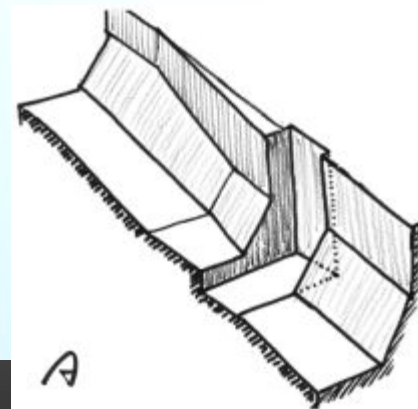




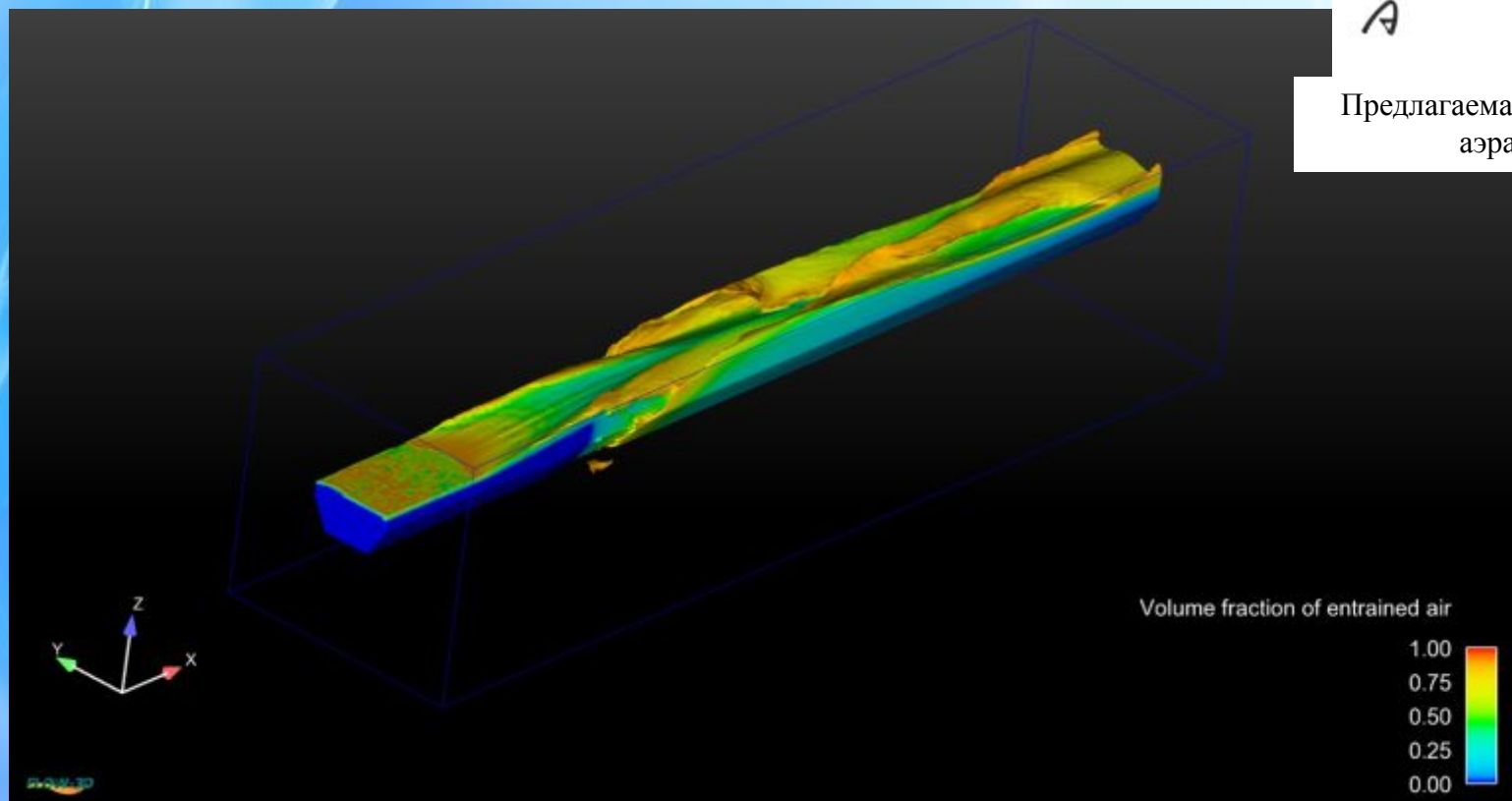
**Результаты физического и  
математического моделирования  
строительного туннеля №4 (СТ4) и  
вихревых шахт водосброса ТВВУ1  
(для обсуждения с экспертом-  
гидравликом компании AFRY доктором  
Бенно Цундом)**

