

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 3 / 2024, Vol. 16, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/49NZVN324.pdf>

1.6.21. Геоэкология (геологоминералогические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ревин, А. И. История зарождения вопросов гидравлики / А. И. Ревин, Е. В. Лядов, И. В. Бузякова // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/49NZVN324.pdf>

For citation:

Revin A.I., Lyadov E.V., Buzyakova I.V. History of hydraulic issues. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(3): 49NZVN324. Available at: <https://esj.today/PDF/49NZVN324.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Ревин Андрей Игоревич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия
Аспирант
E-mail: revin-ai@yandex.ru

Лядов Евгений Валерьевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Аспирант кафедры «Прикладные информационные технологии»
E-mail: jon.lyadov@yandex.ru

Бузякова Инна Валерьевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия
Доцент кафедры «Инженерных изысканий и геоэкологии»
Кандидат географических наук
E-mail: buzyakova@mail.ru

История зарождения вопросов гидравлики

Аннотация. В статье рассмотрено эволюционное развитие науки гидравлики, начиная с античных времени и до сегодняшнего дня. В процессе исследования проанализированы достижения и открытия древних египтян, греков, персов, китайцев. Также отдельное внимание в статье уделено открытию гидроудара, проблемам и сложностям, которые сопутствовали обоснованию данного феномена и современным векторам его развития. За все годы эволюционного развития наука гидравлика привела к созданию надежной и эффективной формы гидроэнергии, которая нашла свое широкое применение в разных сферах современной жизни. Гидравлические системы обеспечивают в десять раз большую мощность, чем электродвигатель, что делает их чрезвычайно полезными при подъеме и перемещении тяжелых предметов. Точная механика позволяет гидравлике быть более безопасной, чем электричество. Этот набор прогрессивных преимуществ привел к популярности гидравлики и ее широкому применению в строительстве, судостроении и производстве.

Наряду с гидравликой развивалось и знание о гидроударе. В настоящее время дискуссия вокруг этой темы значительно расширилась и уже помимо расчета скачков давления, возникающих в результате быстрого закрытия клапанов, центральные проблемы, связанные с проблемами гидроудара, охватывают различные дихотомии, в том числе однофазный и многофазный поток, ламинарный и турбулентный поток, упругое и вязкоупругое поведение материалов труб под нагрузкой.

Ключевые слова: гидравлика; гидроудар; жидкость; мощность; давление

Введение

Гидравлика — это технология и прикладная наука, в которых жидкость используется для получения энергии. Другими словами, гидравлика, по своей сути, означает применение жидкостей для манипулирования и приведения в действие механизмов с целью выполнения определенных задач [1]. Это может принимать различные формы. Первые гидравлические системы возникли тысячи лет назад, а ирригационные и водяные часы использовались древними греками и египтянами еще в 600 году до нашей эры. В нашем современном мире гидравлическая энергия находит огромное количество сфер приложения и применения: от выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях, до работы посудомоечной машины и тормозов автомобиля [2].

В тоже время, необходимо отметить, что в настоящее время из всех отраслей промышленности, на которые повлияло развитие и внедрение гидравлики, ни одна не была затронута так сильно, как строительная отрасль. От мощных экскаваторов, которые так часто встречаются на строительных объектах, до компактного оборудования, незаменимого при строительстве в густонаселенных городских районах, гидравлика оставила свой след в строительстве и сделала возможными современные инженерные и архитектурные достижения, которые иначе были бы неосуществимы. Люди привыкли видеть, как в крупной строительной технике, такой как экскаваторы и самосвалы, используется гидравлика, но многие даже не осознают, что такая простая вещь, как водяное колесо, также считается связанной с гидравлической силой.

Хотя система высокого давления с гидравлическим приводом, начиналась с воды, она эволюционировала и теперь использует дополнительные типы жидкости для максимизации давления и, следовательно, максимизации мощности. В гидравлических системах жидкость течет по трубам, каналам или шлангам, создавая механическую силу. Основное преимущество заключается в том, что высокое давление облегчает перемещение тяжелых грузов [3]. Давление, создаваемое в гидравлической системе, обеспечивает даже большую силу, чем пневматические, механические и электрические системы. Благодаря закону Паскаля стало ясно, что жидкости сжимаются иначе, чем воздух, поэтому гидравлические системы более мощные. В отличие от воздуха, если надавить на жидкость в одной области, давление будет распределяться равномерно. Это делает гидравлику мощной, предсказуемой и надежной [4].

