

ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С УЧЕТОМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

В.И. Букатый, П.И. Нестерюк

В работе представлены результаты экспериментальных исследований изменения рН и удельной электропроводности дистиллированной воды после воздействия постоянного магнитного поля с магнитной индукцией, лазерного излучения, а также ультразвука с частотой 44 кГц. При раздельном воздействии магнитного поля с индукцией 1,5 Тл и лазерного излучения с $\lambda_{\text{макс.}} = 632,8$ нм при плотности мощности 1,25 мВт/см² и ультразвука с частотой 44 кГц и мощностью 280 Вт течение 5 - 20 минут обнаружено увеличение и последующая релаксация исследованных физико-химических характеристик воды.

Ключевые слова: постоянное магнитное поле, лазерное излучение, дистиллированная вода, ультразвук, водородный показатель, удельная электропроводность.

Вода повсеместно представлена в живой и неживой природе, поэтому изучение ее физико-химических свойств представляет несомненный научно-практический интерес. В справочной литературе приведены обширные экспериментальные данные о физических характеристиках воды [1-3]. Однако сведений, о динамических характеристиках воды, подвергающейся различным физическим воздействиям явно недостаточно. Отчасти это можно объяснить тем, что ее основные физические характеристики являются аномальными, существенно отличающимися от параметров подавляющего большинства других жидкостей. Кроме того, в зависимости от характера и интенсивности воздействующих полей, методики подготовки образцов и проведения измерений, учета переходных процессов, можно получить противоречивые результаты.

Процесс возвращения исследуемых параметров системы в равновесное состояние принято называть переходным процессом или релаксацией. Вода, являясь динамичным объектом, также может быть легко выведена из состояния термодинамического равновесия при сравнительно слабом внешнем физическом воздействии и затем релаксировать. При этом возникает известный эффект так называемой «памяти» воды, когда измеряемые параметры, отличаясь от своих первоначальных значений до воздействия, возвращаются спустя значительное время в исходное положение [4]. Многие исследователи [4,5,7] усматривают причину аномальных свойств воды в ее кластерной структуре, обусловленной наличием водородных связей между атомами и собственно молекулами, которые могут изменяться, вплоть до

их разрыва, в зависимости от теплофизических и гидродинамических параметров. А в работе [15] наличие «памяти» воды объясняется явлением стохастического резонанса.

В диссертации [8] приведены результаты измерений тока заряжения в водных растворах до и после магнитной обработки полем с магнитной индукцией 80 мТл. Показано, что ток заряжения после воздействия постоянного магнитного поля (ПМП) увеличился, что может быть вызвано изменением электропроводности растворов. В опытах обнаружено, что чем более раствор разбавлен водой, тем заметнее выражен эффект воздействия. По результатам эксперимента автор указывает, что наблюдаемый эффект обусловлен изменением структуры воды под действием магнитного поля.

В работе [9] обнаружено увеличение удельной электропроводности (УЭП) водных растворов при воздействии электромагнитного поля высокой частоты (30-200 МГц). Авторы предположили, что поглощенная энергия приводит к самоорганизации водной системы, т.е. увеличению доли воды, связанной в кластеры за счет возрастания количества водородных связей и их упрочнения.

Авторами [10] изучалось влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды. Показано, что воздействие приводит к увеличению ее электропроводности, водородного показателя (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), при этом изменение свойств воды зависело от частоты поля и времени облучения. Однако в работе не приведены энергетические характеристики высокочастотного поля, что за-

ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С УЧЕТОМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

трудняет возможность сравнения с данными других авторов.

В работе [11] приведены результаты экспериментальных исследований влияния излучения гелий-неонового лазера, постоянного магнитного поля, а также их сочетания на физико-химические свойства воды. Исследовались pH и ОВП водопроводной воды города Новгорода и дистиллированной воды. Установлено, что воздействие приводило к незначительному увеличению pH и практически не изменяло ОВП воды, однако авторами не приведены данные о характеристиках воздействующих полей и погрешностях измерений, что не позволяет адекватно оценивать результаты экспериментов.

