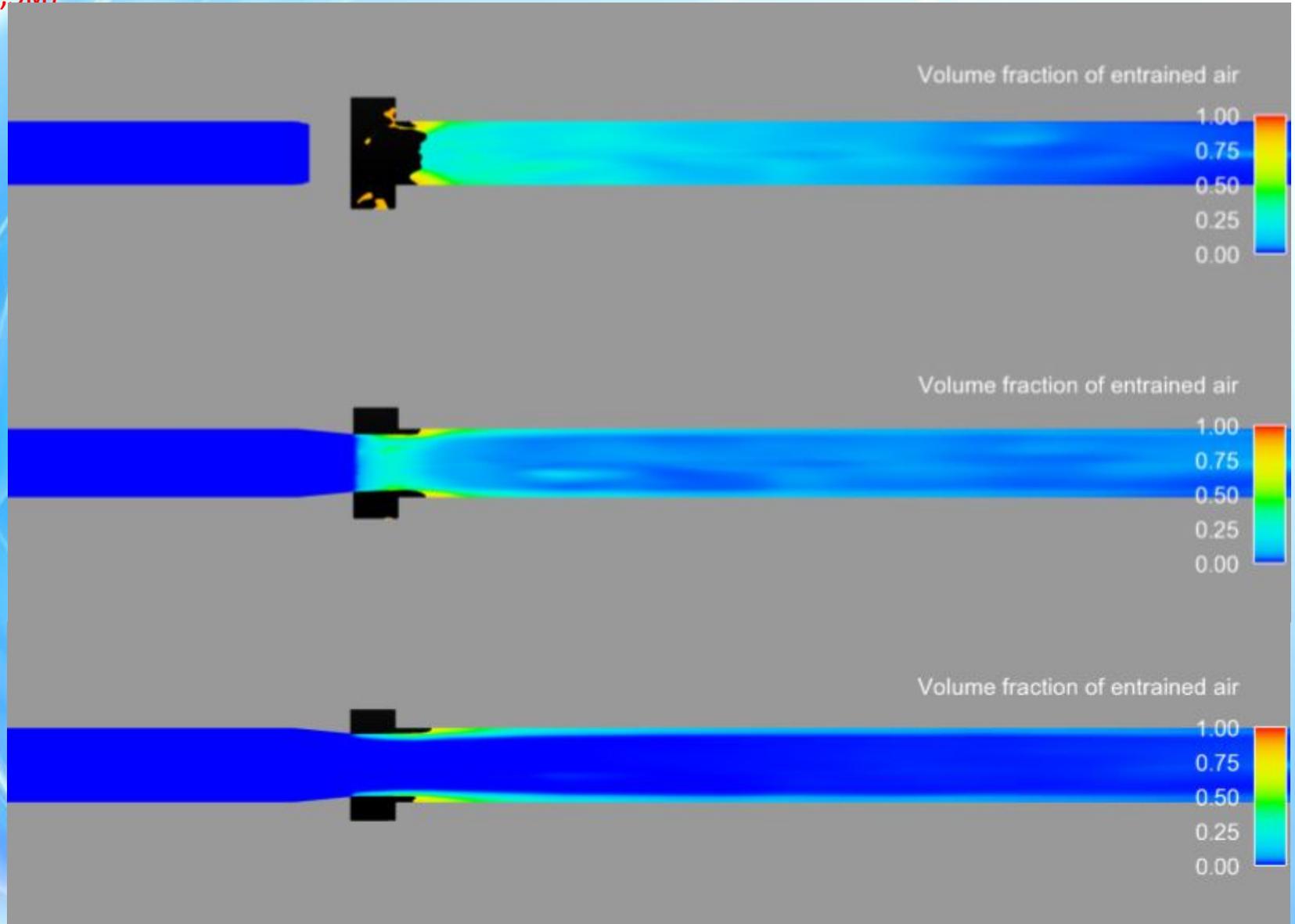


Предлагаемая AFRY конструкция аэратора типа А

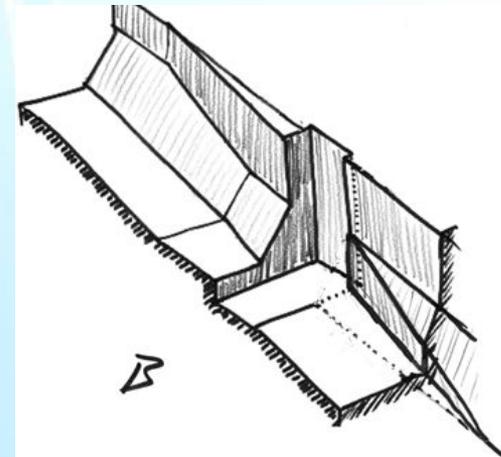
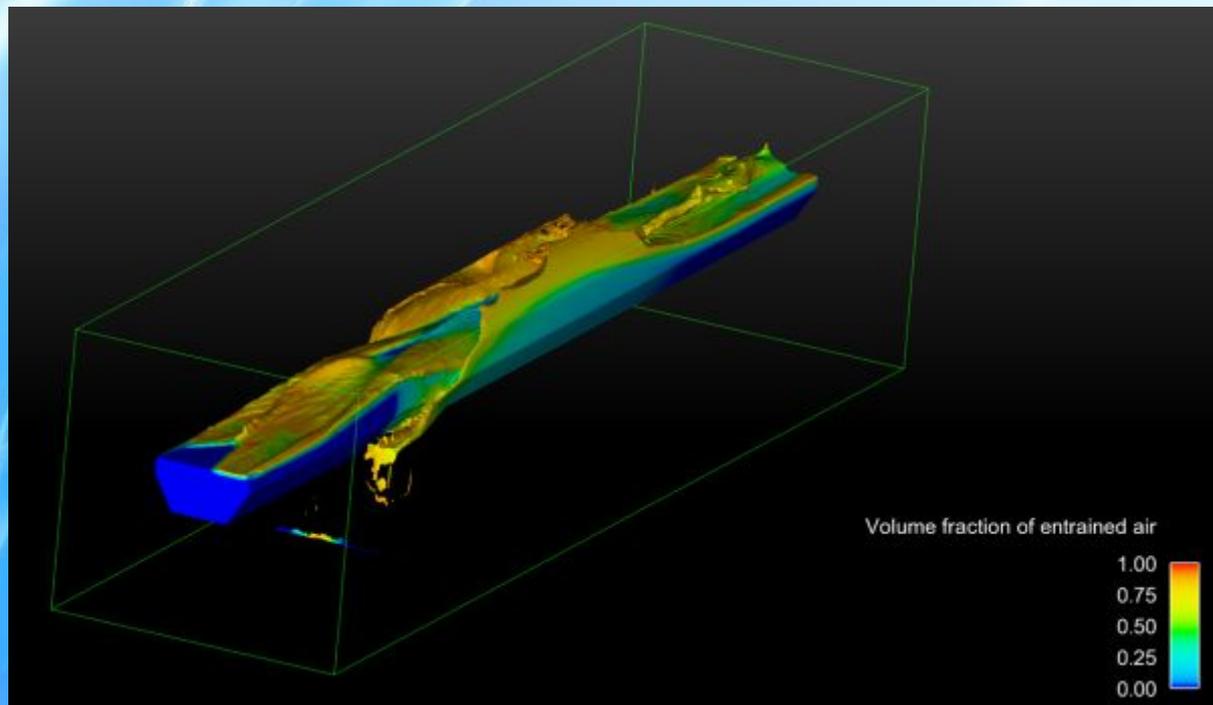


# Работа аэратора (тип А) при расходе 1750 м<sup>3</sup>/с

(Объемная доля воздуха. Сечения параллельно дну на расстоянии от дна 0.5м, 1м и 1,5м)

