

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2018 Issue: 01 Volume: 57

Published: 30.01.2018 <http://T-Science.org>

SECTION 9. Chemistry and chemical technology.

Igor Viktorovich Goloperov

Candidate of chemical sciences, Docent,
Department of Occupational Health and Environmental
Safety, Ukrainian Engineering and
Pedagogical Academy, Ukraine
goloperov_igor_2018@ukr.net

Elena Aleksandrovna Belova

Candidate of chemical sciences, Docent,
Department of Occupational Health and Environmental
Safety, Ukrainian Engineering and
Pedagogical Academy, Ukraine
belovaelena@ukr.net

Aleksandr Nikolaevich Baklanov

Doctor of chemical sciences, Professor,
Head of the Department of Occupational Health and
Environmental Safety, Ukrainian Engineering and
Pedagogical Academy, Ukraine
baklanov_oleksandr@meta.ua

Larisa Vladimirovna Baklanova

Candidate of chemical sciences, Docent,
Department of Occupational Health and Environmental
Safety, Ukrainian Engineering and Pedagogical
Academy, Ukraine
baklanovalarisa@ukr.net

SOLVING THE PROBLEMS OF SAFETY IN OPERATION OF SALT EXCHANGERS OF NUCLEAR POWER PLANTS

Abstract: The solution of the safety problem in the operation of salt heat exchangers of nuclear power plants is proposed. A new method of analysis - sonoluminescence spectroscopy can be used to automatically determine the content of the main substance in heat transfer media of the types "CsCl-1", "CsCl-2", "LiCl". At the same time, to obtain satisfactory results of the analysis, it is sufficient to cool down to a temperature of 100 °C

Key words: nuclear power plant, ultrasound, sonoluminescence, coolant.

Language: Russian

Citation: Goloperov IV, Belova EA, Baklanov AN, Baklanova LV (2018) SOLVING THE PROBLEMS OF SAFETY IN OPERATION OF SALT EXCHANGERS OF NUCLEAR POWER PLANTS. ISJ Theoretical & Applied Science, 01 (57): 253-259.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-01-57-41> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.01.57.41>

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛЕВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация: Предложено решение проблемы безопасности при эксплуатации солевых теплообменников атомных электростанций. Новый метод анализа – сонолюминесцентная спектроскопия может быть использован для автоматического определения содержания основного вещества в теплоносителях типов «CsCl-1», «CsCl-2», «LiCl». При этом, для получения удовлетворительных результатов анализа достаточно охлаждения до температуры 100 °C

Ключевые слова: атомная электростанция, ультразвук, сонолюминесценция, теплоноситель.

Введение.

АЭС являются наиболее современным видом электростанций, имеют ряд существенных преимуществ перед другими их видами, при нормальных условиях функционирования они

практически не загрязняют окружающую среду, не требуют привязки к источнику сырья и соответственно могут быть размещены практически везде [1].



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

Самые современные АЭС имеют двухконтурную систему охлаждения реактора, причем теплоносителем первого контура служит водный раствор хлорида щелочного металла - цезия – 400 или 600 г/л или лития – 400 г/л («CsCl-1», «CsCl-2», «LiCl»; температура на входе - 220, а на выходе – 350 °С) и второго контура - высокочистая вода [2].

Наибольшую сложность вызывает контроль содержания основного вещества в растворе теплоносителя первого контура, оказывающего существенное влияние на его теплофизические свойства, причем изменение более 5 % считается критическим, вследствие нарушения режима работы реактора, что может привести к существенным потерям в выработке электроэнергии, свыше 8 % – опасным, т.к. снижается уровень безопасности эксплуатации АЭС, в связи с перегревом реактора [1, 2].

Для контроля содержания основного вещества в данных теплоносителях используются гравиметрия, титриметрия, потенциометрия с ионселективными электродами и пламенная атомно-абсорбционная спектрометрия. Однако, первые два метода имеют недостаточную экспрессность, атомно-абсорбционная спектрометрия при определении основного вещества требует значительного разбавления пробы, что снижает точность и усложняет анализ [1-3]. Потенциометрия с ионселективными электродами для прямого определения основного вещества в высококонцентрированных растворах солей (400 – 600 г/л) при температуре ≥ 100 °С, не используется, во всяком случае, сведений об этом в литературе нами не найдено.

Нами ранее [3] показана возможность использования нового метода анализа - сонолюминисцентная спектроскопия для определения содержания основного вещества в теплоносителях типов «CsCl-1», «CsCl-2», «LiCl». Однако, отбор проб во вторичном контуре теплоносителей АЭС представлял собой очень сложную длительную техническую задачу, что снижало эффективность использования даже такого экспрессного метода анализа как сонолюминисцентная спектроскопия.