В работе [12] экспериментально изучена УЭП дистиллированной воды при комбинированном воздействии слабого постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний. Авторы обнаружили уменьшение удельной электропроводности дистиллированной воды после комбинированного воздействия. Однако, предлагаемая в работе методика эксперимента не позволяет провести учет влияния отдельных физических факторов воздействия на измеряемую электропроводность, что затрудняет однозначную раздельную интерпретацию эффектов взаимодействия воды с физическими полями различной природы.

Определенный интерес представляет работа [13], в которой рассматривается связь между солнечной активностью, выражаемой в числах Вольфа, и электропроводностью дистиллированной воды. В качестве действующих факторов авторы предлагают рассматривать радиационный фон, электромагнитное излучение Солнца, магнитное поле Земли.

Авторами [14] проведены измерения УЭП дистиллированной воды в результате действия механических колебаний с частотами от 3 до $5 \cdot 10^3$ Гц. Обнаружено значительное уменьшение УЭП. Кроме того, обнаружен эффект влияния возраста воды (времени выстаивания после конденсации) на изменение УЭП после воздействия.

Как следует из данного обзора, изменение физико-химических параметров воды под влиянием физических воздействий недостаточно изучено, данные отдельных экспериментов противоречат друг другу, что требует проведения дальнейших исследований в этом направлении, в том числе и таких важных характеристик, как pH и УЭП воды.

Целью работы исследование изменений названных физико-химических характеристик

воды в результате воздействия на нее ПМП, лазерного излучения и ультразвука на основе разработанной методики, учитывающей влияние переходных (релаксационных) процессов.

Экспериментальная часть

В экспериментах использовалась дистиллированная вода, причем образцы в опытах разделялись на контрольные (которые не подвергались воздействию) и исследуемые. Образцы воды объемом 20 - 40 мл переливались в сосуды из кварцевого стекла, после переливания отстаивались в течение 20 - 30 минут, после чего производилось воздействие. Дистиллированная вода по измеряемым нами параметрам соответствовала ГОСТ 6709-72: pH варьировал в пределах 5,4-6,6, а УЭП не превышала 5,5 мкСм/см. Температура образцов воды оставалась постоянной на протяжении всего времени эксперимента и составляла 21 °С.

Измерения pH проводились на приборе pH-150МИ а УЭП измерялась с помощью кондуктометра Анион-70-20.

ПМП создавалось с помощью пяти круглых магнитов, с суммарной магнитной индукцией, равной 1,5 Тл. В опытах с воздействием лазерного излучения на воду использовался гелий-неоновый лазер ЛГ-75 с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм, максимальной мощностью 20 мВт. Расфокусировка лазерного излучения осуществлялась с помощью короткофокусной линзы, при этом плотность мощности излучения, действующего на исследуемый образец, составила порядка 1,25 мВт/см². Ультразвуковое поле создавалось с помощью серийной установки типа УЗДН-2Т с частотой 44 кГц и с максимальной мощностью излучения 350 Вт. Время воздействия всех перечисленных факторов на образцы составляло 20 мин.

При изучении динамики pH и УЭП воды измерительные электроды располагались в центре сосуда на расстояниях 0,9 - 1,1 см от его стенок, для исключения влияния процессов в пограничном слое воды, непосредственно примыкающем к стенкам сосуда [18].

