

Гидравлический стенд для верификации математических моделей

77-48211/643050

10, октябрь 2013

Пильгунов В. Н., Ефремова К. Д.

УДК 62-52

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

vnp41@yandex.ru

efremova.k.d@gmail.com

Цель работы. Инженерная гидравлика (техническая гидромеханика) решает, главным образом, задачи, связанные с потоками жидкости, ограниченными твёрдыми стенками [1, 2], иными словами, с потоками в трубах, каналах и в рабочих полостях гидравлических машин, систем и устройств гидроавтоматики. Математическое моделирование решаемых задач, основанное на разработке моделей потоков и процессов в гидравлических устройствах с их последующей верификацией средствами вычислительной техники, применимо лишь для простейших потоков [3]. При оценке более сложных потоков, когда в реальное движение жидкости вносят упрощения, принимая симметричными эпюры распределения скоростей движения жидких частиц или принимая линейными силовые поля, требуется оценка адекватности разработанной модели [4, 5]. Отсутствие возможности точного интегрирования получаемых дифференциальных уравнений вынуждает использовать численные методы или прибегать к линеаризации нелинейностей. Коррекцию погрешности решения задач можно произвести только методами физического моделирования в результате инженерного эксперимента [6, 7]. Полученные экспериментальные данные определяют поправки, корректирующие результаты математического моделирования или теоретических расчётов [8...10]. Моделирование, основанное на законах гидродинамического подобия, позволяет переносить результаты исследования модели на натуру. Полное обеспечение геометрического подобия позволяет создавать модели в уменьшенном или увеличенном масштабах. Существующие рекомендации по расчёту гидравлических сопротивлений не всегда дают достаточно точные результаты, требуют корректировки и могут вызвать серьёзные ошибки на конечном этапе проектирования и создания опытного образца [11...14]. Затраты на вновь создаваемые экспериментальные установки не всегда оправдываются конечной стоимостью разрабатываемого изделия: входящие в гидравлическую систему местные сопротивления, в

том числе и стандартного типа, требуют первоначальной оценки их реальных характеристик во избежание дополнительных затрат на доводку изделия [15...17].

Целью предлагаемой статьи является знакомство читателя, занятого в сфере преподавательской деятельности или принимающего участие в расчётах и проектировании гидравлических устройств, с техническими возможностями универсального гидравлического стенда ТМЖ 2. Стенд создан по разработкам ООО «РУСУЧПРИБОР» и предназначен для верификации математических моделей местных гидравлических сопротивлений [18, 19], разработанных, как для научных, прикладных, так и для дидактических целей.

Технические характеристики гидравлического стенда ТМЖ 2

Максимальная подача насоса, м ³ /час (л/мин)	5 (83)
Максимальное давление на входе сменного модуля, кПа	128
Потребляемая мощность насоса, Вольт-Ампер	1500
Ёмкость питающего бака, литр	80
Рабочая жидкость	техническая вода
Установочная длина сменных модулей, мм	1100

Конструкция и принцип работы гидравлического стенда

Общий вид гидравлического стенда ТМЖ 2 представлен на фото (рис.1). Стенд изготовлен в напольном исполнении и представляет собой разборную конструкцию, состоящую из верхнего и нижнего каркасов:

- на верхнем каркасе расположена информационная панель с планшетами для графиков, и измерительный комплекс, включающий в себя панель пьезометров и блок ротаметров;
- нижний каркас представляет собой стол с двумя тумбами и со столешницей, магазином для хранения сменных модулей (рис.2), поддоном для слива жидкости из подводящих пластиковых трубок и хранящимися в магазине сменными модулями.



Рис. 1. Общий вид гидравлического стенда ТМЖ 2



Рис. 2. Магазин сменных модулей

Внутри стола на жёстком основании расположен питающий бак ёмкостью 80 литров, соединённый гибким рукавом с всасывающим патрубком насоса. Уровень заполнения бака водой контролируется поплавком-уровнемером: номинальный уровень воды в баке соответствует границе раздела красного и белого колец на поплавке (рис. 3).

В правой тумбе стола хранится вспомогательное оборудование и комплектующие изделия. На левой тумбе стола установлено устройство для подачи подкрашенной жидкости в прозрачную трубу при исследовании режимов движения жидкости. Внутри левой тумбы расположен буферный бак-демпфер, предназначенный для выравнивания пульсации подачи питающего насоса. Из верхней части буферного бака выведена прозрачная пластиковая трубка для выпуска воздуха при его заполнении. После заполнения бака и появления жидкости в трубке, она перекрывается зажимом.

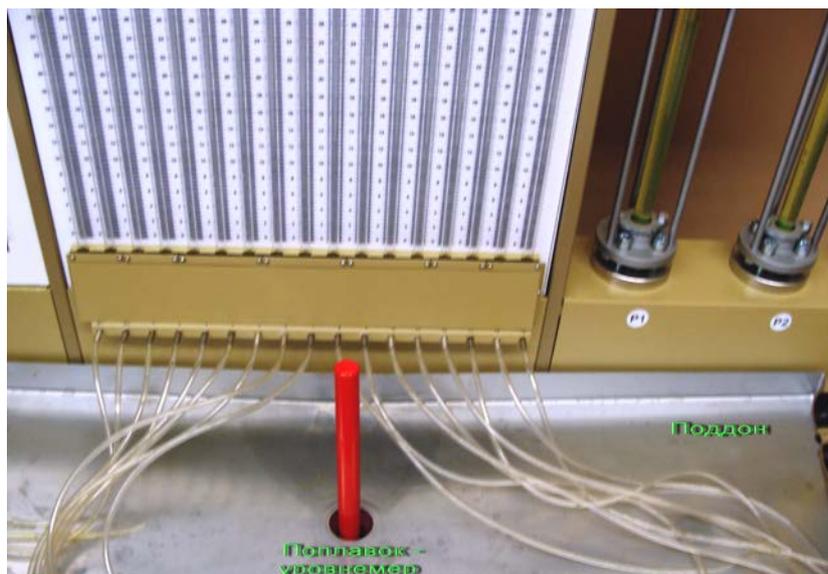


Рис. 3. Поплавок-уровнемер

Напорный патрубок насоса соединён с коллектором блока ротаметров: запорные вентили, расположенные в нише на правой боковой поверхности каркаса, служат для подключения к сменному модулю от одного до трёх ротаметров РТ1, РТ2 и РТ3 (рис. 4). Тарировочные графики ротаметров вкладываются в карманы информационной панели.