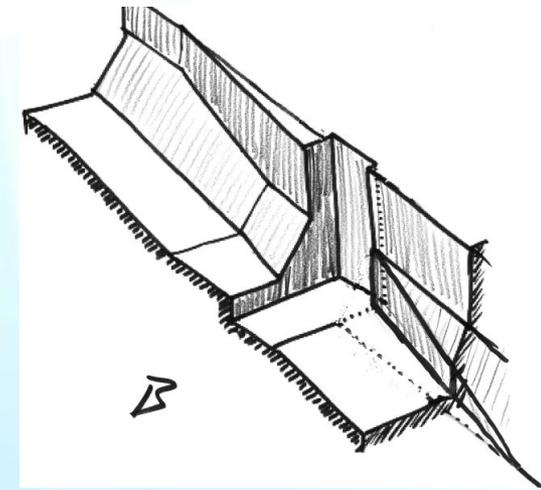


## Работа аэратора (тип В) при расходе 1750 куб.м/с

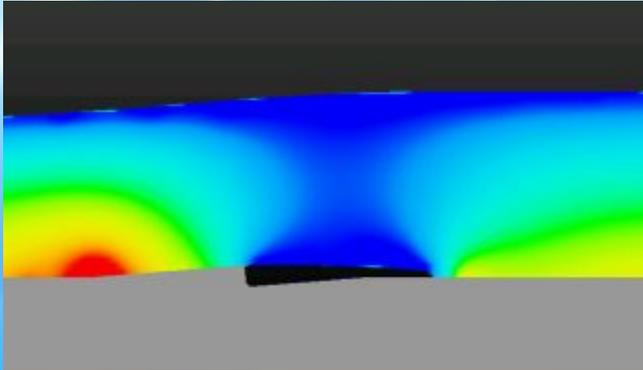


Предлагаемая AFRY конструкция  
аэратора типа В

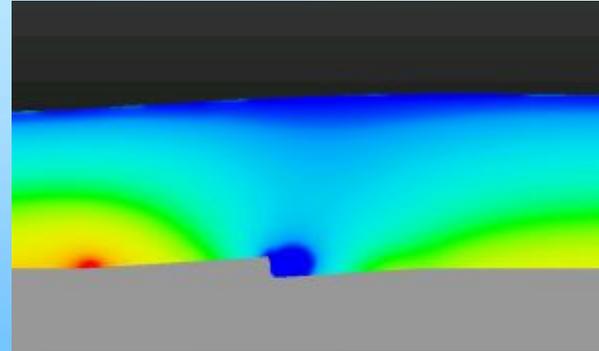
# Результаты расчетов работы аэратора при различных скоростях течения



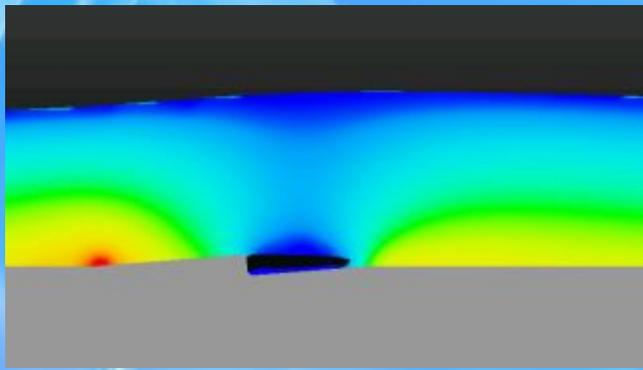
Предлагаемая AFRY конструкция аэратора типа В



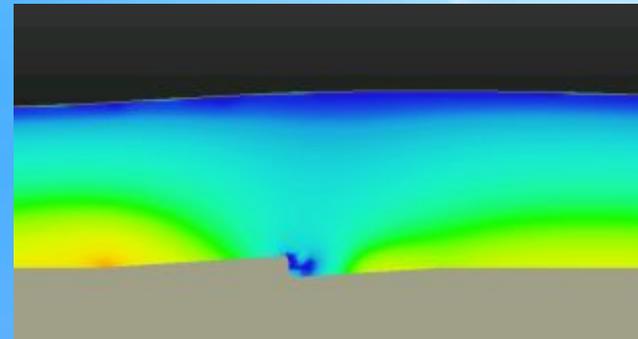
Распределение давлений у аэратора при скорости потока около 27,0 м/с (аэратор не затапливается)



Распределение давлений у аэратора при скорости потока около 20,0 м/с (аэратор затоплен, но давление меньше атмосферного)



Распределение давлений у аэратора при скорости потока около 22,0 м/с (аэратор начинает затапливаться)



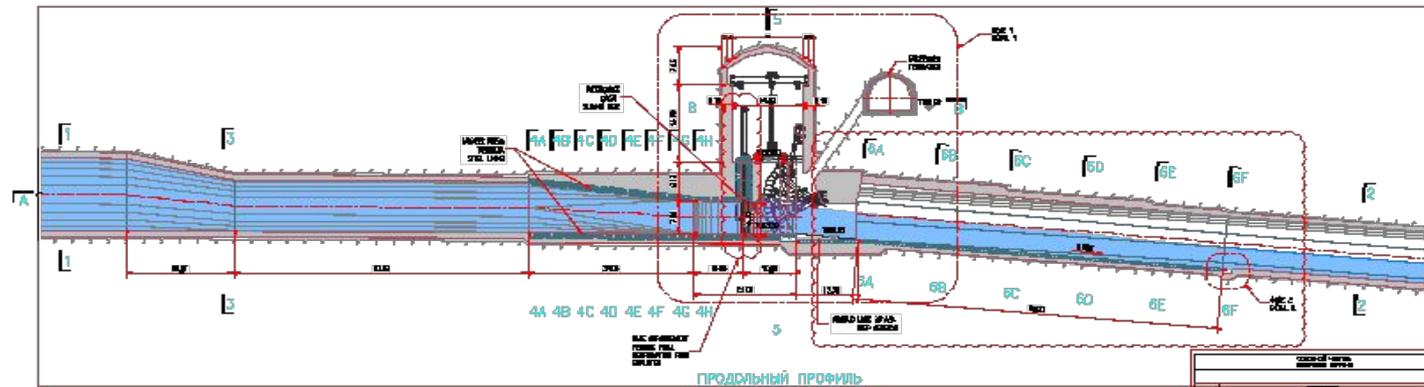
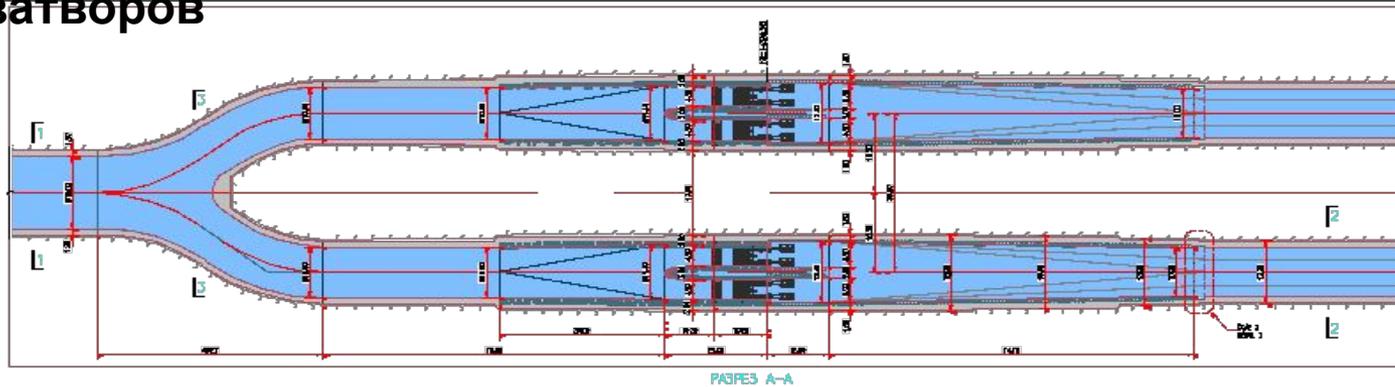
Распределение давлений у аэратора при скорости потока около 18,0 м/с (зона с давлением, которое меньше атмосферного, минимальна)

## 2. Аэрация затвора ДТ4

# Исследования работы 1 пролета туннеля СТ4 на модели 1 (масштаб 1:40)

(открыт затвор №1, затворы № 2-4 – закрыты)  
Чертеж участка разветвления туннеля СТ4 и камер сегментных затворов

затворов



### ПРИМЕЧАНИЕ:

1. ДЗЕ ПРОВІДИТИ І ПОКЛАТИ ПЕРЕКРИТТЯ ДО ПОЧАТКУ РОЗБІВІ ПЕРЕК.