# 1. Аэрация быстотока ДТ4

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

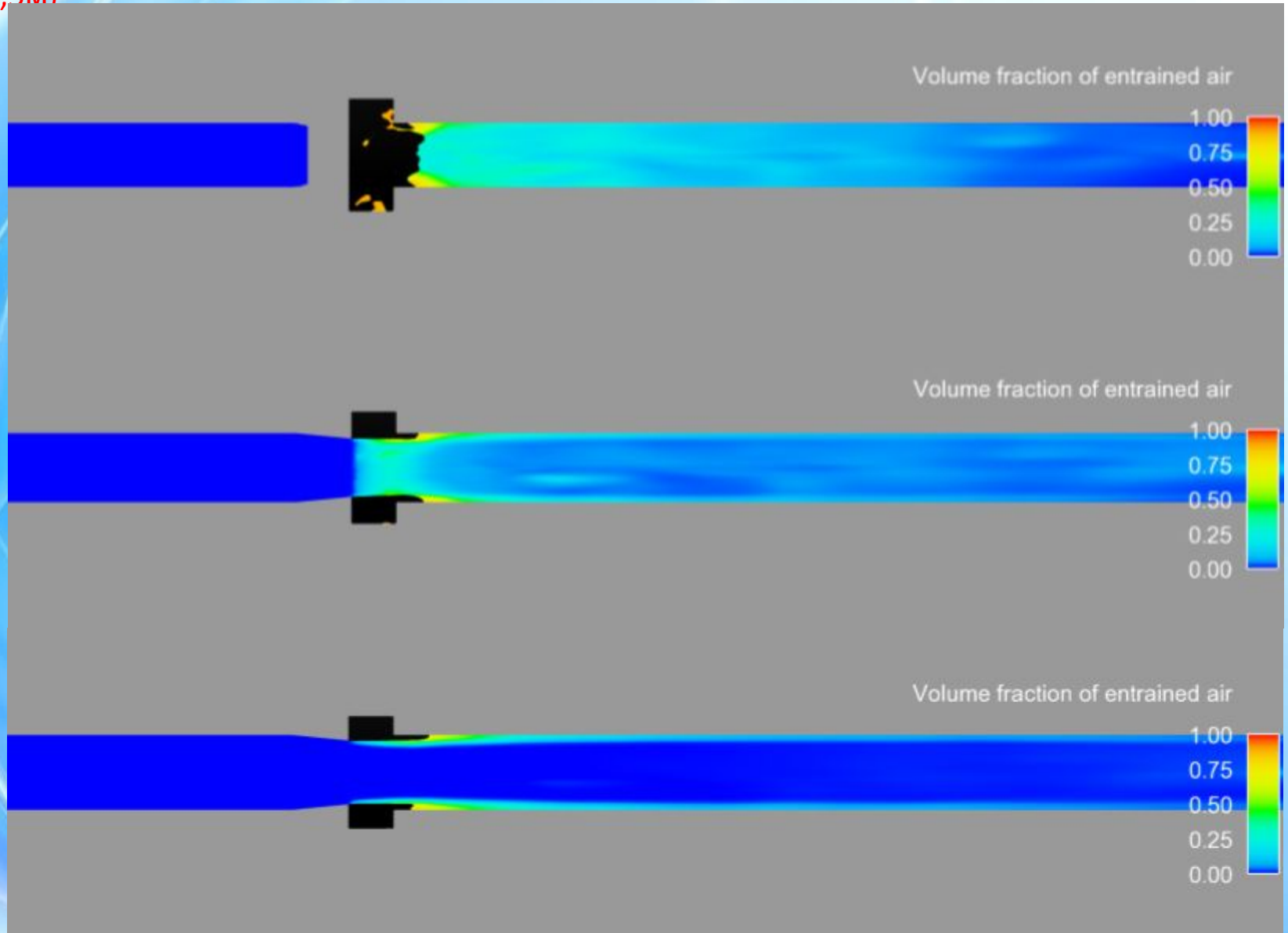


Предлагаемая AFRY конструкция аэратора типа А

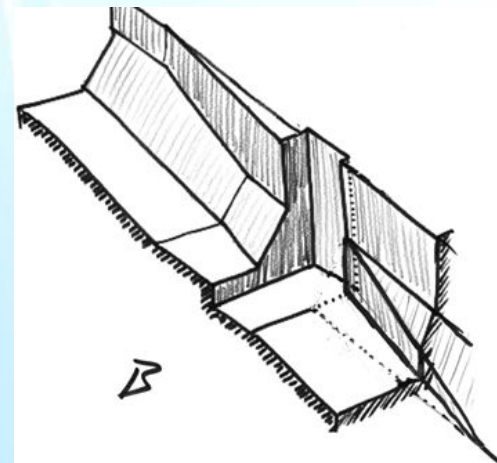
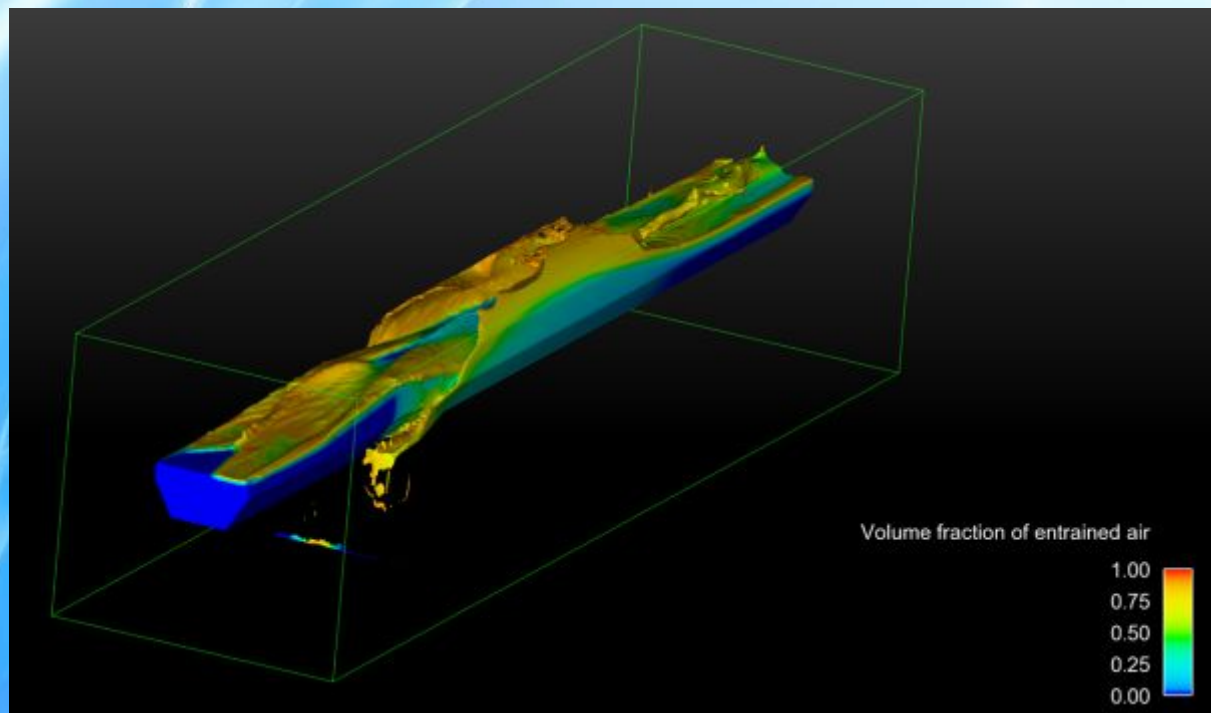


# Работа аэратора (тип А) при расходе 1750 м<sup>3</sup>/с

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

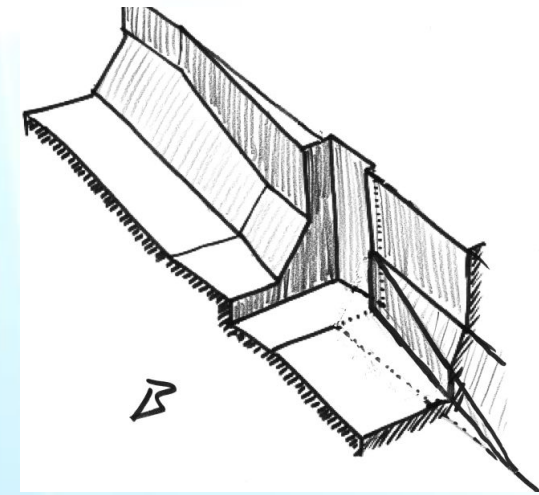


## Работа аэратора (тип В) при расходе 1750 куб.м/с

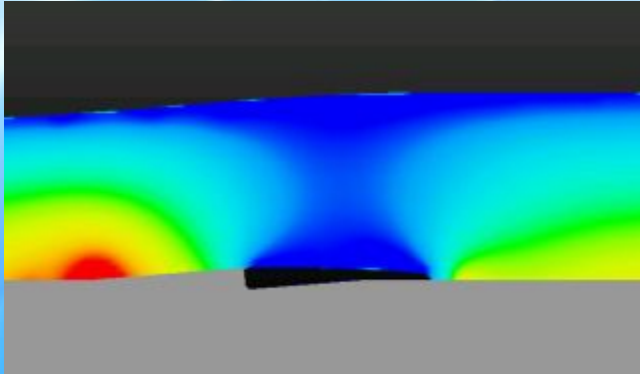


Предлагаемая AFRY конструкция  
аэратора типа В

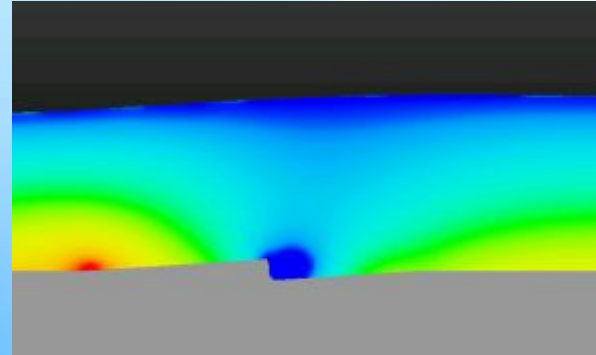
# Результаты расчетов работы аэратора при различных скоростях течения



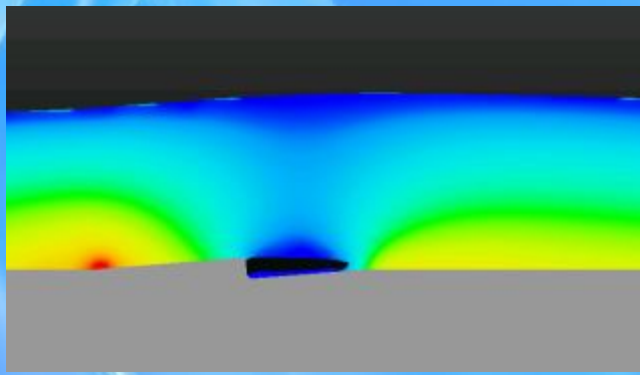
Предлагаемая AFRY конструкция аэратора типа В