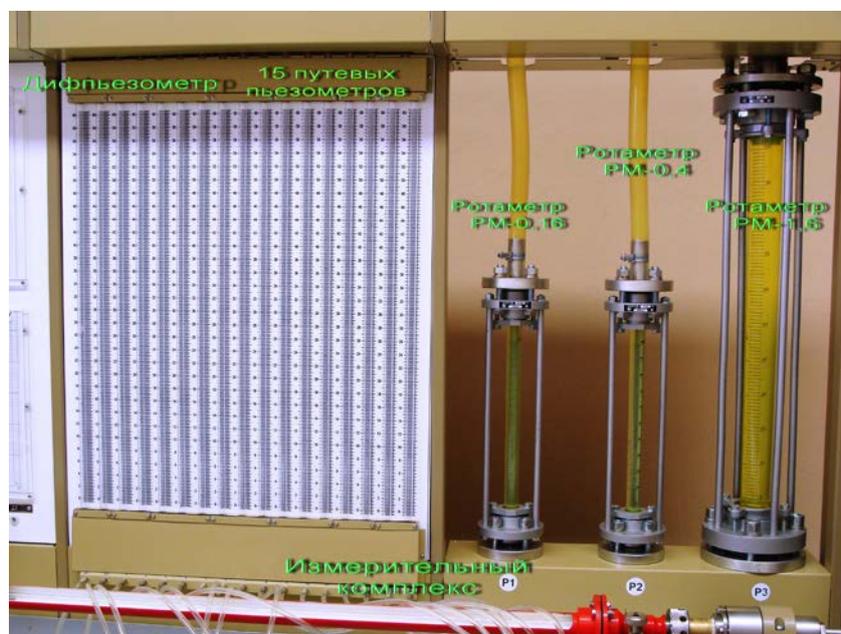


Рис. 4. Измерительный комплекс

На *панели пьезометров* (рис. 4) закреплены: два левых пьезометра Д1 и Д2, которые являются дифференциальными и предназначены для измерения разности напоров на расходомерной диафрагме, встроенной в подводящий коллектор; 13 путевых пьезометров с номерами 1...13, служащие для измерения пьезометрических напоров в выбранных сечениях сменных модулей. Пьезометры 14 и 15 также являются дифференциальными: их удобно использовать для определения потери напора на трение в круглой трубе.

Нижние концы всех пьезометров выведены на переходную колодку со штуцерами, к которым присоединяются пластиковые прозрачные трубки.

Верхние свободные концы дифференциальных пьезометров Д1 и Д2 соединены общим коллектором и выведены на поддон пластиковой трубкой с кодом «КД».

Верхние свободные концы пьезометров №1...13 также объединены общим коллектором и выведены на поддон пластиковой трубкой с кодом «КП».

Общий коллектор пьезометров №14 и №15 выведен на поддон пластиковой трубкой с кодом «14/15».

Измерительные линейки пьезометров проградуированы в миллиметрах столба жидкости.

Недостатком панели пьезометров является отсутствие возможности измерения вакуума в сечениях исследуемых сменных модулей.

При необходимости, присоединительные трубки пьезометров (рис. 5) могут быть перекрыты металлическими зажимами, хранящимися в правой тумбе стола.

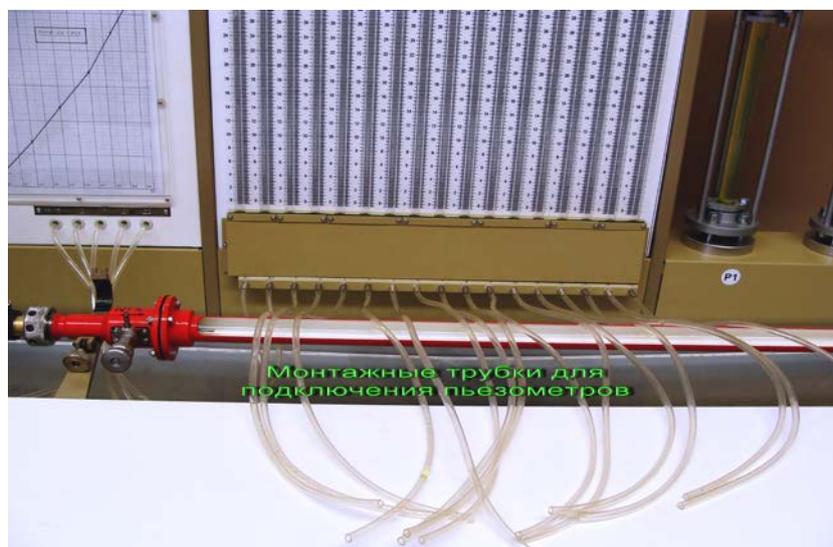


Рис. 5. Присоединительные трубки пьезометров

Блок ротаметров объединяет общим впускным коллектором ротаметры Р1, Р2 и Р3 (рис. 6), выходы которых, посредством вентилях ВН2, ВН3 и ВН4, расположенных в нише на правом торце стола, могут быть подключены к питающему коллектору сменных модулей.

Для измерения больших расходов в напорный коллектор сменных модулей дополнительно встроена расходомерная диафрагма, для обслуживания которой могут быть использованы дифференциальным пьезометром Д1 и Д2.