Предлагаемая работа посвящена проблеме анализа теплоносителей с использованием нового метода анализа – сонолюминисцентной спектроскопии в автоматическом режиме с непрерывным отбором пробы

Экспериментальная часть. Использовали сонолюминисцентный спектрометр на базе атомно-абсорбционного спектрометра AAS-3 (Германия). Отбор проб и измерение содержания основного вещества проводили в сонолюминисцентной камере -1, помещаемой рядом с охлаждающим контуром по которому

идет поток теплоносителя (рис.1). Теплоноситель через впускной клапан-2 под действием давления в системе (1,5-1,6 атм.) подавали в камеру вместимостью 1000 мл. С помощью автоматической системы поддержания необходимой температуры, состоящей из термопары -3, помещенной в защитный кожух, специальной рубашки для прокачки охлаждающей жидкости-4 и блока прокачки и охлаждения -5, устанавливали соответствующую температуру теплоносителя и проводили измерение. Далее теплоноситель откачивали с помощью микронасоса-6 в накопитель-7 и оттуда по мере необходимости сбрасывали в контур теплоносителя. Затем цикл повторялся вновь. Длительность цикла составляла от 10 до 30 минут в зависимости от температуры до которой охлаждали теплоноситель. Камеру изготавливали из кварцевого стекла толщиной 20- 22 мм и устанавливали во внутренний защитный стальной кожух. Подача теплоносителя, его охлаждение до соответствующей температуры, измерение и откачивание в накопитель осуществлялось автоматически. Источником ультразвуковых колебаний служили стандартные пьезоэлектрические излучатели -8 с рабочими частотами УЗ 500 кГц, 1 МГц, 2 МГц и 2,5 МГц типа ЦТС-19, изготовленные из цирконата титана-свинца [4, 5]. Питание пьезоэлектрического излучателя осуществляли от лампового генератора типа 24-УЗГИ-К-1,2 - 9, позволяющего изменять частоты УЗ от 50 кГц до 2,5 МГц [5]. Сонолюминисцентное излучение регистрировали фотоумножителем ФЭУ-109 - 10 через прозрачное кварцевое окошко -11. Аналитический сигнал направлялся на усилитель-12 и далее по специальному 50 м кабелю на регистрирующую систему атомно-абсорбционного спектрометра AAS-3. Растворы насыщали аргоном сорт высший через барбатер – 13. Клапаны безопасности-14 были рассчитаны на давление 20 атм, имели обводные микроканалы с ключами для сбрасывания давления в камере при подаче теплоносителя. Использовали реактивы не ниже ч.д.а. В качестве охлаждающей жидкости служил раствор хлорида цезия 200 г/л. Растворы готовили на дистиллированной воде.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА. 1000 см³ раствора теплоносителя под действием давления в системе (2,0-2,2 атм.) подавали в камеру вместимостью 1000 мл, насыщали аргоном в течение 5 мин, охлаждали до определенной температуры, в теплоноситель «LiCl» вводили хлорид цезия до концентрации, примерно, 30 г/л и воздействовали ультразвуком частотой 1 МГц, 2 МГц, 2,5 МГц, интенсивностью от 1 до 12 Вт/см². Настраивали сонолюминисцентный спектрометр на соответствующие аналитические

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

линии цезия и лития согласно [5] и определяли содержание основного компонента. Во время опытов подачу газа не прекращали во избежание дегазации раствора. Опыты по изучению влияния частоты УЗ на интенсивность сонолюминесценции проводились с использованием максимально возможной интенсивности УЗ – 12 Вт/см², ограниченной возможностями используемого оборудования, в частности – механической прочностью

пьезокерамического излучателя [6]. Весь процесс протекал в автоматическом режиме.

Результаты и их обсуждение.

Интенсивность сонолюминесценции одних и тех же элементов при переходе частоты УЗ от 500 кГц до 2,5 МГц снижалась, причем значительное уменьшение интенсивности сонолюминесценции наблюдалось при переходе от 1,0 до 2,5 МГц (табл.1).

