

Л.А. Юткин

**Электрогидравлический
эффект и его применение в
промышленности**

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 621
ББК 34.4
Л11

Л11 **Л.А. Юткин**
Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин – М.: Книга по Требованию, 2024. – 253 с.

ISBN 978-5-458-29667-0

В книге крупного изобретателя, ученого, основателя нового направления в науке и технике - электрогидравлики в доступной форме изложены физические основы электрогидравлического эффекта. Рассмотрены схемы и оборудование электрогидравлических устройств. Книга будет интересна тем кто не скован классическими схемами электрических машин. Интересующимся такого рода материалами, следует провести параллель с работами Тесла.

ISBN 978-5-458-29667-0

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2024

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, кляксы, 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 первозданном 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.

Предисловие

При создании внутри объема жидкости специально сформированного импульсного высоковольтного электрического разряда в зоне последнего развиваются сверхвысокие давления, которые можно широко использовать в практических целях,— так, впервые в 1950 г. Л. А. Юткиным был сформулирован предложенный им новый способ трансформации электрической энергии в механическую, названный автором электрогидравлическим эффектом (ЭГЭ).

Электрогидравлический эффект с первых дней его открытия был и остается постоянным источником рождения множества прогрессивных технологических процессов, которые сейчас уже широко применяются во всем мире. Этим обусловливаются его непреходящее значение и все возрастающий интерес, проявляемый к нему в самых различных отраслях науки, техники и народного хозяйства.

Последние 30 лет жизни Л. А. Юткин активно и плодотворно работал в области электрогидравлики. За этот период им были разработаны теоретические основы явления, определены методы управления процессом, значительно расширяющие возможности и обеспечивающие высокий КПД электрогидравлической обработки материалов, было предложено более 200 способов и устройств практического применения ЭГЭ, получено 140 авторских свидетельств на изобретения, издано 50 публикаций по электрогидравлике. Под его руководством были разработаны принципиальные конструкции промышленных установок различного назначения, проведены поисковые работы, подготовлены к внедрению и частично внедрены устройства и технологические процессы, позволяющие эффективно использовать электрогидравлический эффект во многих областях народного хозяйства.

Президиум Академии наук УССР в июне 1982 г., определяя значение научной деятельности Л. А. Юткина, отметил, что изобретение им способа получения высоких и сверхвысоких давлений (а. с. 105011, СССР) легло в основу нового промышленного способа трансформации электрической энергии в механическую, нового электрогидравлического способа обработки материалов и практического использования ЭГЭ (а. с. 121053,

СССР). Л. А. Юткин являлся ведущим специалистом в разработке теории ЭГЭ. Посмертно Л. А. Юткин был удостоен звания лауреата Государственной премии УССР за 1981 год.

В книге отражены основные результаты научной, изобретательской и инженерной деятельности Л. А. Юткина. Большинство материалов публикуется впервые. Книга подготовлена к изданию основным соавтором и правопреемником Л. И. Гольцовой.

Ограниченный объем книги не позволил достаточно полно изложить все основные разработки автора.

Сегодня, по данным ГКНТ СССР, внедрение различных электрогидравлических машин и технологических процессов приносит нашей стране ежегодно десятки миллионов рублей экономии. Однако широкое практическое освоение электрогидравлики еще только начинается. Опубликование книги, несомненно, будет способствовать ускорению внедрения электрогидравлического эффекта во все отрасли народного хозяйства.

Все отзывы и пожелания просьба направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10, ЛО изд-ва «Машиностроение».

Введение

Впервые заинтересовавшись искровыми электрическими разрядами в воде в 1933 году, автор в дальнейшем целиком посвятил себя решению проблемы получения с помощью электрического разряда эффективного гидравлического удара. В конце 1930-х годов автором был в основном сформулирован и кардинальный для всей электрогидравлики принцип получения так называемых сверхдлинных разрядов. В 1948 г. появилась возможность основательно заняться изучением проблемы, а это привело к патентованию первого и основополагающего изобретения в области электрогидравлики — «Способа получения высоких и сверхвысоких давлений», т. е. способа получения электрогидравлического эффекта [14].