Особого внимания заслуживают нестационарные потоки жидкости. Более известный термин для обозначения этого явления — гидравлический удар или гидравлический всплеск. Эффект гидроудара возникает в результате скачка давления воды в трубах, часто после резкого изменения направления, прорыва из ранее засорившейся трубы или внезапного перекрытия клапана в водопроводной системе [5]. Изучение гидроудара, в связи с относительно поздним открытием данного феномена, дает хорошую возможность проследить, каким образом формализация причин его возникновения, последствий и условий протекания сыграли свою роль в признании и развитии гидравлики в целом.

С учетом вышеизложенного, научно-практический интерес представляют вопросы о том, как возникла область гидравлики, насколько далеко продвинулись гидравлические системы с момента их изобретения, а также какое значение имеет эффект гидроудара, что и обусловило выбор темы данной статьи.

Истоки возникновения отрасли научного знания, которая изучает вопросы практического применения жидкостей, особенности жидкостей в движении и их механику, рассматривают в своих трудах Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Щербаков А.О., Жезмер В.Б., Шайкина В.А., Мокрецова И.С., Yanqun Yu, Zongyu Chang, Yaoguang Qi, Xin Xue, Jiannan Zhao.

Технологии достижения мощного движения и точного управления с помощью гидравлики нашли отражение в работах Бажанова А.И., Кочеткова Н.Ю., Сперанского А.А., Комаровой В.Г., Кирюхина А.Ю., Aziz Amoozegar, Glenn V. Wilson, Josette Camilleri, Amre Atmeh, Xin Li, Nastaran Meschi.

В тоже время, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд проблем в данной предметной плоскости остается открытым. Так, например, в более углубленной проработке нуждаются вопросы, связанные с тем, каким образом менялась гидравлика с течением времени. Кроме того, отдельного внимания заслуживают перспективы применения гидравлики в современных промышленных системах с учетом актуальных достижений и технологий Четвертой промышленной революции. Более того, дальнейшего развития требуют методы предотвращения гидроудара.

Таким образом, цель статьи заключается в проведении исторического анализа основных этапов познания человеком гидравлики и открытия гидроудара.

На протяжении всей истории человечества люди всегда стремились к воде, они строили города на крупных водных артериях и использовали их как транспортные магистрали.

Гидравлика уходит корнями в 6000-е годы до нашей эры. При таком древнем происхождении достаточно проблематично достоверно определить, кто именно изобрел первую гидравлическую систему. И древние египтяне, и месопотамцы использовали энергию воды для орошения сельскохозяйственных культур. Эти изобретения можно назвать истоками зарождения гидравлики, поскольку системы были разработаны таким образом, чтобы вода сама стекала с рек на поля. Появление водяных часов датируется 2000 г. до н.э. [6]. Несмотря на то, что эти технологии не похожи на гидравлические системы, которые используются сегодня, они заложили основу для того, что со временем превратилось в современные механизмы и устройства.

Примерно к 600-м годам до нашей эры древние греки изобрели впечатляющие сети акведуков, которые использовали более сложную гидравлическую систему для доставки воды к посевам. Туннель Эупалинос в Греции — один из самых известных акведуков. Учитывая, что у греков не было магнитного компаса, каких-либо геодезических инструментов, топографических карт или письменной математики, этот подвиг является чудом. Системы акведуков сами по себе могли иметь непостоянный расход воды. Для борьбы с этим римляне устанавливали регулирующие устройства в русле, создавали резервуары и цистерны на концах, чтобы обеспечить более надежное водоснабжение населения. Большой акведук мог хранить достаточно воды для города в течение 1–3 недель, в зависимости от численности населения и ограничений на водоснабжение.

Еще одно крупное изобретение в области гидравлики, приписываемое грекам, — водяной, или Архимедов, винт. Этот винт был основным компонентом древних методов ирригации. Это старейший насос объемного действия, восходящий к Древнему Египту, где он использовался на Ниле — скорее всего, еще до времени Архимеда, хотя ему и приписывают эту заслугу. Некоторые даже считают, что он применялся для орошения Висячих садов Вавилона, одного из семи чудес древнего мира. Именно эта концепция привела к изобретению первого поршневого или нагнетательного насоса. Этот насос является основой гидравлических систем, которые функционируют сегодня в пожарных машинах. Греки, а позже и римляне использовали силовые насосы для поднятия уровня воды, а также для ее транспортировки с целью тушения пожаров.