Таблица 1

Интенсивность сонолюминесценции элементов в растворах теплоносителей в зависимости от частоты ультразвука и концентрации растворов

Определяемый компонент. Концентрация раствора, г/л	Интенсивность сонолюминесценции, отн.ед.				
	500 кГц	1 МГц	2 МГц	2,5 МГц	
LiCl	100	5,7	2,5	0,5	0,3
	200	11,3	4,4	1,0	0,5
	300	17,6	6,9	1,9	0,9
	400	22,8	8,5	2,7	1,4
	λ, нм	670,9	671,1	671,2	671,3
CsCl	100	33,6	5,4	2,8	2,1
	200	69,0	12,4	6,3	4,7
	400	103,5	20,8	11,3	8,1
	600	135,2	28,2	17,4	12,7
	λ, нм	852,1	852,3	852,4	852,4

Примечание. В таблице представлены усредненные результаты шести опытов. Интенсивность УЗ – 12 Вт/см².

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 0.207
ESJI (KZ) = 4.102
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260

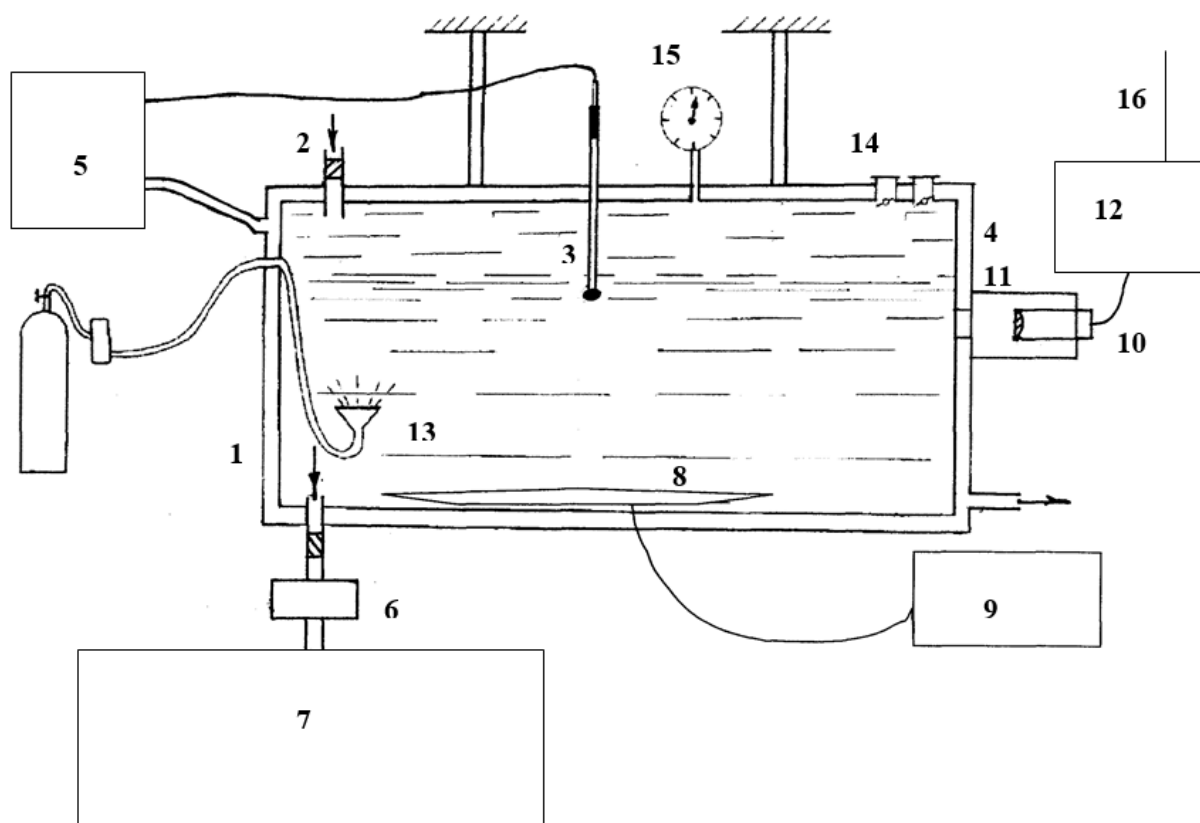


Рис. 1. Сонолюминесцентная камера

1-сонолюминесцентная камера; 2 - впускной клапан; 3- платино-иридиевая термопара; 4 - рубашка для прокачки охлаждающей жидкости; 5- блок прокачки; 6 – микронасос; 7 – накопитель; 8 – пьезоэлектрический ультразвуковой излучатель; 9 – генератор ультразвука; 10 – фотоумножитель; 11 – кварцевое окно; 12 – усилитель; 13 – барботер; 14 – клапаны безопасности; 15 – контрольный манометр; 16 – кабель.

Это объясняется тем, что для достижения определенного уровня кавитационной активности, при которой происходит максимально возможная интенсивность сонолюминесценции, необходима и соответствующая величина интенсивности УЗ, которая возрастает с увеличением частоты [6-8].