Но электрогидравлика не родилась из ничего и имеет своих предшественников. Опыты с искровыми разрядами в жидкости проводились учеными еще в XVIII веке. Так, в 1766 г. американский естествоиспытатель Т. Лейн в своем письме, адресованном Б. Франклину, содержащем описание устройства и работы изобретенного им электрометра, в качестве доказательства того, что его прибор действительно измеряет количество, а не какие-то особые качества электричества, писал, что им ставились разнообразные опыты с разрядами, содержащими различные количества электричества, причем разряды эти осуществлялись им не только в воздухе, но и в воде и других жидкостях [11].

Из описания опытов и работы прибора, изобретенного Лейном, можно понять, что в его опытах действительно возникали искровые разряды в воде длиной в несколько миллиметров с достаточно крутым фронтом и высоким поэтому механическим КПД. Опыты Лейна поражают своей простотой и свежестью мысли. Однако подлинный смысл и огромное значение наблюдаемых в опытах явлений остались совершенно незамеченными и непонятыми ни самим Т. Лейном, ни Б. Франклином, ни Д. Пристли, повторившим опыты Лейна в 1769 г. [12], ни многими другими учеными, знавшими об их работах. Не случайно поэтому об опытах Т. Лейна и Д. Пристли впервые вспомнили лишь 200 лет спустя — после опубликования наших первых работ, когда вся электрогидравлика как наука практически уже сформировалась.

В литературе по электрогидравлике иногда упоминают и другие работы, заслуживающие самой высокой оценки, но не имеющие прямого отношения к электрогидравлике. Одной из таких работ была статья Г. И. Покровского и В. А. Ямпольского «Электрогидродинамическая аналогия кумуляций» [2]. Однако уже само название ее говорит о полном несходстве с содержанием и смыслом работ автора. В книге Г. И. Покровского, изданной в 1962 г. [1], подчеркивается наш приоритет на открытие электрогидравлического эффекта. Упоминалось также и изобретение И. В. Федорова «Способ и приспособление для дезинфекции и стерилизации с помощью токов высокой частоты» [13]. Однако в этой работе отсутствуют те основные отличительные признаки, которые лежат в основе осуществления электрогидравлического эффекта — укорочение фронта и длительности электрического импульса. В схеме И. В. Федорова нет формирующего искрового промежутка — обострителя импульса, который позволяет перейти к напряжениям, гораздо большим пробивных для рабочего промежутка, и поэтому устройство, изобретенное И. В. Федоровым, фактически является искровым источником звука и не может быть источником получения электрогидравлического эффекта.

Работы предшественников электрогидравлики завершились в 1948 г. опубликованием статьи Ф. Фрюнгеля «К механическому КПД искры в жидкостях» [10]. Не сделав ни одного практического вывода и определив найденный им механический КПД разряда в 1 %, Ф. Фрюнгель затем надолго отошел от изучения подобных разрядов, снова занявшихся ими уже только после опубликования работ автора.

Причин, по которым многие исследователи прошли мимо огромных практических возможностей нового физического явления, очень много. В основе их общей неудачи, очевидно, лежит отсутствие изобретательского, практического взгляда на изучаемые явления, а также и отсутствие общественной потребности в использовании сверхвысоких гидравлических давлений.

Отдавая дань уважения исследованиям наших предшественников, нельзя не признать, что от Лейна и до Фрюнгеля науке было известно только явление электрического разряда в жидкости как таковое, без каких-либо указаний на то, что миллиметровый разряд в жидкости является прообразом нового промышленного способа трансформации электрической энергии в механическую и может быть широко использован в самых различных областях науки и техники.

Дальнейшие работы автора позволили расширить и углубить теоретические представления о природе электрогидравлического эффекта, определить ряд методов и приемов, обеспечивающих высокий КПД работающих на этом принципе машин и механизмов, предложить более двухсот способов и устройств применения электрогидравлического эффекта, многие из которых уже внедрены на практике.