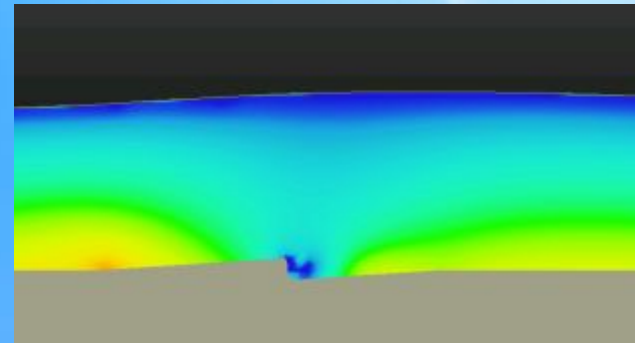
Распределение давлений у аэратора при скорости потока около 27,0 м/с (аэратор не затапливается)



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)



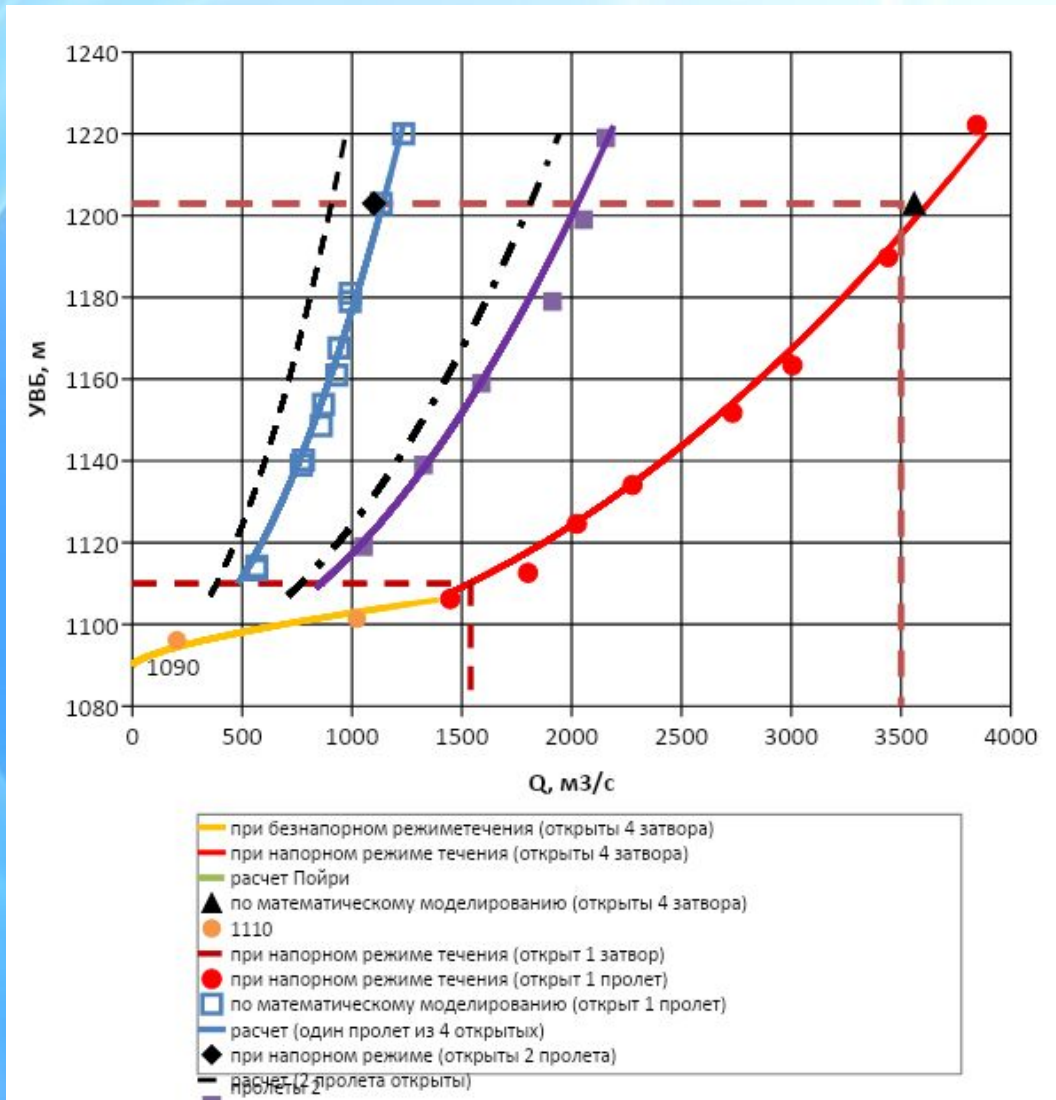
Распределение давлений у аэратора при скорости потока около 18,0 м/с (зона с давлением, которое меньше атмосферного, минимальна)