Результаты и их обсуждение

Указанное выше время отстаивания образцов воды перед опытами определено опытным путем, так как после него величины pH и УЭП контрольного образца принимают первоначальное значение до момента переливания. На этот факт было указано в обзорной работе [16], где данное явление использовано в качестве подтверждения кластерной модели структуры воды. В то же время изме-

РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

нение исследуемых параметров воды в результате переливания не могут быть связаны с разрывом химической связи в молекуле H_2O , в виду больших значений их энергии (460 кДж/моль) [17], по сравнению с кинетической энергией переливаемого образца. Наблюдаемое изменение характеристик воды после переливания, на наш взгляд, обусловлено нарушением первоначальной кластерной структуры, а спустя 20 - 30 минут - её последующим восстановлением (релаксацией). При выборе времени отстаивания воды перед воздействием постоянного магнитного поля и лазерного излучения мы учитывали также результаты работы [14], в которой обнаружено изменение электропроводности дистиллированной воды при воздействии механических колебаний в диапазоне частот 3-5000 Гц.

Известно, что pH воды сильно зависит от температуры [19]. С тем, чтобы учесть влияние на измеряемые характеристики (водородного показателя pH и удельной электропроводности) возможного теплового нагрева при лазерном облучении, нами проведены измерения температуры воды непосредственно после воздействия. Измерения температуры проводились по методике, описанной в работе [20], с помощью платино-платинородиевой микротермопары с временным разрешением порядка 1 с и погрешностью $\pm 0,05$ °C. Эксперименты показали, что температура воды до и после лазерного воздействия практически не изменялась.

Интервал времени между получением воды в дистилляторе и её использованием в опытах составлял (1 - 2) суток, при этом существенных различий в измеряемых характеристиках нами не обнаружено. В работах [12,14] сообщается о влиянии «возраста» воды (время после конденсации) на результаты измерений электропроводности при воздействии ПМП, электромагнитного поля и механических колебаний, что также учитывалось нами при разработке методики исследований.

В экспериментах с использованием ПМП и лазерного излучения время воздействия варьировало в пределах от 5 до 20 минут. При использовании ультразвуковой установки время воздействия изменялось в пределах от 1 до 5 минут. После воздействия, в течение ~ 30 минут с шагом в 1 - 3 минуты проводились измерения характеристик воды. Относительная ошибка определения pH составила 2 %, а удельной электропроводности – 2,5 %.

Было проведено 8 серий измерений динамики pH при воздействии ПМП с магнитной индукцией 1,5 Тл и 10 серий – при использовании лазерного излучения. Типичные временные зависимости pH для обоих случаев приведены на рисунках 1 и 2.

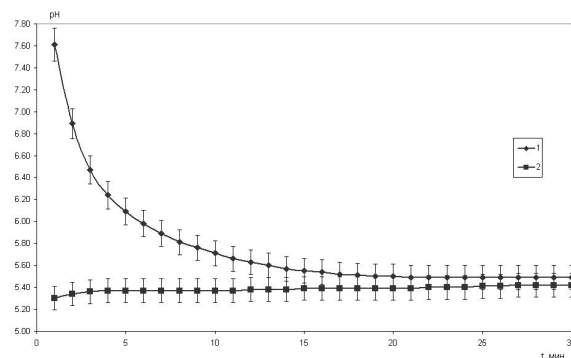


Рисунок 1. Зависимость pH воды от времени, измеренная после воздействия ПМП на образцы: 1 – исследуемый, 2 – контрольный

Как видно из рисунков, значения pH для исследуемых образцов воды, измеренные сразу после воздействия, значительно выше, чем для контрольных образцов. Кроме того, во всех случаях с течением времени обнаружено монотонное уменьшение pH до уровня, соответствующего его значению у контрольного образца. Полное время релаксации, когда зависимости под цифрами 1 и 2 на рисунках 1, 2 практически сливаются в пределах погрешности измерений, составляют около 20 мин при лазерном воздействии и порядка 15 мин – в результате действия ПМП. Максимальное увеличение pH в данной серии измерений в среднем составило величину, равную $2,2 \pm 0,3$ при действии ПМП и $1,4 \pm 0,3$ – при лазерном воздействии.