По опубликованным данным, сотни установок для электрогидравлической обработки металлов самого различного назначения уже работают за рубежом, где наибольшее развитие получила электрогидравлическая штамповка. В СССР наиболее широко используются установки для электрогидравлической очистки литья. Десятки серийно выпускаемых на опытном заводе ПКБ электрогидравлики АН УССР (г. Николаев) и на заводе Амурлитмаш (г. Комсомольск-на-Амуре) электрогидравлических установок для очистки литья ежегодно вступают в строй действующих. Ряд таких установок поставляются на экспорт. Проданы лицензии на изготовление и поставку электрогидравлических установок в Швецию, Испанию, Венгрию, Японию. В различных отраслях промышленности СССР работает также более 140 электрогидравлических прессов, десятки электрогидравлических установок для развалицовки трубок теплообменных аппаратов, электрогидравлические дробилки различных модификаций, электрогидравлические установки для разрушения негабаритов и др.

По данным ГКНТ СССР, только за период с 1971 по 1975 гг. фактический экономический эффект от применения электрогидравлического эффекта в народном хозяйстве СССР составил 23 млн. руб. Внедрение различных электрогидравлических технологий и оборудования имеет самые широкие перспективы и в будущем.

Глава 1

Сущность и особенности электрогидравлического эффекта

1.1. Сущность электрогидравлического эффекта

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) — новый промышленный способ преобразования электрической энергии в механическую, совершающийся без посредства промежуточных механических звеньев, с высоким КПД. Сущность этого способа состоит в том, что при осуществлении внутри объема жидкости, находящейся в открытом или закрытом сосуде, специально сформированного импульсного электрического (искрового, кистевого и других форм) разряда вокруг зоны его образования возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений [7, 14].

В основе электрогидравлического эффекта лежит ранее неизвестное явление резкого увеличения гидравлического и гидродинамического эффектов и амплитуды ударного действия при осуществлении импульсного электрического разряда в ионопроводящей жидкости при условии максимального укорочения длительности импульса, максимально кротом фронте импульса и форме импульса, близкой к апериодической.

Для электрогидравлического эффекта характерен режим выделения энергии на активном сопротивлении контура, близком к критическому, т. е. когда $1/C < R^2/4L$, где C — емкость конденсатора, R и L — активное сопротивление и индуктивность контура. Отсюда следует, что основными факторами, определяющими возникновение электрогидравлического эффекта, являются амплитуда, крутизна фронта, форма и длительность электрического импульса тока. Длительность импульса тока измеряется в микросекундах, поэтому мгновенная мощность импульса тока может достигать сотен тысяч киловатт. Крутизна фронта импульса тока определяет скорость расширения канала разряда. При подаче напряжения на разрядные электроды в несколько десятков киловольт амплитуда тока в импульсе достигает десятков тысяч ампер. Все это обуславливает резкое и значительное возрастание давления в жидкости, вызывающее в свою очередь мощное механическое действие разряда.

Осуществление электрогидравлического эффекта связано с относительно медленным накоплением энергии в источнике питания и практически мгновенным ее выделением в жидкой среде. Основными действующими факторами электрогидравлического эффекта являются высокие и сверхвысокие импульсные гидравлические давления, приводящие к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями; значительные импульсные перемещения объемов жидкости, совершающиеся со скоростями, достигающими сотен метров в секунду; мощные импульсно возникающие кавитационные процессы, способные охватить относительно большие объемы жидкости; инфра- и ультразвуковые излучения; механические резонансные явления с амплитудами, позволяющими осуществлять взаимное отслаивание друг от друга многокомпонентных твердых тел; мощные электромагнитные поля (десятки тысяч эрстед); интенсивные импульсные световые, тепловые, ультрафиолетовые, а также рентгеновские излучения; импульсные гамма- и (при очень больших энергиях импульса) нейтронное излучения; многократная ионизация соединений и элементов, содержащихся в жидкости.

Все эти факторы позволяют оказывать на жидкость и объекты, помещенные в нее, весьма разнообразные физические и химические воздействия [19]. Так, ударные перемещения жидкости, возникающие при развитии и схлопывании кавитационных полостей, способны разрушать неметаллические материалы и вызывать пластические деформации металлических объектов, помещенных вблизи зоны разряда. Мощные инфра- и ультразвуковые колебания, сопровождающие электрогидравлический эффект, дополнительно диспергируют уже измельченные материалы, вызывают резонансное разрушение крупных объектов на отдельные кристаллические частицы, осуществляют интенсивные химические процессы синтеза, полимеризации, обрыва сорбционных и химических связей. Электромагнитные поля разряда также оказывают мощное влияние как на сам разряд, так и на ионные процессы, протекающие в окружающей его жидкости. Под их влиянием могут происходить разнообразные физические и химические изменения в обрабатываемом материале.