## 2. Аэрация затвора ДТ4



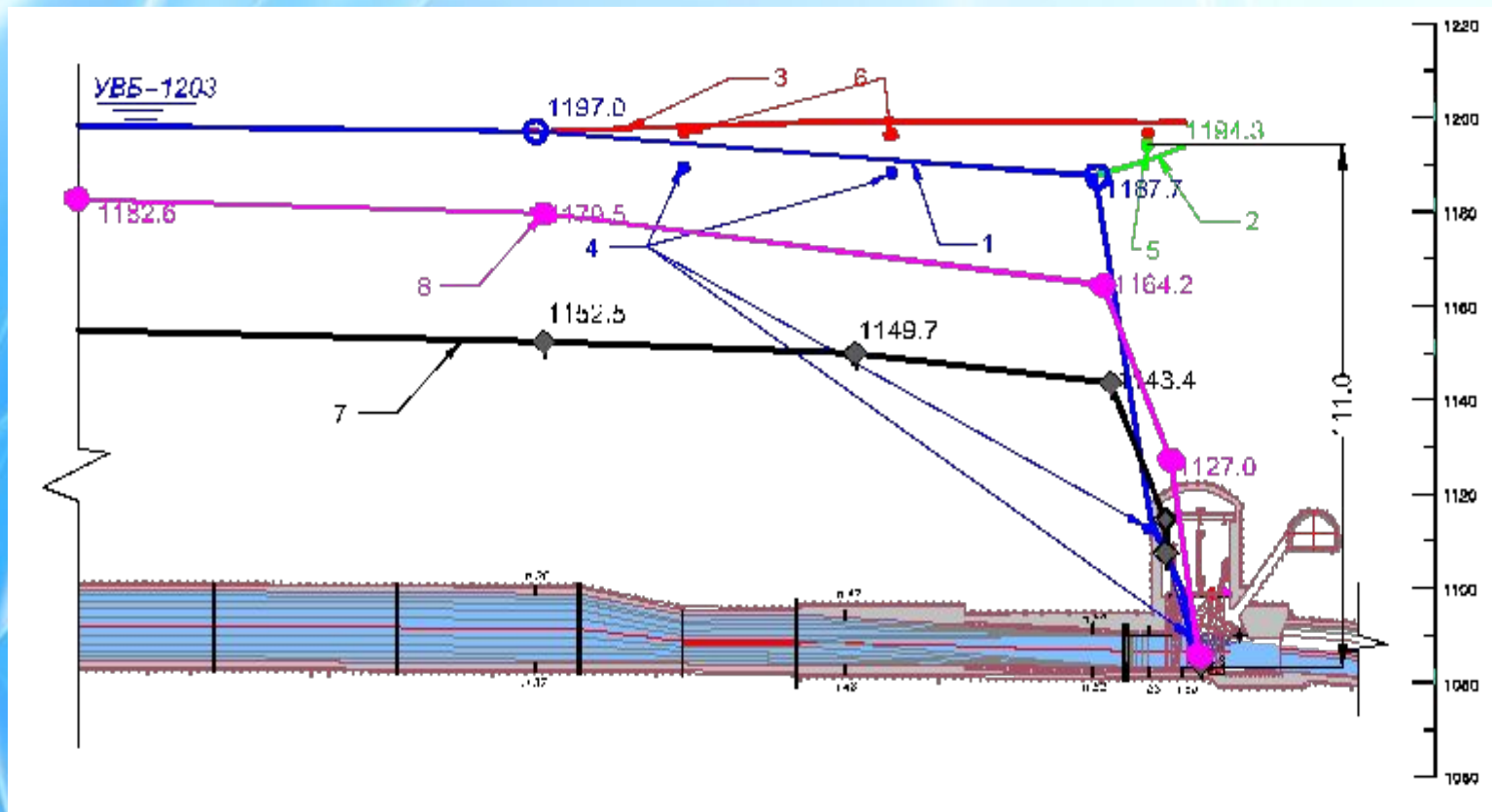


# Пропускная способность туннеля СТ4 при работе 1, 2-х и всех 4 пролетов по данным модели 1



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

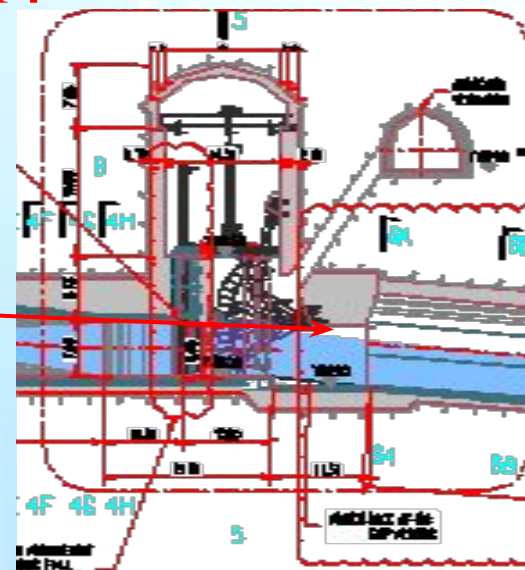
**Общий вид на режим течения при работе 1 пролета туннеля СТ4 на модели 1  
(3 затвора закрыты)**



**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



Контакт потока  
с балкой  
затвора

# 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

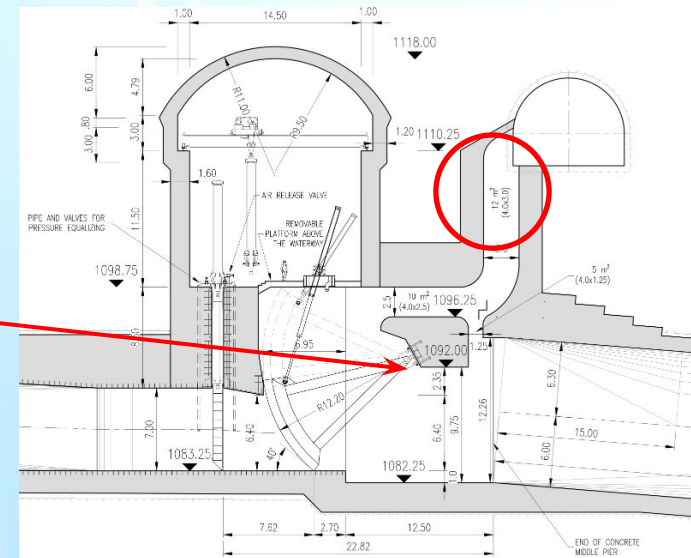
При УВБ = 1170

М

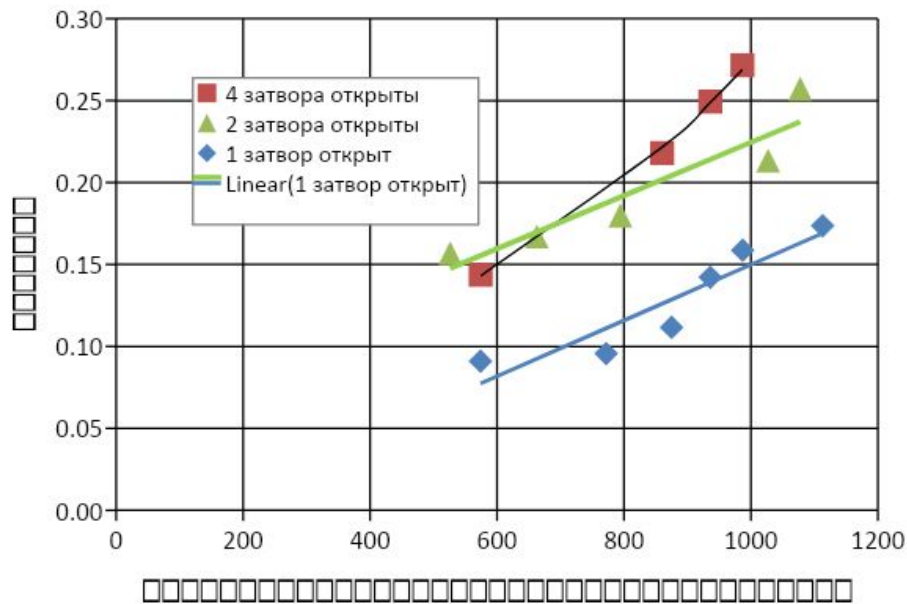
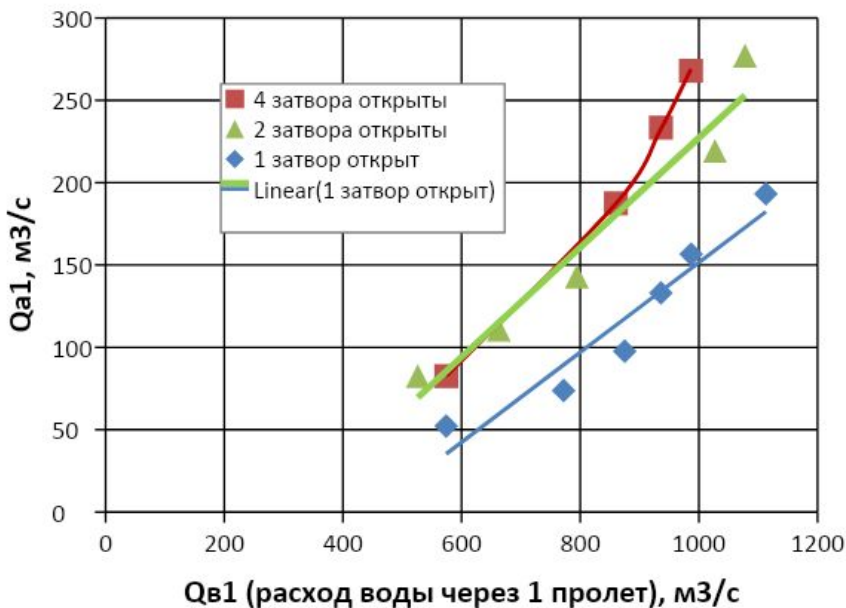
При критическом УВБ = 1180

М

Отраженные струи

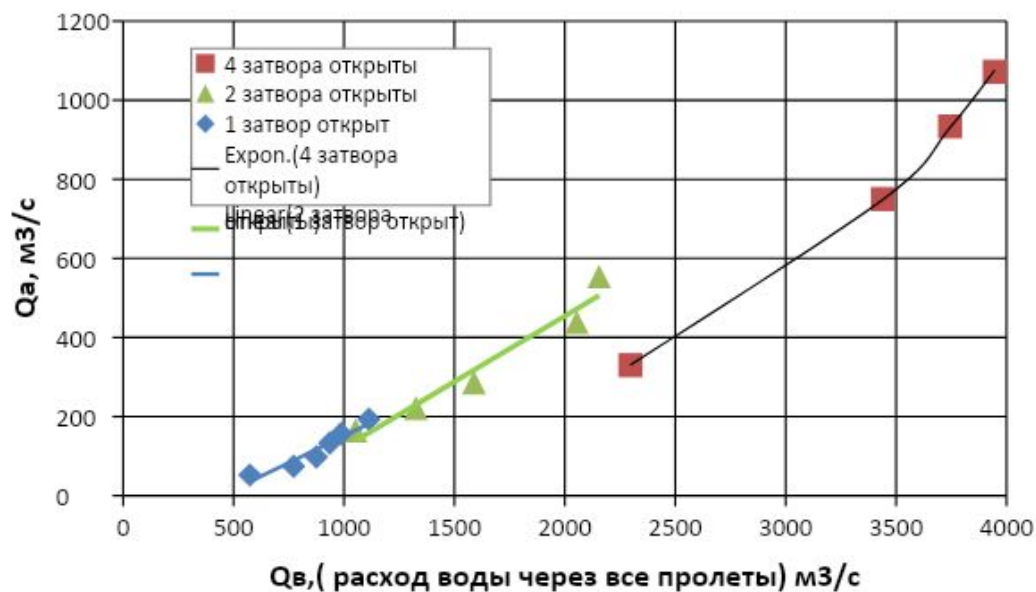


## Зависимости расхода воздуха через 1 пролет от сбросного расхода этого пролета при различных вариантах работы туннеля СТ4