В другой серии проведенных нами экспериментов по воздействию на дистиллированную воду сравнительно слабого ПМП с магнитной индукцией 0,12 мТл не было обнаружено изменений pH для исследуемых образцов, а его численные значения не отличались от контроля.

Проведенные нами эксперименты при меньших временах воздействия лазерным излучением (5 и 10 мин, соответственно), показали, что при пяти минутах изменения pH для контрольного и исследуемого образца не наблюдаются. При десяти минутах данный эффект выражен значительно слабее, чем это представлено на рисунке 2.

ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ С УЧЕТОМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

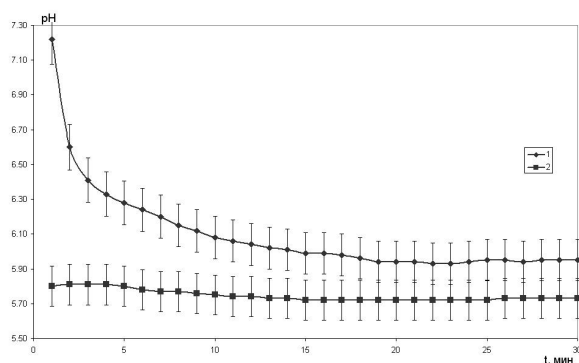


Рисунок 2. Зависимость pH воды от времени, измеренная после воздействия лазерного излучения на образцы: 1 – исследуемый, 2 – контрольный

При исследованиях изменения УЭП дистиллированной воды было проведено 10 серий измерений при воздействии ПМП с магнитной индукцией 1,5 Тл и 7 серий – в результате действия лазерного излучения.

Во всех случаях обнаружено увеличение УЭП воды сразу после воздействия. Кроме того, имело место «последствие», когда удельная электропроводность продолжала увеличиваться после прекращения действия ПМП и лазерного излучения в течение времени наблюдения (рисунки 3, 4).

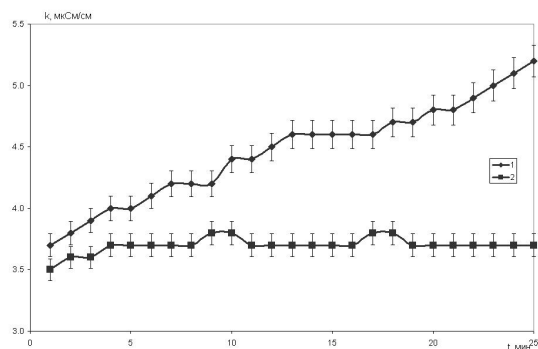


Рисунок 3. Зависимость УЭП воды от времени, измеренная после воздействия ПМП на образцы: 1 – исследуемый, 2 – контрольный

На подобное явление обращено внимание и в работе [8] при изучении динамики электропроводности дистиллированной воды в результате ВЧ-электромагнитного поля. В частности, в этой работе наблюдался также и эффект «невозвращения» свойств дистиллированной воды к исходному значению в течение времени наблюдения.

В проведенных нами исследованиях при использовании ПМП с магнитной индукцией 0,12 мТл, УЭП для исследуемого и контрольного образцов после воздействия оказалась одинаковой и не изменялась в течение дли-

тельного времени (от нескольких часов до суток).

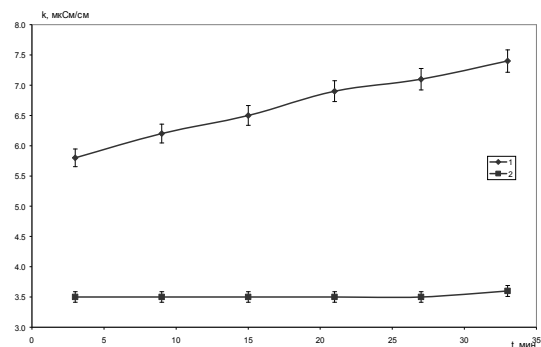


Рисунок 4. Зависимость УЭП воды от времени, измеренная после воздействия лазерного излучения на образцы: 1 – исследуемый, 2 – контрольный образец

В опытах по воздействию ультразвука на дистиллированную воду время его воздействия на образцы объемом 60 мл варьировалось в интервале 1 - 3 минут. Типичные экспериментальные зависимости изменения pH и УЭП воды представлены на рисунках 5, 6.