Понятие жидкости как среды для возникновения электрогидравлических ударов должно быть расширено на все эластичные и даже твердые (например, сыпучие) материалы.

Форма разряда, вызывающая возникновение импульсных давлений, может быть самой разнообразной: искровой, кистевой, совсем без кистей (так называемый импульсный электрический ветер).

Основой, обеспечивающей многообразные технологические возможности электрогидравлического эффекта, является метод получения так называемых сверхдлинных искровых разрядов в проводящих жидкостях [4, 7]. Электрогидравлический эффект может быть получен и в результате предложенного нами метода

«теплового взрыва» [23], при котором искровой разряд между электродами, помещенными в жидкость, заменяется электрическим тепловым взрывом проводящего ток элемента, замыкающего электроды. Использование этого метода позволяет распространить область электрогидравлической обработки на высокотемпературные среды, в том числе на плазму и расплавы солей и металлов.

Высокий КПД электрогидравлического эффекта, а также уникальные возможности электрогидравлического воздействия являются основой для широкого применения электрогидравлического эффекта во всех областях народного хозяйства.

1.2. Принципиальная электрическая схема получения электрогидравлического эффекта

Начиная с 1933 г., исследовались явления, возникающие в зоне высоковольтного искрового разряда в жидкой среде. В начальной стадии эти исследования подтвердили существующие данные о том, что такой разряд легко возникает только в диэлектрических жидкостях, а в жидкостях с ионной проводимостью происходит лишь в случаях очень малой длины искрового промежутка и всегда сопровождается обильным газо- и парообразованием.

Механическое воздействие жидкости на объекты, помещенные вблизи канала разряда, получаемого по традиционной схеме с прямым подключением конденсатора на разрядный промежуток в жидкости, практически ничтожно для жидкостей с ионной проводимостью и сравнительно оптимально лишь в среде жидких диэлектриков. Оно определяется весьма незначительными давлениями внутри парогазового пузыря, возникающего вокруг зоны разряда. Создающиеся в жидкости гидравлические импульсы имеют пологий фронт и значительную длительность протекания, при этом обладают небольшой мощностью.

В связи с этим необходимо было найти условия, в которых действие гидравлических импульсов могло бы быть резко усилено. Для этого требовалось уменьшить толщину парогазовой оболочки и сократить продолжительность разряда, в течение которого она создается. Одновременно необходимо было повысить мощность единичного импульса.

Решить эту задачу оказалось возможным путем разработки принципиальной электрической схемы, которая обеспечила подачу тока на рабочий промежуток в виде короткого импульса при помощи мгновенного «ударного» подключения накопителя энергии.

С этой целью автором был введен в электрическую схему формирующий воздушный искровой промежуток, что позволило в жидкостях с ионной проводимостью изменить характер искрового разряда, резко усилить его механическое действие [7, 14].

Дополнительный формирующий воздушный промежуток позволяет накапливать заданное количество энергии с импульсной

подачей ее на основной промежуток; значительно сократить длительность импульса и предотвратить возникновение колебательных процессов; создавать крутой фронт импульса, исключая возможность перехода к дуговому разряду; получать при заданном основном межэлектродном промежутке любые из допустимых для используемого источника питания значения тока и напряжения; регулированием длины формирующего промежутка изменять форму импульса и характер разряда на основном рабочем промежутке в жидкости. Именно формирующий промежуток явился обострителем импульса тока, позволившим перейти к напряжениям гораздо большим, чем напряжение пробоя рабочего промежутка в жидкости.

Таким образом, для создания электрогидравлических ударов была предложена схема (рис. 1.1), включающая источник питания с конденсатором в качестве накопителя электрической энергии. Напряжение на конденсаторе повышается до значения, при котором происходит самопроизвольный пробой воздушного формирующего промежутка, и вся энергия, запасенная в конденсаторе, мгновенно поступает на рабочий промежуток в жидкости, где и выделяется в виде короткого электрического импульса большой мощности. Далее процесс при заданных емкости и напряжении повторяется с частотой, зависящей от мощности питающего трансформатора.