### NOTES:

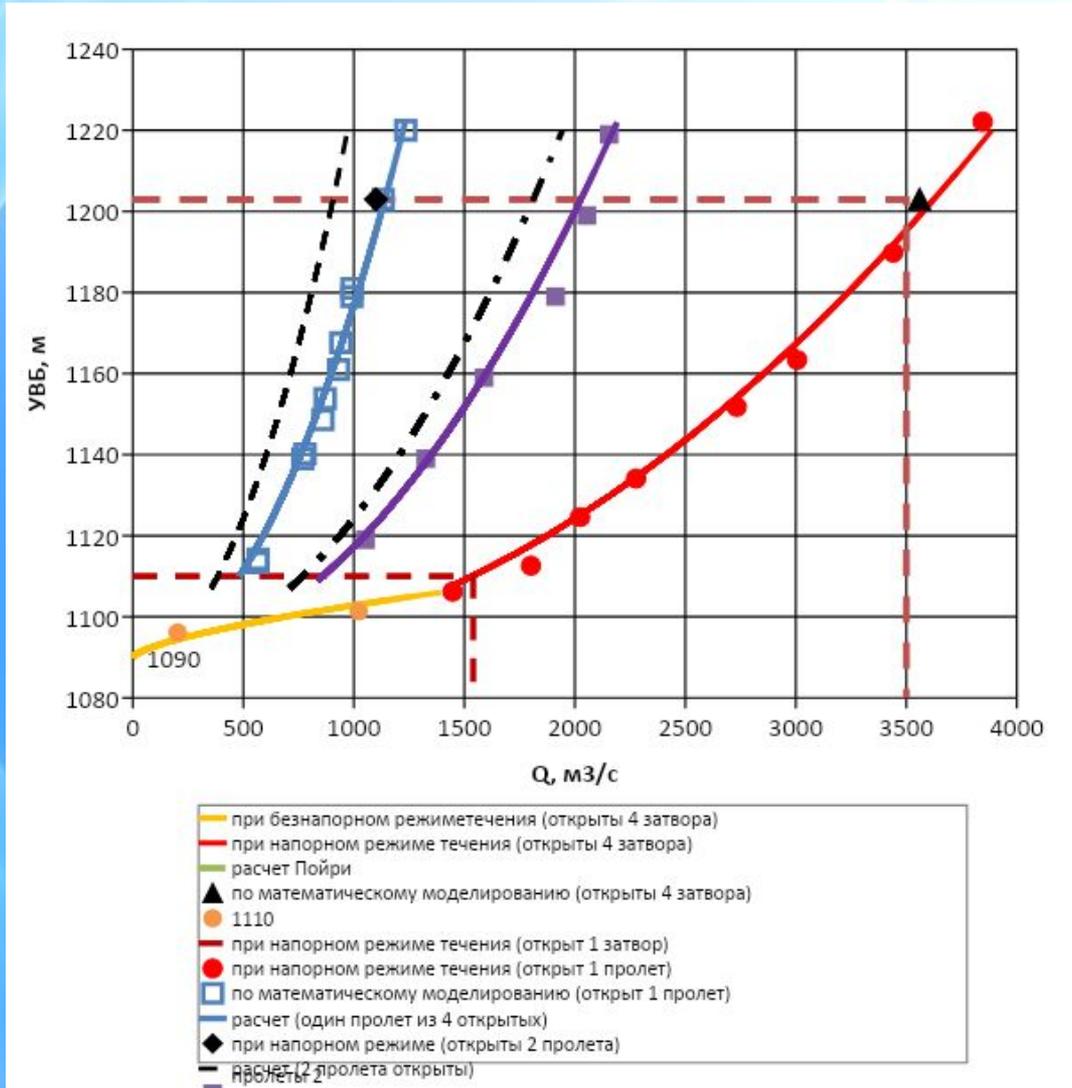
1. ALL BENTONS & DIMENSIONS ARE SHOWN IN METERS UNLESS OTHERWISE STATED.

### SCALE:



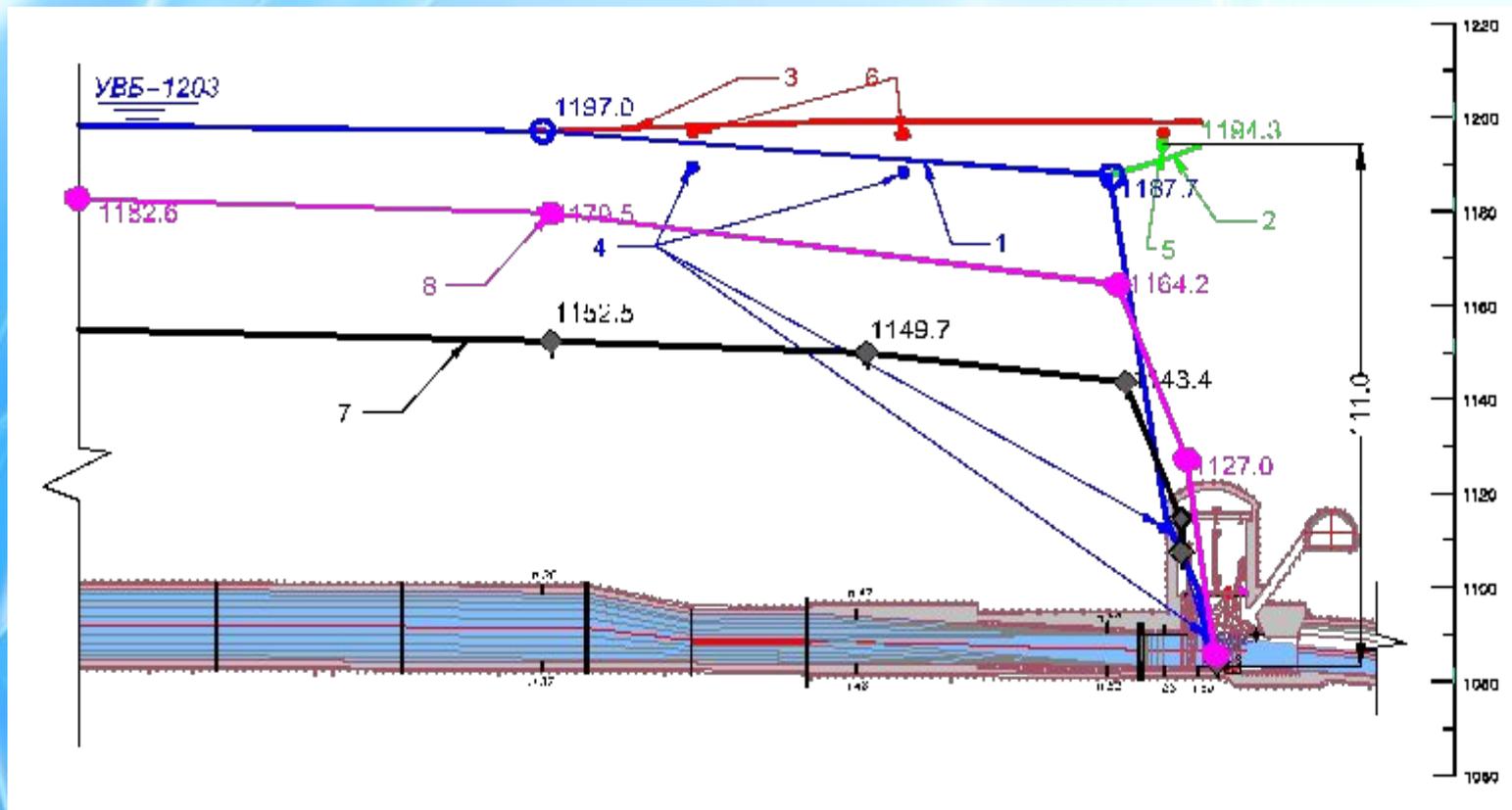
Сторона «Ліва» Left side		Сторона «Право» Right side	
№	Назва	№	Назва
1	Введення	20	Закінчення
2	Розробка проекту	21	Висновок
3	Введення в дію	22	Висновок
4	Введення в дію	23	Висновок
5	Введення в дію	24	Висновок
6	Введення в дію	25	Висновок
7	Введення в дію	26	Висновок
8	Введення в дію	27	Висновок
9	Введення в дію	28	Висновок
10	Введення в дію	29	Висновок
11	Введення в дію	30	Висновок
12	Введення в дію	31	Висновок
13	Введення в дію	32	Висновок
14	Введення в дію	33	Висновок
15	Введення в дію	34	Висновок
16	Введення в дію	35	Висновок
17	Введення в дію	36	Висновок
18	Введення в дію	37	Висновок
19	Введення в дію	38	Висновок
20	Введення в дію	39	Висновок
21	Введення в дію	40	Висновок
22	Введення в дію	41	Висновок
23	Введення в дію	42	Висновок
24	Введення в дію	43	Висновок
25	Введення в дію	44	Висновок
26	Введення в дію	45	Висновок
27	Введення в дію	46	Висновок
28	Введення в дію	47	Висновок
29	Введення в дію	48	Висновок
30	Введення в дію	49	Висновок
31	Введення в дію	50	Висновок
32	Введення в дію	51	Висновок
33	Введення в дію	52	Висновок
34	Введення в дію	53	Висновок
35	Введення в дію	54	Висновок
36	Введення в дію	55	Висновок
37	Введення в дію	56	Висновок
38	Введення в дію	57	Висновок
39	Введення в дію	58	Висновок
40	Введення в дію	59	Висновок
41	Введення в дію	60	Висновок
42	Введення в дію	61	Висновок
43	Введення в дію	62	Висновок
44	Введення в дію	63	Висновок
45	Введення в дію	64	Висновок
46	Введення в дію	65	Висновок
47	Введення в дію	66	Висновок
48	Введення в дію	67	Висновок
49	Введення в дію	68	Висновок
50	Введення в дію	69	Висновок
51	Введення в дію	70	Висновок
52	Введення в дію	71	Висновок
53	Введення в дію	72	Висновок
54	Введення в дію	73	Висновок
55	Введення в дію	74	Висновок
56	Введення в дію	75	Висновок
57	Введення в дію	76	Висновок
58	Введення в дію	77	Висновок
59	Введення в дію	78	Висновок
60	Введення в дію	79	Висновок
61	Введення в дію	80	Висновок
62	Введення в дію	81	Висновок
63	Введення в дію	82	Висновок
64	Введення в дію	83	Висновок
65	Введення в дію	84	Висновок
66	Введення в дію	85	Висновок
67	Введення в дію	86	Висновок
68	Введення в дію	87	Висновок
69	Введення в дію	88	Висновок
70	Введення в дію	89	Висновок
71	Введення в дію	90	Висновок
72	Введення в дію	91	Висновок
73	Введення в дію	92	Висновок
74	Введення в дію	93	Висновок
75	Введення в дію	94	Висновок
76	Введення в дію	95	Висновок
77	Введення в дію	96	Висновок
78	Введення в дію	97	Висновок
79	Введення в дію	98	Висновок
80	Введення в дію	99	Висновок
81	Введення в дію	100	Висновок