### 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

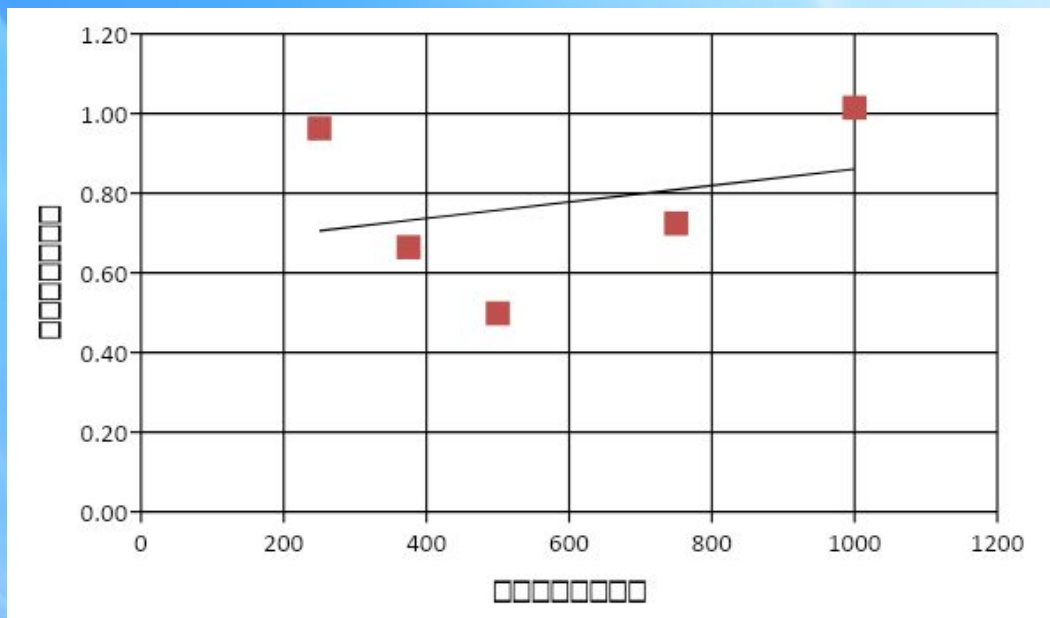
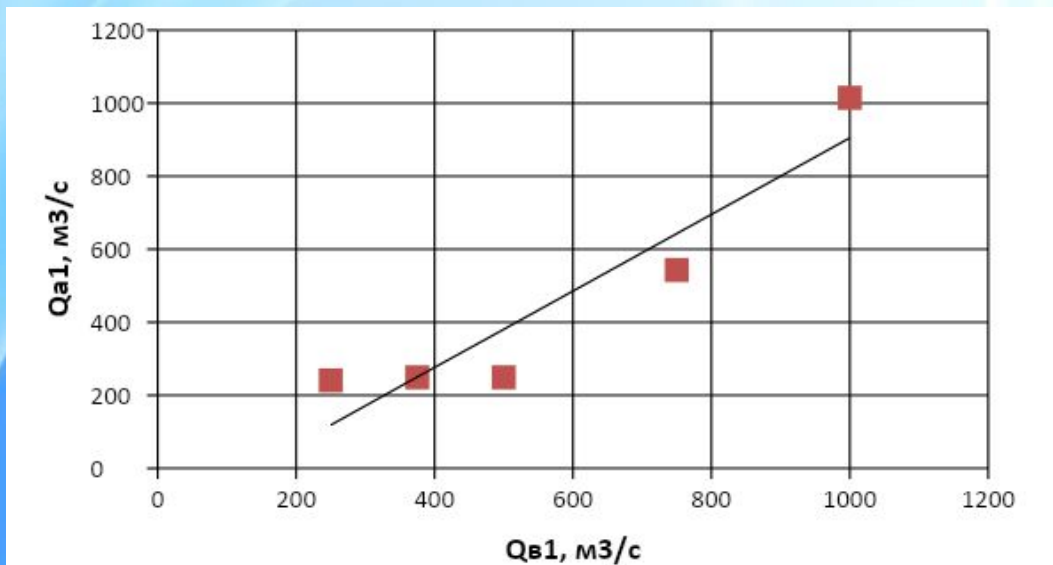


### 3. Вихревые шахты ТВВУ1 / РДО





# 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

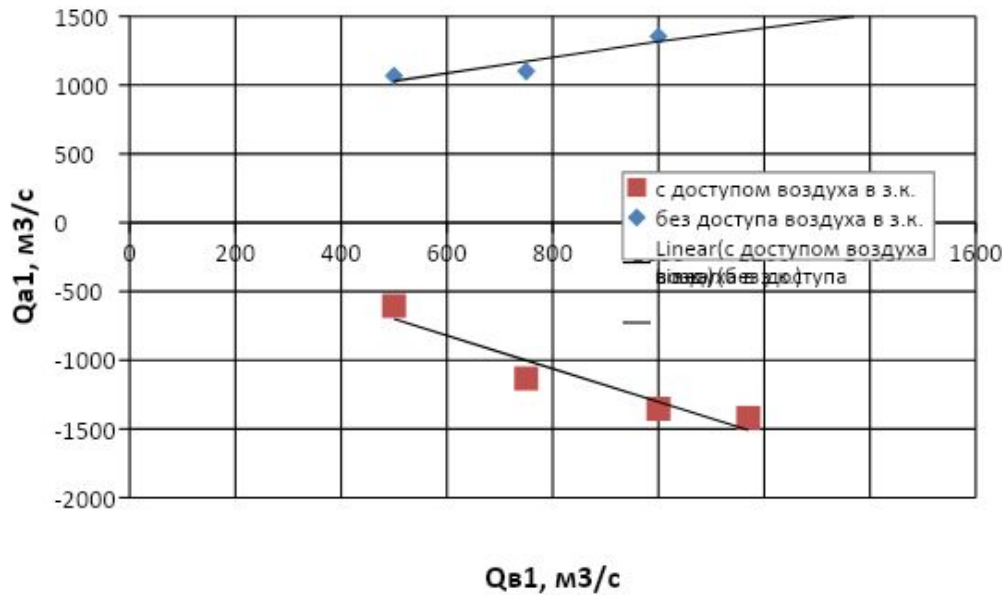
Левая шахта. Крышка на камере  
сегментных затворов открыта  
(свободный доступ воздуха)



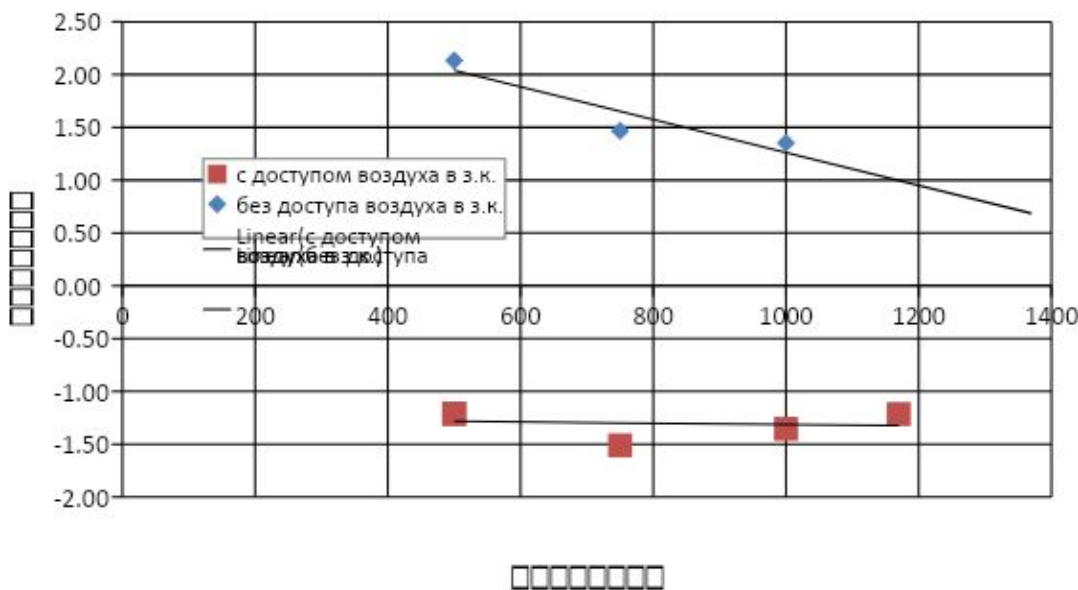
Винтовое течение

# Зависимости расхода воздуха, поступающего или выходящего из вихревой шахты

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



с доступом воздуха в з.к.  
к.  
без доступа воздуха в з.к.  
к.