Автором также была предложена схема с двумя формирующими промежутками. Как оказалось, введение двух формирующих искровых промежутков позволяет получить некоторое повышение

крутизны фронта импульса, а главное, делает схему симметричной, более управляемой и безопасной в обращении (рис. 1.2). Но, поскольку при этом возрастание крутизны фронта импульса невелико, а сложность изготовления схемы повышена, на практике ее почти не применяют.

В дальнейшем автором были предложены и другие схемы (см. гл. 3). Однако формирующий промежуток (в различных его модификациях, например, в виде

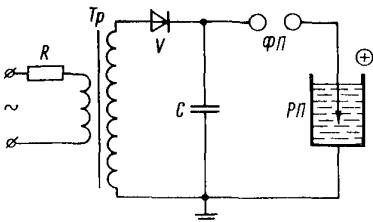


Рис. 1.1. Электрическая схема для воспроизведения ЭГЭ с одним формирующим промежутком (R — зарядное сопротивление; Tp — трансформатор; V — выпрямитель; $\Phi П$ — формирующий искровой промежуток; $РП$ — рабочий и искровой промежуток в жидкости; C — рабочая емкость — конденсатор)

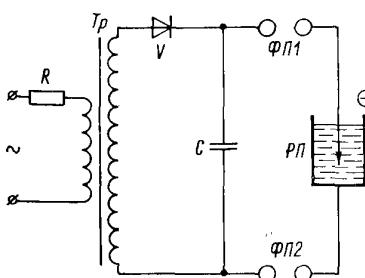


Рис. 1.2. Электрическая схема для воспроизведения ЭГЭ с двумя формирующими промежутками

игнитрона) применяют во всех современных электрогидравлических силовых установках.

Опытным путем была установлена возможность широкого варьирования параметрами принципиальной электрической схемы, воспроизведяющей электрогидравлический эффект. Это дало основание ввести понятие «режим работы» силовой установки, подразумевая под этим значения основных параметров схемы: емкости и напряжения [3, 6]. Были определены три основных режима: *жесткий* $U \geq 50$ кВ; $C \leq 0,1$ мкФ; *средний* — $20 \text{ кВ} \leq U \leq 50$ кВ; $0,1 \text{ мкФ} \leq C \leq 1,0$ мкФ; *мягкий* $U \leq 20$ кВ; $C \geq 1,0$ мкФ.

1.3. Явления, происходящие в жидкости при электрогидравлическом эффекте

Автор впервые наблюдал электрогидравлический эффект в открытом сосуде, заполненном жидкостью (водой). Уже в ходе первых экспериментальных исследований было установлено, что при пробое жидкости по схемам, представленным на рис. 1.1 и 1.2, вокруг канала разряда возникает зона высокого давления, диаметр которой пропорционален мощности импульса. Высокие гидравлические давления по мере удаления от разряда быстро падают, примерно пропорционально квадрату расстояния от него.

Жидкость, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него во все стороны, образуя на том месте, где был разряд, значительную по объему полость, названную кавитационной, и вызывая первый (основной) гидравлический удар. Затем полость также с большой скоростью смыкается, создавая второй кавитационный гидравлический удар. На этом единичный цикл электрогидравлического эффекта заканчивается, и он может повторяться неограниченное число раз соответственно заданной частоте следования разрядов [7, 14].

Развитие искрового разряда во времени происходит путем последовательного «прорастания» стримеров в межэлектродном промежутке. Растущий стример, как правило, состоит не из одного, а из многих каналов с многочисленными ответвлениями от них. Рост каждого отдельного «уса» стримера является ступенчато-прерывным процессом и представляет собой последовательное разряжение гидроксильных ионов OH^- из всех новых и новых и довольно значительных объемов жидкости, лежащих на пути стримера. Характер и последовательность процесса для нескольких этапов развития приведены на рис. 1.3, *а—в*.

Если рассмотреть падение напряжения только на одном усе стримера, то оно имеет характерную ступенчатость, но, поскольку рост отдельных усов происходит несинхронно с другими, эта ступенчатость взаимно перекрываетяется, становится слабовыраженной, а для всего процесса в целом даже совсем исчезает [3]. Образовавшийся канал стримера проходит в области, имеющей лишь разрядившиеся ионы OH^- и нейтральные к процессу роста