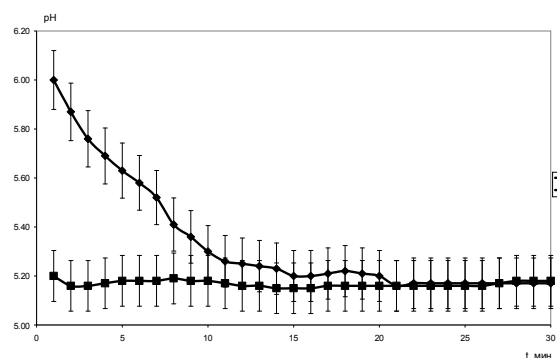


Рисунок 5. Зависимость pH воды от времени, измеренная после воздействия ультразвука на образцы ($t = 1$ мин, $P = 280$ Вт): 1 – исследуемый, 2 – контрольный

При исследовании динамики pH было обнаружено существенное отличие значений для исследуемого и контрольного образцов в первые 10 -15 минут после окончания воздействия. При этом максимальное значение $\Delta pH = 0,8$ наблюдалось при воздействии ультразвука в течение одной минуты, тогда как при 2-х минутах максимум ΔpH составил 0,4, а при 3-х минутах максимальное значение ΔpH составило 0,3. Затем наблюдалось снижение pH до начального у контроля.

При исследовании динамики УЭП воды после воздействия ультразвука экспериментально было установлено оптимальное время воздействия, равное трем минутам, при котором наблюдалось максимальное различие

РАЗДЕЛ II. ИЗМЕРЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ И ТЕХНИКЕ

значений для экспериментального и контрольного образцов, равное $(1,1 \pm 0,4)$ мкСм/см. Во всех опытах по измерению удельной электропроводности спустя 2 - 3 часа после воздействия обнаружено ее возвращение к первоначальному значению.

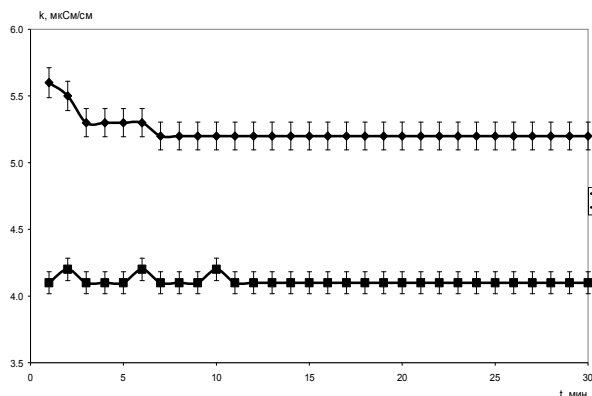


Рисунок 6. Зависимость УЭП воды от времени, измеренная после воздействия ультразвука на образцы ($t = 3$ мин, $P = 280$ Вт): 1 – исследуемый, 2 – контрольный

Ряд исследователей полагает, что изменение УЭП в подобных опытах может быть вызвано деформацией структуры воды [4, 5, 7], повышением растворимости атмосферных газов (в особенности, CO_2) в исследуемой среде, десорбцией примесей с поверхности сосуда или растворением его материала. Однако в наших экспериментах после воздействия pH повысился, что свидетельствует об уменьшении растворимости углекислого газа, и должно было привести к уменьшению электропроводности при отсутствии влияния других факторов, в то время как наблюдалась противоположная зависимость. Кроме того, подобные исследования по изучению электропроводности дистиллированной воды при воздействии на неё высокочастотных электромагнитных полей показали отсутствие влияния материала сосуда на экспериментальные результаты [9].