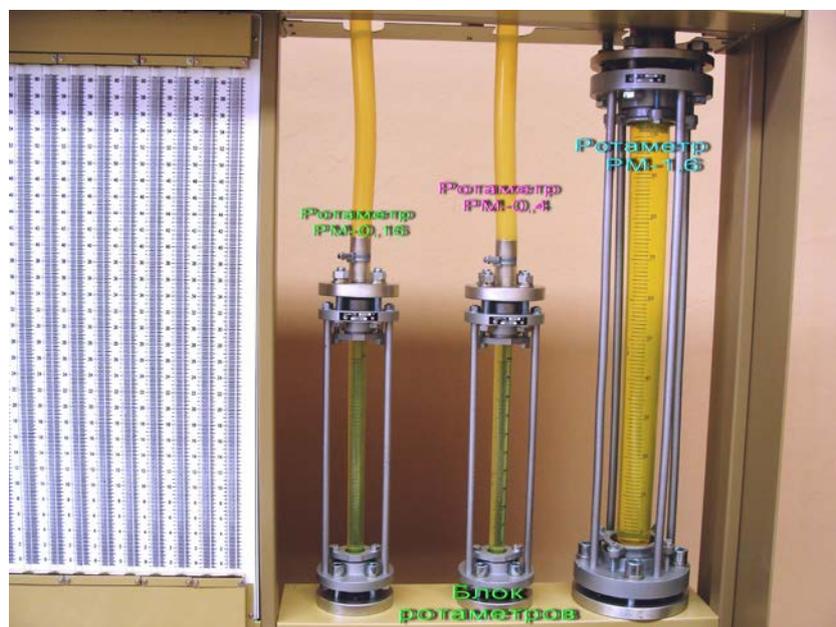


Рис. 6. Блок ротаметров

В комплект стенда входит 8 сменных модулей, один из которых (стеклянная труба), в целях постоянного заполнения гидравлической системы жидкостью, установлена в кронштейнах на монтажном столе стенда над поддоном (рис. 7), а остальные семь хранятся в магазине, размещённом под столешницей. Общие виды сменных модулей представлены на фотографиях рис. 7– 13.

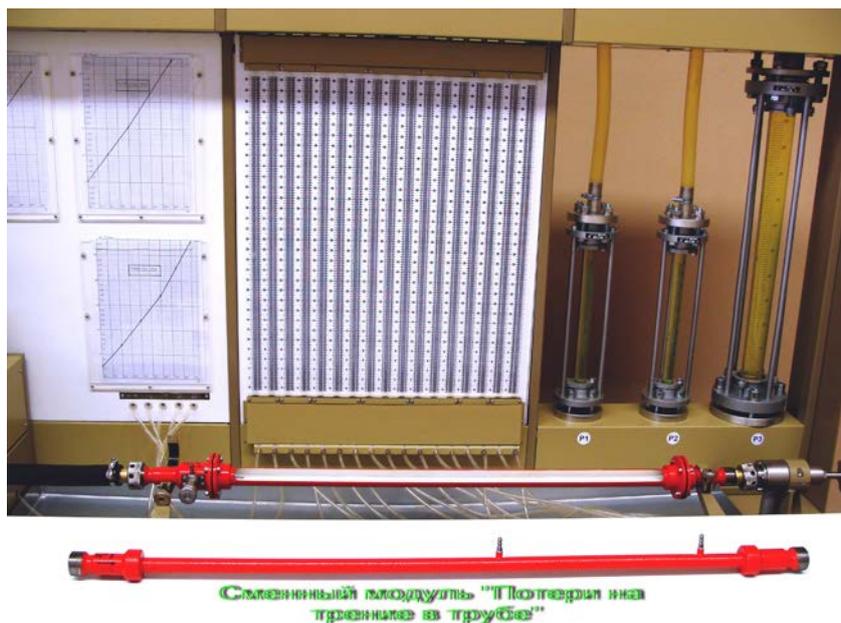


Рис. 7. Сменный модуль № 1 «Потери по длине трубы»

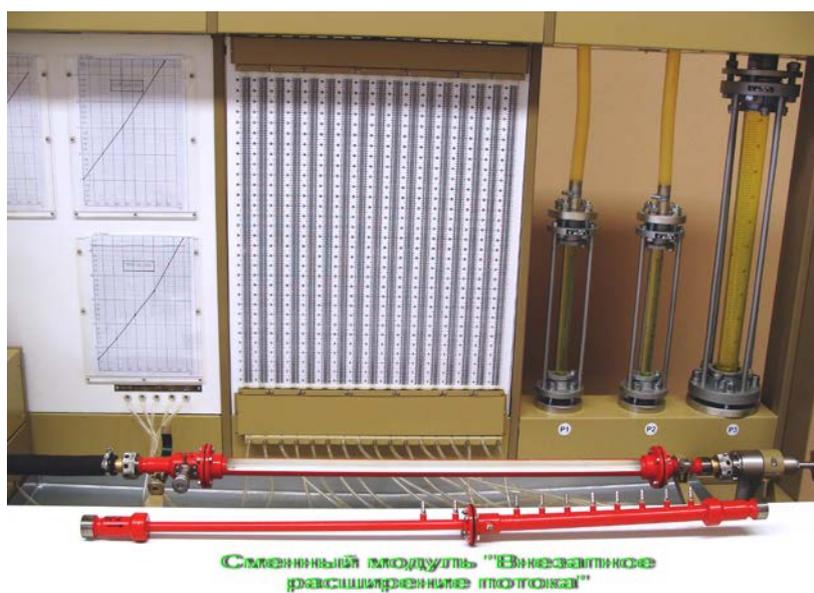


Рис. 8. Сменный модуль № 2 «Внезапное расширение потока»

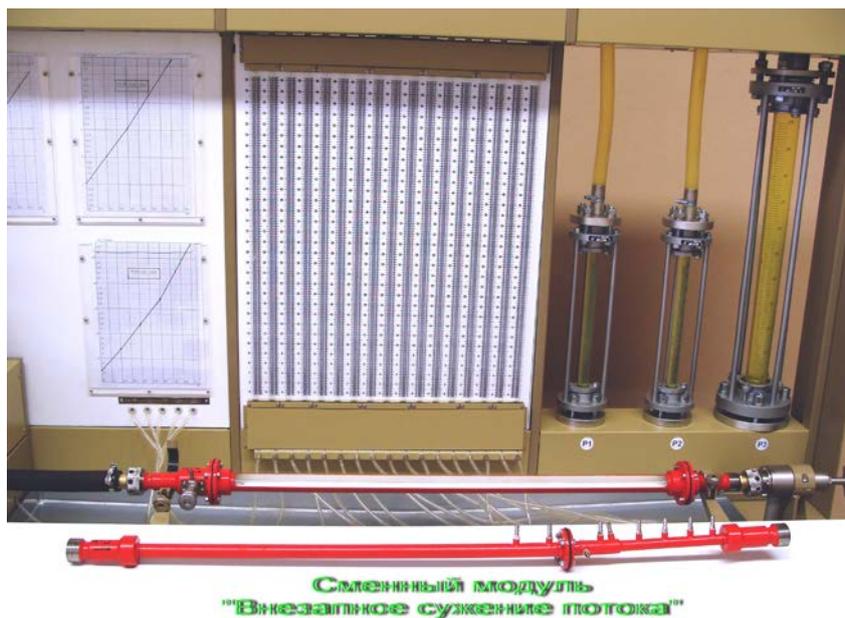


Рис. 9. Сменный модуль № 3 «Внезапное сужение потока»

Сменный модуль № 4, на котором может проводиться опыт Рейнольдса (рис. 7), выполнен в виде стеклянной трубы с внутренним диаметром 20 мм, помещённой в защитный кожух.