Шелковый путь также имел раннюю гидравлическую систему. Она опиралась на действие силы тяжести для перемещения воды по каналам и отличалась такими усовершенствованиями, как дренажные бассейны и башни с клапанами.

Эти ранние способы использования воды в конечном итоге привели египтян к созданию так называемого колеса Нории. Оно появилось около 400 года до нашей эры. Это колесо — способ набирать воду из ручья (или колодца). Оно напоминает колесо повозки, но гораздо больше и шире. Ведра подвешиваются к горизонтальным перекладинам, которые опускаются в воду внизу, а течение реки толкает колесо по кругу, в результате чего наполненные водой ведра оказываются наверху, где их можно опорожнить [7].

Древние персы в третьем веке нашей эры завершили строительство исторической гидравлической системы Шуштар. Эта система представляла собой колоссальный инженерный проект и служила для различных целей, включая водоснабжение, орошение, мельницы, речные перевозки и оборонительную систему. Аналогичным образом жители Шри-Ланки построили сложные крупномасштабные ирригационные системы и разработали концепцию клапанной башни для регулирования оттока воды. Их системы были разработаны более 2000 лет назад в ответ на труднодоступность воды.

Около 100 года нашей эры в Китае Чжан Хэн изобрел надежную гидравлическую систему, помогающую вращать армиллярную сферу, используемую для наблюдения за звездами и космосом. Это было первое известное применение гидравлики для перемещения машин.

Огромные римские акведуки — лишь один из примеров внедрения в жизнь возможностей гидравлической силы. У римлян также было много водяных мельниц, и они разработали «промывку», раннюю версию гидравлической добычи, для использования на золотых месторождениях в регионе. Этот метод подразумевал создание обильного запаса воды с помощью плотин или сосудов и спуск ее в район добычи. Поток воды смывал легкие отложения и оставлял доступ к ценным золотым жилам. Позднее «промывка» проложила путь для гидравлической добычи во время Калифорнийской золотой лихорадки.

Несмотря на то, что в гидравлике в древние времена было много значительных достижений, в современной истории она получила свой настоящий расцвет только в XVII веке. Ученые и математики начали подвергать сомнению законы физики и то, как они применяются к гидравлике, движению жидкости и давлению.

В это время всеобщее представление о гидравлике изменилось, когда Саймон Стевин обнаружил гидростатический парадокс, а Галилей узнал больше о гравитации. Блез Паскаль также обосновал в 1648 году свой закон, согласно которому если на жидкость внутри замкнутой системы оказывается давление, то оно одинаково передается во всех направлениях [8]. За этим последовало множество других изобретений:

- 1795 — Джозеф Брахмах получил патент на первый гидравлический пресс.
- 1882 — первая гидроэлектростанция была создана на реке Фокс в Эпплтоне, штат Висконсин.
- 1835 — Уильям Джордж Армстронг создает первый роторный двигатель, работающий на воде. Это привело к изобретению поршневого двигателя, используемого для отвода избыточного давления воды, чтобы привести в действие гидравлический кран для погрузки и разгрузки судов.
- 1850–1851 — Уильям Джордж Армстронг создал первый гидравлический аккумулятор, который удерживал жидкость под давлением и позволял обойтись без резервуаров. Технология Армстронга была использована при строительстве нескольких мостов, в том числе разводного моста, построенного через реку Тайн.
- 1947 — на газовом месторождении Хьюгтон в округе Грант, штат Канзас, проведена первая экспериментальная процедура гидроразрыва пласта.

Развитие гидравлических систем продолжало ускоряться в середине XX-го века с развитием самолетов и аэрокосмических технологий. Гидравлика использовалась для привода шасси, тормозов и механизмов управления самолетом. Гидравлические системы также нашли свое применение в космических миссиях, таких как высадка на Луну, для управления движением опор лунного модуля.

В течение длинной истории развития гидравлики вода использовалась в различных формах гидравлических систем. Однако, коррозионные свойства воды, а также ее довольно низкая температура кипения создавали проблемы в механизмах. Это привело к тому, что в качестве альтернативы стали использоваться масла.

Минеральное масло. Впервые было апробировано в качестве первой гидравлической жидкости как альтернатива воде в 1920-х годах. Оно было выбрано по причине хороших смазывающих свойств, а также из-за способности выдерживать температуры, при которых вода может закипеть.