Следует отметить, что зависимость интенсивности сонолюминесценции от концентрации хлоридов элементов носила прямо пропорциональный характер при использовании УЗ частотой от 500 кГц до 2,5 МГц, за исключением высоких концентраций хлорида цезия (>200 г/л), для которого прямо пропорциональная зависимость наблюдалась только при использовании УЗ частотой 2 и 2,5 МГц (табл.1). Таким образом, прямой анализ растворов теплоносителей (400 и 600 г/л) возможен только при использовании УЗ частотой не менее 2 МГц.

Интенсивность сонолюминесценции элементов при повышении интенсивности

ультразвука возрастала вплоть до максимально возможной интенсивности УЗ – 12 Вт/см²(табл.2). Очевидно, что, как и в случае использования УЗ низких частот (18–47 кГц), должна наблюдаться оптимальная величина интенсивности УЗ, соответствующая максимально возможной интенсивности сонолюминесценции для данной системы [5, 6].

В связи с тем, что температура теплоносителя в процессе производства электроэнергии непрерывно изменяется (даже при измерении в одной точке) [2], была изучена зависимость интенсивности сонолюминесценции цезия и лития от температуры раствора. При повышении температуры раствора интенсивность сонолюминесценции цезия несколько снижалась, достигала своего минимального значения при 80–85 °С и далее несколько повышалась, при температуре 95–100 °С достигала максимально-возможного значения и далее снижалась (табл.3). Интенсивность сонолюминесценции лития также уменьшалась при снижении температуры

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

раствора и была менее выражена, чем у цезия (табл.3). Последнее объясняется более высокой температурой кипения лития и большей энергией возбуждения уровня, чем у цезия [5, 7]. Следует также отметить, что даже при значительном повышении температуры растворов сохранялась

прямо пропорциональная зависимость интенсивности сонолюминесценции от концентрации солей элементов, что позволяет проводить их определение и при повышении температуры (табл.3).

Таблица 2.

Интенсивность сонолюминесценции элементов в водных растворах хлоридов элементов в зависимости от интенсивности ультразвука и концентрации растворов

Определяемый компонент. Концентрация раствора, г/л		Интенсивность сонолюминесценции, отн.ед. Интенсивность ультразвука, Вт/см ²			
		9 Вт/см ²	10 Вт/см ²	11 Вт/см ²	12 Вт/см ²
LiCl	300	1,8	3,1	4,3	6,9
	400	2,4	4,1	5,5	8,5
CsCl	400	4,1	5,6	7,8	11,3
	600	5,2	8,1	11,6	17,4

Примечание. В таблице представлены усредненные результаты шести опытов. Частота УЗ – 1 МГц для раствора LiCl; для CsCl – 2 МГц.

Таблица 3.

Интенсивность сонолюминесценции элементов в водных растворах хлоридов элементов в зависимости температуры и концентрации растворов

Определяемый компонент. Концентрация раствора, г/л		Интенсивность сонолюминесценции, отн.ед. Температура, °С					
		20	80	100	120	130	150
LiCl	300	6,9	5,4	6,0	5,0	2,4	1,2
	400	8,5	7,2	7,9	6,3	3,1	1,4
CsCl	400	11,3	10,4	11,0	9,8	4,5	2,3
	600	17,4	15,2	15,9	14,1	7,7	4,0

Примечание. В таблице представлены усредненные результаты шести опытов. Частота УЗ – 1 МГц для раствора LiCl; для CsCl – 2 МГц, интенсивность УЗ – 12 Вт/см².

Разработана методика экспрессного анализа растворов теплоносителей типов «CsCl-1», «CsCl-2», «LiCl» на содержание основного вещества. Правильность методики проверена

методом «введено–найдено», анализом одних и тех же проб методами пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии и титриметрии (табл.4).

Таблица 4

Результаты определения основного вещества в растворах теплоносителей

Проба	Введено, г/л	Найдено, г/л (n=6)							
		Сонолюминесцентным методом				Титриметрическим методом [8]		Атомно-абсорбционным методом [8]	
		УЗ 2,0 кГц		УЗ 2,5 МГц				x	S _r
		x	S _r	x	S _r	x	S _r		
«CsCl-1»	0	399	0,01	396	0,02	397*	0,01	362	0,11

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

1»	50	442	0,02	443	0,01	441*	0,01	410	0,10
«CsCl-2»	0	597	0,03	603	0,01	604*	0,02	598	0,12
	50	645	0,04	646	0,02	651*	0,03	641	0,12
«LiCl»	0	398	0,02	392	0,03	401*	0,01	565	0,11
	20	420	0,02	419	0,04	420*	0,01	578	0,12