Заключение

Таким образом, повышение pH и УЭП воды в проведенных экспериментах, обусловлено изменением структуры воды, увеличением числа заряженных частиц, их подвижности и активности.

Авторы выражают признательность директору ИВЭП СО РАН, д.г.н., проф. Ю.И. Винокурову за постановку проблемы и ценные консультации, а также д.т.н. А.Н. Романову за помощь и содействие в проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таблицы физических величин. / Под ред. И.К. Кикоина. - М.: Атомиздат. 1976.
2. Золотарев, В.М. Оптические постоянные природных и оптических сред: справочник. / В.М. Золотарев, В.Н. Морозова, Е.В. Смирнова. -Л.: Химия. 1984.
3. Третьяков, Ю.Н. Структура воды и теплофизические параметры./ Ю.Н. Третьяков –Москва-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика. 2006.
4. Маленков, Г.Г. Структура и динамика жидкой воды// Г.Г. Маленков.- Журнал структурной химии. -2006. -Т. 47. -С. 5-35.
5. Саркисов, Г.Н. Структурные модели воды// Г.Н. Саркисов. - Успехи физических наук. - 2006. -Т.176. -№8. -С. 833-845.
6. Зацепина, Г.Н. Физические свойства и структура воды / Г.Н. Зацепина -М.: МГУ. 1998.
7. Ускова, Н.Н. Изучение влияния состава водородных растворов и внешних полей на ток заряжения ртутно-пленочного электрода: / Н.Н. Ускова. - Дис....к-та хим. наук. –Барнаул: АГУ, 2007.
8. Стась, И.Е. Кинетические закономерности электрохимических процессов в высокочастотном электромагнитном поле. // И.Е. Стась, А.П. Бессонова.- Вестник ТГУ. Бюл. №62. - 2006. -С. 33-42.
9. Стась, И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды // И.Е. Стась, О.П. Михайлова, А.П. Бессонова.- Вестник ТГУ. Бюл. №62. -2006. -С. 43-51.
10. Бритова, А.А. Активация воды лазерным излучением, магнитным полем и их сочетанием// А.А. Бритова, И.В. Адамко, В.Л. Бачурина. - Вестник Новгородского государственного университета. -1998. -№7. -С. 11-14.
11. Акопян, С.Н. Исследования удельной электропроводности воды при воздействии постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний// С.Н. Акопян, С.Н. Айрапетян. - Биофизика. - 2005. -Т. 50. -Вып. 2. -С. 265-269.
12. Агеев, И.М. Корреляция солнечной активности с электропроводностью воды. // И.М. Агеев, Г.Г. Шишкин. - Биофизика. -2001. -Т. 46. - Вып.5. -С. 829-832.
13. Степанян, Р.С. Влияние механических колебаний на электропроводность воды // Р.С. Степанян, Г.С. Айрапетян, А.Г. Аракелян и др. - Биофизика. -1999. -Т. 44. -Вып. 2. -С. 197-202.
14. Бецкий, О.В. Необычные свойства воды в слабых электромагнитных полях//О.В. Бецкий, Н.Н. Лебедева, Т.И. Котровская. - Биомедицинская радиоэлектроника. -2003. -№1. -С. 37-44.
15. Мосин, О.В. Механизмы воздействия электромагнитных волн низкой интенсивности на воду и водные растворы. -2002. [Электронный