Базовые составы. Базовая основа жидкостей может быть разной, хотя минеральное масло часто используется во многих системах. Например, масло канолы применяется в тех случаях, когда речь идет о биоразлагаемости или необходимости перехода на возобновляемые ресурсы. Сплав натрия и калия, известный как NaK-77, является популярной основой в условиях высоких температур или высокого уровня радиации [9].

Дополнительные соединения. Гидруалиновая жидкость часто содержит различные соединения для придания ей специальных свойств. Масла, бутанол, силикон и другие химические соединения могут придать гидрорулевой жидкости повышенную устойчивость к коррозии и эрозии, а также другие свойства.

Теперь рассмотрим более подробно историю открытия гидроудара.

Как уже отмечалось ранее, в начале развития науки гидравлики ранние разработки были сосредоточены на проблемах транспортировки воды и измерении ее расхода для орошения и водоснабжения населенных пунктов. Это включало в себя устройства для перекачки, подачи по каналам и водоводам, а также механизмы для измерения количества воды, потребляемой отдельными хозяйствами. Теория и конструкции были связаны с гидростатическим давлением, потерями на трение и коэффициентами расхода, большинство из которых можно было решить с помощью экспериментальных исследований. На тот момент не было необходимости рассматривать случаи неустановившегося течения как в открытых каналах, так и в закрытых трубах и емкостях. Действие волн на береговые линии, в заливах и портах, а также вдоль каналов было единственной проблемой, похожей на гидроудар, известной в ранние времена. Однако математические и физические знания тех дней не могли справиться с этой проблемой, за исключением строительства волнорезов для защиты гаваней и судоходства. Эта отрасль гидравлики, обозначаемая сейчас как береговое строительство, которая занимается приливными и поверхностными волнами, стала очень важной областью, особенно в XX-м веке.

Одно из самых ранних зарегистрированных упоминаний о гидроударе относится к I веку до нашей эры. Это явление описано Витрувием Поллионом (родился ок. 80–70 до н.э., умер примерно после 15 до н.э.), которого часто считают первым узнаваемым архитектором и известным как великий римский писатель, инженер и строитель. Среди своих достижений Витрувий задокументировал это явление и предложил решение путем строительства полостей, известных как «вентеры», в своем описании труб и трубок римского общественного водоснабжения [10].

Также из знаковых событий в открытии гидроудара следует выделить исследование Л. Эйлера, когда он пытался найти решение явления течения крови по артериям.

Решение ему найти не удалось, хотя оно было почти под рукой, поскольку математические и физические инструменты были в его распоряжении.

Аналогичными областями, которые занимали внимание математиков и физиков (естествоиспытателей) в давние времена и изучение которых стало фундаментом для обоснований теории гидроразрыва, были:

1. Распространение волн на мелководье.
2. Распространение звуковых волн в воздухе.
3. Течение крови в артериях.

Ни одна из этих задач не оставляла надежды на детальное решение до тех пор, пока не было разработано исчисление и решение дифференциальных уравнений с частными производными. Это объясняется тем, что они связаны со скоростью изменения давления и скоростью в упругих средах. Для математиков актуальной являлась задача разработки метода изучения скорости изменения давления и скорости движения, а для физиков — обоснование метода исследования скорости движения, а также теории упругости, которая позволила бы согласовать изменения этих скоростей.

Лишь в 1898 году идея гидроудара была более формально изучена в гражданском строительстве — сначала россиянином Николаем Егоровичем Жуковским и американцем Джозефом Палмером Фризеллом. В 1902 году этот феномен снова исследовал итальянский инженер Лоренцо Аллиеви.

Жуковский и Фризелл разработали практическую теорию скачков давления с двух разных точек зрения. Фризелл занимался вопросами безопасности и регулирования скорости гидроэлектростанций. Жуковский, в свою очередь, решал задачи эксплуатации муниципальных водопроводных станций. До работ этих ученых, исследования волн касались, в частности, их скорости. С этого момента инженеры стали играть важную роль в развитии науки гидравлики и ее практическом применении.

В настоящее время изучение гидроудара приобрело более широкий аспект. Области исследования стали более специализированными, а методы — более точными и детальными, при этом важную роль играют экспериментальные испытания и определение гидравлических характеристик различных компонентов.