Рис. 10. Сменный модуль № 5 «Труба Вентури»

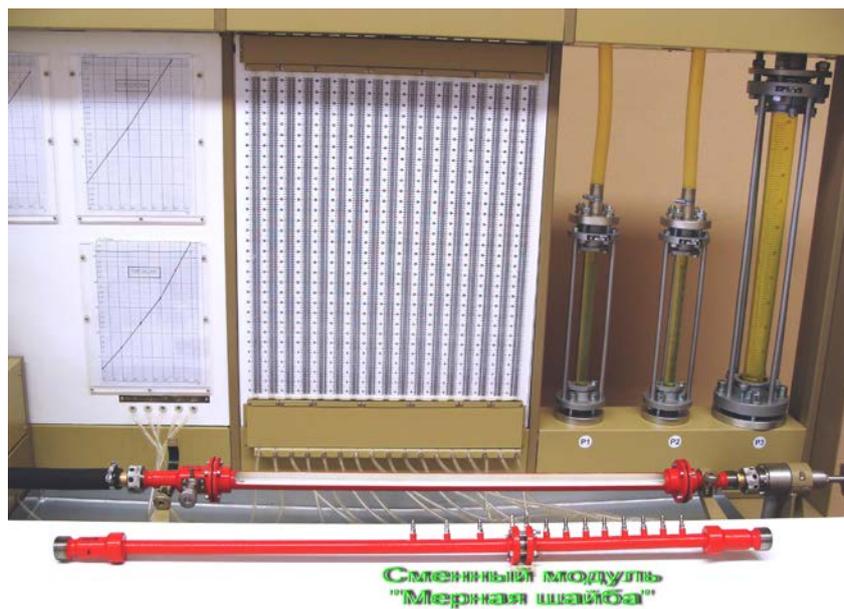


Рис. 11. Сменный модуль № 6 «Расходомерная диафрагма»



Рис. 12. Сменный модуль № 7 «Дисковый затвор» (общий вид)



Рис. 13. Сменный модуль № 7 «Дисковый затвор» (точки отбора давления)

На тыльной стороне корпуса дискового затвора зеркально отображены точки отбора давления, выведенные на лицевую сторону. Угол поворота шпинделя дискового затвора задаётся шпинделем с его механической фиксацией на транспорте.

Коммутация сменных модулей с напорным патрубком буферного бака и с регулирующим дросселем осуществляется посредством муфт с кольцевыми уплотнениями (рис. 14). После коммутации сменный модуль закрепляется на кронштейнах задней боковой поверхности стола монтажными хомутами.

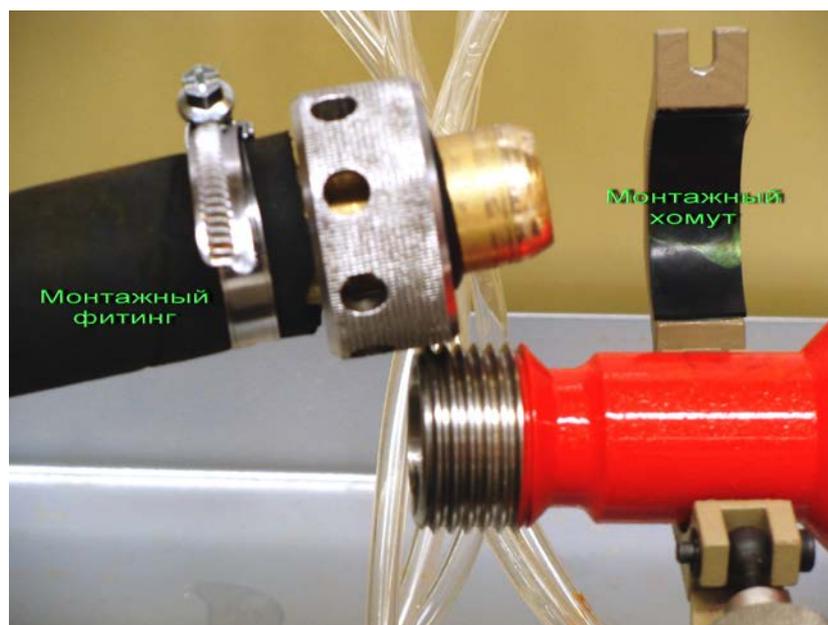


Рис. 14. Коммутация сменного модуля с буферным баком

На рис.15 представлен сменный модуль №8, предназначенный для исследования силового воздействия водяной струи на стенку-преграду.

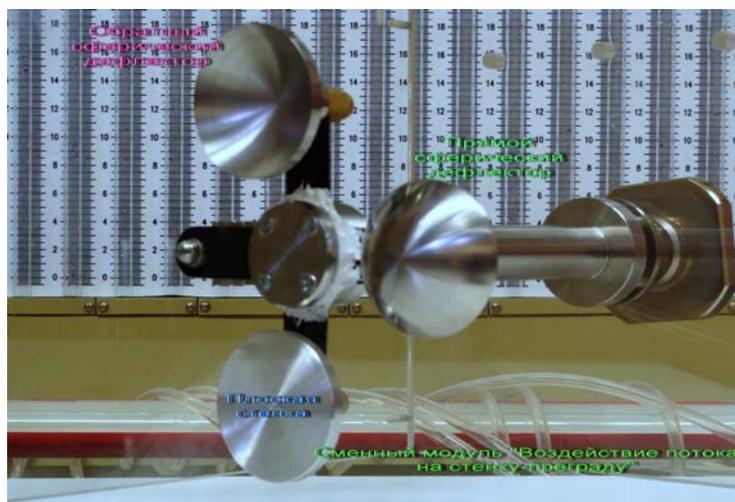


Рис. 15. Сменный модуль № 8 «Воздействие струи на стенку-преграду»

На поворотном шпинделе модуля на тензометрических пластинах закреплены дефлекторы: плоская пластина, прямой полусферический и обратный полусферический (ковш). Измерение усилия на дефлекторе осуществляется тензометрическим способом. В качестве вторичной аппаратуры используется 4-х канальный авиационный тензоусилитель ТА5 и цифровой вольтметр.