# Пропускная способность туннеля СТ4 при работе 1, 2-х и всех 4 пролетов по данным модели 1



Коэффициент расхода туннеля СТ4 при работе 1 пролета  $\mu = 0,9$ , при работе 2-х -  $\mu=0,8$ , а при 4-х -  $\mu=0,715$

## Сопоставление результатов физического и математического моделирования по определению осредненных пьезометрических давлений при открытии одного и двух сегментных затворов, а также сравнение этих данных с полученными при открытии всех 4 затворов



При работе 1 пролета (УВБ=1203 м,  $Q_1=1140 \text{ м}^3/\text{с}$ ): 1 – по данным физического моделирования левая ветка, камера левая; 2 – левая ветка камера правая; 3 – правая ветка; 4 – по данным математического моделирования левая ветка, камера левая; 5 - по данным математического моделирования левая ветка камера правая; 6 - по данным математического моделирования правая ветка.

При работе 2-х пролетов (УВБ=1203 м,  $Q_1=1027 \text{ м}^3/\text{с}$ ): 8 - по данным физического моделирования

При работе 4-х пролетов (УВБ=1203 м,  $Q_1=906 \text{ м}^3/\text{с}$ ): 7 - по данным физического моделирования

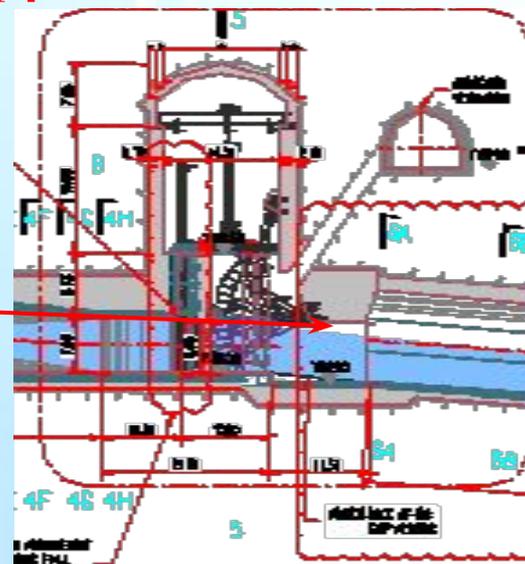
**Общий вид на режим течения при работе 1 пролета туннеля СТ4 на модели 1  
(3 затвора закрыты)**



**Труба с установленной  
диафрагмой для измерения  
расхода воздуха**

## Определение критического УВБ для обеспечения функционирования аэратора при работе 1 пролета туннеля СТ4

Опорная балка  
затвора  
на отметке 1089,80 м



При УВБ = 1140  
м

При критическом УВБ = 1150  
м



# Определение критического УВБ для обеспечения функционирования азратора при работе 1 пролета туннеля СТ4

Опорная балка затвора поднята до отметки 1092,00

М

Нет контакта потока с балкой затвора

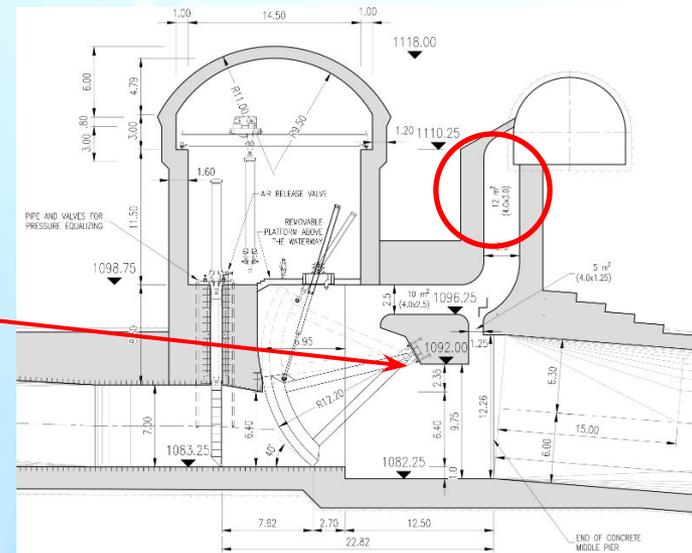
При УВБ = 1170

М

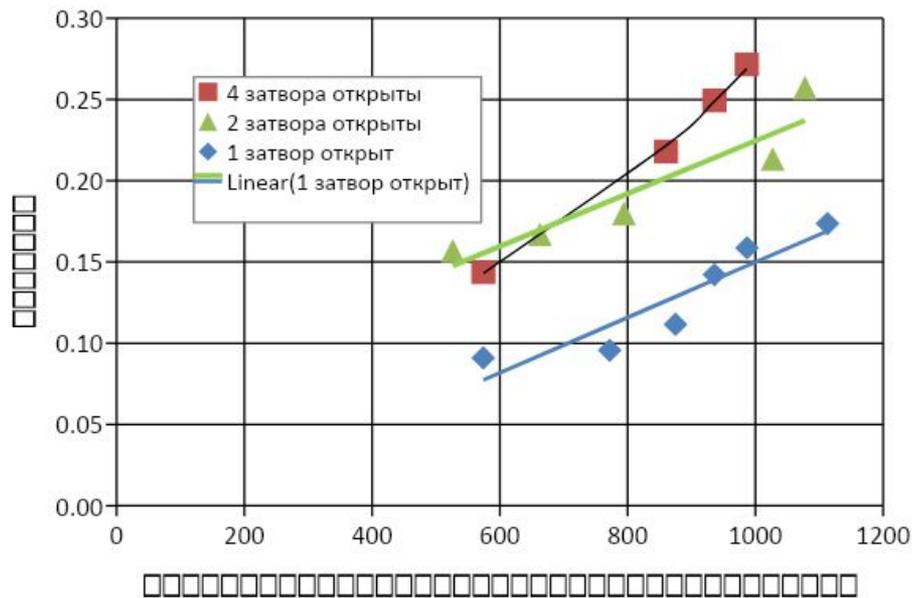
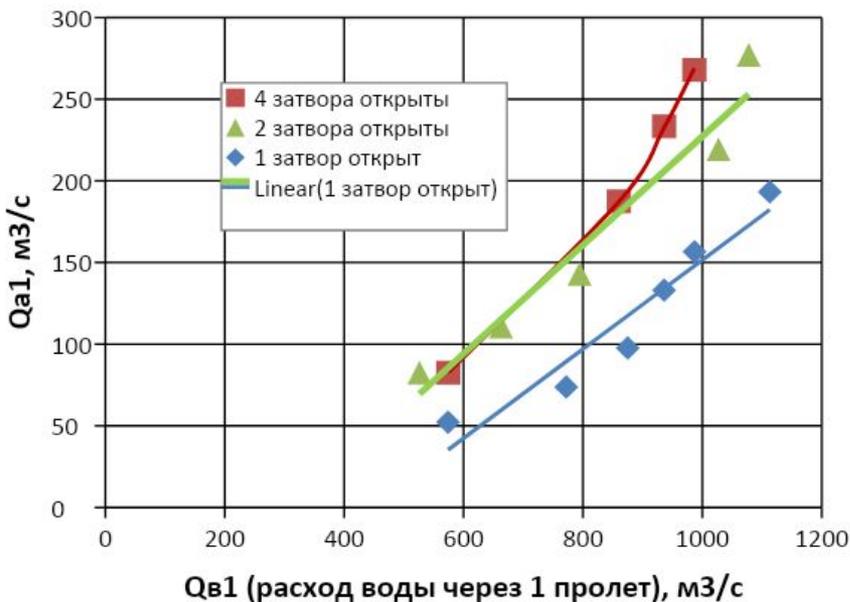
При критическом УВБ = 1180