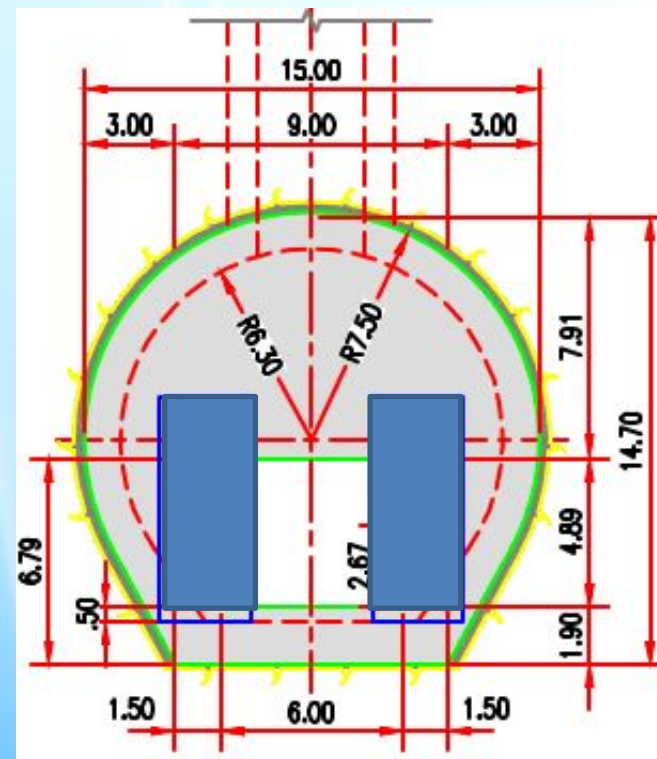
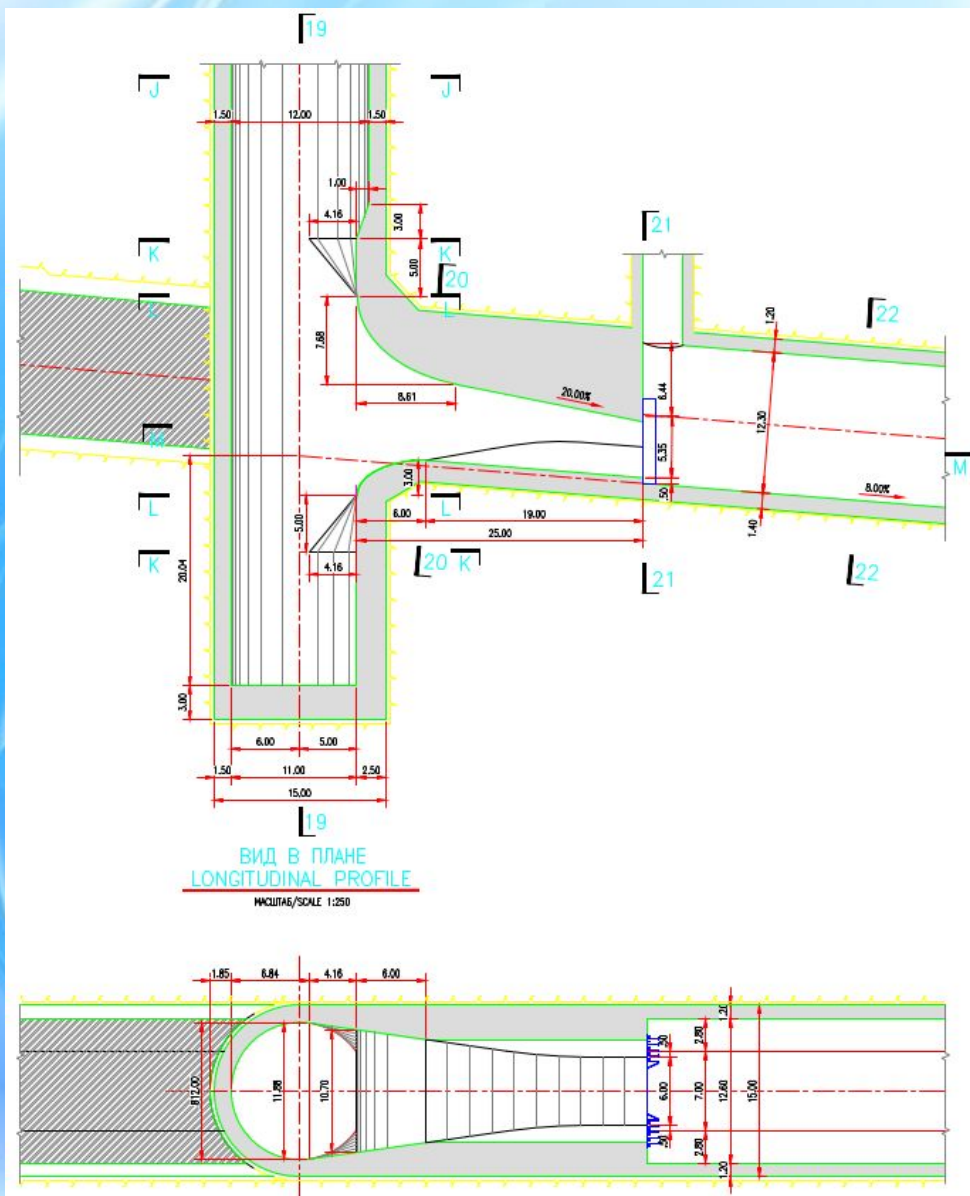