Тонкая настройка требуемого расхода в сменном модуле осуществляется игольчатым регулирующим дросселем (рис. 16).

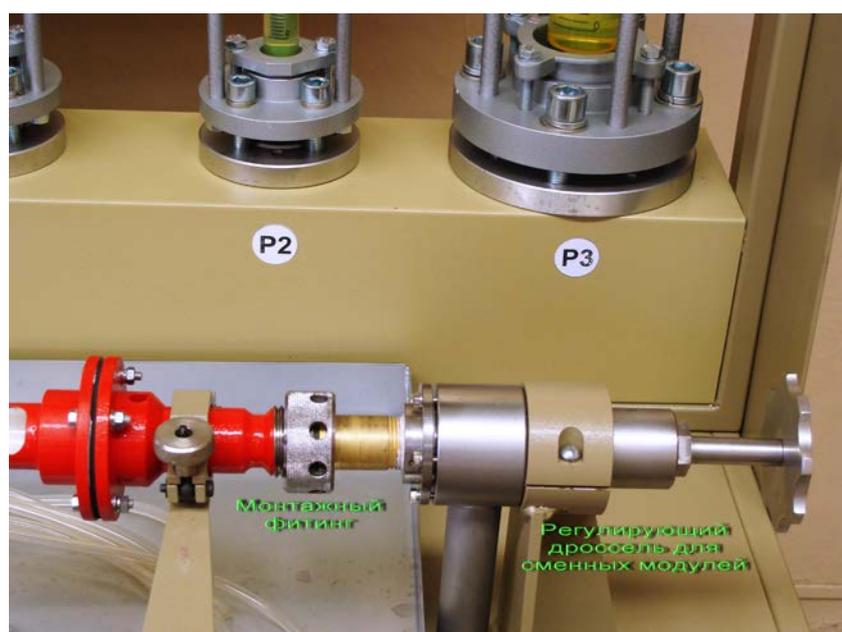


Рис. 16. Регулирующий дроссель

Подготовка гидравлического стенда к работе

1. Закрывать вентиль ВН5, ВН6, ВН7 (схема рис. 16) и заполнить питающий бак чистой технической водой через сливное отверстие поддона. Заполнение бака возможно от системы централизованного водоснабжения через вентиль ВН6. Уровень заполнения бака контролируется по границе раздела красного и белого колец, нанесённых на стержне-поплавке, погружаемом в отверстие поддона.

2. Соединить сменный модуль №6 «Опыт Рейнольдса» с регулируемым дросселем, затем с гибким рукавом буферного бака и закрепить его хомутами на кронштейне, установленном на поддоне (*указанная ниже очерёдность подключения должна соблюдаться при монтаже каждого сменного модуля*).

3. Соединить прозрачные трубки пьезометров со штуцерами соответствующих сечений сменного модуля, строго соблюдая нумерацию пьезометров и контрольных сечений потока.

4. Полностью закрыть вентили ВН2, ВН3 и ВН4 ротаметров РТ1, РТ2 и РТ3.

5. Пережать металлическими зажимами пластиковые трубки Тр2, Тр3, Тр4, соединяющие коллекторы пьезометров с атмосферой, что предотвратит переполнение пьезометров при запуске насоса и открытии ротаметров.

6. Открыть регулирующий дроссель ВН1 сменного модуля.

7. Включить электродвигатель насоса.

8. Приоткрыть на два-три оборота вентиль ВН4 ротаметра РТ3.

9. Закрывать регулирующий дроссель ВН1 сменного модуля и обеспечить заполнение водой буферного бака: быстроту заполнения бака водой регулировать вентилем ВН4 ротаметра РТ3.

Индикатором полного заполнения буферного бака служит устойчивая струя воды из пластиковой трубки выпуска воздуха из бака.

10. После появления **устойчивой струи** из трубки выпуска воздуха из буферного бака пережать трубку металлическим зажимом. Стенд готов к исследованию сменного модуля.

11. **Перед началом исследований** снять зажимы с пластиковой трубки Тр2 для соединения путевых пьезометров с атмосферой.

12. Открывая регулирующий вентиль ВН1, установить необходимый расход воды в сменном модуле.

13. **Перед сменой модуля** необходимо выключить электродвигатель насоса, закрыть вентиль ВН4 ротаметра РТ3 и полностью открыть регулирующий дроссель ВН1 для слива воды из модуля. Перед складированием снятого модуля необходимо полностью слить из него воду.

Примечание:

1. Для получения больших расходов воды в сменном модуле используется ротаметр РТ3; средние и малые расходы обеспечиваются ротаметрами РТ2 и РТ1. Допускается

параллельное использование нескольких ротаметров для получения максимальных расходов воды в исследуемом сменном модуле.

2. Настройка шарового крана ВН8 байпаса насоса осуществляется опытным путём из условий отсутствия переполнения ротаметров при полном открытии регулирующего дросселя ВН1.

3. Для расширения диапазона измерений пьезометров после выравнивания «нулей» допускается перекрытие пластиковых трубок Тр2–Тр4 коллекторов КП, КД и «14/15» металлическими зажимами.

На рис. 18 представлено продольное сечение модуля «Внезапное расширение потока».

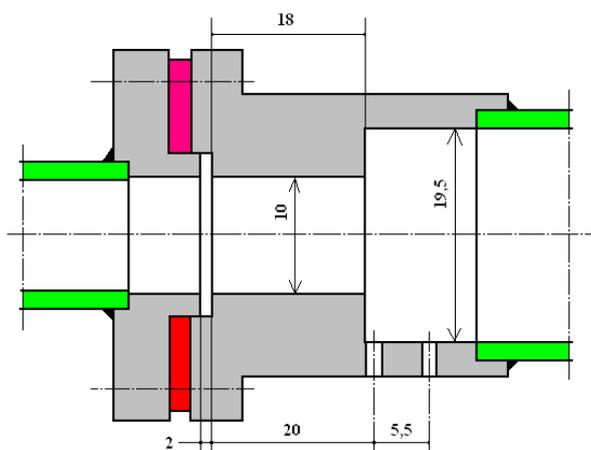
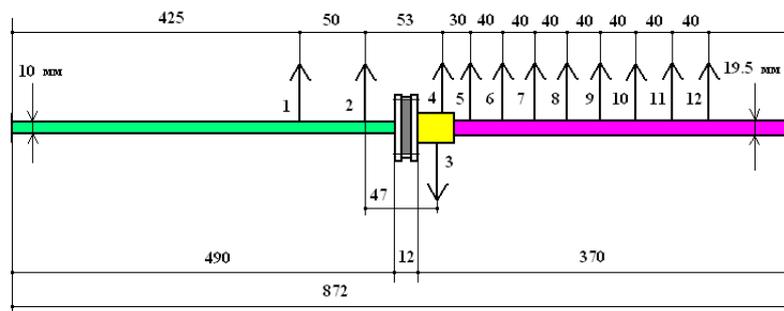