М

Отраженные струи

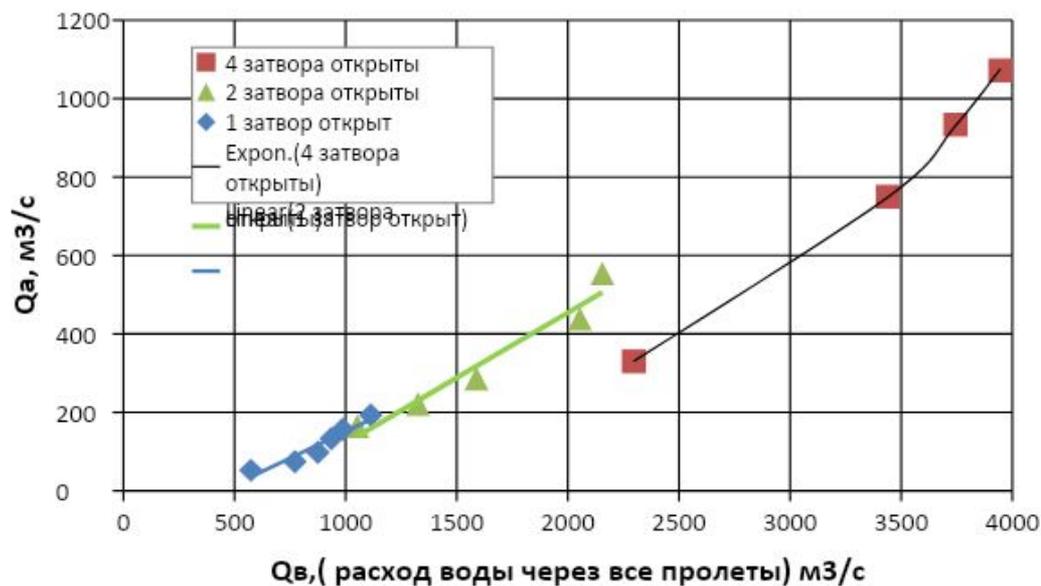


## Зависимости расхода воздуха через 1 пролет от сбросного расхода этого пролета при различных вариантах работы туннеля СТ4



### Примечание:

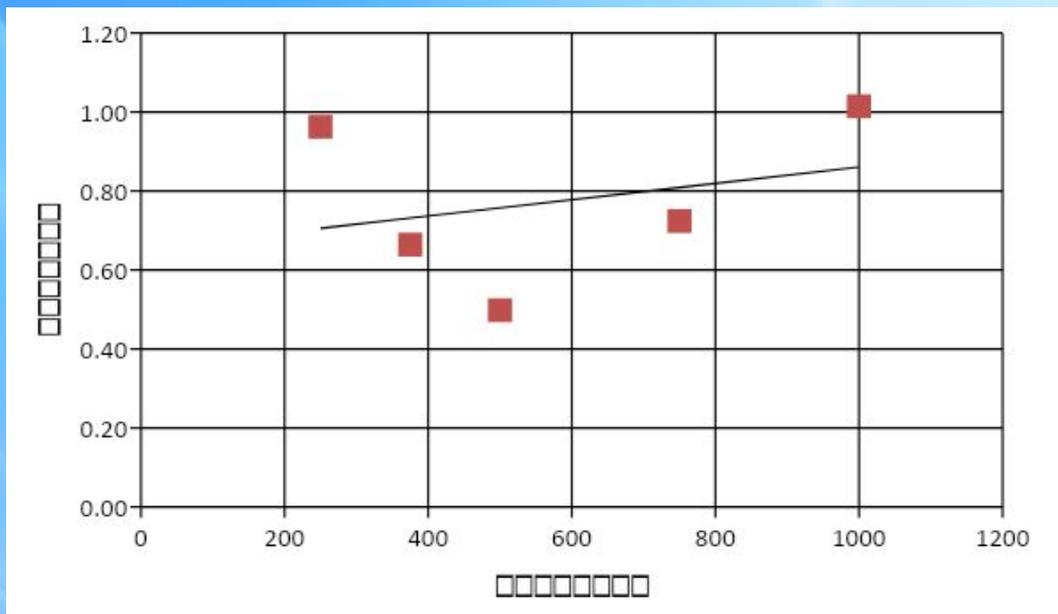
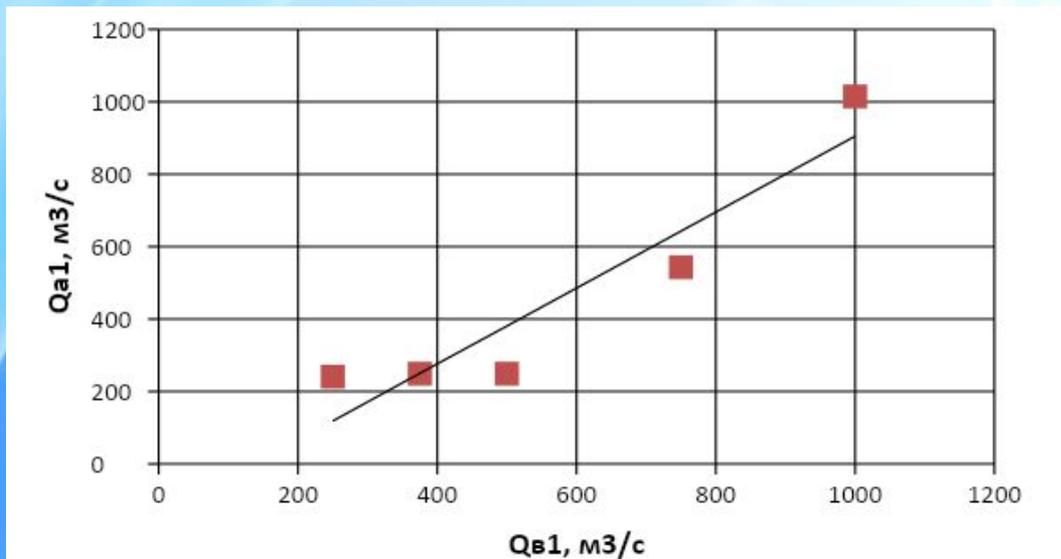
Опыты при работе 4-х и 2-х пролетов проведены при низком положении опорной балки затвора, а для опытов с 1-м пролетом балка поднята



### 3. Вихревые шахты ТВВУ1 / РДО



# Зависимости расхода воздуха, поступающего в камеру сегментных затворов ТВВУ1



## РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ В ВИХРЕВЫХ ШАХТАХ

Левая шахта. Крышка на камере  
сегментных затворов закрыта  
(без доступа воздуха)



Образуется воздушный вихрь

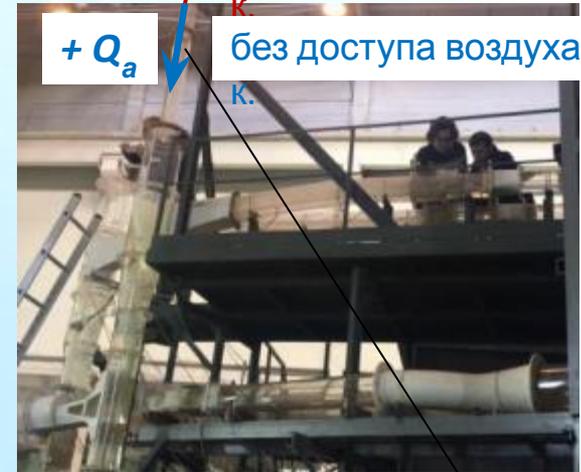
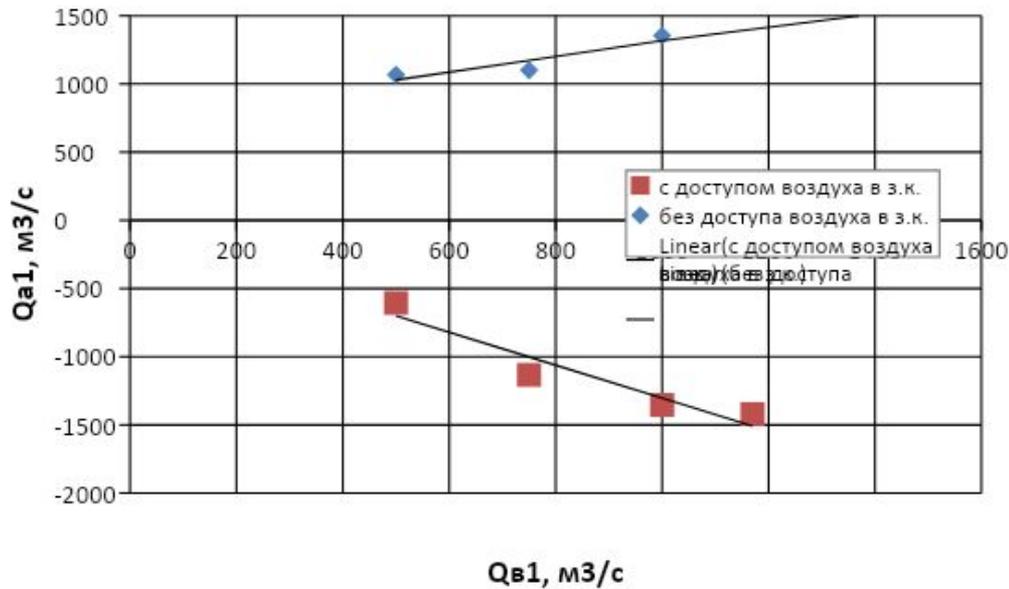
Левая шахта. Крышка на камере  
сегментных затворов открыта  
(свободный доступ воздуха)



Винтовое течение

# Зависимости расхода воздуха, поступающего или выходящего из вихревой шахты

при дроссельном отверстии площадью  $40 \text{ м}^2$



с доступом воздуха в з.к.

