

Н. Жуковский

**О гидравлическом ударе в
водопроводных трубах**

**Серия "Классики
естествознания".**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Н11

Н11 **Н. Жуковский**
О гидравлическом ударе в водопроводных трубах: Серия "Классики естествознания". / Н. Жуковский – М.: Книга по Требованию, 2020. – 107 с.

ISBN 978-5-458-50439-3

Работа Н. Е. Жуковского «О гидравлическом ударе в водопроводных трубах» представляет одно из наиболее замечательных исследований великого русского ученого. Эта работа создала Н. Е. Жуковскому славу мирового ученого в области гидромеханики еще задолго до тех его работ по авиации, которые положили основание современной аэродинамике и доставили ему имя «отца русской авиации». В своей работе Н. Е. Жуковский дает глубокое и очень полное теоретическое исследование вопроса о гидравлическом ударе в трубах и описывает многочисленные, необычайно широко поставленные опыты на московском водопроводе, всесторонне подтвердившие предложенную автором теорию.

ISBN 978-5-458-50439-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2020

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2020

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Н. Е. ЖУКОВСКИЙ



О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ
УДАРЕ
В ВОДОПРОВОДНЫХ
ТРУБАХ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА - 1949 - ЛЕНИНГРАД

Редактор *Н. М. Семенова.*

Техн. редактор *Л. А. Кушнер.*

Подп. к печ. 3/XI 1949 г. А 11828. 6,5 печ. л. + 1 вклейка. 5,09 уч.-изд. л.
31 080 тип. знак. в печ. листе. Тираж 3 000 экз. Цена 3 руб.
Переплет 2 руб. Заказ 5310.

4-я типография им. Евг. Соколовой Главполиграфиздата при Совете
Министров СССР. Ленинград; Измайловский пр., 29.

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА.

Работа Н. Е. Жуковского «О гидравлическом ударе в водопроводных трубах» представляет одно из наиболее замечательных исследований великого русского ученого. Эта работа, впервые напечатанная в «Бюллетенях Политехнического общества» (№ 5 за 1899 год) и немедленно переведенная на немецкий, английский и французский языки, создала Н. Е. Жуковскому славу мирового ученого в области гидромеханики еще задолго до тех его работ по авиации, которые положили основание современной аэродинамики и доставили ему имя «отца русской авиации».

В своей работе Н. Е. Жуковский дает глубокое и очень полное теоретическое исследование вопроса о гидравлическом ударе в трубах и описывает многочисленные, необычайно широко поставленные опыты на московском водопроводе, всесторонне подтвердившие предложенную автором теорию.

Все другие экспериментальные исследования, произведенные впоследствии, также подтвердили справедливость теории Н. Е. Жуковского, которая нашла теперь применение во всех отраслях техники.

Н.Е.ЖУКОВСКИЙ

**О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ
УДАРЕ
В ВОДОПРОВОДНЫХ
ТРУБАХ**





§ 1. ВСТУПЛЕНИЕ.

Предлагаемое сочинение заключает в себе теоретическую обработку результатов наблюдений над ударами воды в водопроводных трубах. Эти наблюдения производились в 1897 и 1898 гг. по инициативе заведующего московским водопроводом Н. П. Зими́на на Алексеевской водокачке инженерами К. П. Карельских, В. В. Ольденборгером и Н. Н. Березовским; руководство же наблюдениями было поручено мне.

Опыты делались над трубами 2", 4" и 6" в диаметре, положенными по поверхности земли на дворе водокачки и соединенными с главной магистралью г. Москвы, которая имеет 24" в диаметре ¹⁾. Наблюдалось изменение гидродинамического давления в трубе и распространение этого давления вдоль трубы при прекращении течения воды посредством весьма быстрого закрытия задвижки при конце трубы. Эти опыты дали интересные результаты, которые, насколько мне известно, до сих пор не указаны в технической литературе. Оказалось, что все явления гидравлического удара объясняются возникновением и распространением в трубах ударной волны, происходящей от сжатия воды и от расширения стенок трубы.

¹⁾ Так как диаметры труб выражаются в целых числах дюймов ("), то за меру длины в нашем сочинении приняты дюймы, футы и сажени.

§ 2. ЛИТЕРАТУРА, ОТНОСЯЩАЯСЯ К РАССМАТРИВАЕМОМУ ВОПРОСУ.

Теоретические исследования о распространении изменения гидродинамического давления вдоль труб с упругими стенками возникли главным образом при объяснении физиологических (распространение пульса) и звуковых явлений.

Для объяснения опытов, которые делал Марей (Marey) над распространением напора воды вдоль каучуковых труб, Резаль¹⁾ предложил весьма простой анализ, принимая воду за тело несжимаемое. Он нашел, что скорость λ распространения ударной волны вдоль трубы выражается формулой:

$$\lambda = \sqrt{\frac{Eeg}{2R\gamma}},$$

где E — модуль упругости каучука, e — толщина стенок трубы, g — напряжение тяжести, $2R$ — диаметр трубы и γ — [весовая] плотность жидкости.