Рис. 18. Продольное сечение модуля «Внезапное расширение потока»

Расположение контрольных сечений для подключения пьезометров вдоль оси этого сменного модуля представлено на рис.19.



Сменный модуль "Внезапное расширение потока"

Рис. 19. Расположение контрольных сечений

На рис. 20 представлено продольное сечение модуля «Внезапное сужение потока».

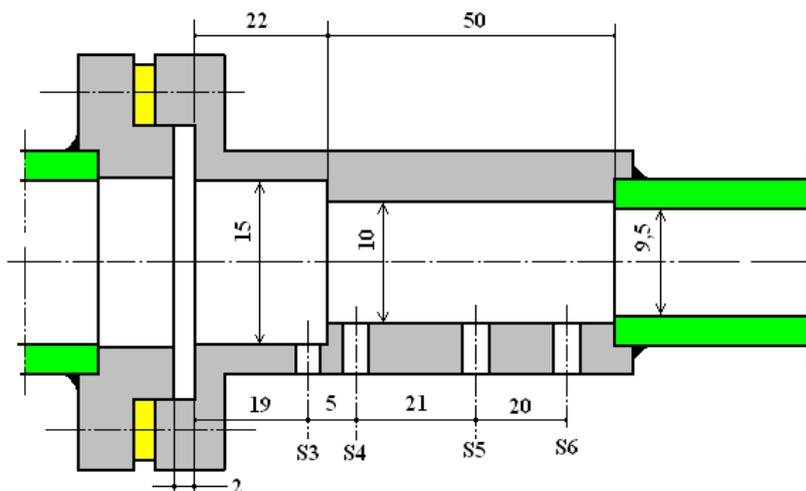
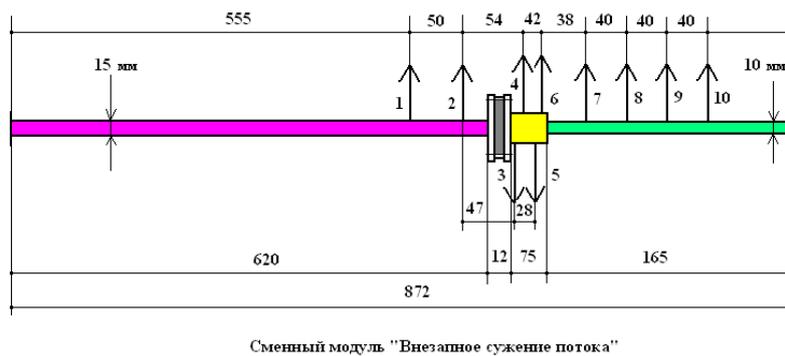


Рис. 20. Продольное сечение модуля «Внезапное сужение потока»

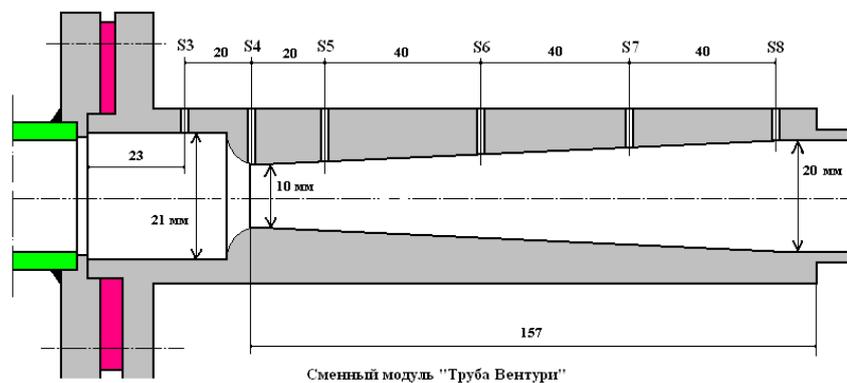
Расположение контрольных сечений для подключения пьезометров вдоль оси сменного модуля представлено на рис. 21.



Сменный модуль "Внезапное сужение потока"

Рис. 21. Расположение контрольных сечений

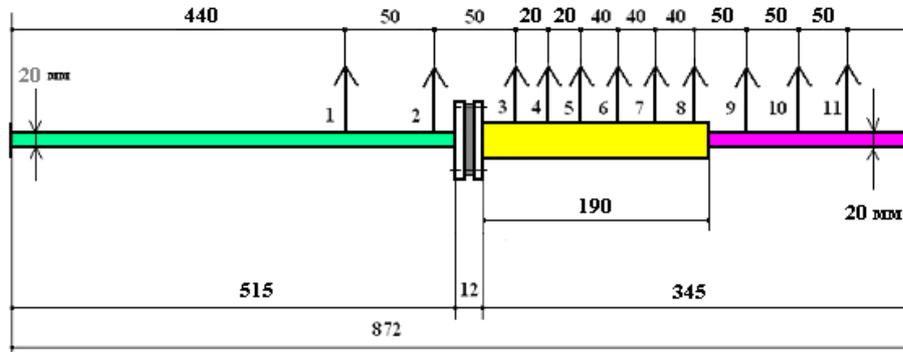
Продольное сечение сменного модуля «Труба Вентури» представлено на рис. 22.