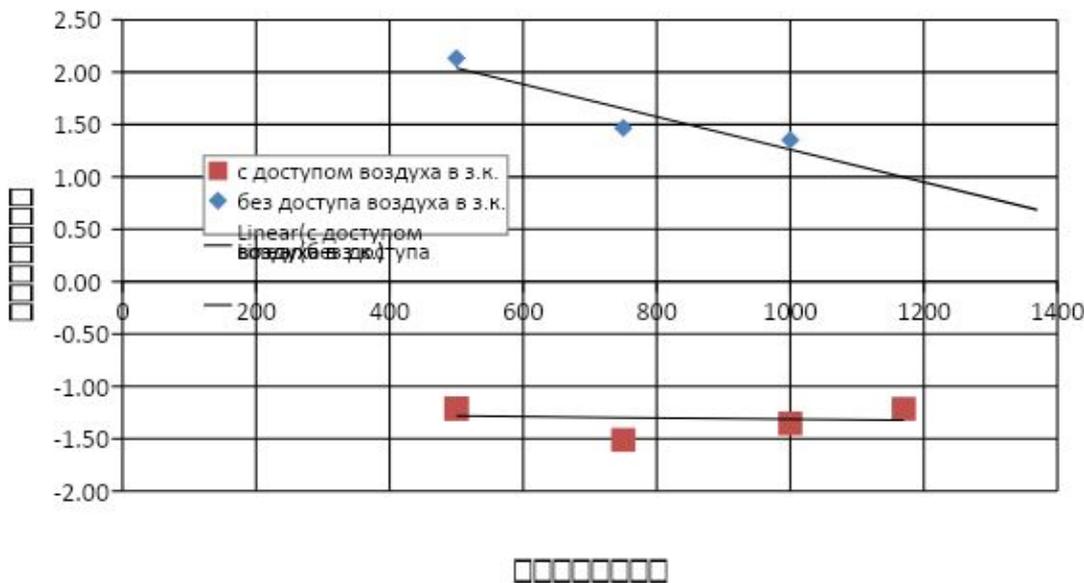
без доступа воздуха в з.к.

аэрационная шахта

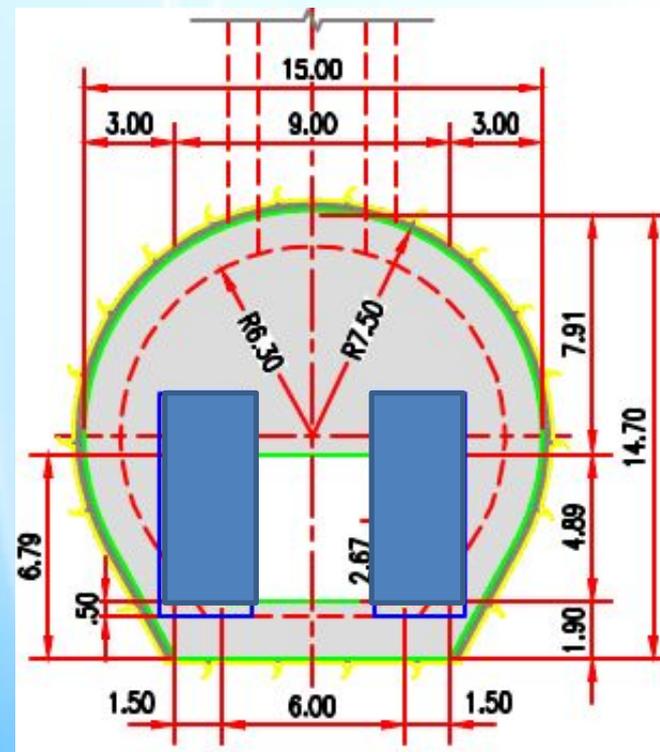
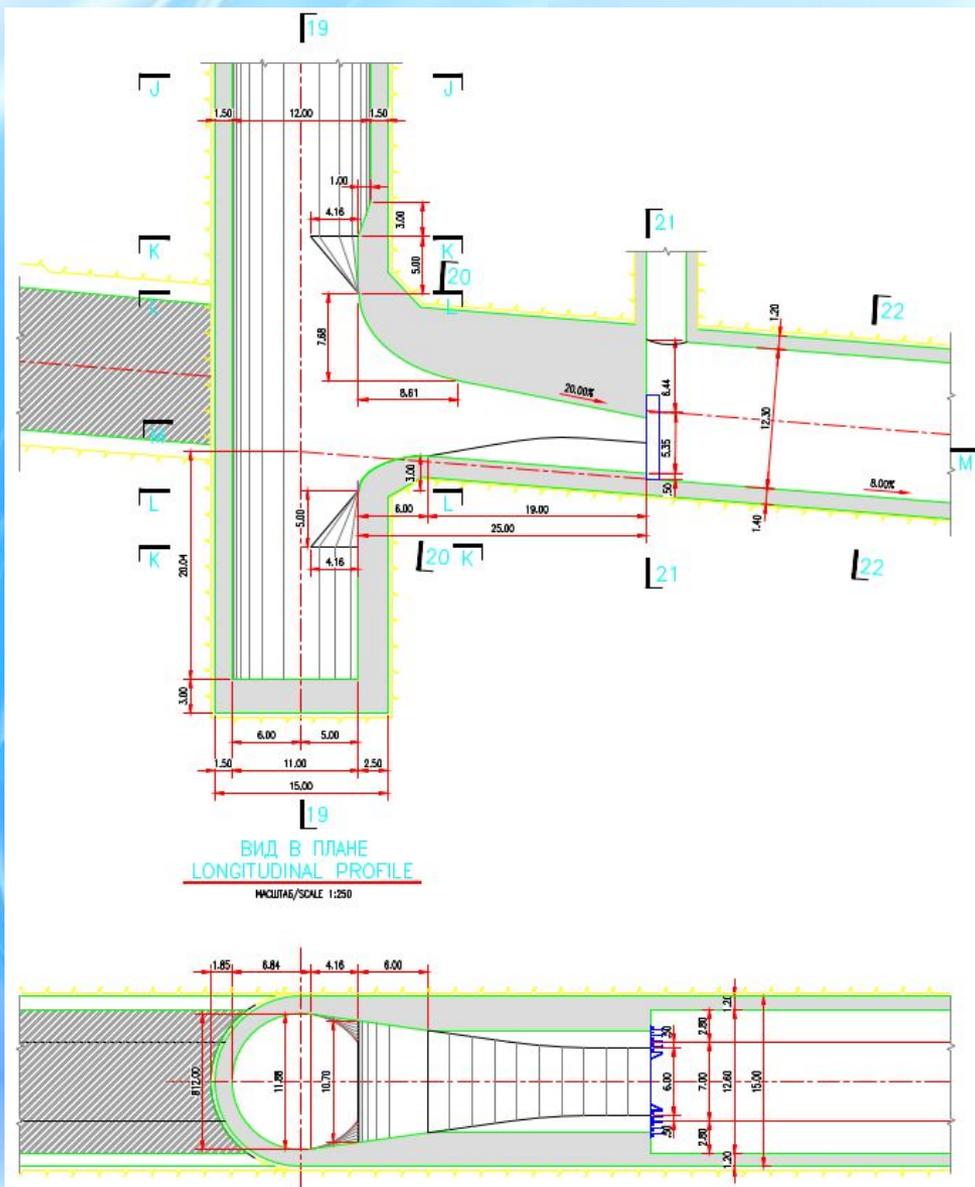
вихревой шахты

## Вывод:

1. При свободном доступе воздуха в камеру сегментных затворов (з.к.) воздух « $-Q_a$ » из вихревой шахты выходит вверх (винтовое течение).
2. При прекращении доступа воздуха в камеру сегментных затворов (на модели крышка закрыта) воздух « $+Q_a$ » поступает в вихревую шахту вниз (воздушный вихрь).