аэрационная шахта

## Вывод:

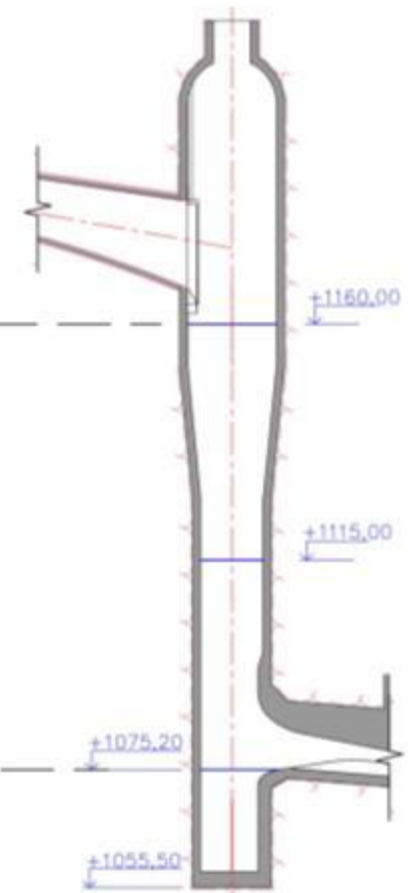
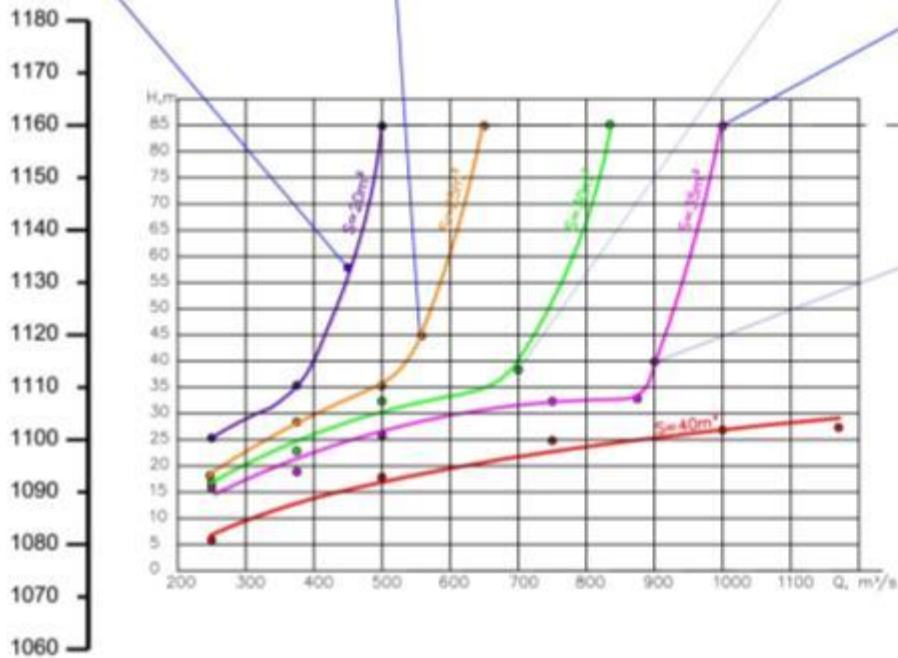
1. При свободном доступе воздуха в камеру сегментных затворов (з.к.) воздух « $-Q_a$ » из вихревой шахты выходит вверх (винтовое течение).
2. При прекращении доступа воздуха в камеру сегментных затворов (на модели крышка закрыта) воздух « $+Q_a$ » поступает в вихревую шахту вниз (воздушный вихрь).

# Предлагаемая АFRY конструкция дроссельного отверстия (РДО)



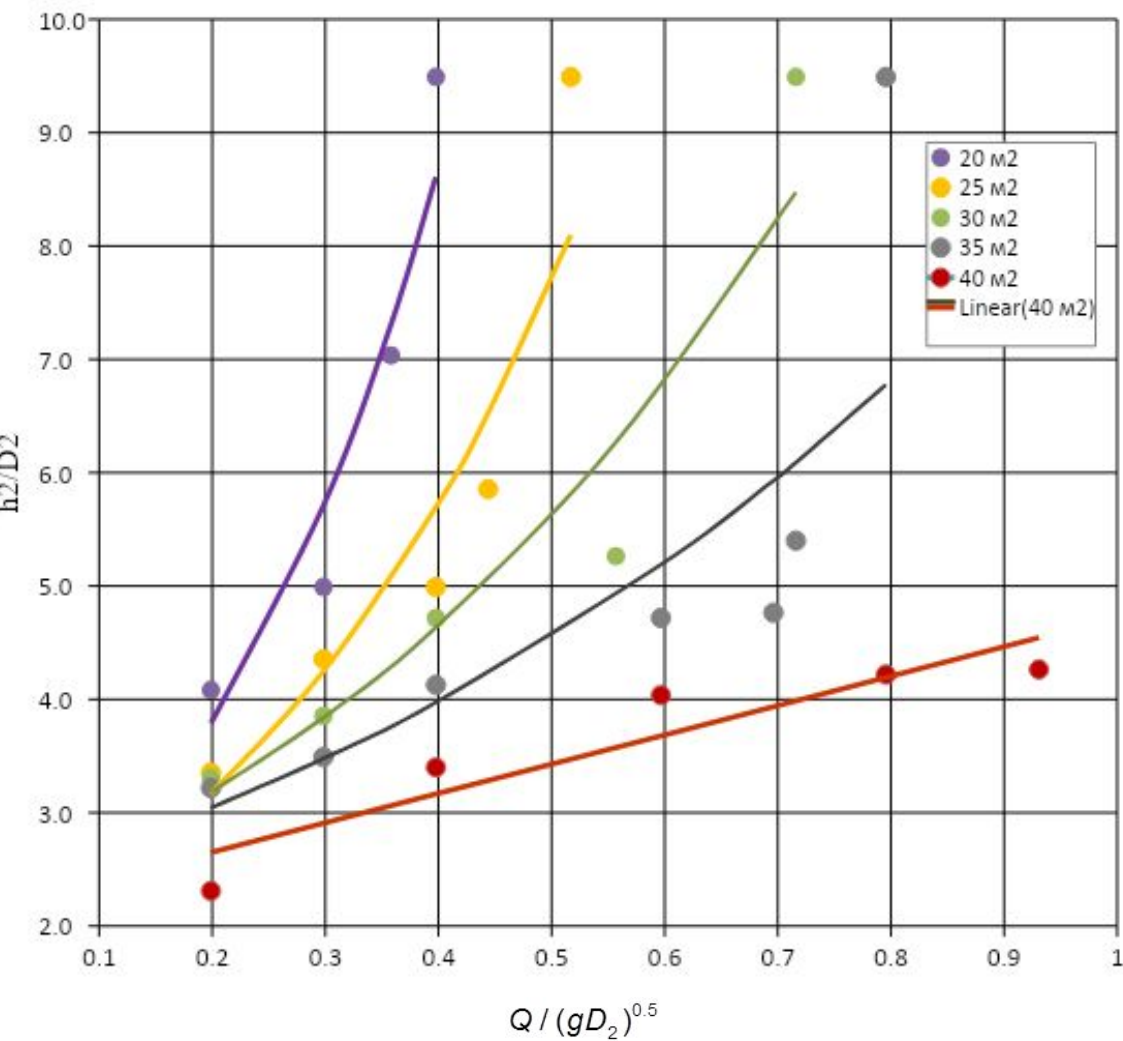
**Необходимо рассмотреть ширину пролета РДО 4,0; 5,0; 6,0 и 7,0 м**