Сменный модуль "Труба Вентури"

Рис. 22. Продольное сечение модуля «Труба Вентури»

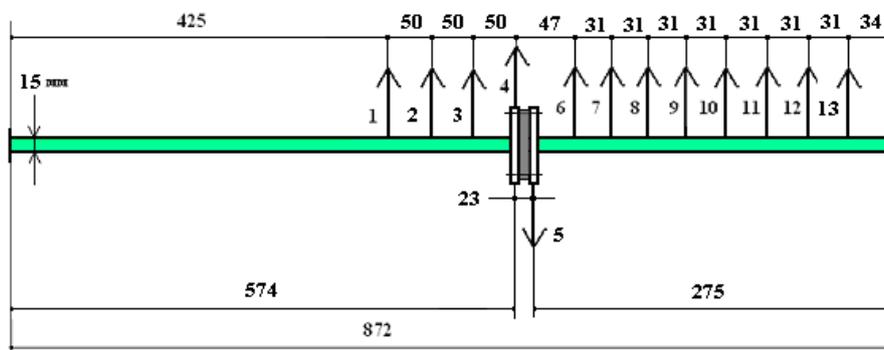
Расположение контрольных сечений сменного модуля «Труба Вентури» представлено на рис. 23.



Сменный модуль " Труба Вентури"

Рис. 23. Расположение контрольных сечений трубы Вентури

Расположение контрольных сечений для подключения пьезометров вдоль оси сменного модуля «Расходомерная диафрагма» представлено на рис.24.



Сменный модуль "Мерная шайба"

Рис. 24. Расположение контрольных сечений

Контрольные сечения сменного модуля «Дисковый затвор» представлены на рис. 25.

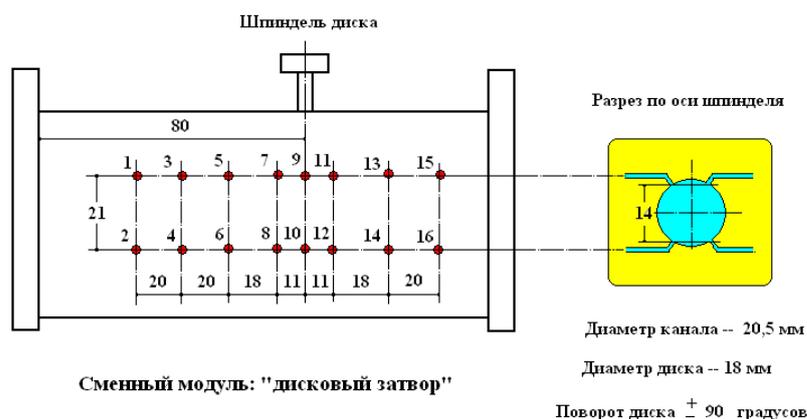


Рис. 25. Контрольные сечения сменного модуля «Дисковый затвор»

Устройство для подачи раствора красителя в иглу для исследования режимов движения жидкости представлено на рис. 26.

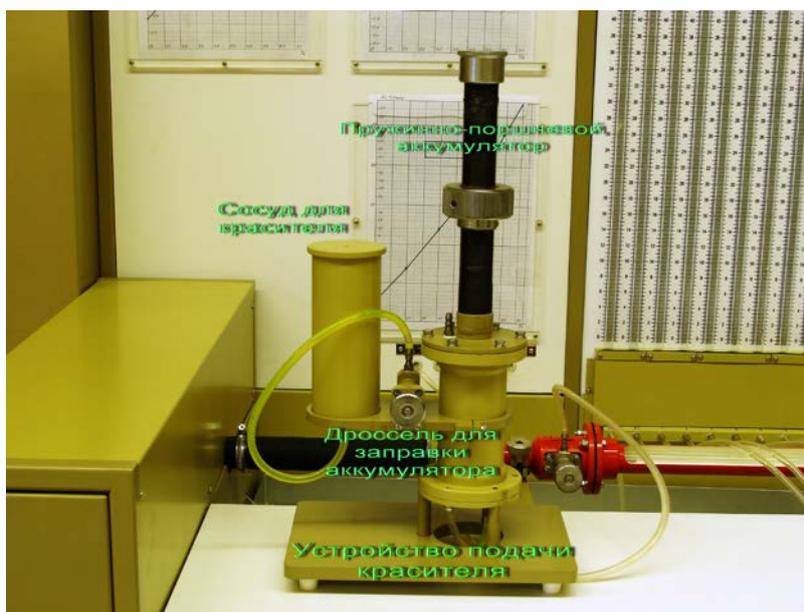


Рис. 26. Устройство для подачи раствора краски в иглу

Пружинно-поршневой гидравлический аккумулятор представляет собой поршневой насос, поршень которого нагружается цилиндрической пружиной сжатия, а её поджим осуществляется механической передачей «гайка-винт». При разгрузке пружины и подъёме поршня раствор краски из сосуда для красителя через дроссель для заправки аккумулятора поступает в поршневую полость и заполняет её, при этом дроссель, регулирующий подачу красителя к игле (рис. 27), должен быть закрыт. После заполнения поршневой полости

красителем дроссель полностью закрывается и устройство готово к подаче раствора красителя к игле, установленной на оси стеклянной трубы.

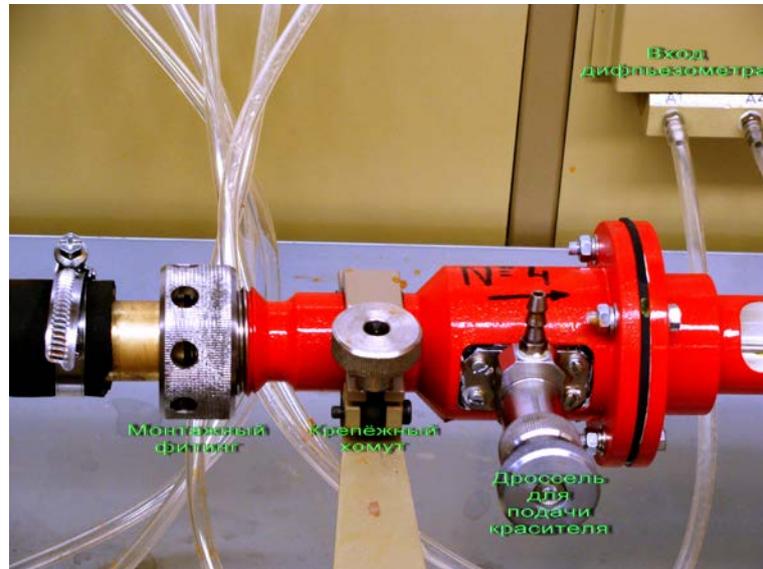


Рис. 27. Регулирующий дроссель для подачи красителя в стеклянную трубу

Контрольный результат исследования сменного модуля «Внезапное сужение потока» представлен на рис. 28.