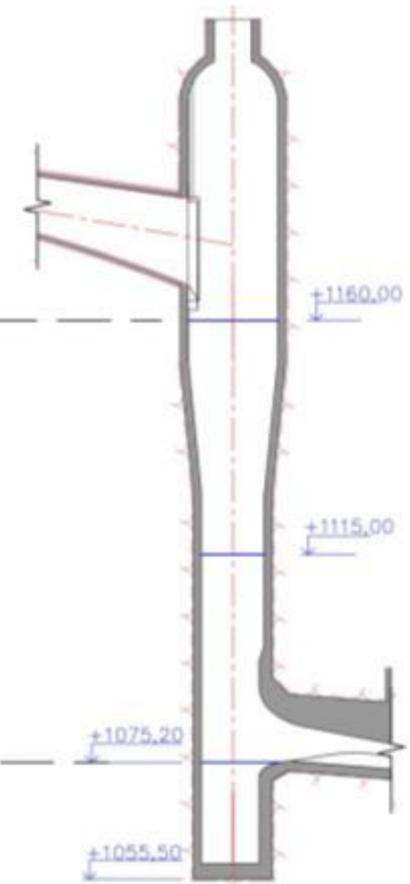
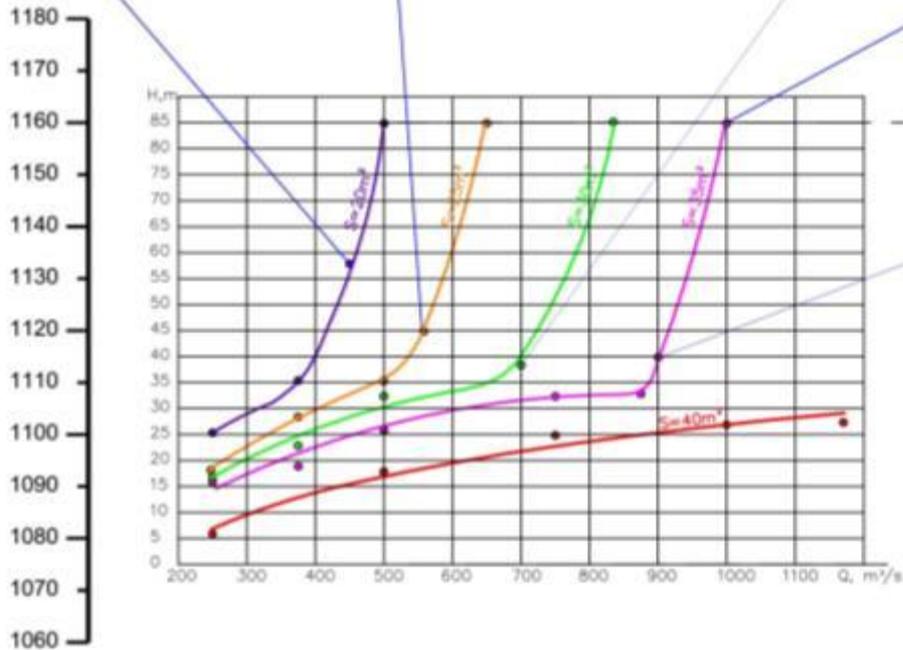


# Предлагаемая АFRУ конструкция дроссельного отверстия (РДО)



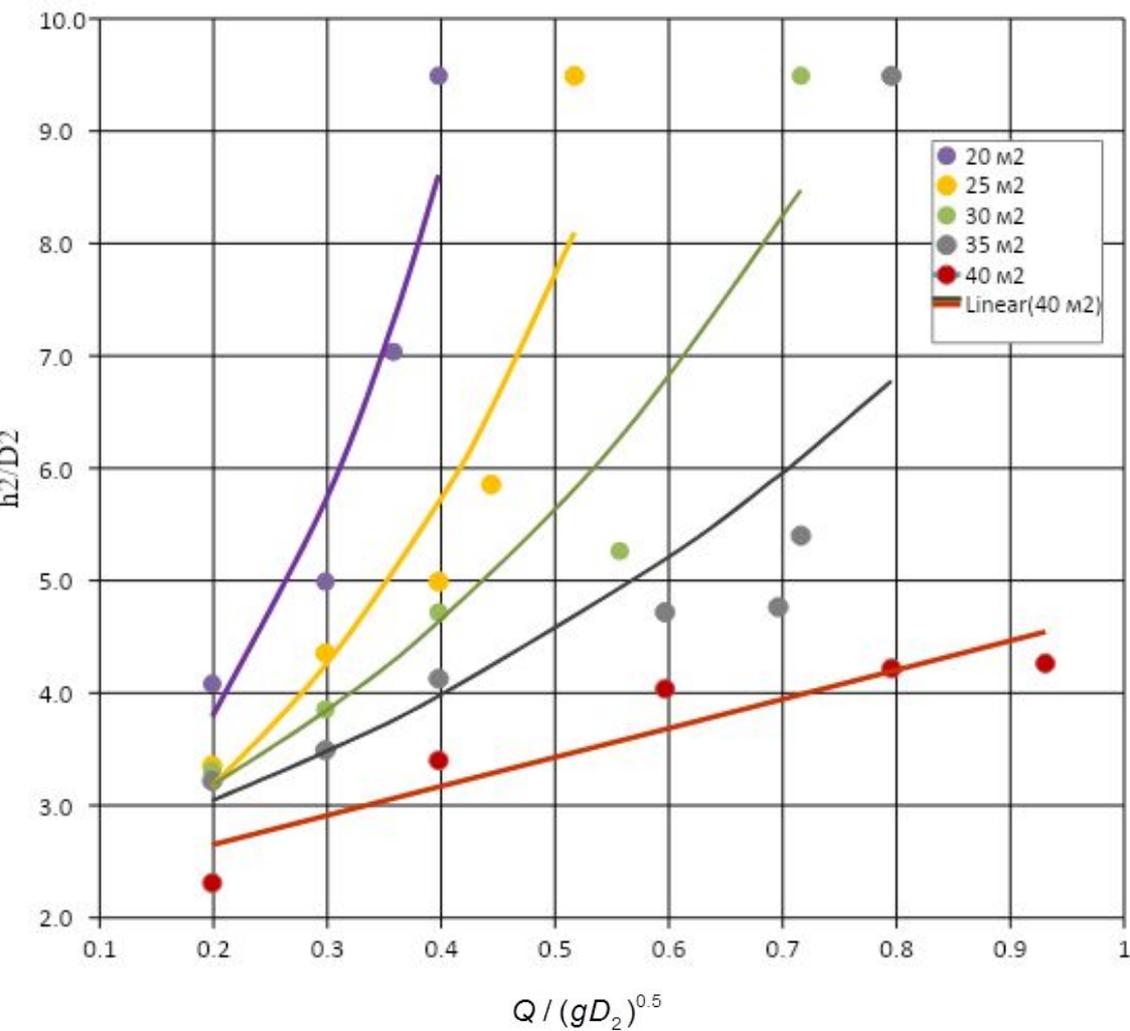
Необходимо рассмотреть ширину пролета РДО 4,0; 5,0; 6,0 и 7,0 м

**Зависимости уровней воды в вихревой шахте от расхода при дроссельных отверстиях (РДО) площадью 20, 25, 30, 35 м<sup>2</sup>, а также при его проектной конструкции площадью 40 м<sup>2</sup>**