Из табл. 4 также следует, что при анализа растворов теплоносителей типа «CsCl-1» и «LiCl» предпочтительнее использовать УЗ частотой 2 МГц, а типа «CsCl-2» – УЗ частотой 2,5 МГц как обеспечивающие лучшие метрологические характеристики. В табл. 5 представлены результаты опытов по

изучению влияния температуры анализируемого раствора на результаты определения цезия и лития в растворах теплоносителей АЭС. Из табл. 5 следует, что определение содержания основного вещества возможно с удовлетворительной точностью при температуре около 100 °С.

Таблица 5**Влияние температуры на результаты определения основного вещества в растворах теплоносителей**

Температура, °С	Введено, г/л	Найдено, г/л (n=6)									
		«CsCl-1»				«CsCl-2»				«LiCl»	
		УЗ 2,0 кГц		УЗ 2,5 МГц		УЗ 2,0 кГц		УЗ 2,5 МГц		УЗ 1,0 кГц	
		x	S _r	x	S _r	x	S _r	x	S _r	x	S _r
20	0	399	0,01	396	0,02	597	0,03	597	0,03	392	0,03
	50	442	0,02	443	0,01	645	0,04	645	0,04	438	0,04
80	0	384	0,04	389	0,03	587	0,05	590	0,04	570	0,03
	50	435	0,05	439	0,04	641	0,06	615	0,03	618	0,04
100	0	380	0,08	384	0,05	564	0,07	587	0,04	376	0,04
	50	420	0,10	425	0,06	619	0,09	638	0,05	427	0,05
120	0	360	0,14	368	0,11	547	0,10	555	0,08	365	0,12
	50	370	0,15	419	0,12	581	0,11	607	0,09	401	0,12
150	0	328	0,20	334	0,13	497	0,14	537	0,12	325	0,14
	50	352	0,23	369	0,14	512	0,15	562	0,12	403	0,16

Выводы.

Новый метод анализа – сонолюминесцентная спектроскопия может быть использован для автоматического определения содержания основного вещества в теплоносителях типов

«CsCl-1», «CsCl-2», «LiCl». При этом, для получения удовлетворительных результатов анализа достаточно охлаждения до температуры 100 °С.

References:

- Mitchell U. Dzh. (2005) Teoreticheskiye osnovy vyrabotki elektroenergii na atomnykh elektrostantsiyakh.–M.: Mir, 2005.–625 p.
- Petrov B.A. (2008) Atomnyye elektrostantsii na bystrykh neytronakh. Problemy, dostizheniya i perspektivy razvitiya.- M.: Atommashizdat, 2008.- 273 p.
- Yurchenko O.I., Chernozhuk T.V., Baklanova L.V., Baklanov A.N. (2017) Sonolyuminestsentsiya v khimicheskom analize .- Khar'kov: KHNU im. V.N.Karazina, 2017 – 197 p.
- Goloperov I.V. Belova E.A., Baklanov A.N., Baklanova L.V. (2017) SOLVING THE PROBLEMS OF SAFETY IN THE PRODUCTION OF IODIED SALT. ISJ

Impact Factor:

ISRA (India)	= 1.344	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	PIHII (Russia)	= 0.207	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 4.102	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 2.031		

- Theoretical & Applied Science, 04 (48): 70-75.
5. Baklanov A.N., Chmilenko F.A. Ispol'zovaniye vysokochastotnogo ul'trazvuka v sonolyuminestentnoy spektrofotometrii. Usileniye analiticheskogo signala // Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. -2001. – T. 44, № 6. –p. 45-51.
 6. Yurchenko O.I., Baklanov A.N., Belova E.A., Kalinenko O.S., Baklanova L.V. (2015) ULTRASOUND TO INTENSIFY OF FOOD DRY MINERALIZATION BY THE OXIDANTS IN VAPOR FORM. ISJ Theoretical & Applied Science 07 (27): 122-129.
 7. Baklanov A.N., Baklanova L.V., Avdeyenko A.P., Konovalova S.P. (2012) Ul'trazvuk v analiticheskoy khimii i khimicheskoy tekhnologii. - Kramatorsk: izd-vo DGMA, 2012- 383 p.
 8. Baklanov A.N., Avdeyenko A.P., Baklanova L.V., Chmilenko F.A. (2011) Analiticheskaya khimiya povarennoy soli i rassolov.– Kramatorsk: izd-vo DGMA, 2011,- 287 p.