Заключение

Таким образом, подводя итоги проведенного исследования, можно сделать следующие выводы. За все годы эволюционного развития наука гидравлика привела к созданию надежной и эффективной формы гидроэнергии, которая нашла свое широкое применение в разных сферах современной жизни. Гидравлические системы обеспечивают в десять раз большую мощность, чем электродвигатель, что делает их чрезвычайно полезными при подъеме и перемещении тяжелых предметов. Точная механика позволяет гидравлике быть более безопасной, чем электричество. Этот набор прогрессивных преимуществ привел к популярности гидравлики и ее широкому применению в строительстве, судоходстве и производстве.

Наряду с гидравликой развивалось и знание о гидроударе. В настоящее время дискуссия вокруг этой темы значительно расширилась и уже помимо расчета скачков давления, возникающих в результате быстрого закрытия клапанов, центральные проблемы, связанные с проблемами гидроудара, охватывают различные дихотомии, в том числе однофазный и многофазный поток, ламинарный и турбулентный поток, упругое и вязкоупругое поведение материалов труб под нагрузкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слабожанин Г.Д. История развития гидравлики // Polish Journal of Science. — 2020. — № 31-1(31). — С. 50–56.
2. Зязиков М.Б. Основные периоды развития науки «гидравлика» в мировой истории // Студенческий вестник. — 2023. — № 4-6(243). — С. 8–9.
3. James A. Jacobs, Stephen M. Testa Historical Development from Fracturing to Hydraulic Fracturing. — 2019. URL: <https://doi.org/10.1002/9781119336129.ch2>.
4. Fan Xu Rationalizing the Differences Among Hydraulic Relationships Using a Process-Based // Water Resources Research. — 2021. — Vol. 57. — P. 78–84.
5. Ниязова Г.П. Становление гидравлики как науки и ее значение в решении инженерных задач // Научный журнал. — 2020. — № 3(48). — С. 23–24.
6. Sebastien Erpicum, Brian M. Crookston Hydraulic structures engineering: An evolving science in a changing world // Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. — 2020. — Vol. 8, Issue 2. P. 45–52.
7. Laurence G. Britton Avoiding water hammer and other hydraulic transients // Process Safety Progress. — 2023. — Vol. 43, Issue 1. — P. 134–142.
8. Валитова К.А. Технологии, применяемые при гидравлическом разрыве пласта // Научно-исследовательский центр "Technical Innovations". — 2021. — № 3. — С. 44–49.
9. Overview of Drilling and Hydraulic Fracture Stimulation Techniques for Tight Oil and Gas Shale Formations. Environmental Considerations Associated with Hydraulic Fracturing Operations. — 2019. — 219 p.
10. Bill Addis The historical use of physical model testing in free-surface hydraulic engineering // Physical models: Their historical and current use in civil and building engineering design. — 2020. — № 45. — P. 112–119.

Revin Andrey Igorevich

National Research Moscow State Civil University, Moscow, Russia
E-mail: revin-ai@yandex.ru

Lyadov Evgeniy Valerievich

Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, Saratov, Russia
E-mail: jon.lyadov@yandex.ru

Buzyakova Inna Valerievna

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
E-mail: buzyakova@mail.ru

History of hydraulic issues

Abstract. The article examines the evolutionary development of the science of hydraulics, from ancient times to the present day. During the research, the achievements and discoveries of the ancient Egyptians, Greeks, Persians, and Chinese were analyzed. Also, special attention in the article is paid to the discovery of water hammer, the problems and difficulties that accompanied the justification of this phenomenon and the modern vectors of its development. Over all the years of evolutionary development, the science of hydraulics has led to the creation of a reliable and efficient form of hydropower, which has found its wide application in various spheres of modern life. Hydraulic systems provide ten times more power than an electric motor, making them extremely useful for lifting and moving heavy objects. Precision mechanics allow hydraulics to be safer than electricity. This set of progressive advantages has led to the popularity of hydraulics and its widespread use in construction, shipping and manufacturing. Along with hydraulics, knowledge about water hammer also developed. Nowadays, the discussion around this topic has expanded significantly and beyond the calculation of pressure surges resulting from the rapid closing of valves, the central problems associated with water hammer problems cover various dichotomies, including single-phase and multiphase flow, laminar and turbulent flow, elastic and viscoelastic behavior of pipe materials under load.

Keywords: hydraulics; hydraulic shock; liquid; power; pressure