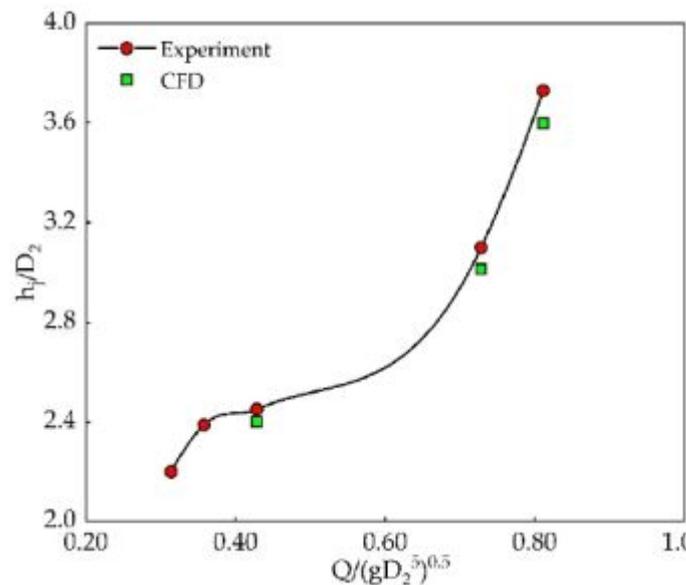


**AFRY предлагает уменьшить площадь дроссельного отверстия до 32 м<sup>2</sup>????**

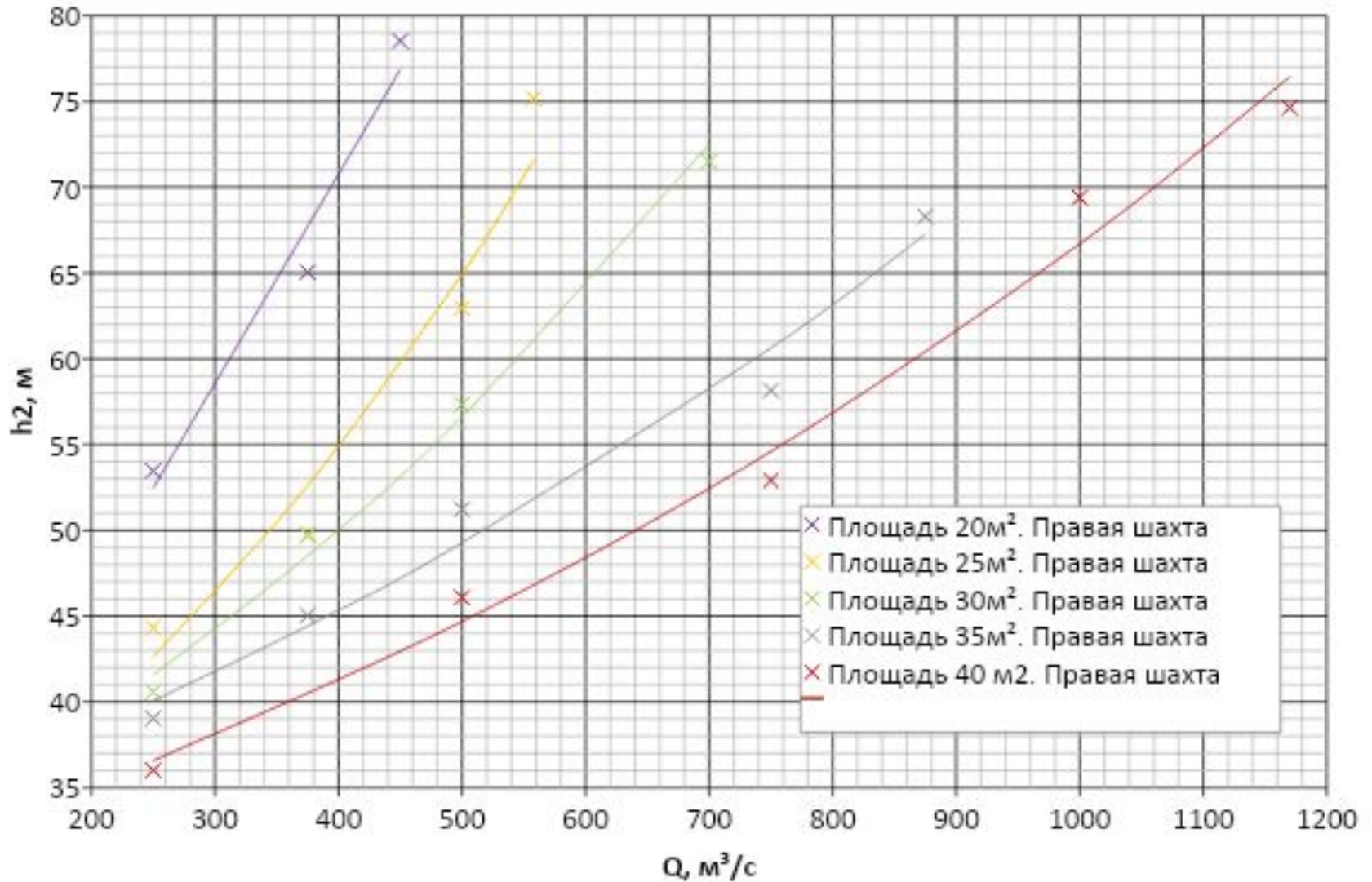
**Зависимости относительных уровней воды, отсчитываемых от дна вихревой шахты, от относительного расхода при дроссельных отверстиях (РДО) площадью 20, 25, 30, 35 м<sup>2</sup>, а также при его проектной конструкции площадью 40 м<sup>2</sup>**



Three-Dimensional Flow of a Vortex Drop Shaft Spillway with an Elliptical tangential Inlet/ Zhou Yang, Jinbu Yin, Yangliang Lu, Zhiming Liu, Haoyu Yang and Genhai Xu// Water 2021,33,504.



**Зависимости пьезометрических давлений (м вод. столба) на дно вихревой шахты от расхода при дроссельных отверстиях (РДО) площадью 20, 25, 30, 35 м<sup>2</sup>, а также при его проектной конструкции площадью 40 м<sup>2</sup>**

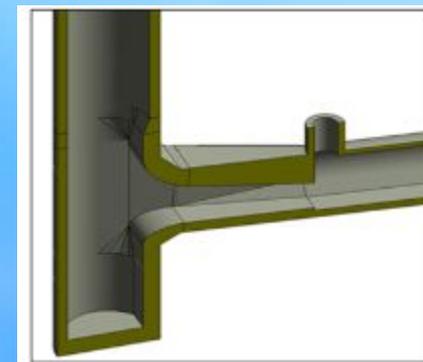
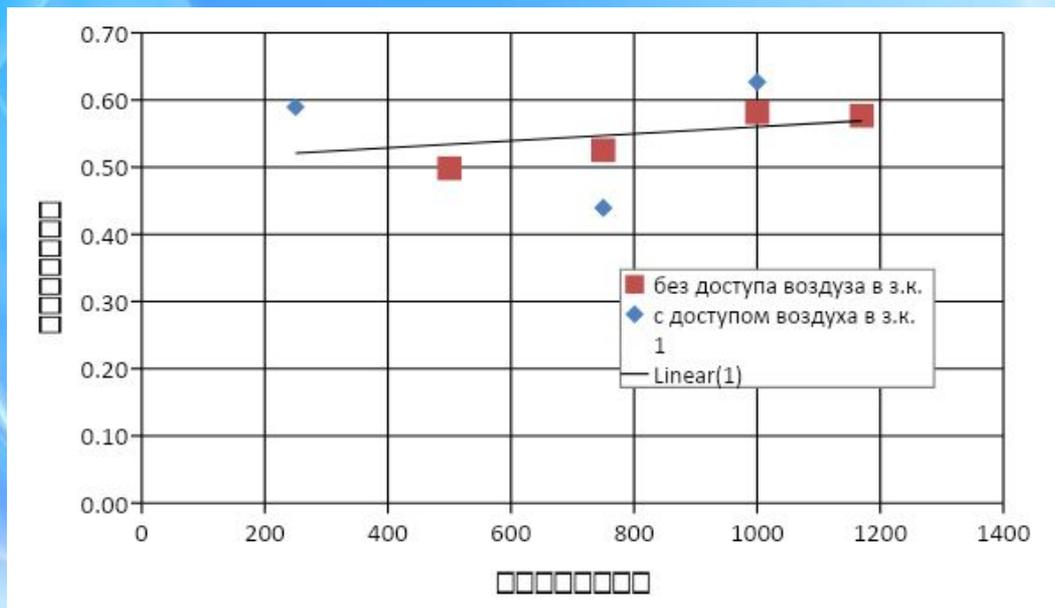
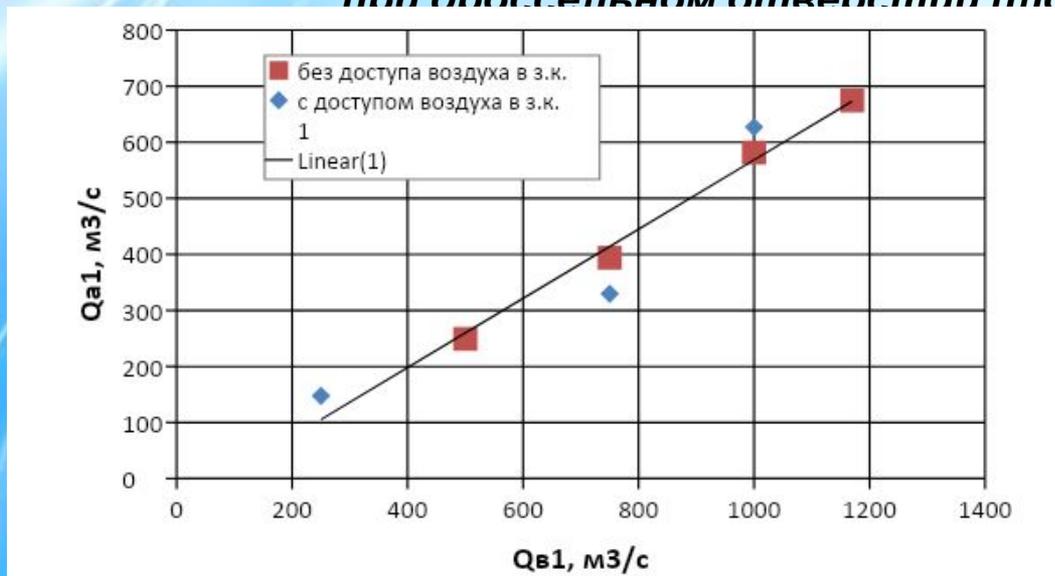


## 4. Вихревые шахты ТВВУ1 / потребление воздуха

# Зависимости расхода воздуха, поступающего на безнапорный участок туннеля СТ4,

при дроссельном отверстии площадью  $40 \text{ м}^2$

**аэрационная шахта**



**Режим течения на безнапорном участке туннеля СТ4  
(при дроссельном отверстии площадью 40 м<sup>2</sup>)**



**Непосредственные измерения воздухосодержания в потоке на выходе из дроссельного отверстия показали, что при расходе 250 м<sup>3</sup>/с оно составляет в среднем 30%, а при расходе 1000 м<sup>3</sup>/с – только 2,0%.**