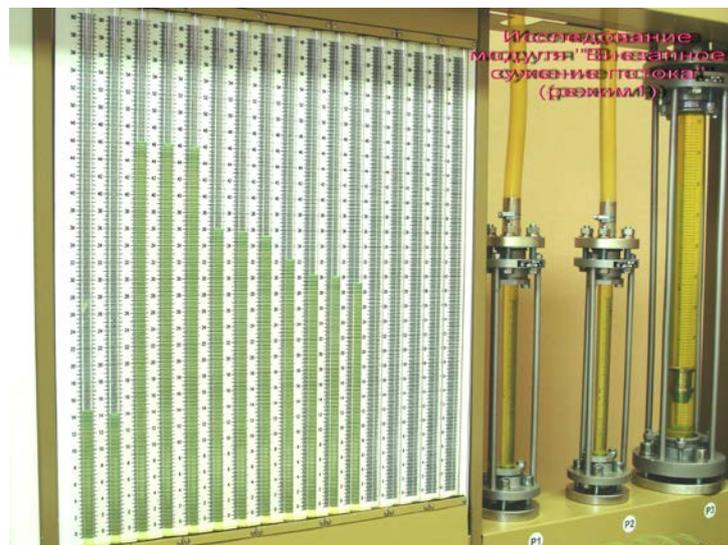


Рис. 28. Результат исследования сменного модуля «Внезапное сужение потока»

На рис. 29 показана пьезометрическая линия, построенная по результатам испытания сменного модуля «Труба Вентури».

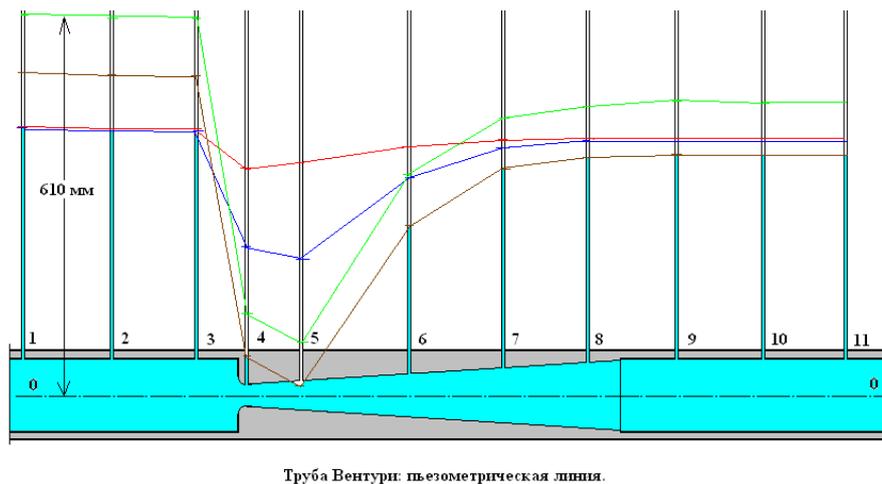


Рис. 29. Результаты испытания сменного модуля «Труба Вентури»

Список литературы

1. Башта Т.М., Руднев С.С. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. Учебник для машиностроит. вузов. Изд. 2-е, перераб. -М.: «Машиностроение», 1982, 423 с.
2. Бугаев Д.А., Калмыкова З.А. и др. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. Учеб. пособие для машиностроительных вузов. Под. ред. Куколевского И.И. 5-е изд., стереотипное. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.-448 с.
3. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат. Учеб. пособие для машиностроит. вузов. Под ред. Руднева С.С. и Подвидза Л.Г. Изд. 2-е, перераб. и дополн. М., 416 с.
4. Гижа Е.А. Стабилизация напорных турбулентных потоков после местных сопротивлений. Дисс. ...канд. техн. наук. Киев, 1986, 186 с.
5. Зелькин Г.Г. Нестационарные течения в местных сопротивлениях. Минск, 1981, 141 с.
6. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М., «Машиностроение», 1982, 224 с.
7. Альтшуль А.Д., Арзуманов Э.С., Везиров Р.Е. Экспериментальное исследование зависимости коэффициента сопротивления при внезапном расширении потока от числа Рейнольдса. Журн. «Нефтяное хозяйство», 1967, № 4, с. 64-70.
8. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Под. Ред. Штейнберга М.О., 3-е изд., перераб. и дополн., М., «Машиностроение», 1992, 672 с.
9. Карев В.Н. Потери напора при внезапном расширении трубопровода. Журн. «Нефтяное хозяйство», 1952, № 11 и 12, с. 13-16.
10. Карев В.Н. Потери напора при внезапном сужении трубопровода и влияние местных сопротивлений на нарушение потока. Журн. «Нефтяное хозяйство», 1953, № 8, с. 3-7.
11. Альтшуль А.Д., Калицун В.М. О коэффициенте сопротивления конфузоров. Изв.

- вузов, «Энергетика», 1960, № 7, с. 130-136.
12. Гиневский А.С. Расчёт потерь в расширяющихся и сужающихся каналах. Журн. «Промышленная аэродинамика», 1956, № 7, с. 15-16.
 13. Данцыг А.Я., Петров Н.М. К вопросу определения потерь в каналах с внезапным расширением, расположенным за диффузором. Изв. вузов. «Авиационная техника», 1981, № 3, с. 86-89.
 14. Керенский А.М. О связи коэффициента сопротивления трения с числом Рейнольдса и относительной шероховатостью. Журн. «Теплоэнергетика», 1972, № 10, с. 78-79.
 15. Зарянкин А.Е., Головина Л.Г., Этт В.В. Влияние режимных параметров на характеристики конических диффузоров. Журн. «Теплоэнергетика», 1967, № 4, с. 27-34.
 16. Мигай В.К. О расчёте потерь в диффузорах с отрывом потока, Журн. «Теплоэнергетика», 1983, № 9, с. 38-40.
 17. Киселёв П.Г. Справочник по гидравлическим расчётам. М., Л., «Госэнергоиздат», 1957, 350 с.
 18. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчётам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы), М., 1984, 296 с.
 19. Цейтлин А.С., Гриценко И.А., Зорченко А.И. Формула для гидравлического расчёта стеклянных трубопроводов, Киев, 1963, 47 с.