**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>**

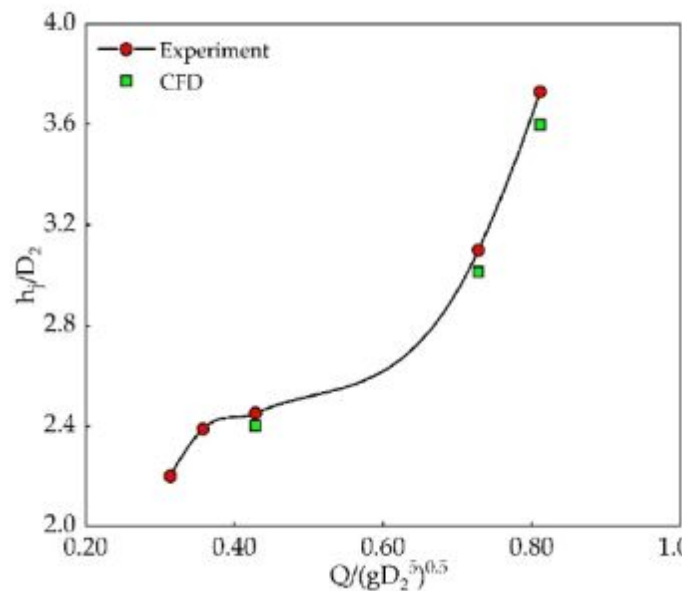


**AFRY предлагает уменьшить площадь дроссельного отверстия до 32 м<sup>2</sup>????**

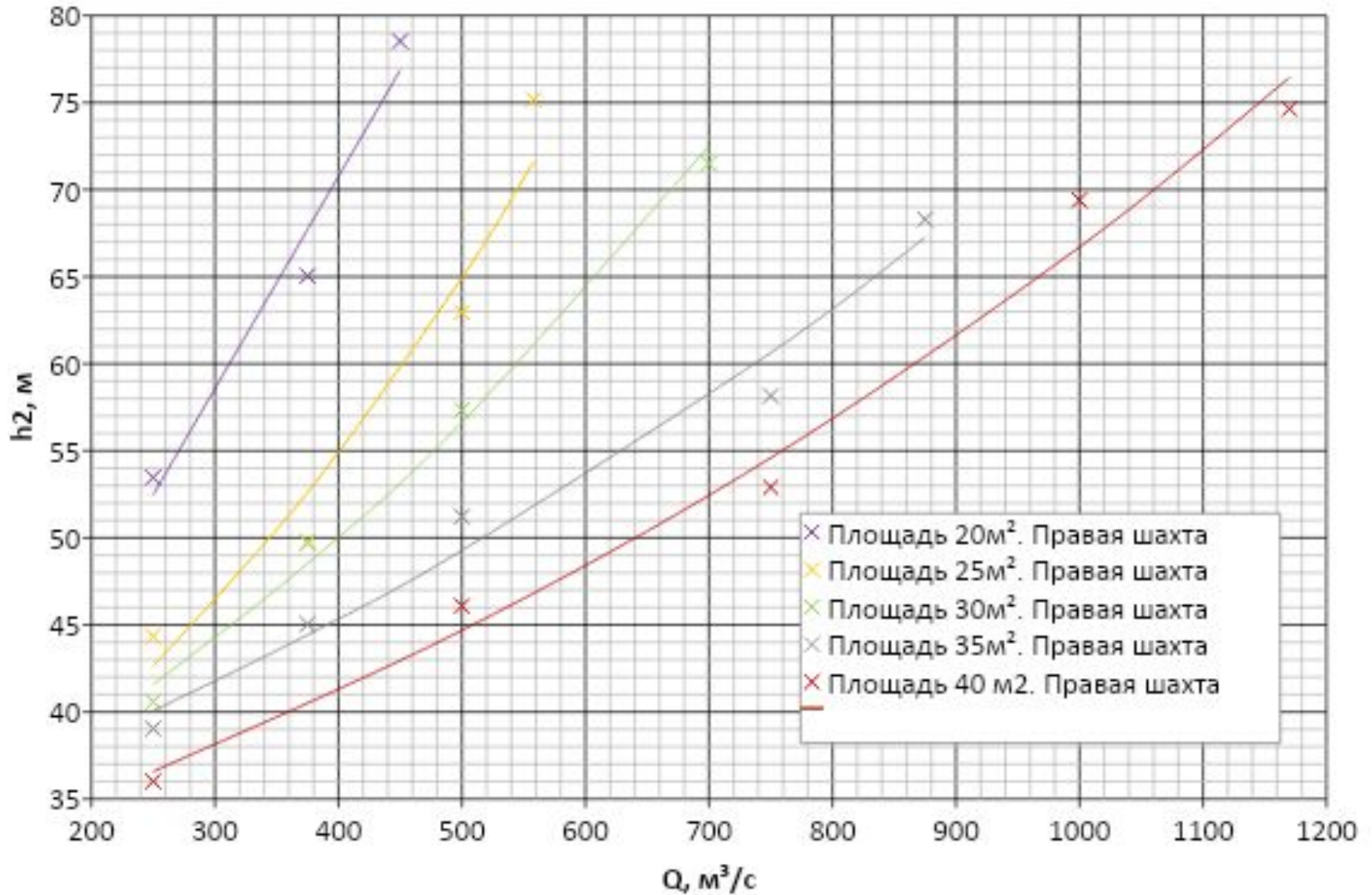
**Зависимости относительных уровней воды, отсчитываемых от дна вихревой шахты, от относительного расхода при дроссельных отверстиях (РДО) площадью 20, 25, 30, 35 м<sup>2</sup>, а также при его проектной конструкции площадью 40 м<sup>2</sup>**



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>**



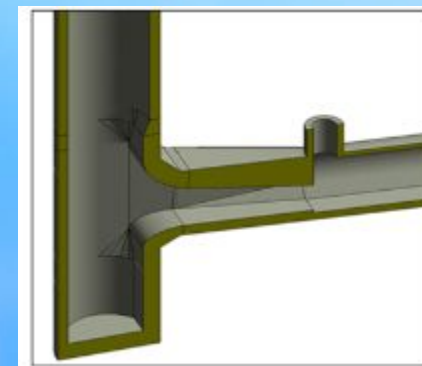
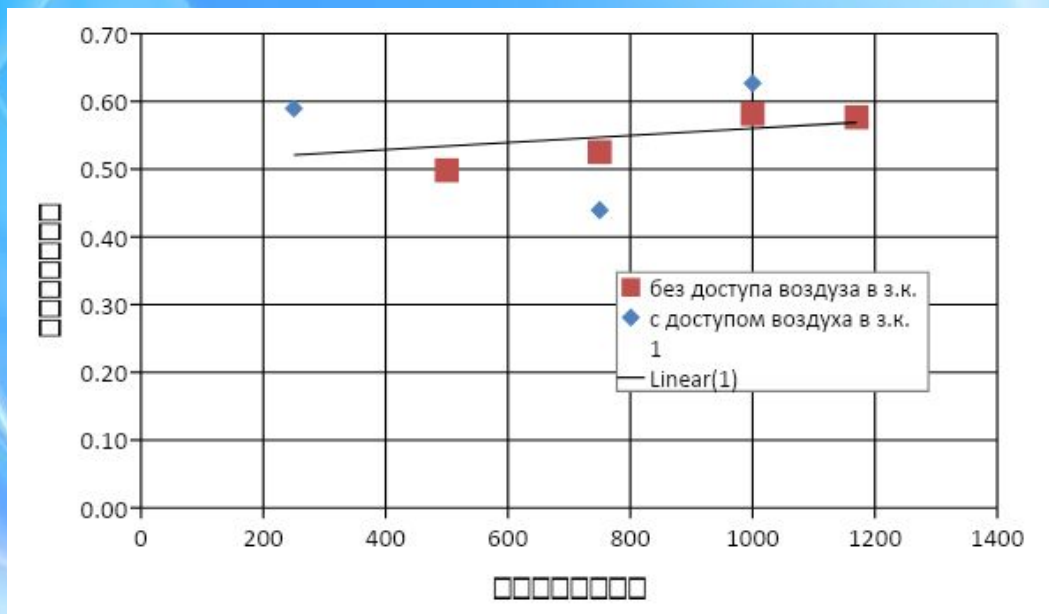
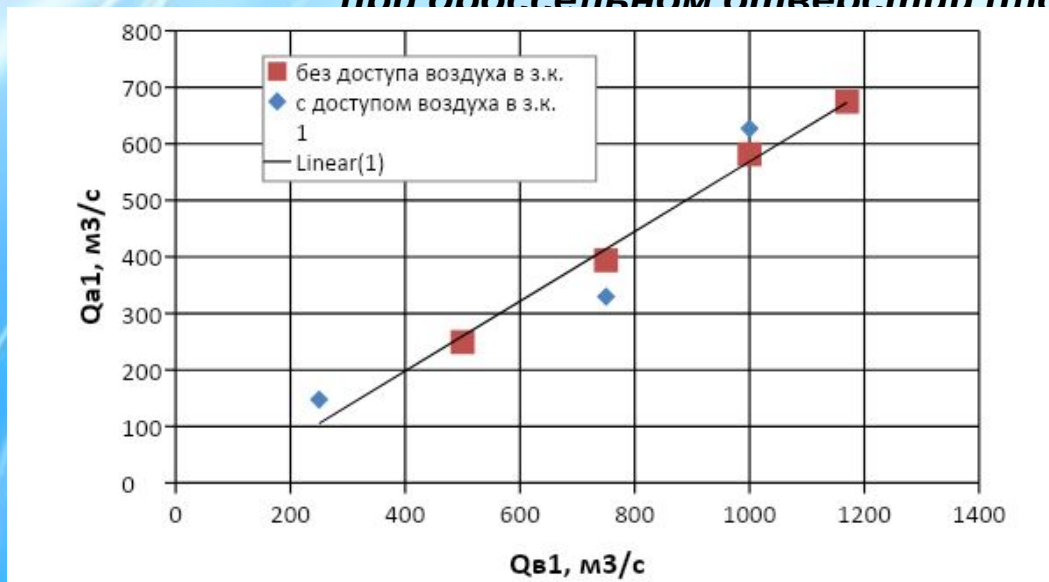
## 4. Вихревые шахты ТВВУ1 / потребление воздуха



# 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%.**