- ресурсы]. - Мосин О.В. - Режим доступа <http://www.merak.ru/articles/journal20rus.htm>.
16. Чанг, Р. Физическая химия с приложениями к биологическим системам. / Р. Чанг - М.: Изд-во «Мир». - 1980. - 662с.
 17. Постнов, С.Е. Новые подходы в биомедицинской технологии на основе воды пограничного слоя. // С.Е. Постнов, М.В. Мезенцева, Р.Я. Подчерняева и др. - Биомедицинская радиоэлектроника. - 2009. - №1. - С. 3-15.
 18. Шипунов, Б.П. Температурная зависимость эффективности воздействия высокочастотного электромагнитного поля на дистиллированную воду // Б.П. Шипунов, И.Е. Стась, И.Н. Паутова. - Вестник ТГУ. Бюл. №62. - 2006. - С. 52-61.
 19. Букатый, В.И. Нагрев крови человека низкоинтенсивным лазерным излучением // В.И. Букатый, Я.В. Павлова, С.И. Сакович и др. - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2005. - №1. - С. 81-86.
- Д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Букатый В.И., тел. 8-(3852)-66-64-62, Институт водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул); аспирант Нестерюк П.И., тел. 8-913-361-91-49, e-mail: p.nesteryuk@mail.ru, Алтайский государственный университет (г. Барнаул).*

УДК 531.7: 681.2-112.6.001.63

ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ СООСНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

А.Е. Гольдштейн, Е.В. Якимов

В работе описан принцип измерения отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб и особенности системы контроля соосности, разработанной для ОАО «Завод бурового оборудования» (г. Оренбург).

Ключевые слова: бурильные трубы, приварные замки, соосность, система контроля.

Качество и эффективность буровых работ, проводимых в различных производственных сферах, в большой мере зависят от качества используемого бурового оборудования и в том числе бурильных труб. Важное место в обширной номенклатуре бурильных труб занимают трубы бурильные стальные с приваренными замками (универсальные ТБСУ, облегченные ТБСО, тяжелой серии ТБСТ и другие). Конструктивно такие трубы состоят из трех элементов: тела трубы и двух замков – муфты и ниппеля, приваренных к телу трубы методом сварки трением.

Важной характеристикой сварных соединений бурильных труб, в значительной мере определяющей трудоемкость и точность бурения, срок службы бурового оборудования является соосность приварных замков и тела трубы. Различают параллельное и угловое отклонение от соосности (рисунок 1).

Согласно [1] отклонение от соосности приварных замков и трубы не должно превышать 0,3 мм у сварного шва (параллельное отклонение) и 0,1 мм на 100 мм длины детали приварного замка вблизи торца (угловое отклонение).

В соответствии с [1] контроль соосности заключается в измерении при вращении трубы двумя индикаторами часового типа радиальных биений замковой части трубы относительно оси тела бурильной трубы в двух се-

чениях, первое из которых расположено вблизи сварного соединения, а второе – вблизи торца замковой части трубы. Параллельное a_1 , мм и угловое a_2 , мм/100мм отклонения от соосности определяются по формулам:

$$a_1 = \frac{\delta_1}{2}, \quad a_2 = \frac{\delta_2 - \delta_1}{2 \cdot A} \cdot 100 \quad (1)$$

где δ_1 – биение в сечении 1, мм; δ_2 – биение в сечении 2, мм; A – расстояние между сечениями, мм.

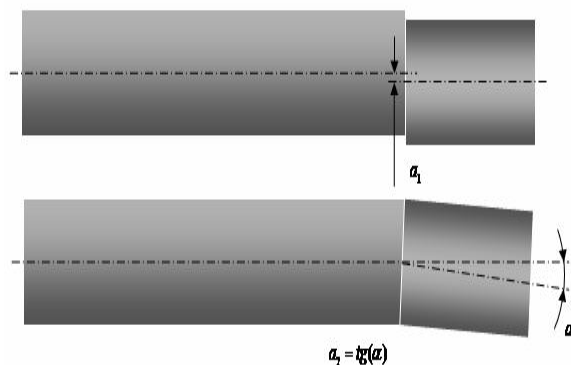


Рисунок 1 - Отклонение от соосности приварных замков и тела трубы: a_1 – параллельное отклонение от соосности, a_2 – угловое отклонение от соосности