Более полный анализ того же явления при отсутствии сжатия воды, но с учетом влияния инерции стенок трубы и трения жидкости был сделан И. Громекой²⁾. Он дал биквадратное уравнение, корни которого выражают две скорости распространения волн.

Анализ явления, принимая во внимание сжатие воды (применительно к распространению звука), сделал Кортвег³⁾. Он дает, между прочим, следующую приближенную формулу скорости звука в упругой трубке, наполненной жидкостьюю:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}},$$

1) Resal H., Note sur les petits mouvements d'un fluide incompressible dans un tuyau élastique, Journal de Mathématiques pures et appliquées, 1876.

2) Громека И., О скорости распространения волнообразного движения жидкостей в упругих трубках, Казань, 1883.

3) Korteweg D., Over Voorplanting-snelheid van golven in élastische buizen, Leiden, 1878.

где λ_1 есть скорость звука в рассматриваемой жидкости, а λ_2 — скорость волны в несжимаемой жидкости, наполняющей трубу, определенная по формуле, которую дал Резаль. Кортевег рассматривает трубку как упругую перепонку и не обращает внимания на силы упругости, на сгибание и срезывание стенок трубы. Все эти обстоятельства принял во внимание Ламб¹⁾ в его недавно появившейся работе о распространении звука в трубах, наполненных жидкостью. Он выводит биквадратное уравнение, из которого можно определить две скорости волны при рассматриваемом явлении. При этом один из корней упомянутого уравнения при небольшой толщине трубы (не превосходящей 0,1 радиуса) близко подходит к скорости, которую дает Кортевег.

Задача техники о распространении вдоль водопроводной трубы гидравлического удара, образующегося вследствие быстрого прекращения истечения воды из трубы, обыкновенно не ставилась в связь с вышеупомянутыми теоретическими исследованиями. Инженеры, которые занимались этой задачей, не обратили внимания на то, что при весьма быстром закрытии задвижки вода останавливается и давление поднимается только у задвижки, и это состояние воды передается по трубе по закону распространения волнообразного движения. Я полагаю, что упомянутое обстоятельство было упущено из виду потому, что наблюдения не делались над длинными трубами; в коротких же трубах, ввиду громадной скорости распространения ударной волны (около 4200 *фут/сек*), поднятие давления представляется происходящим вдоль всей трубы одновременно.

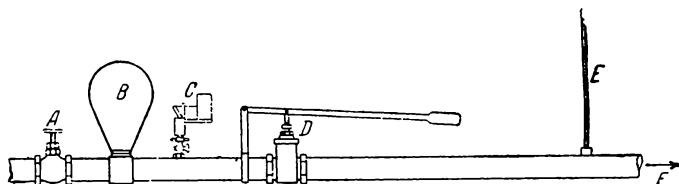
В 1890 г. Черч²⁾ напечатал исследование над колебанием напора воды возле закрываемого крана водопроводной трубы. Исследователь полагает, что наибольший напор, наблюдаемый при этих колебаниях, зависит

¹⁾ Lamb H., Über die Geschwindigkeit des Schalles unter Einfluss der Elastizität der Wände, Proceedings of the Manchester Soc., 1898. Краткий отчет о работе см. в Wiedemanns Beiblätter, № 9, 1898.

²⁾ Church, Journal of Franklin Institute, 1890.

от времени и способа закрытия крана (мы увидим ниже, что в том случае, когда время закрытия крана менее времени двойного пробега ударной волны от крана до магистрали, наибольший напор зависит только от скорости истечения воды).

Наиболее обстоятельные исследования над гидравлическим ударом в водопроводных трубах были сделаны по плану, который предложил Карпентер ¹⁾, студентами Silbey College. Наблюдался удар в трубе, имеющей в диаметре $1\frac{1}{2}$ " , при скорости истечения воды, достигающей 8,6 фут/сек. Опыты были расположены, как представлено, на фигуре 1.



Фиг. 1.

Вода под напором 2 ат подавалась в трубу AF от A к F . Скорость истечения регулировалась краном A и определялась с помощью трубки Пито E . Затвор производился задвижкой D , которая закрывалась посредством быстрого действия рукой на рычаг. Изменение давления воды определялось с помощью индикатора Кросби C , который вычерчивал диаграмму, причем стрелка, изображенная на нашем схематическом рисунке, заменялась карандашом, пишущим по вращающемуся цилиндру. Перед задвижкой D помещался воздушный колпак B , который поворотом около оси трубы вниз мог быть обращен в водяной колпак и мог быть также совсем снят.

Опыты производились с воздушным колпаком, с водяным колпаком и без колпака. Этим трем случаям соответ-

¹⁾ Carpenter, Some experiments on the effect of water-hammer, The Engineering Record, т. 30, 1894.